

Indhold

KAPITEL 1

PRINCIPPER FOR ELEKTROMAGNETISK KOMPATIBILITET

Forord	1- 2
En elektrisk leders reaktion ved forskellige frekvenser	1- 3
Frekvensafhængighed for en induktans og en kapacitet	1- 4
Et systems elektromagnetiske kompatibilitet	1- 5
Elektromagnetisk kompatibilitet: (EMC)	1- 5
Anvendelsesområde	1- 6
Typen af elektromagnetisk interferens	1- 7
Definition af en elektromagnetisk forstyrrelse	1- 7
Kilder til udsendt elektromagnetisk interferens	1- 8
Lavfrekvens (LF) interferens	1- 9
Højfrekvens (HF) interferens	1- 9
Harmoniske	1- 10
Transienter	1- 14
Elektrostatisk udladning (ESD)	1- 16
Lavspændings (LV) net-interferens	1- 18
Kilder til elektromagnetisk interferens	1- 20
Ind-/udkobling af induktive belastninger vha. tørre kontakter	1- 20
Ind-/udkobling af induktive belastninger ved hjælp af halvledere	1- 24
Elektromotorer	1- 25
Fluorescerende belysning	1- 27
Punktsvejsning	1- 28
Spektral fordeling for interferens	1- 29
Udbredelsesformer for elektromagnetisk interferens	1- 30
Kobling: generel information	1- 30
Ledet interferens	1- 31
Kobling via udstråling	1- 34
Afkobling af interferens	1- 38

Indhold

Jord.....	1- 40
Generel definition	1- 40
Jordforbindelsens rolle i elektriske installationer	1- 40
Elektriske jordforbindelser	1- 40
Typisk jording af en installation	1- 41
Jord og elektromagnetisk kompatibilitet	1- 41
Stelforbindelser	1- 42
Generel definition	1- 42
Stelforbindelser i elektriske installationer	1- 42
Tilgængelige ledende dele og sikkerhed for personer og udstyret	1- 42
Tilgængelige ledende dele og elektromagnetisk kompatibilitet	1- 43
Stelforbindelsessløjfer	1- 47
Undgå at jordforbinde tilgængelige ledende dele i en stjernekonfiguration	1- 48
Kabler	1- 49
Frekvensafhængighed for en leder	1- 49
En leders længde og tværsnitsareal	1- 51
En leders funktion som antenne	1- 52
Grøn/gul PE/PEN leder	1- 53
Forbindelse mellem tilgængelige ledende dele	1- 53
Filtre	1- 54
Et filters funktion	1- 54
Forskellige filtertyper	1- 55
Ferritkerner	1- 57

Indhold

KAPITEL 2

OPNÅELSE AF ELEKTROMAGNETISK KOMPATIBILITET I EN INSTALLATION

PRAKTISKE RETNINGSLINJER

Forord	2-2
(EMC) proceduren	2-3
Design af en ny installation eller udvidelse af en installation	2-4
Vedligeholdelse af en installation eller opgradering - opdatering af installeret udstyr	2-5
Forbedring af en eksisterende installation	2-6
Praktiske retningslinjer	2-7
Relaterede emner:	2-7
Jordsystem	2-8
Indledning	2-8
Bygning	2-9
Udstyr / maskine	2-11
Kabinet	2-12
Elektriske forbindelser	2-13
Udligningsforbindelse af tilgængelige ledende dele	2-14
Jordsystem	2-17
Udligningsforbindelse af tilgængelige ledende dele	2-17
Strømforsyning	2-18
Analyse	2-19
Tekniske specifikationer	2-19
Isolation ved hjælp af transformator	2-19
Systemjording	2-20
Jordsystemer: (EMC) egenskaber	2-21

Indhold

Distribution i installationen	2-24
Jording af transformatorens skærme	2-25
Kabinet	2-26
Analyse	2-26
Jordreferenceplan	2-28
Kabelgennemføringer	2-28
Kabeltræk	2-28
Belysning	2-29
Komponentlayout	2-29
Kabler	2-32
Valg af kabler	2-32
Signalklasser*	2-32
Regler for kabelføring	2-36
De 10 bud	2-36
Kabelføring	2-44
Kabelkanaler	2-44
Tilslutning til kabinetter	2-45
Placering af kabler	2-46
Tilslutning af ender	2-48
Metoder til kabelføring, der ikke kan anbefales	2-50
Anbefalede metoder til kabelføring	2-51
Tilslutninger	2-52
Tilslutningers type og længde	2-52
Etablering af en tilslutning	2-53
Faldgrubber, der bør undgås	2-54
Tilslutning af skærm	2-55
Filtre	2-56
Layout i kabinet	2-56
Montering af filtre	2-58
Tilslutning af filtre	2-59
Dæmpning af transienter	2-60
Forskellige komponenter til dæmpning af transienter over en selvinduktion (spole)	2-60
Ferritkerner	2-62

Indhold

KAPITEL 3

(EMC) STANDARDER, FACILITETER OG TESTS

Standarder	3-2
Indledning	3-2
Der findes 3 typer (EMC) standarder	3-2
Standardiseringsorganisationer	3-3
CISPR publikationer	3-3
Eksempler på CISPR publikationer, der kan anvendes på vores produkter	3-4
IEC publikationer	3-5
Eksempler på IEC 1000-X-X publikationer, der er relevante for Schneider produkter	3-6
CENELEC publikationer	3-8
(EMC) faciliteter og tests	3-9

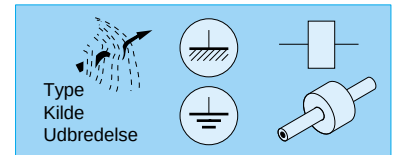
Indeks bagest i bogen

Indhold

Indhold



KAPITEL 1

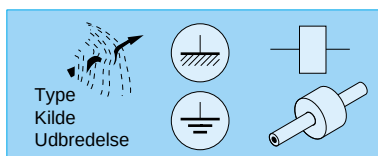


PRINCIPPER FOR ELEKTROMAGNETISK KOMPATIBILITET

1

2

3



Forord

1



2



De læsere, der er fortrolige med konventionel elektrisk konstruktion, skal være opmærksom på, at nærværende kapitel beskæftiger sig med begreber og principper, der har relation til højfrekvens (HF) spændinger og strømme.

3

Disse betyder en væsentlig ændring i elektriske installationers karakteristika og derfor også i deres funktion og virkning.

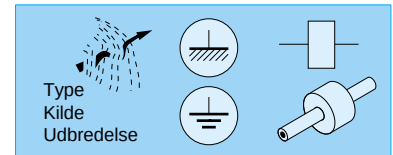


At «mestre» disse principper er vigtigt for at forstå og først og fremmest løse de problemer, der vil forekomme i praksis.

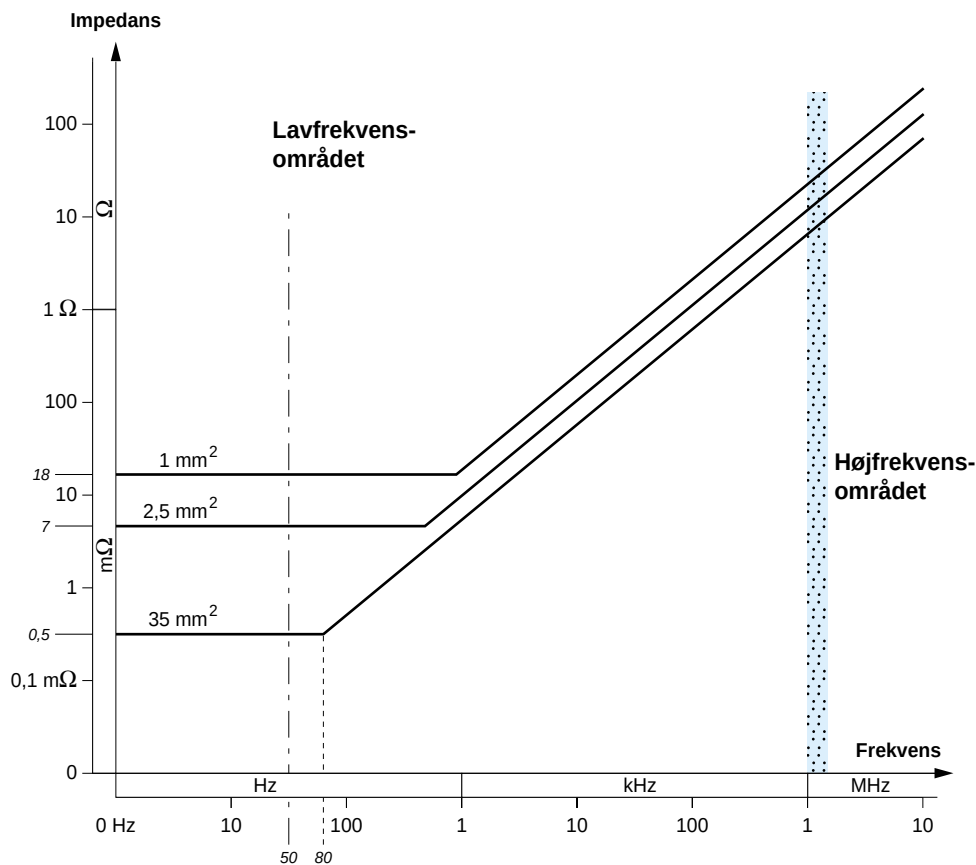
Dette illustreres af følgende eksempler.



Forord



En elektrisk leders reaktion ved forskellige frekvenser



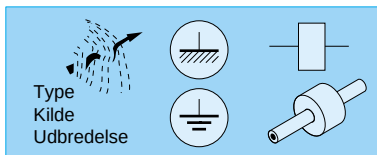
Typiske impedansværdier for en elektrisk leder med længden $L = 1$ m

- Bemærk, at kablets impedans vokser meget hurtigt med stigning i frekvensen for det signal, der udbredes i det. (Impedans Ω) $Z = K$ (konstant) $\times f$ (frekvens Hz)
- For lavfrekvens (LF) signaler (f.eks. 50-60 Hz)

==> Kablets impedans er af forholdsvis lille betydning
==> Kablets tværsnitsareal er af stor betydning

- For højfrekvens (HF) signaler ($f > 5$ MHz)

==> Kablets impedans er afgørende
==> Kablets længde er afgørende
==> Kablets tværsnitsareal er forholdsvis ligegyldigt



Forord

Frekvensafhængighed for en induktans og en kapacitet

1

- $Z = 2\pi Lf$ Ved højfrekvens (HF) bliver et kables **impedans** meget høj.

==> Lederes «længde» får betydning,
 ==> Forvrængning af signalet (amplitude, frekvensetc.).

2

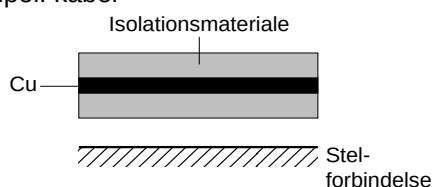
- $Z = \frac{1}{2\pi Cf}$ Ved højfrekvens (HF) bliver en snyltekapacitets **impedans** meget lille.

==> Der opstår kapacitiv kobling,
 ==> Der løber lækstrømme i installationen,
 ==> Det ønskede signal bliver let udsat for interferens.

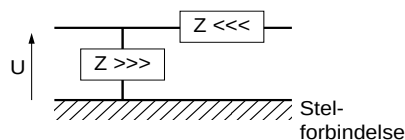
3

$Z = \text{Impedans}$ $L = \text{Induktans}$ $C = \text{Kapacitet}$ $f = \text{Signalets frekvens}$

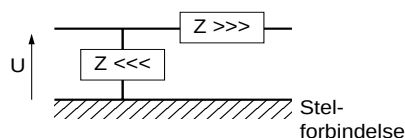
Eksempel: kabel



Tilsvarende lavfrekvens (LF) kredsløbsdiagram

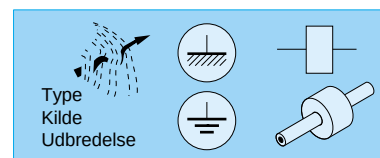


Tilsvarende højfrekvens (HF) kredsløbsdiagram



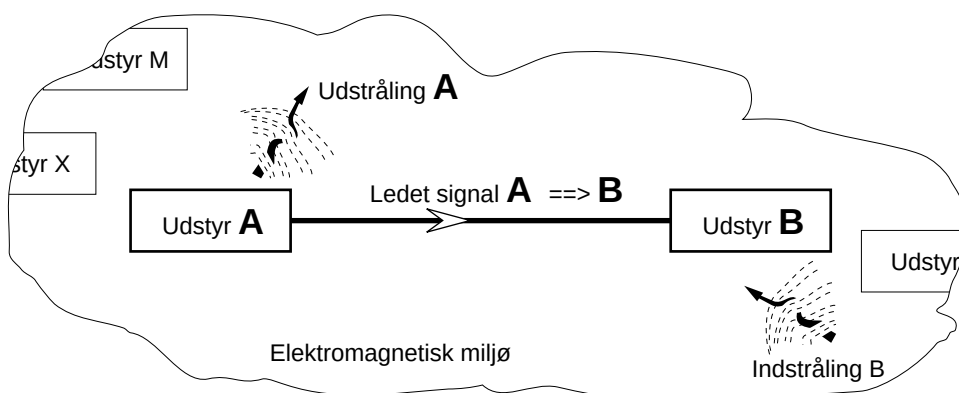


Et systems elektromagnetiske kompatibilitet



Elektromagnetisk kompatibilitet: (EMC)

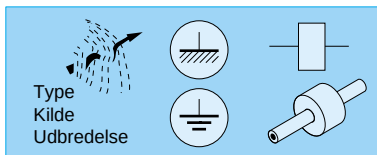
Standarderne definerer elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) som «en enheds, et udstyrs eller et systems evne til at fungere tilfredsstillende i sit elektromagnetiske miljø uden at tilføre uacceptabel forstyrrelse i dette miljø eller andet udstyr».



1

2

3



Et systems elektromagnetiske kompatibilitet

Anvendelsesområde

1

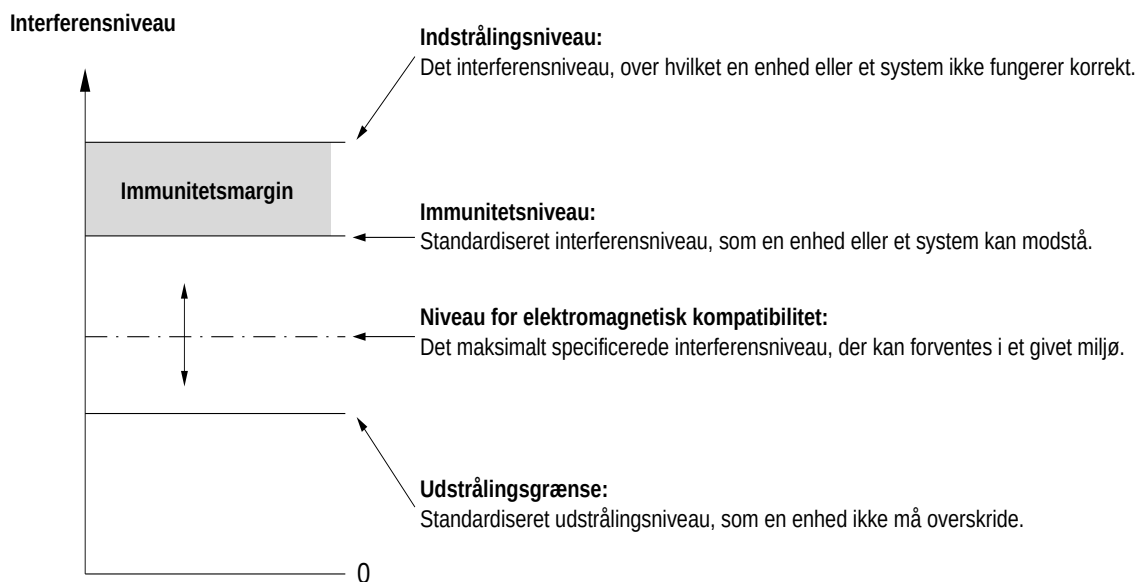
Et sæt udstyr (aktuatorer, motorer, sensorer, etc.), der medvirker til at udføre en defineret funktion, omtales som et «system».

Bemærk, at i elektromagnetisk sammenhæng omfatter systemet alle de komponenter, der interagerer med hinanden, heri medregnes selv afkoblingsenheder til lysnettet.

Elektriske strømforsyninger, forbindelser mellem forskellige udstyrsdele, tilhørende hardware og dens elektriske strømforsyninger indgår i systemet.

2

3

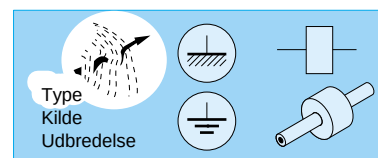


Dette betyder, at:

- Hver enheds immunitetsniveau er således, at enheden ikke forstyrres af sit elektromagnetiske miljø.
- Hver enheds udstråling af interferens skal være så svag, at den ikke påvirker andre enheder, der er placeret i dens elektromagnetiske miljø.



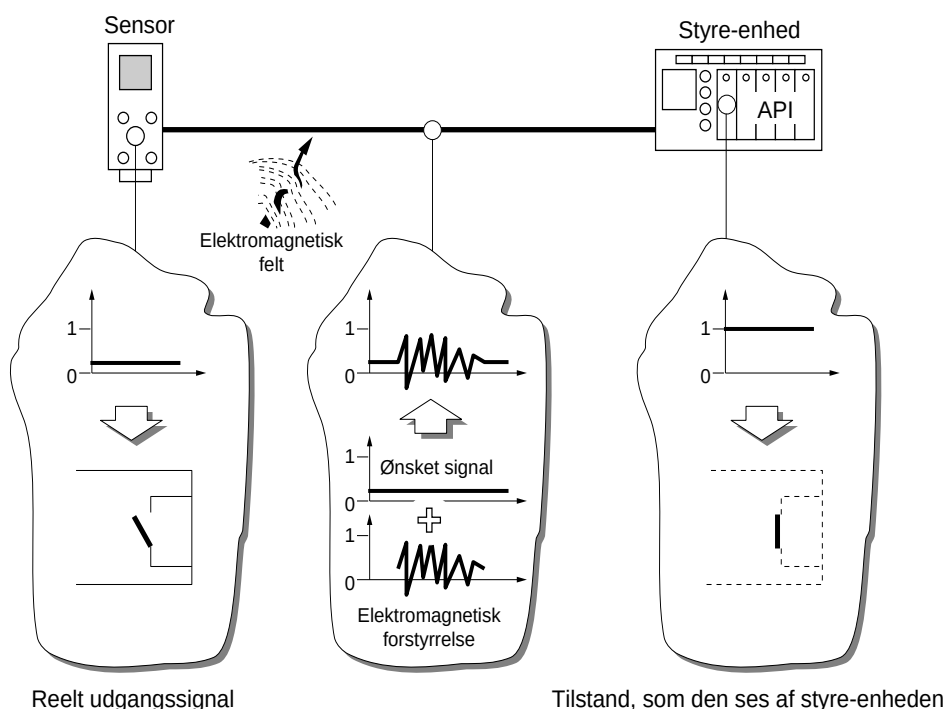
Typer af elektromagnetisk interferens



Definition af en elektromagnetisk forstyrrelse

Ethvert elektromagnetisk fænomen, der er i stand til at forringe ydelsen for en enhed, et udstyr eller et system etc.

En elektromagnetisk forstyrrelse kan være elektromagnetisk støj, et uønsket signal eller en ændring i selve udbredelsesmediet.

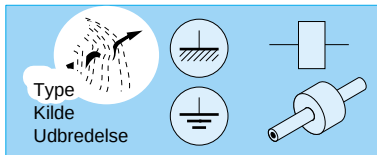


Desuden består en elektromagnetisk forstyrrelse, som betegnelsen også antyder, af et elektrisk felt $\vec{E}$, der er genereret af en potentialeforskel, og en forskel i magnetfelt $\vec{H}$, der skyldes, at der løber en strøm (I) langs en leder.



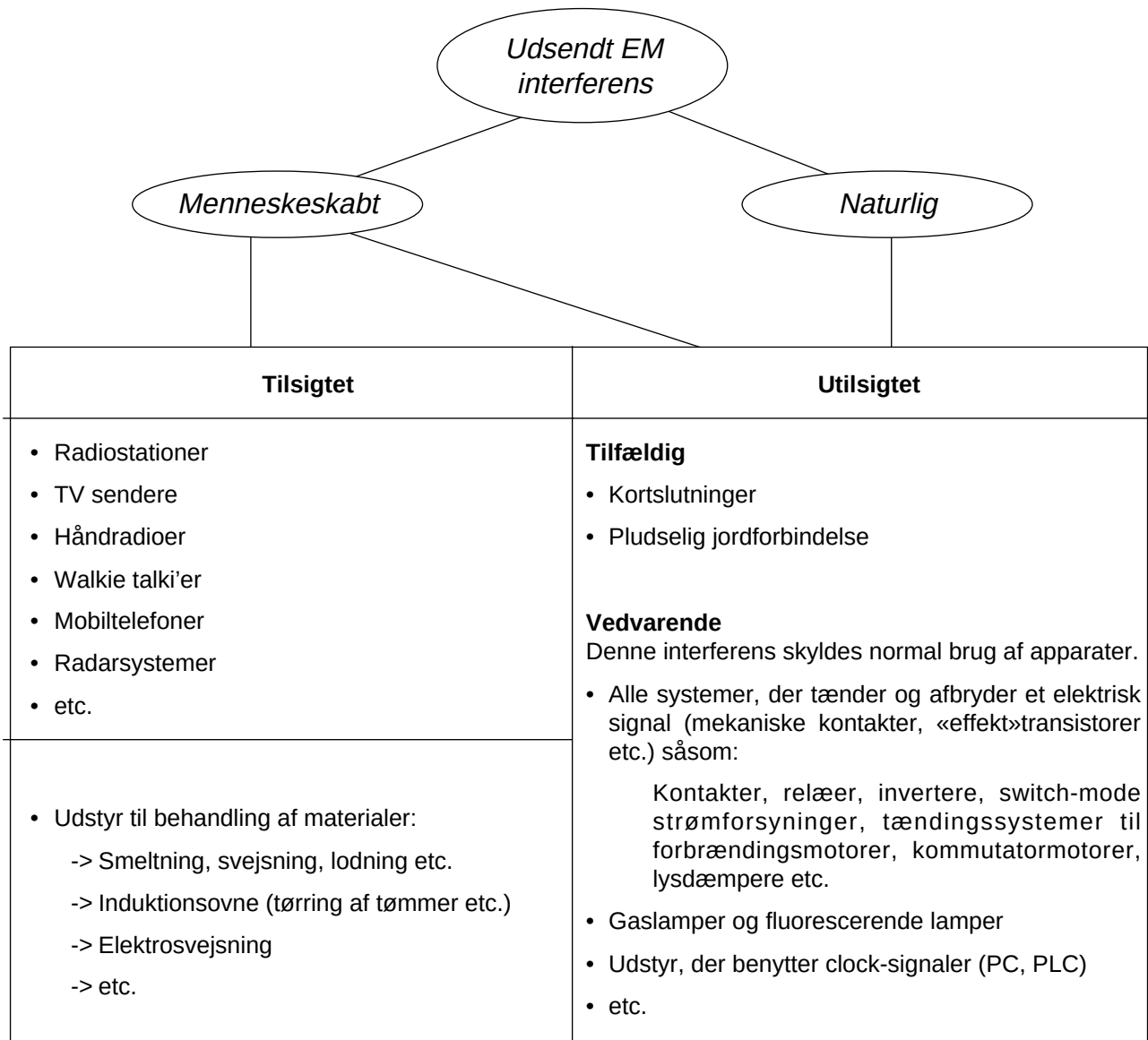
«Uønsket» elektromagnetisk interferens er ganske enkelt et uønsket elektrisk signal, der adderes til det ønskede signal.

Dette uønskede signal udbredes ved ledning i en leder og ved udstråling i luft etc.



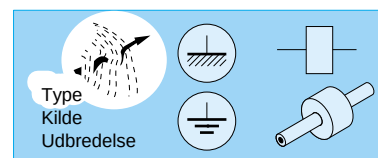
Typer af elektromagnetisk interferens

Kilder til udsendt elektromagnetisk interferens





Typer af elektromagnetisk interferens



Lavfrekvens (LF) interferens

Frekvensområde: $0 \lesssim \text{frekvens} \lesssim 1 \text{ til } 5 \text{ MHz}$.

Lavfrekvens (LF) interferens forekommer i installationer hovedsagligt som LEDET interferens (kabler etc.)

Varighed: Ofte lang varighed (adskillige ms)

I nogle tilfælde kan dette fænomen forekomme konstant (harmonisk).

Energi: Den ledede energi kan være stor og resultere i forkert funktion for eller endda ødelæggelse af tilsluttede enheder.

$$(\text{Energi}) W_{(J)} = U_{(V)} I_{(A)} t \text{ (s)}$$

1

2

3

Højfrekvens (HF) interferens

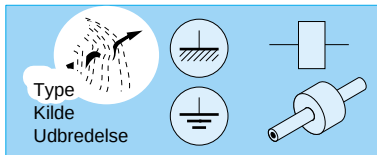
Frekvensområde: Frekvens $\geq 30 \text{ MHz}$.

Højfrekvens (HF) interferens forekommer i installationer hovedsagligt som UDSTRÅLET interferens (luft etc.)

Varighed: HF pulser. Pulsers stigetid $< 10 \text{ ns}$.

Dette fænomen kan være kontinuert (ensrettet, clock-signaler etc.).

Energi: Den udstrålede energi er som regel lille og medfører fejlfunktion for nært placeret udstyr.



Typer af elektromagnetisk interferens

Harmoniske

1

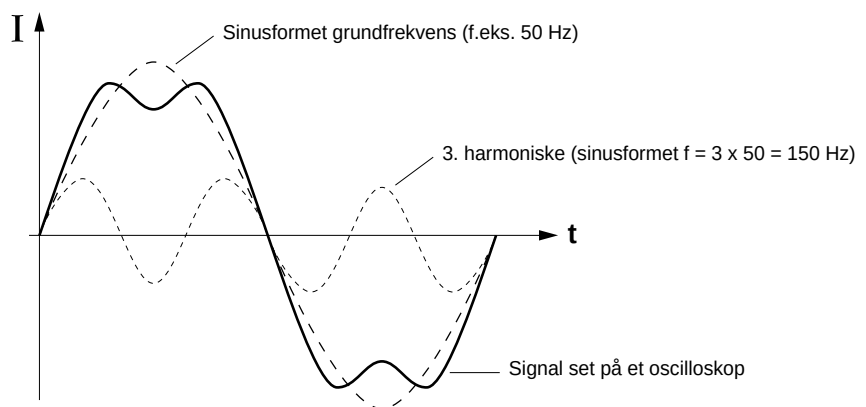
Et periodisk signal af enhver form kan matematisk opløses i en række sinusformede signaler med forskellig amplitude og fase, for hvilke frekvensen er et helt multiplum af grundfrekvensen.

grundfrekvens: et signals laveste brugbare frekvens.

Nedbrydning af et signal i FOURIER serier.

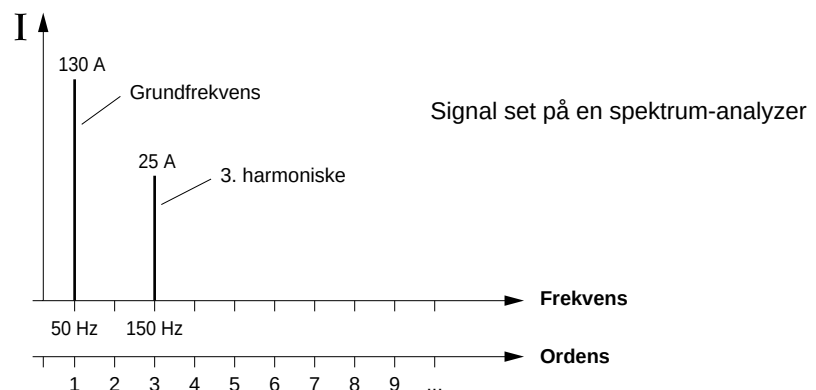
2

**Time
representation**



3

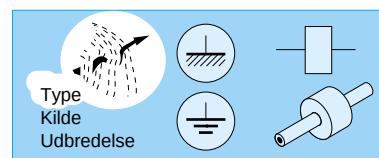
**Spectral
representation**



Harmonisk interferens er af typen lavfrekvens (LF) interferens og er derfor hovedsagligt «ledet».



Typer af elektromagnetisk interferens



Harmonisk forvrængning

Procenten for den totale harmoniske forvrængning benyttes til at beregne ethvert signals deformation i forhold til det sinusformede grundsignal (1. ordens signal).

$$\text{TDH \%} = \sqrt{\sum_2^n \left(\frac{H_i}{H_1} \right)^2}$$

H_i = amplituden for harmoniske af pågældende orden

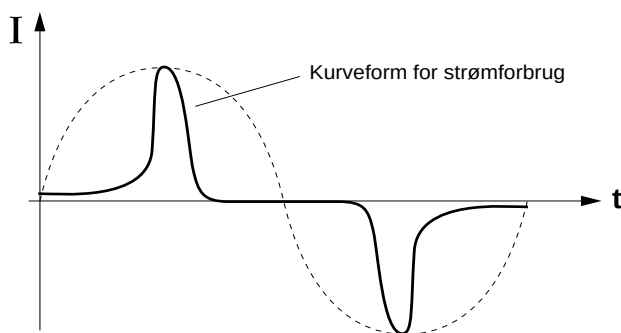
H_1 = amplituden for grundfrekvensen (1. ordens signal)

Dette kan reduceres til: $\text{TDH} \approx \frac{\Sigma \text{Amplituden for alle harmoniske af orden } > 2}{\text{Amplituden for grundfrekvens eller 1. ordens harmoniske}}$

Harmoniske af højere orden end 40 har meget ringe betydning for harmonisk forvrængning (men ikke for installationer).

Oprindelse

Alle ikke-lineære belastninger (fluorescerende lys, ensrettere etc.) har et ikke-sinusformet strømforbrug og genererer derfor harmoniske strømme.

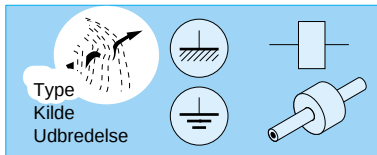


En fluorescerende lampes strømforbrug

Kraftkilden konverterer disse harmoniske strømme til harmoniske spændinger gennem sin indre impedans (Z).

$$U = ZI$$

Det er denne lysnetbårne harmoniske spænding, der kan skabe interferens i andre belastninger.



Typer af elektromagnetisk interferens

Harmoniske (fortsat)

1

De væsentlige kilder til harmoniske

- Invertere, choppers,
- ensretterbroer: elektrolyse, svejsemaskiner etc.
- lysbueovne,
- induktionsovne,
- elektroniske startere,
- elektroniske hastighedsregulatorer til jævnstrømsmotorer,
- frekvenskonvertere til induktions- og synkronmotorer,
- husholdningsapparater såsom TV apparater, gaslamper, lysstofrør etc.,
- magnetiske kredsløb, der kan gå i mætning (transformere etc.).

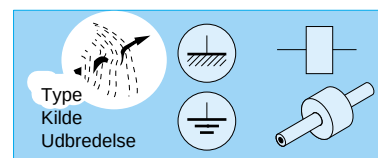
2

3

Det er klart, at efterhånden som disse typer belastninger bliver mere og mere udbredt, og den «effekt», som de håndterer, stiger, vil den tilhørende interferens få større betydning.



Typer af elektromagnetisk interferens



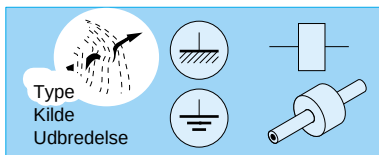
Væsentlige belastninger, der påvirkes af harmoniske

Belastning	Problemer
Synkrone maskiner:	Yderligere temperaturstigninger
Transformere:	Yderligere tab og temperaturstigninger. Risiko for mætning, hvis der forekommer lige-ordens harmoniske.
Asynkrone maskiner:	Yderligere temperaturstigninger, specielt i kortslutningsmotorer eller motorer med lille rotor-impedans samt pulserende momenter
Kabler:	Øgede ohmske og dielektriske tab
Computere:	Funktionsproblemer på grund af pulserende momenter i for eksempel drivmotorer
«Power» elektronik:	Problemer med kurveform: switching, synkronisering etc.
Kondensatorer:	Temperaturstigninger, slid, uønsket kredsløbsresonans etc.
Regulatorer, relæer, tællere:	Forkerte målinger, utidig aktivering, forringet nøjagtighed etc.

1

2

3



Typer af elektromagnetisk interferens

Transienter

1

Begrebet «transient» angiver pulsaftige spidser, der opsamles af elektriske kredsløb og forekommer i ledet form på strømforsyningsledninger og på styre- og signalindgange i elektrisk eller elektronisk udstyr.

2

Karakteristika vedr. standardiserede transienter (IEC 1000-4-4 type)

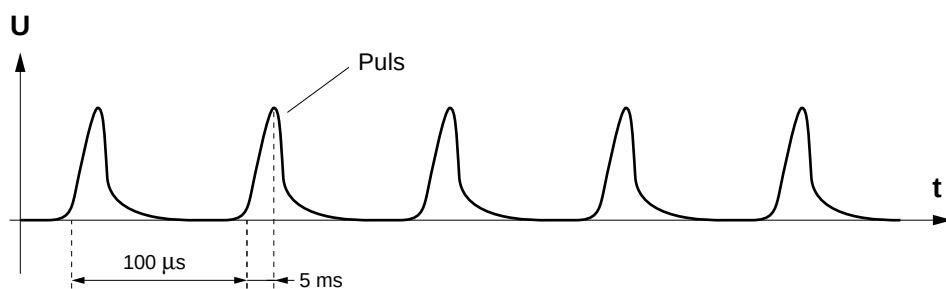
De væsentlige egenskaber ved disse forstyrrelser er følgende:

- Pulserne har meget kort stigetid $\approx 5 \text{ ns}$
- Pulslængde $\approx 50 \text{ ns}$
- Repetitivt fænomen: puls-bursts på cirka $\approx 15 \text{ ms}$
- Repetitionsfrekvens: successive bursts med et interval på $\approx 300 \text{ ms}$
- Pulser med lav energi $\approx 1 \cdot 10^{-3} \text{ joule}$
- Stor amplitude for overspænding $\leq 4 \text{ kV}$

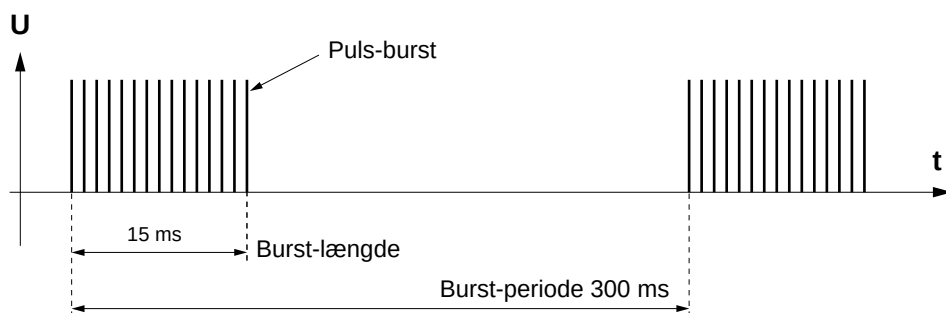
3

Eksempel:

Tidsmæssig repræsentation

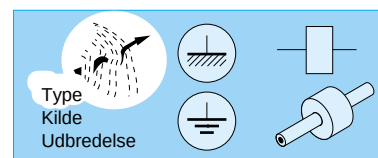


Repetitionsperioden afhænger af testspændingens niveau

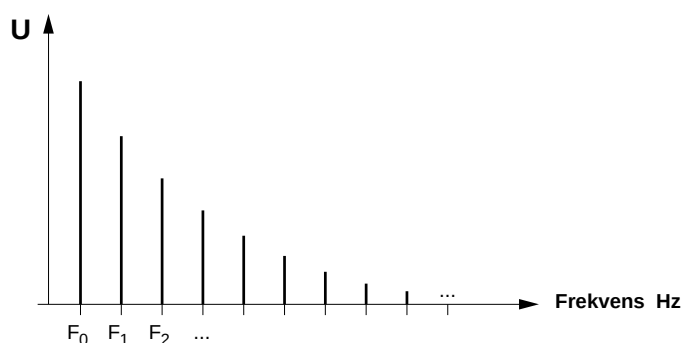




Typer af elektromagnetisk interferens



Spektral repræsentation



Afhængigt af den aktuelle transients natur skal spektret være bredbåndet (0 til 100 MHz eller mere).

1

2

3

Oprindelse

Transienter stammer fra hurtig stillingsændring for mekaniske og især elektroniske «omskiftere».

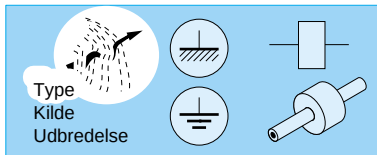
Når en omskifter arbejder ændres spændingen over dens terminaler meget hurtigt fra dens mærkeværdi til nul og omvendt. Dette frembringer hurtige, store spændingsvariationer (dv/dt), der kan udbredes langs kabler.

Væsentlige kilder

☞ Lyn, jordingsfejl, kommunikationsfejl i induktive kredsløb (kontakterspoler, magnetventiler etc.)

☞ Transienter er en højfrekvent (HF) forstyrrelsestype.

De udbredes langs ledere, men kan let springe til andre ledere via udstråling.



Typen af elektromagnetisk interferens

Elektrostatisk udladning (ESD)

Begrebet «elektrostatisk udladning» betegner impulsive strømme, der løber gennem ethvert objekt, der er forbundet til jord, hvis det kommer i (direkte eller indirekte) kontakt med et andet objekt, der har et andet potentiale i forhold til jord.

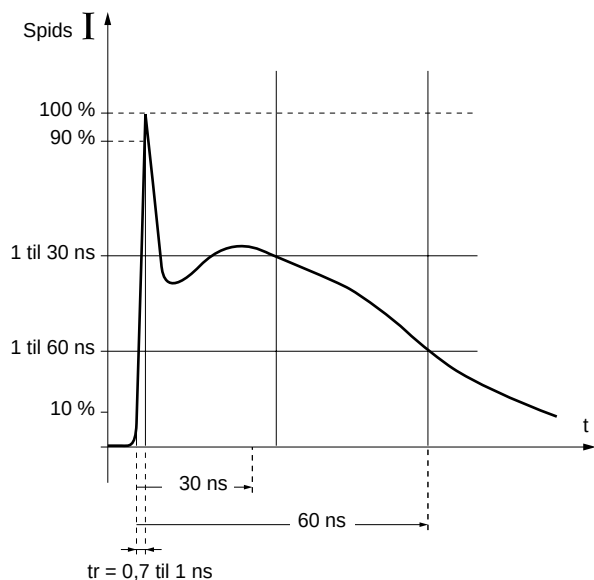
Karakteristika vedr. standardiserede elektrostatisk udladninger (IEC 1000-4-2 type)

De væsentlige egenskaber ved disse forstyrrelser er følgende:

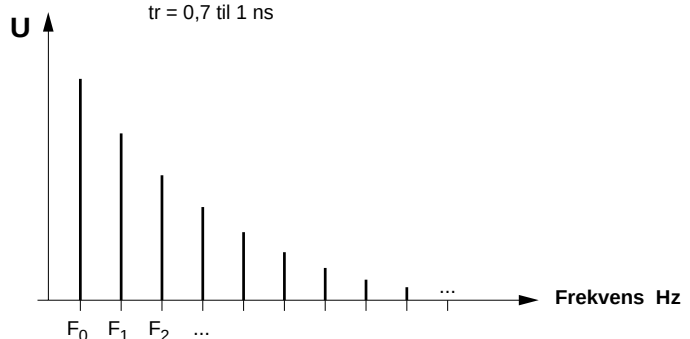
- Pulser med meget kort stigningstid ≈ 1 ns
- Pulslængde ≈ 60 ns
- Fænomenets isolerede forekomst: 1 udladning
- Den meget høje spænding ved udladningens start (2 til 15 kV eller mere)

Eksempel:

Tidsmæssig repræsentation



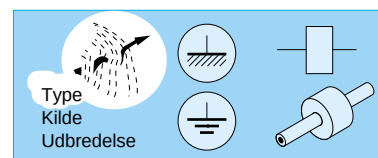
Spektral repræsentation



Bredbåndet spektrum (0-1000 MHz eller mere)



Typer af elektromagnetisk interferens

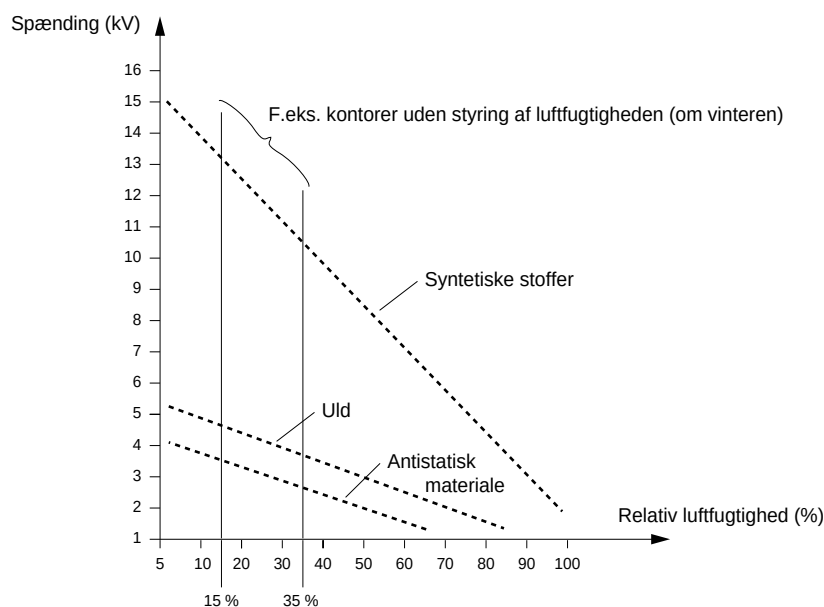


Oprindelse

Elektrostatiske udladninger er resultatet af udveksling af elektroner mellem materialer eller mellem menneskekroppen og materialer. Dette fænomen fremmes af kombinationen af syntetiske materialer (plast, kunststof etc.) og lav luftfugtighed.

Væsentlige kilder

Processen kan være et resultat af, at for eksempel en person opbygger en ladning, når vedkommende går hen over et tæppe (udveksling af elektroner mellem kroppen og stoffet), eller af det tøj, der bæres af en operatør, som sidder på en stol. Der kan også forekomme udladninger mellem en person og et objekt eller mellem elektrostatisk ladede objekter.



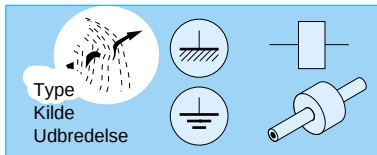
Maksimumværdier for elektrostatiske spændinger, som en operatør kan opbygge

Virkninger

Virkningen af en elektrostatisk udladning fra en operatør til udstyr kan variere fra simpel fejlfunktion i udstyret til ødelæggelse af udstyret.



Forstyrrelser fra elektrostatisk udladning er interferens af højfrekvent (HF) type, som forekommer i ledet form, men som let kan overføres til andre ledere via udstråling.



Typer af elektromagnetisk interferens

Lavspændings (LV) net-interferens

Spænding: fluktuationer, strømsvigt, spændingsfald, bølgespændinger

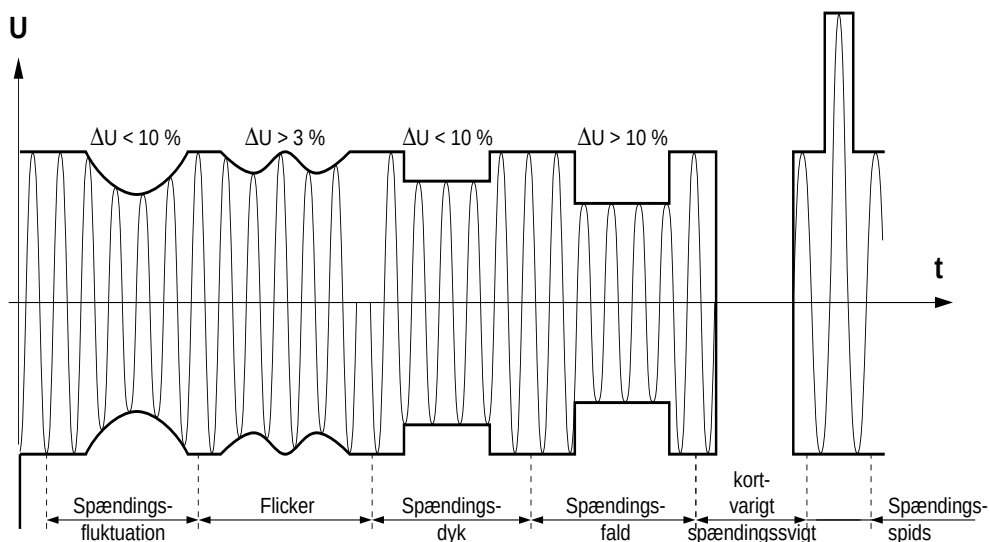
Frekvens: variationer

Kurveform: harmoniske, transienter, bærestrømme

Faser: ubalanceret

Effekt: kortslutninger, overbelastninger (påvirkning af spænding)

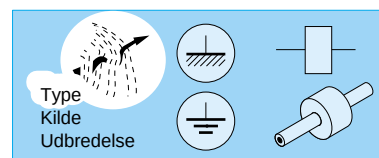
Det er de væsentligste lavfrekvente (LF) forstyrrelsestyper.



Eksempler på lavspændings (LV) net-interferens



Typer af elektromagnetisk interferens

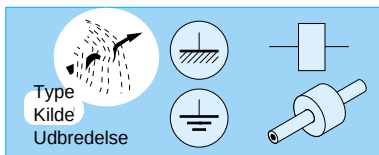


Almindelig betegnelse	Variationens amplitude	Fejlens varighed	Oprindelse	Konsekvenser
Spændingsfluktuation	$\Delta U < 10\%$ (langsom) CEI 38 IEC 1000-3-3 IEC 1000-3-5		- Lysbueovne - Svejseapparater - Store belastninger, der starter ofte (kompressorer, elevatorer etc.)	Ingen indflydelse på udstyr
Flimmer	$\Delta U > 3\%$		Ind- og udkobling af store belastninger (start af store motorer, elektriske kedler, elektriske ovne etc.)	Belysning flimrer
Spændingsbølge	$\Delta U < 10\%$ (hurtig)			
Spændingsfald	$10\% \leq \Delta U \leq 100$ IEC 1000-2-2	10 ... 500 ms Strømsvigt og spændingsfald: Impulsiv = < 10 ms Kort = 10 ms til 300 ms	Opstart (stødstrøm In 8 til 20 A): - Store motorer og «on-the-fly genstart» - Store transformatorer - Store kondensatorer ved start af netværk Kortslutninger i fordelcentraler (blæst, storm, fejl hos nabo) (strømsvigt på grund af beskyttelseskredsløb med genindkobling)	- Højhastighedsrelæer falder ud; kan skabe alvorlige problemer i processtyring - Manglende strømforsyning (hvis DU > 30%) - Sørg for tilstrækkelig immunitet, især for kontrollere, sensorer etc. - Asynkrone motorer «glider»
Kortvarigt strømsvigt	$\Delta U = 100\%$	Kort: 10 ms à 1 mn Lang: 0,3 s à 1 mn Permanent: > 1 mn	Indkobling (stødstrøm In 8 til 20 A): - Store motorer og «on-the-fly genstart» - Store transformatorer - Store kondensatorer ved start af netværk, hvis $t \leq 10$ ms --> transientfænomen	Manglende strømforsyning
Spændingsspids	$\Delta U > 10\%$	Impulsiv	- Uheld (fejl ved tilslutning) - MV system	- Ødelæggelse af elektroniske dele - Skal absolut tages med i beregning ved design og implementering af elektroniske apparater - Normalt ingen betydning for elektrisk udstyr

1

2

3



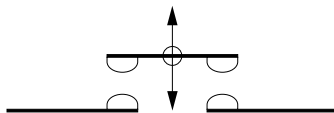
Kilder til elektromagnetisk interferens

Ind-/udkobling af induktive belastninger vha. tørre kontakter

Switching-enheder med tørre kontakter

1

Dette begreb dækker alle enheder, der er konstrueret til at slutte eller bryde ét eller flere elektriske kredsløb ved hjælp af kontakter, som kan adskilles.



2

Forstyrrelsers oprindelse

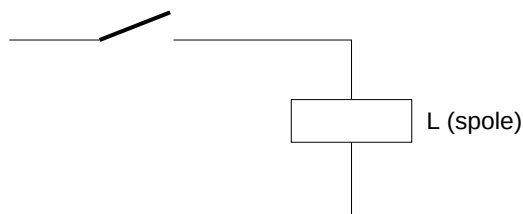
3

Elektriske kontakters funktionsmåde og den forstyrrelse, som de genererer, afhænger af den styrede belastnings natur.

Funktion i forbindelse med en ohmsk belastning

Switching af en ohmsk belastning ved hjælp af en tør kontakt genererer ingen eller kun lille forstyrrelse.

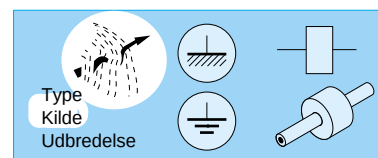
Funktion i forbindelse med en induktiv belastning



Eksempel på induktive belastninger:
Elektromagnet i kontaktor, magnetventil, bremse etc.



Kilder til elektromagnetisk interferens



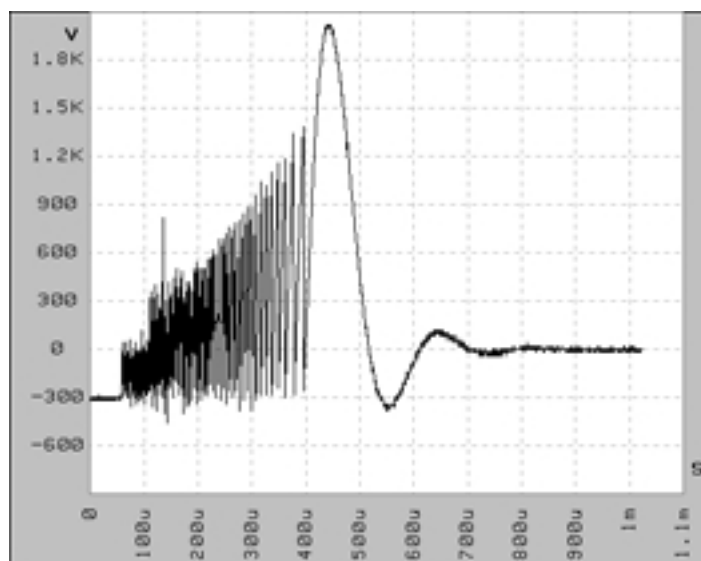
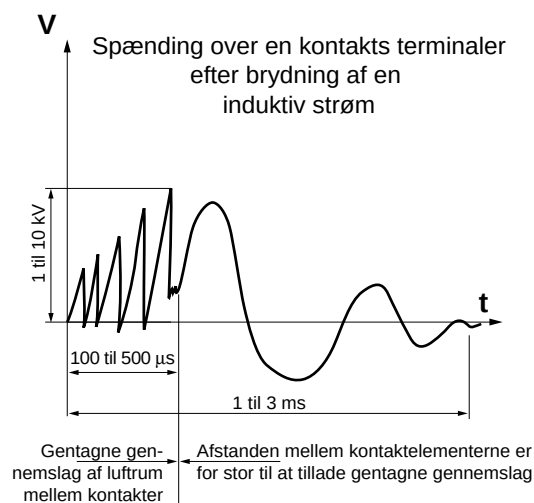
Forhold vedrørende hviletilstande

Under hviletilstande vil en kontakt, der «forsyner» en induktiv belastning, ikke generere nogen forstyrrelse.

Ind- og udkobling af et induktivt kredsløb

Når et induktivt kredsløb brydes, frembringes der følgende over kontaktterminalerne:

- En signifikant overspænding, der resulterer i en række gennemslag af dielektrikum, muligvis efterfulgt af lysbuedannelse.
- Dæmpet spændingssving ved den naturlige frekvens for det kredsløb, der består af den induktive belastning og dens styrelinje.



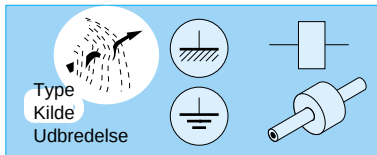
Kontaktor-afskæring, 9 A ~ uden begrænsning af spidser

Anvendelse i effektkredsløb

Aktivering af omskifttere, kontaktorer, afbrydere etc. i effektkredsløb genererer transientforstyrrelser.

Eksempel: slutning, når enheden er forbundet til kondensatorer (effektfaktor-batteri), afbryderprel ved kortslutning etc.

På trods af de ind-/udkoblede strømmes amplitude giver fænomener, der skyldes sådanne handlinger, ofte ringe interferens. De involverede energimængder er store, men de karakteriseres af bløde kurveformer (filter-effekt fra kabler, belastningernes høje tidskonstanter etc.).



Kilder til elektromagnetisk interferens

Udsendte forstyrrelser

Spændingsbølger varierer fra 1 til 10 kV og bliver større desto hurtigere kontakten brydes. De afhænger af den energi, der er lagret i det styrede kredsløb.

Eksempel: 50 mJ for en lille AC kontaktor
0.2 J for en lille DC kontaktor
10 J for en stor DC kontaktor

Frekvensspektret for udsendte forstyrrelser (gennemslagskurve-forkant) ligger fra nogle kilohertz (kHz) til adskillige megahertz (MHz).

1

Virkninger for installationer

Disse forstyrrelser har ingen virkning på konventionelt elektrisk udstyr.

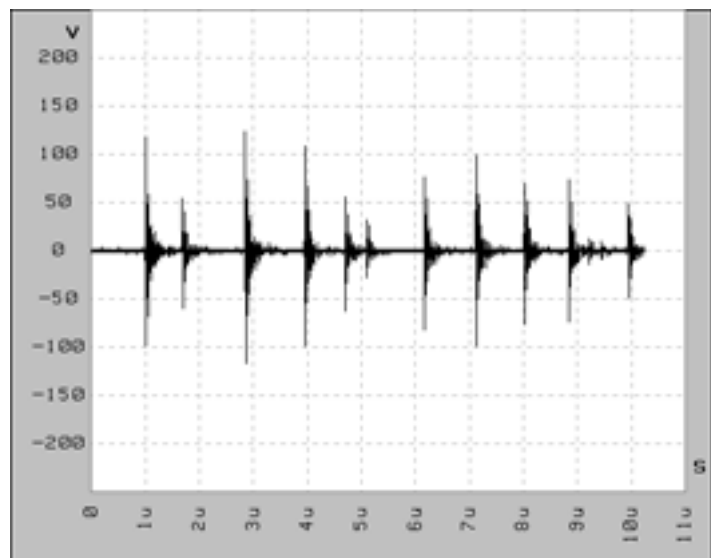
De kan medføre interferens i visse elektroniske kredsløb:

3

I ledet form

En række transienter, der påtrykkes forsyningsstrømmen. Dette kan medføre uheldig udløsning af thyristorer, triac'er etc. og switching af eller beskadigelse af følsomme indgange.

Transienter på nettet som følge af åbning af 9A kontaktor



I udstrålet form

Disse højfrekvente (HF) forstyrrelser kan, når de udstråles, give interferens i adskilte nabokredsløb (kabler i samme kabelkanal, printbaner på printkort etc.). Endelig kan de give interferens i telekommunikationsudstyr (tv, radio, målekredsløb etc.) i nærheden.

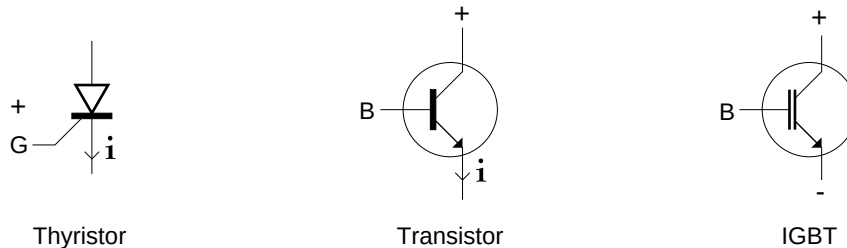


Kilder til elektromagnetisk interferens



Ind-/udkobling af induktive belastninger ved hjælp af halvledere

Dette begreb omfatter alle elektroniske komponenter, der er konstrueret til at slutte og/eller bryde strøm ved hjælp af en halvleder i et elektrisk kredsløb.



IGBT = Insulated **G**ate **B**ipolar **T**ransistor

I nogle henseender fungerer disse som ekstremt hurtige «omskiftere», der vil være «brudt» eller «sluttet» afhængigt af den referencevariabel, der benyttes til at styre omskifteren; nemlig base (B) eller gate (G), afhængigt af komponenten.

Typisk ydelse for sådanne komponenter

Typiske værdier	Thyristor	Transistor	IGBT
Isolationskapacitet (maks.)	1,6 kV	1,2 kV	1,2 kV
Maksimal strøm i sluttet tilstand	1,5 kA	500 A (switched)	400 A (switched)
Switch frekvens	3 kHz	5 kHz	10-20 kHz



Kilder til elektromagnetisk interferens

Ind-/udkobling af induktive belastninger ved hjælp af halvledere (fortsat)

1

Et case study

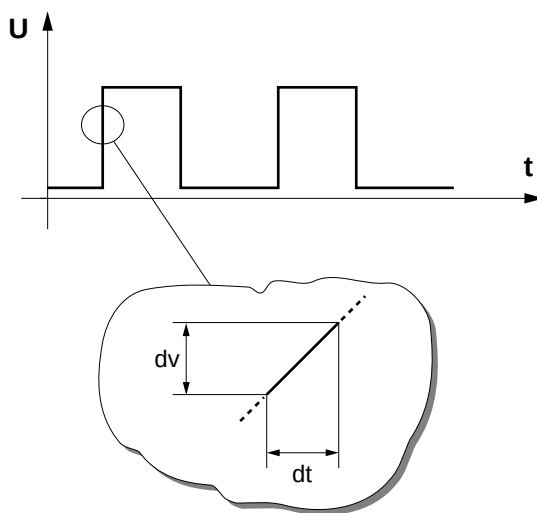
Observeret fænomen

At slutte og bryde et elektrisk kredsløb resulterer i en pludselig variation i spændingen eller strømmen over styrekredsløbets terminaler.

2

Dette resulterer derfor i stejle potentialegradier (dv/dt) over kredsløbets terminaler, hvilket vil frembringe interferens.

3



Udsendte signaler:

Der genereres to typer forstyrrelser:

- Lavfrekvente (LF) harmoniske: 10 kHz ...
- Lav- og højfrekvente (HF) transienter: op til 30 MHz...

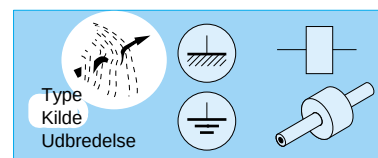
De forekommer i ledet og udstrålet form.

Virkninger

Interferens i følsomt apparatur såsom: målesystemer, radiomodtagere, telefoner, sensorer, regulatorer etc.



Kilder til elektromagnetisk interferens

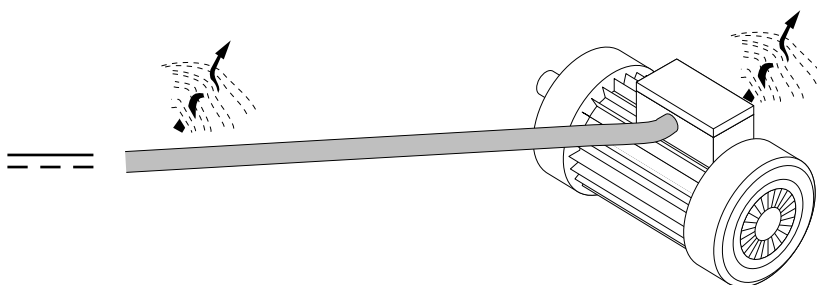


Elektromotorer

Roterende maskiner

Roterende maskiner (elektromotorer) er vigtige kilder til ledet og/eller udstrålet interferens.

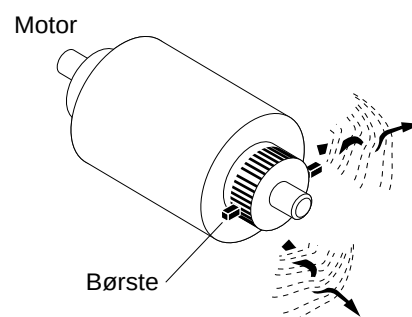
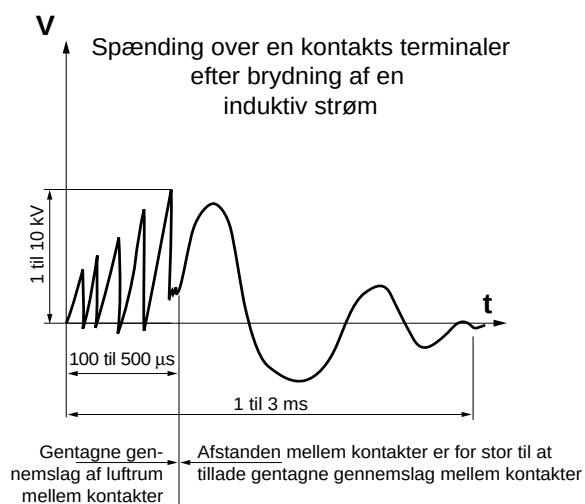
Eksempel: jævnstrømskommutatormotor



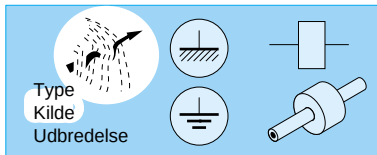
Observerede fænomener

Under normal drift (kontinuerlig aktivering) vil interferensen afhænge af den benyttede motortype.

- Induktionsmotorer (asynkrone etc.) giver relativt ringe interferens.
- Motorer med børster og kommutatorer genererer «transient»-type interferens med stejle kurveflanker (højt dv/dt), der frembringes under børstekommuteringsfasen.



Jævnstrømskommutering



Kilder til elektromagnetisk interferens

Elektromotorer (fortsat)

1

Ikke desto mindre kan asynkrone motorer generere interferens:

- Magnetisk mætning af motorer.

I så fald bliver belastningen ikke-lineær, hvilket frembringer harmoniske.

- Indkobling eller opstart af motor (start).

Den derved frembragte store indkoblingsstrømspids (6 til 10 I nominel) kan frembringe et dyk i strømforsyningsspændingen.

2

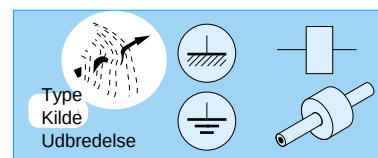
3

Udsendte signaler:

- Lavfrekvente harmoniske
- Interferens i strømforsyning (spændingsdyk etc.)
- Lav- og højfrekvente (HF) transientforstyrrelser, kan være højere end 100 MHz
- Elektrostatisk udladninger, der skyldes opbygning af elektrostatisk energi, forårsaget af friktion mellem forskellige typer materiale..

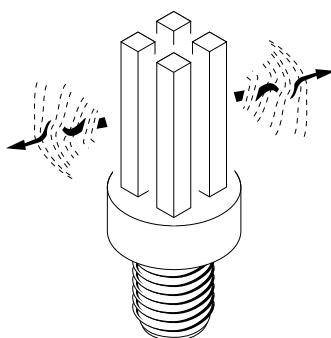


Kilder til elektromagnetisk interferens



Fluorescerende belysning

Dette begreb omfatter alle lyskilder, der arbejder efter princippet med en elektrisk lysbue, der skiftevis tændes og slukkes.



Oprindelse

Selv når fluorescerende lamper er udstyret med kompensering og installeret parvist, er den strøm, som de trækker, ikke sinusformet.

Genereret interferens

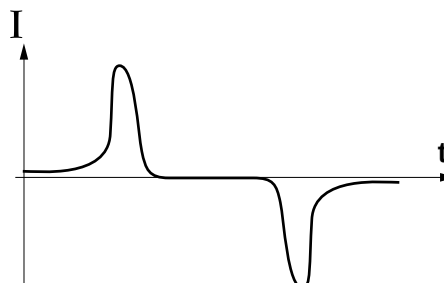
Denne strøm er derfor særligt rig på harmoniske, især 3. harmoniske ($3 \times 50 \text{ Hz}$ eller $3 \times 60 \text{ Hz}$ etc.)

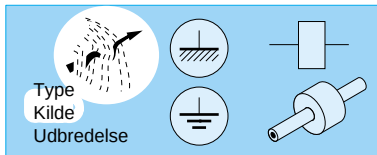
Der genereres interferens over et bredt frekvensområde (0 til 100 kHz eller endda 5 MHz).



Disse forstyrrelser af lavfrekvent (LF) type forekommer i installationen i ledet form.

Kurveform for absorberet strøm





Kilder til elektromagnetisk interferens

Punktsvejsning

1

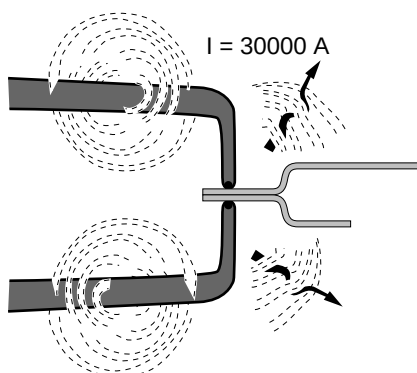
Dette begreb omfatter alle elektriske svejseapparater og loddetænger.

Princip

2

Punktsvejsning foregår ved at sende en stor strøm ($\approx 30.000 \text{ A}$) gennem de to dele, der skal svejses sammen. Temperaturstigningen er tilstrækkelig stor til at opnå svejsning ved sammensmeltning.

3



Genereret interferens

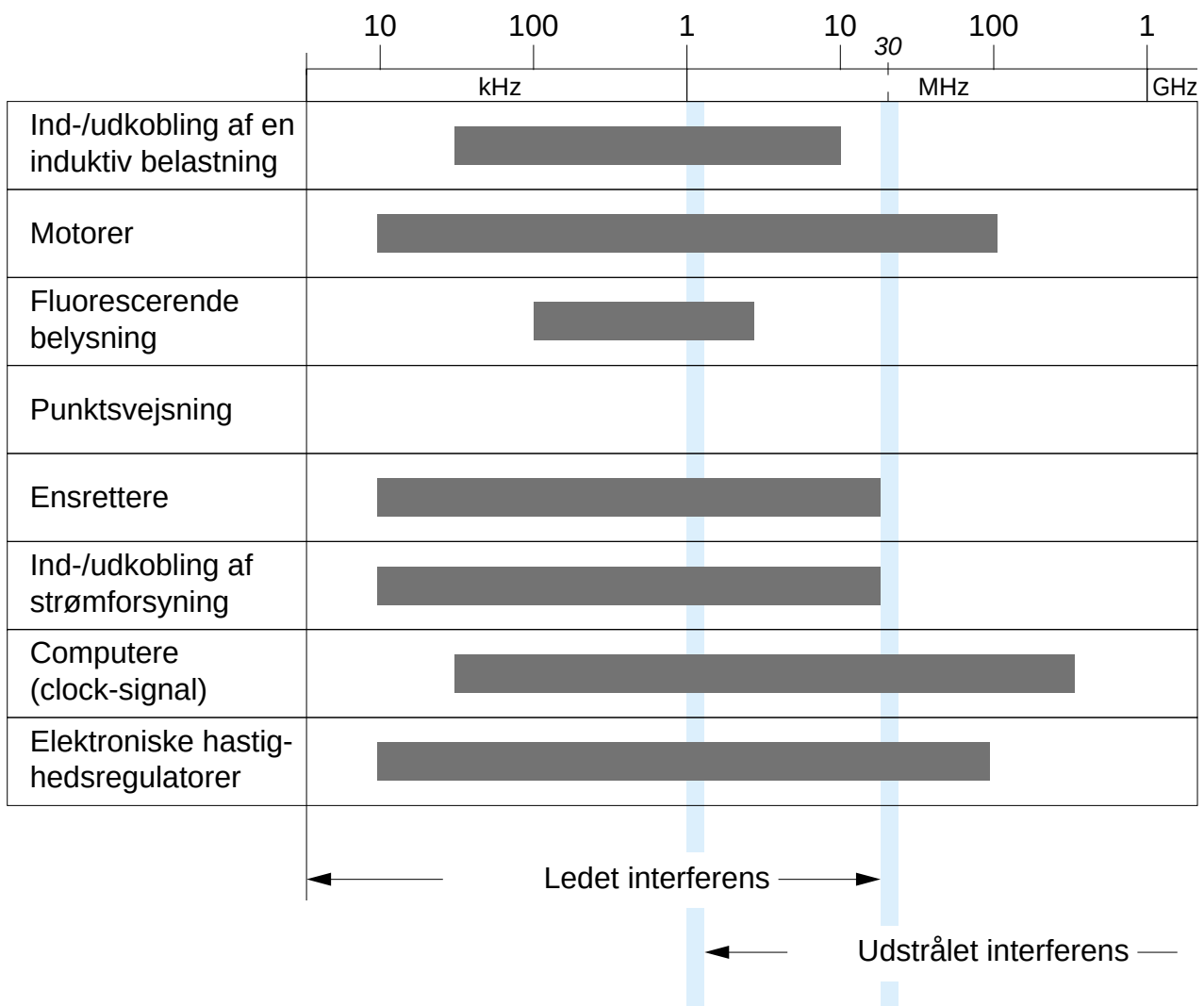
- Harmoniske spændinger 200 ... 20 kHz
- Kraftigt udstrålede magnetfelter, der kan forårsage fejlfunktion i induktive nærhedsafbrydere.



Kilder til elektromagnetisk interferens



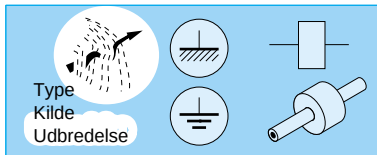
Spektral fordeling for interferens



1

2

3



Udbredelsesformer for elektromagnetisk interferens

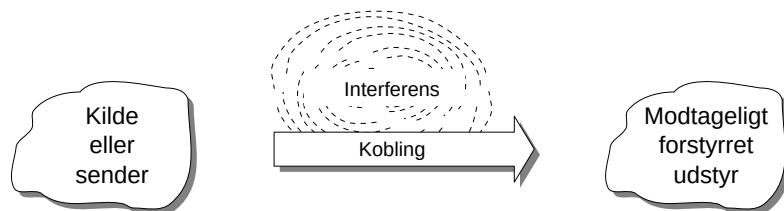
Identificering af udbredelsesformen for interferens er en væsentlig del af korrekt analyse af (EMC) fænomener

Kobling: generel information

1

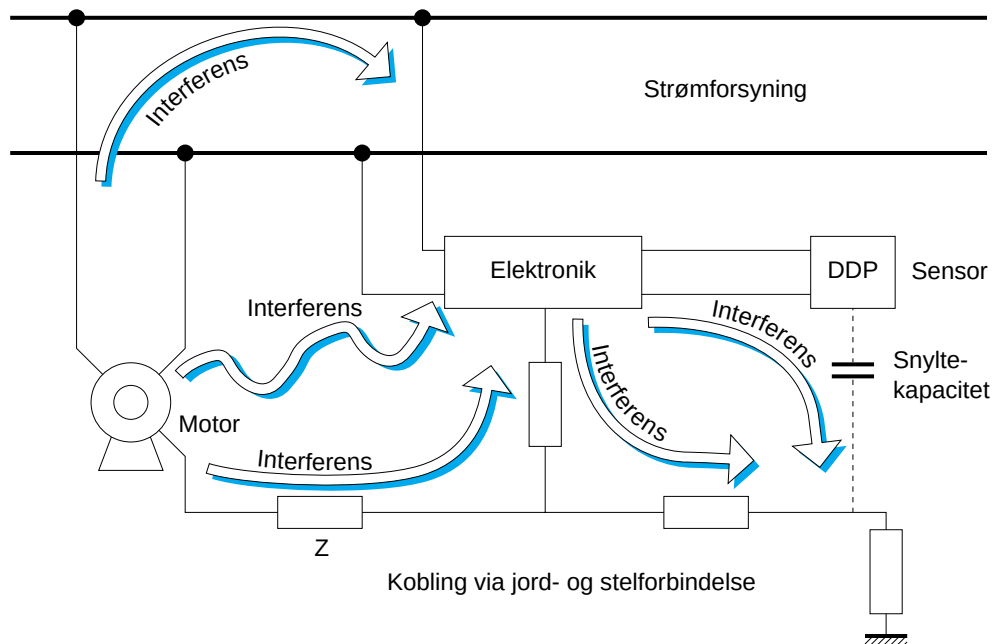
Kobling er den måde, hvorpå EM forstyrrelser påvirker modtageligt udstyr.

2



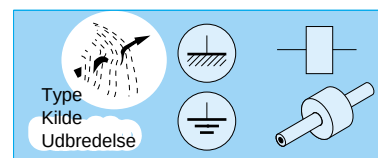
3

Typisk installation:





Udbredelsesformer for elektromagnetisk interferens



1

Når «følsomt» (lavt immunitetsniveau) udstyr forsynes fra en elektrisk strømkilde, der er fælles for flere udstyrskomponenter (distributionssystem etc.), sendes den interferens, der genereres af «effekt» udstyr (motorer, ovne etc.) til det følsomme udstyr via fælles strømforsyningslinjer.

Der findes endnu en type kobling via ledning, som forekommer i stel- og jordkredsløb.

Ledere til stel (printkort etc.) er alle forbundet til installationens stelforbindelse og i sidste ende til jord via «ledere» med en impedans (Z), der ikke er nul.

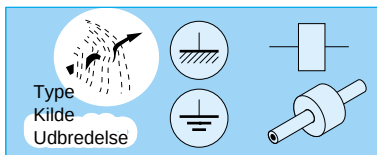
2

Dette resulterer i en potentialeforskel mellem jord- og stelforbindelser såvel som mellem stelforbindelser indbyrdes.

Disse potentialeforskelle medfører, at der løber parasitstrømme i de forskellige kredsløb.

Kobling, der skyldes udstråling af interferens gennem luft, kan også medføre fejlfunktion for udstyr i nærheden.

3



Udbredelsesformer for elektromagnetisk interferens

Galvanisk kobling

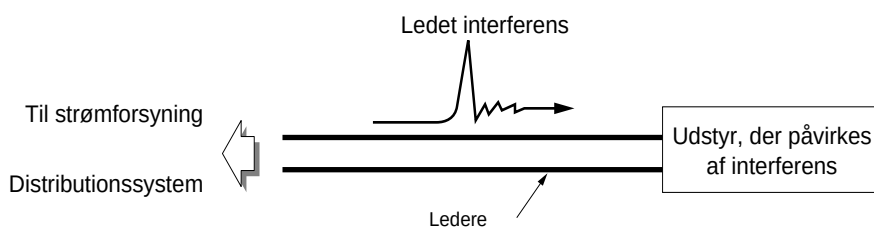
1

Galvanisk kobling bæres af en elektrisk «leder». Galvanisk kobling kan derfor overføres via:

- Interne strømforsyningslinjer eller distributionssystemet,
- Ledninger til styresignaler,
- Linjer til datatransmission, busser etc.
- Jordkabler (PE, PEN etc.),
- Jord,
- Snyltekapacitet etc.

2

3



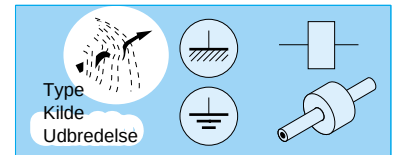
Princip

Et (ønsket eller uønsket) signal kan vandre langs en 2-ledet forbindelse på to måder:

- Differential-mode
- Common-mode

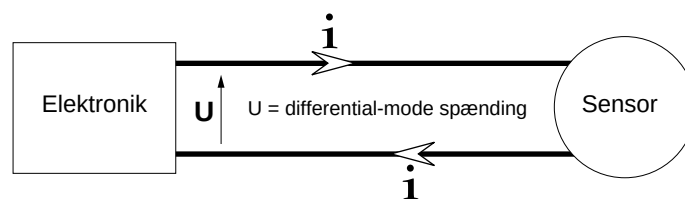


Udbredelsesformer for elektromagnetisk interferens



Differential-mode

Differential-mode (eller serie-mode) strøm udbredes langs en af lederne, løber gennem udstyret og medfører måske - måske ikke - fejlfunktion i det; og returnerer via den anden leder.

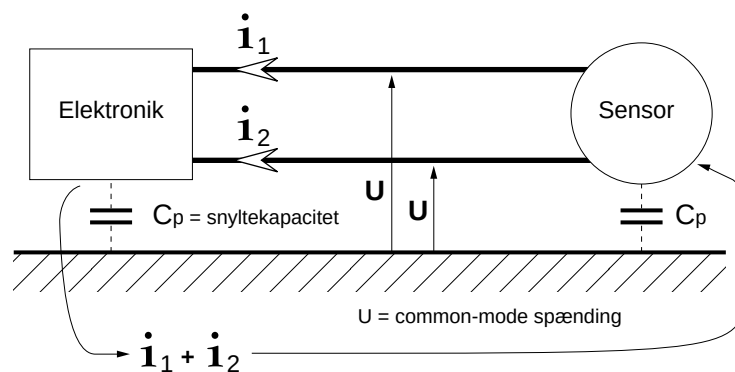


1

2

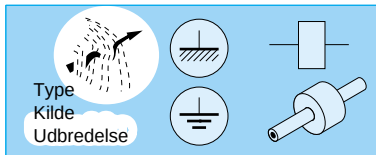
Common-mode

Common-mode strøm vandrer langs alle ledere i samme retning og returnerer via stelforbindelsen gennem snyltekapacitet.



3

Common-mode interferens er det vigtigste problem i (EMC), fordi dens udbredelsesvej er svær at identificere.

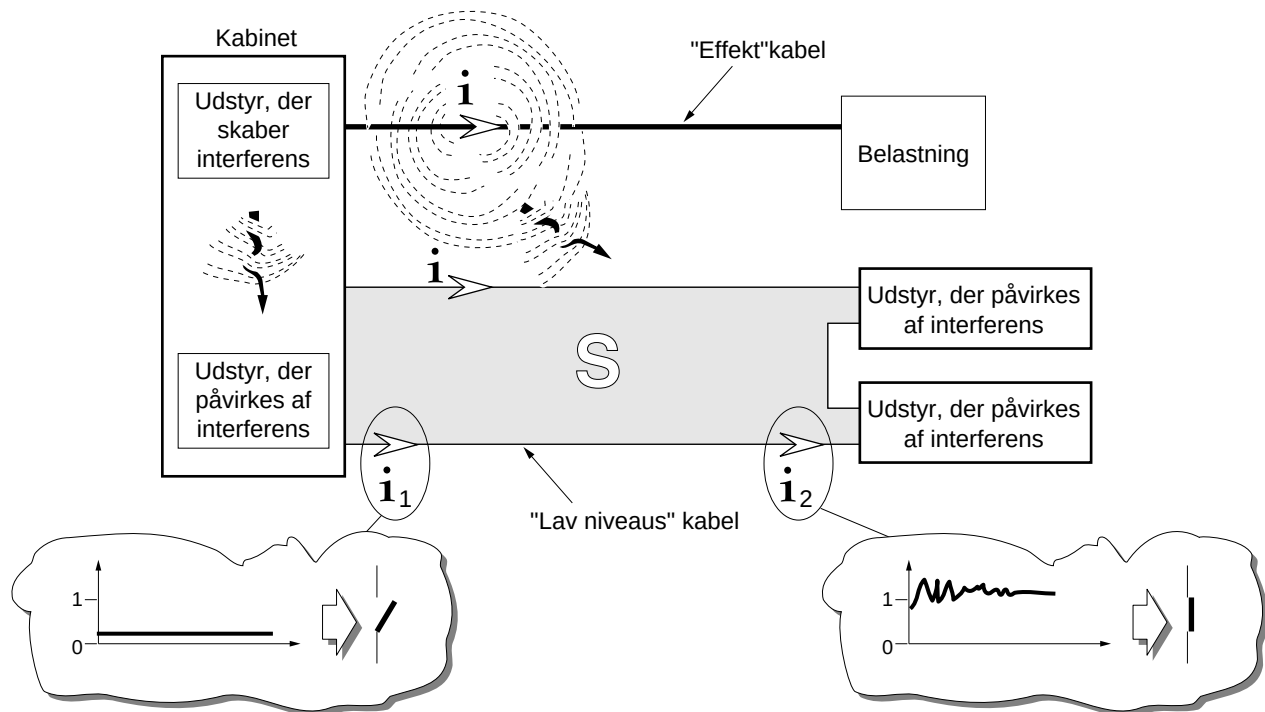


Udbredelsesformer for elektromagnetisk interferens

Kobling via udstråling

Udstrålet interferens vandrer via det omgivende medie (luft etc.).

Typisk tilfælde:



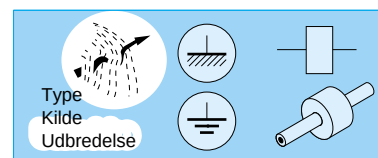
Princip

Afhængigt af den udsendte interferens' natur findes der to typer af mulig kobling:

- Induktiv kobling
- Kapacitiv kobling



Udbredelsesformer for elektromagnetisk interferens

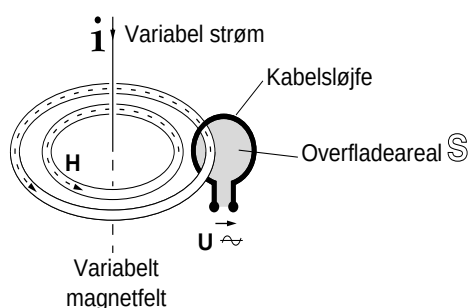


Induktiv kobling

En strøm I , der løber gennem en elektrisk leder, frembringer et magnetfelt, der udstråles omkring lederen. Det er klart, at den strøm, der løber, skal være stor; den genereres almindeligvis af «effekt»kredsløb (som fremfører en stor strøm > 10 A).

Enhver sløjfe, der dannes af en elektrisk leder med et overfladeareal S og er omgivet af et variabelt felt, vil have en vekselspænding U over sine terminaler.

Principdiagram



Kapacitiv kobling

Der findes altid en kapacitet, der er forskellig fra nul, mellem et elektrisk kredsløb (kabel, komponent etc.) og et andet kredsløb i nærheden (leder, stelforbindelse etc.).

Den variable potentialeforskel mellem disse to kredsløb vil forårsage, at der løber en elektrisk strøm fra det ene til det andet gennem isolationsmaterialet (luft etc.), så der derved dannes en kondensator eller en snyltekapacitet.

Denne parasitiske strøm stiger, når frekvensen for spændingen over snyltekapacitetens terminaler stiger.

$$I = \frac{U}{Z}$$

$$Z = \frac{1}{C\omega}$$

$$I = \underbrace{UC}_{k} 2\pi f$$

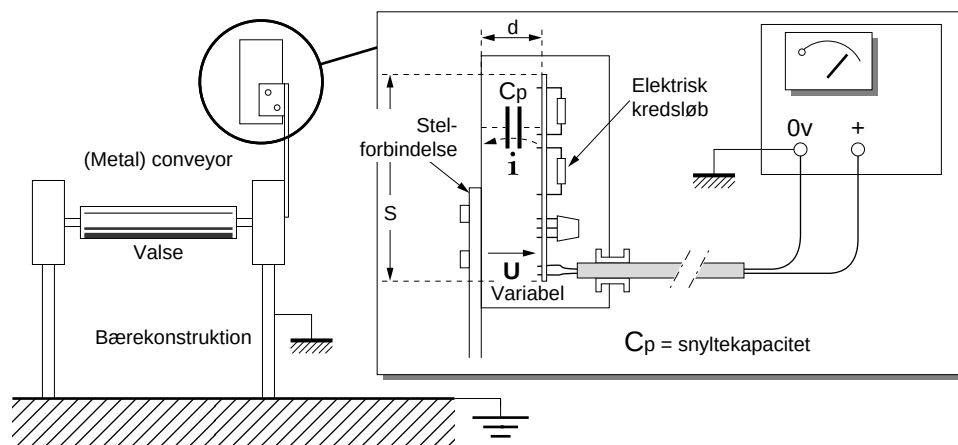
$$I = kf$$



Udbredelsesformer for elektromagnetisk interferens

Kobling via udstråling (fortsat)

Dette fænomen kaldes også «håndkapacitet».



Desuden er værdien af den snyltekapacitet, der dannes af begge komponenter i kredsløbet:

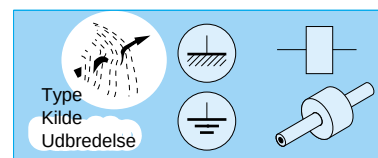
- Proportional med de to kredsløbs modstående overfladearealer (S),
- Omvendt proportional med afstanden mellem de to kredsløb (d).



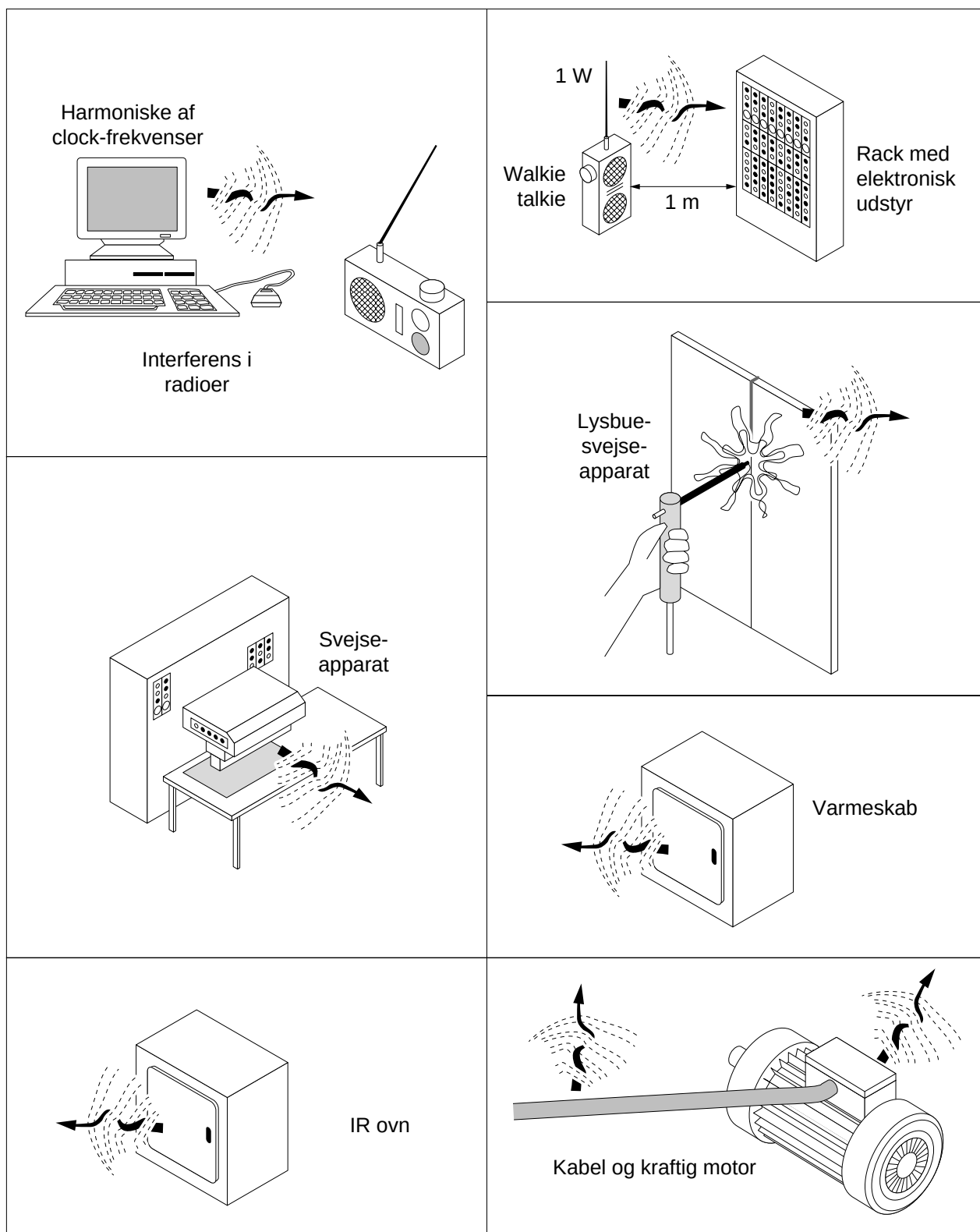
Skønt snyltekapaciteten mellem kredsløb kan være fuldstændigt uden betydning ved 50 Hz, bliver den af væsentlig betydning ved højfrekvens (HF) og kan forårsage fejlfunktion i installationen.



Udbredelsesformer for elektromagnetisk interferens



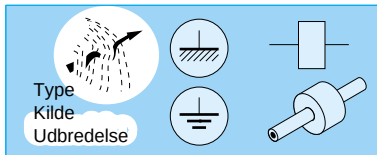
Nogle få kilder til elektromagnetisk interferens:



1

2

3



Udbredelsesformer for elektromagnetisk interferens

Afkobling af interferens

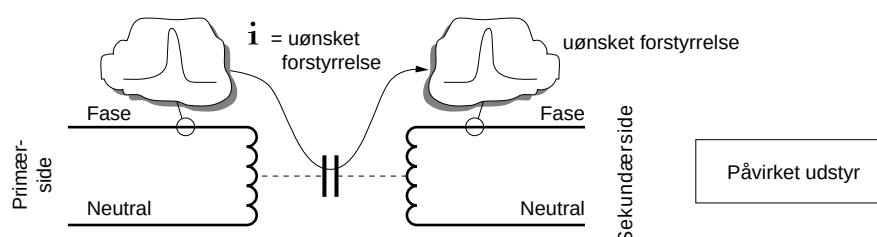
Skilletransformatorer

Transformator	Symbol	Isolation	
		LF	HF
Standard		OK	Ineffektiv
Isoleret		OK	Middel
Dobbeltisoleret		OK	God

Transformatorer

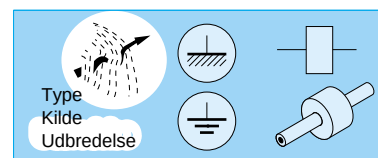
- ☞ Kan benyttes til at ændre jordforbindelsesforholdene på et hvilket som helst sted i installationen,
- ☞ Sikrer kun tilfredsstillende elektrisk isolation ved lavfrekvens (LF),
- ☞ En dobbeltisoleret transformator er nødvendig, hvis der skal sikres tilstrækkelig elektrisk isolation ved HF,
- ☞ Blokerer og afleder common-mode strømme fra tilgængelige ledende dele
- ☞ Kan benyttes til at bryde stelforbindelsessløjfer.

Forklaring af fænomener





Udbredelsesformer for elektromagnetisk interferens



Jævnstrøm eller lavfrekvens (LF) (50 Hz etc.)

Isolation mellem primær- og sekundærside $\geq 10 \text{ M}\Omega$
 Snyltekapacitet ubetydelig.

Højfrekvens (HF)

Isolation mellem primær- og sekundærside omgås af den snyltekapacitet, der skyldes primær- og sekundærviklingerne.

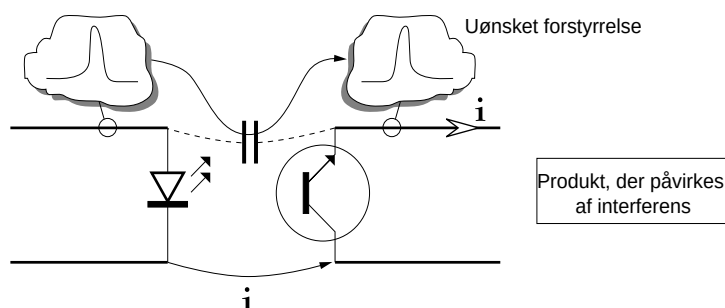
Snyltekapacitet $\leq 50 \text{ pF}$ for små transformatorer , $> 1 \text{ nF}$ for store transformatorer $> 500 \text{ VA}$.

1 nF repræsenterer kun en impedans på 100Ω ved en frekvens på 2 MHz .

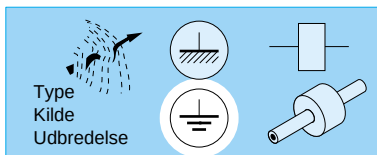
Konsekvenser

Som et resultat heraf er der i forsyningssystemet risiko for forskellige forstyrrelser, f.eks. af transient-typen med stejle kurveflanker, for eksempel fra omskiftningsoverspænding, der overføres til transformatorens sekundærside og giver interferens i det udstyr, der er tilsluttet til denne.

Optokobler



Fænomenet er det samme med optokoblere, skønt deres lavfrekvens (LF) impedans og højfrekvens (HF) ydelse generelt er bedre end for signaltransformatorer.



Jord

Symbol:

I nærværende dokument omfatter begrebet «jord» alle ledende, utilgængelige eller nedgravede dele eller konstruktioner.

Skønt dette ikke er den officielle definition, vil den gøre det muligt for os at identificere jord- og stelforbindelser i en installation mere præcist.

Generel definition

1

Vores planets jordlag benyttes i visse elektriske konstruktioner som et praktisk «0 V» referencepotentiale, og jordlagets elektriske ledeevne (som varierer meget) leder naturligt - eller bruges af mennesker til at lede - visse elektriske strømme.

2

Jordforbindelsens rolle i elektriske installationer

Husk

Enhver strøm, der løber i jord, er overført til og vil forlade den for at returnere til sin kilde.

3

Anvendelser:

- Distribution i jord«elektroden» af strøm fra direkte lynnedslag (gennemslag af elektrostatisk udladning fra atmosfære til jord).
- Lyn-inducerede strømme i jorden mellem to punkter på en luftledning.
- I T-T systemet vil der i jorden mellem distributionssystemets jordforbindelse og installationens jordforbindelse løbe (små) læk- eller fejlstrømme, der frembringes af installationen.
- Installationers stelforbindelser forbindes også til jord (ækvipotentiel forbindelse mellem jord/jordlag i forhold til tilgængelige ledende dele og metalkonstruktioner) for at beskytte mennesker (og dyr) mod stød ved indirekte kontakt.

Elektriske jordforbindelser

Forholdsreglerne vedrørende disse forbindelser, når det gælder distributionsforbindelser i bygninger, hvilket er relevant for os, drejer sig om følgende forhold (beskyttelse af mennesker og genstande), og er behandlet i standarderne IEC 364 og IEC 1024.

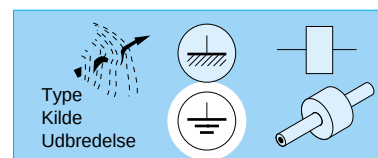
Der skal være en enkelt tilstrækkelig jordforbindelse for en given elektrisk isolation

Tilstrækkelig, fordi lynaflederens afledninger af og til skal håndtere strømme i størrelsesordenen 20 til 30 kA i jord med meget varierende modstand (≈ 5 til 10.000 W.m) uden at forårsage større skade på forbindelserne til jordlag/jord.

En enkelt, fordi jordlagets meget varierende modstand under disse ekstreme forhold kan betyde meget store, ødelæggende potentialeforskelle mellem de forskellige jordelektroder og selve installationen under normale forhold (lækstrømme, fejlstrømme etc.); og dette kan medføre uacceptabel interferens.

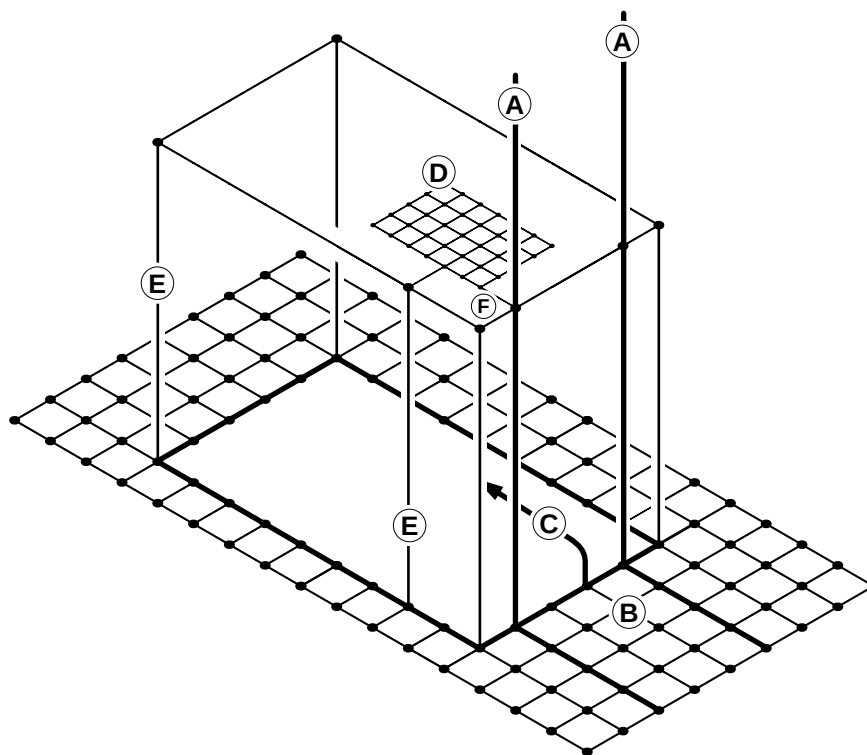


Jord



Typisk jording af en installation

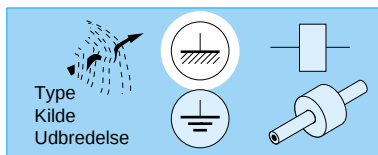
- (A) Lynaflederforbindelser.
- (B) Nedgravet jordsystem af trådnæt med speciel forstærkning for enden af lynaflederens forbindelser.
- (C) Installationens jordelektrodeleder forbundet til jordbussen ved starten af installationens PE (eller PEN) ledere.
- (D) Installationens sammenkoblede tilgængelige ledende dele forbundet til metalkonstruktioner eller yderligere trådnæt (E).
- (E) Shunt-forbindelser mellem lynaflederens forbindelser, sammenkoblede tilgængelige ledende dele og metalkonstruktioner i nærheden for at forhindre overslag (brandfare).



Jord og elektromagnetisk kompatibilitet

Som vi har set, spiller jorden en ret speciel rolle i forbindelse med lynudladninger, men residualstrømme, der ledes af el-ledninger til stedet, skal også elimineres.

For de fleste andre (EMC) fænomener, som man skal tage sig af (*transienter, højfrekvens (HF) strømme eller udstrålede felter*), vil **jordforbindelser**, hvis længde og topologi (*stjernenetværk eller i parallel med strømførende ledere*) udviser meget høje impedanser ved højfrekvens (HF), **ikke være til nytte uden støtte fra et system fra gensidigt forbundne tilgængelige ledende dele.**



Stelforbindelser

Symbol:

Generel definition

En stelforbindelse er et ækvipotentielt forbindelsespunkt eller plan, der kan være eller ikke være forbundet til jord, og som benyttes som reference for et kredsløb eller et system.

NB: en stelforbindelse, som har et potentiale, der med vilje er specifikt eller variabelt, skal have speciel isolation og, hvis relevant, speciel tilslutning.

Specifik definition for elektriske installationer

En stelforbindelse er enhver tilgængelig ledende del af apparater, udstyr eller installation, der ikke er strømførende under normal drift, men kan blive det i tilfælde af fejl.

Eksempler på stelforbindelser (tilgængelige ledende dele):

- en bygnings metalkonstruktion (skelet, rør etc.),
- maskiners fundamentplader,
- metalkabinetter, umalede kabinetbundstykker,
- kabelkanaler af metal,
- transformatorhuse, bagplader i PLC udstyr etc.
- grønne/gule ledere (PE/PEN) i jordforbindelse.

Tilgængelige ledende dele og sikkerhed for personer og udstyret

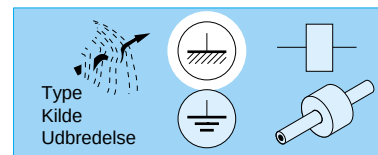
Basic Specification IEC 364 og nationale reguleringer, der er specifikke for bestemte installationer, beskriver konstruktionsmæssige fremgangsmåder, som garanterer overholdelse af relevante sikkerhedsniveauer.

Uanset hvordan installationens jordforbindelse er udformet, findes de grønne/gule såkaldte «PE» eller «protective earth» (beskyttelsesjord) ledere, der har en defineret impedans, til forbindelse af tilgængelige ledende dele til jord og til installationens oprindelse, således at:

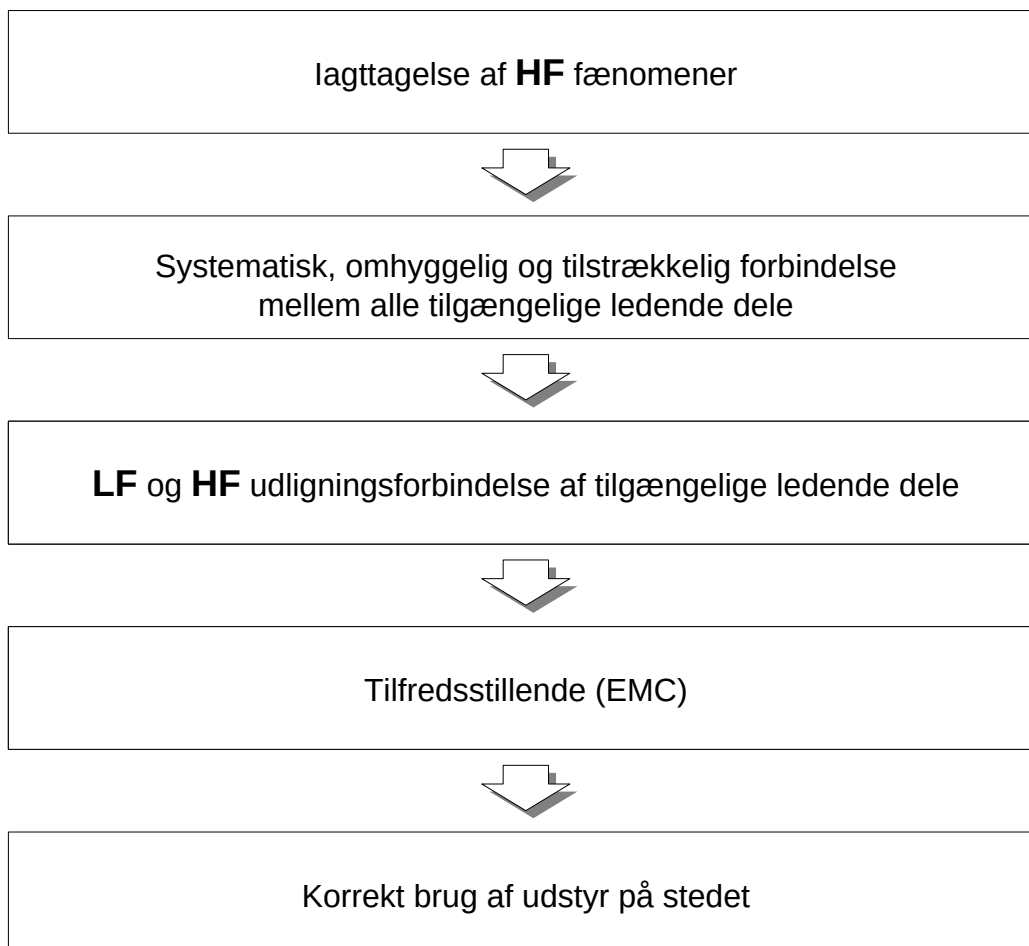
- Under normal drift eller ved fejl i en tilgængelig ledende del:
 - elimineres store fejlstrømme (sikkerhed for ting),
 - kan der ikke forekomme farlige spændinger mellem to tilgængelige ledende dele, mellem en tilgængelig ledende del og jordlaget eller en metalkonstruktion (sikkerhed for personer),
- Da installationens sikkerhed er vigtigere end alt andet, skal senere arbejde med tilslutning af tilgængelige ledende dele under alle omstændigheder medføre:
 - afbrydelse af en «PE» (grøn/gul) leder fra tilgængelige ledende dele,
 - forøgelse af enhver «PE» forbindelses impedans.



Stelforbindelser



Tilgængelige ledende dele og elektromagnetisk kompatibilitet



1

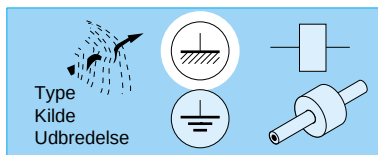
2

3

Lavfrekvens (LF) ydelse

Eksempel: ved lysnetfrekvensen (50 eller 60 Hz).

Ækvipotentiel forbindelse af tilgængelige ledende dele ved lavfrekvens (LF) (50 Hz-60 Hz) opnås altid korrekt ved brug af grønne/gule (PE/PEN) ledere.



Stelforbindelser

Højfrekvens (HF) ydelse

Som nævnt i afsnittet om jording, spiller jordforbindelsen en relativt begrænset rolle i forbindelse med (EMC) fænomener.

Derimod fungerer tilgængelige ledende dele, der er placeret i umiddelbar nærhed af elektroniske enheder, som et reference«plan» eller -system for højfrekvens (HF) fænomener (såvel som for visse aspekter ved en frekvens på 50/60 Hz), forudsat at problemet med deres forbindelse til ækvipotentialer allerede er løst.

1

Sammenkoblingen af tilgængelige ledende dele med beskyttende forbindelser i en stjernekonfiguration skaber sommetider ekstremt høje HF impedanser mellem to punkter. Desuden kan store fejlstrømme forårsage potentialeforskelle mellem disse punkter - specielt i TN-C systemer.

2

Det forekommer derfor nødvendigt (uden at undervurdere PE ledernes rolle) at sørge for så mange mulige ekstra sammenkoblinger som muligt (kabler, der ikke er grønne/gule) med et tværsnitsareal, der ikke er mindre end det mindste tværsnitsareal for de PE ledere, der er forbundet til den pågældende tilgængelige ledende del. Disse forbindelser skal etableres tæt ved de tilgængelige ledende dele i koblingsudstyr, kabelføring, eksisterende eller bevidst tilføjede metalkonstruktioner etc.

3

Trådnet, skærmning, common-mode returkredsløb for filtreringsenheder etc. forbindes til dem.

*Dette vil skabe en **finmasket sammenkobling af tilgængelige ledende dele**, som vil forbedre EMC forholdene*

I visse ekstraordinære tilfælde (strømme, der induceres med netfrekvensen, potentialeforskelle etc.) må der etableres forbindelse til jordsystemet i overensstemmelse hermed (f.eks. i den ene ende af hver «HF»/»LF» kondensator etc.).

Lækstrømme i installationen

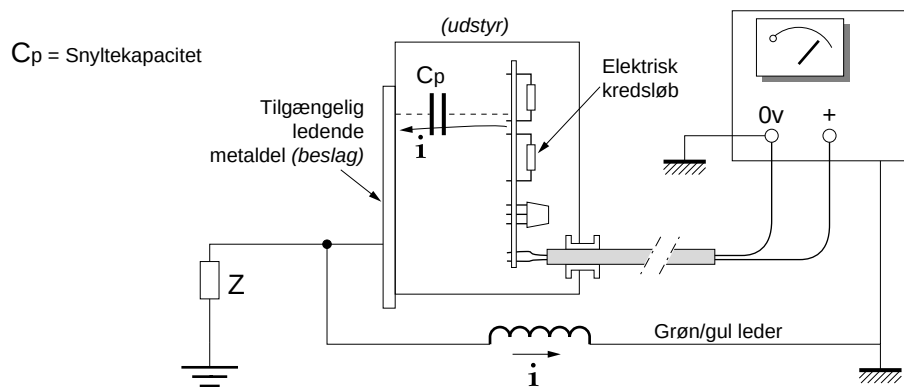
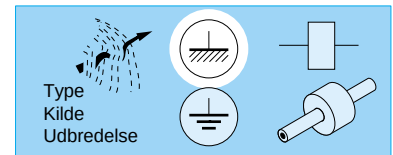
På grund af deres nærhed til installationens elektriske kredsløb vil de tilgængelige ledende dele i forbindelse med disse kredsløb skabe en snyltekapacitet, som vil medføre, at der løber uønskede strømme gennem udstyr og tilgængelige ledende dele.

I nogle tilfælde kan dette resultere i fejlfunktion i installationer (udløsning af enheder til beskyttelse mod differentialforskelle etc.).

Læseren henvises til behandlingen af de forskellige udbredelsesformer (udstrålet interferens, kapacitiv kobling).



Stelforbindelser

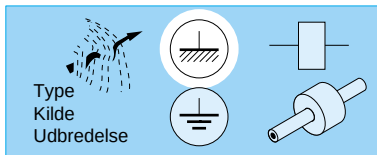


Tilgængelige ledende dele skal derfor forbindes med relevante metoder ved lavfrekvens (LF) (sikkerhed for personer etc.) og ved højfrekvens (HF) (tilfredsstillende EMC).



Dette vil kun være teknisk og økonomisk overkommeligt, hvis:

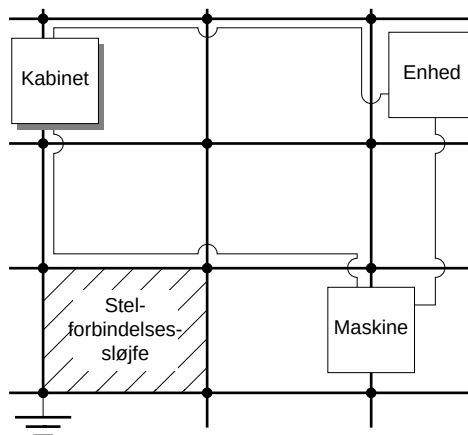
- der tages højde for problemet i DESIGNfasen,
- man mestrer en installations HF aspekter



Stelforbindelser

Sløjfer mellem tilgængelige ledende dele

En sløjfe mellem tilgængelige ledende dele er overfladearealet, der afgrænses af to stelforbindelsesledninger.

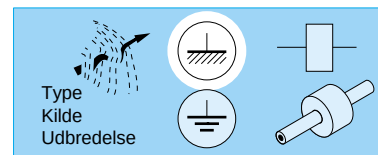


Sløjfer mellem tilgængelige ledende dele er resultatet af systematisk, omhyggelig sammenkobling for at sikre ækvipotentiel sammenbinding i en installation

Det er af afgørende betydning at have et stort antal forbindelser mellem alle tilgængelige ledende dele.

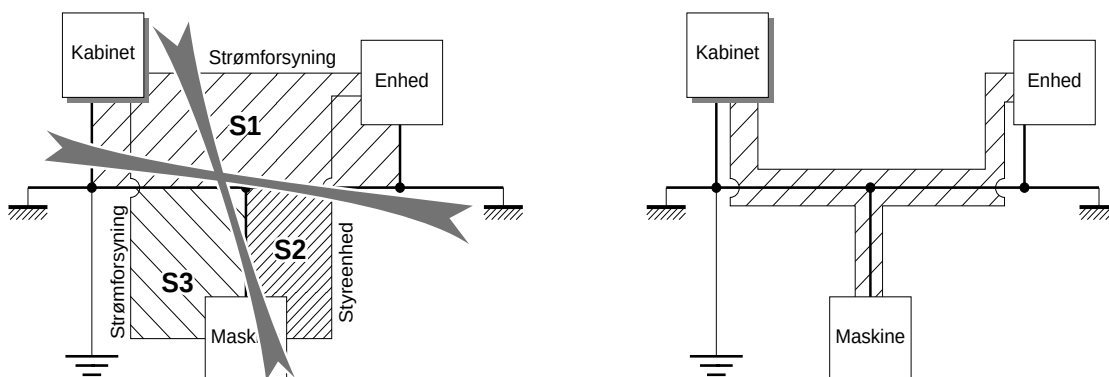


Stelforbindelser



Stelforbindelsessløjfer

En stelforbindelsessløjfe er det overfladeareal, der afgrænses af et funktionelt kabel (strømforsyningskabler, styrelinjer, kommunikationsnetværk etc.) og den nærmeste leder eller steljord.

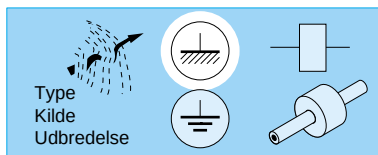


Antallet af stelforbindelsessløjfer er lig med antallet af funktionelle kabler.

Det er særdeles vigtigt at minimere stelforbindelsessløjfers overfladeareal ved at trække den fulde længde af funktionelle kabler så tæt på tilgængelige ledende dele som muligt

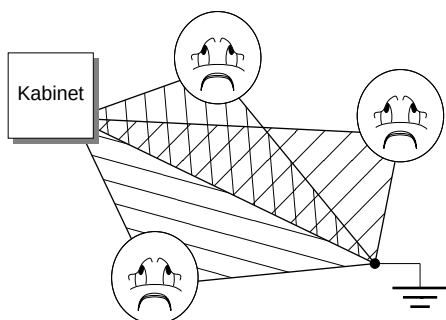


Stelforbindelsessløjfer er hovedkilden til (EMC) problemer;
kobling af udstrålet interferens sker særligt let i disse.

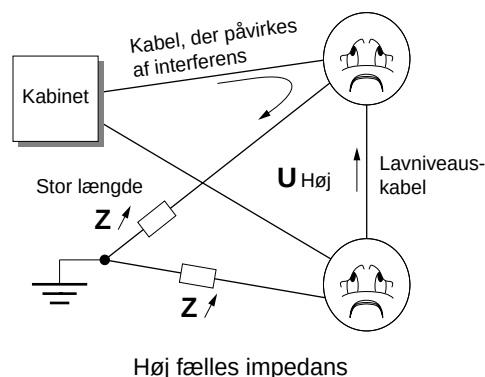
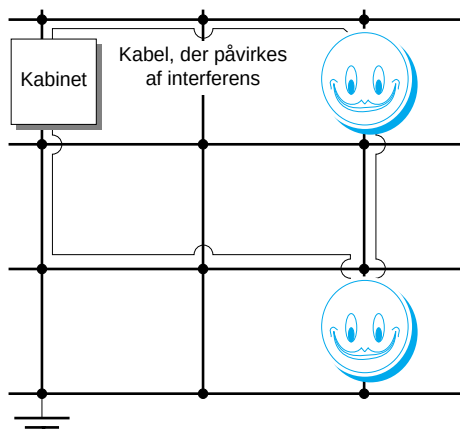
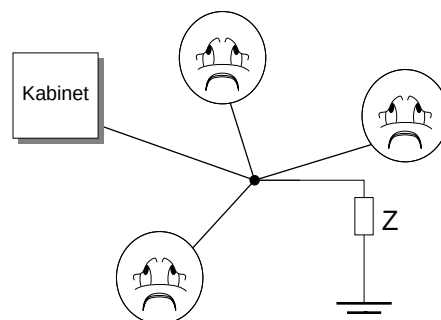


Stelforbindelser

Undgå at jordforbinde tilgængelige ledende dele i en stjernekonfiguration



Stelforbindelsessløjfer med stort overfladeareal

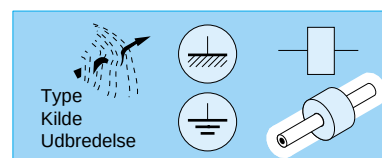


Det er af afgørende betydning ikke at jordforbinde tilgængelige ledende dele i en stjernekonfiguration.

Kun systematisk, omhyggelig sammenkobling af tilgængelige ledende dele gør det muligt at opnå tilfredsstillende højfrekvens (HF) ækvipotentiel sammenkobling i en installation.



Kabler

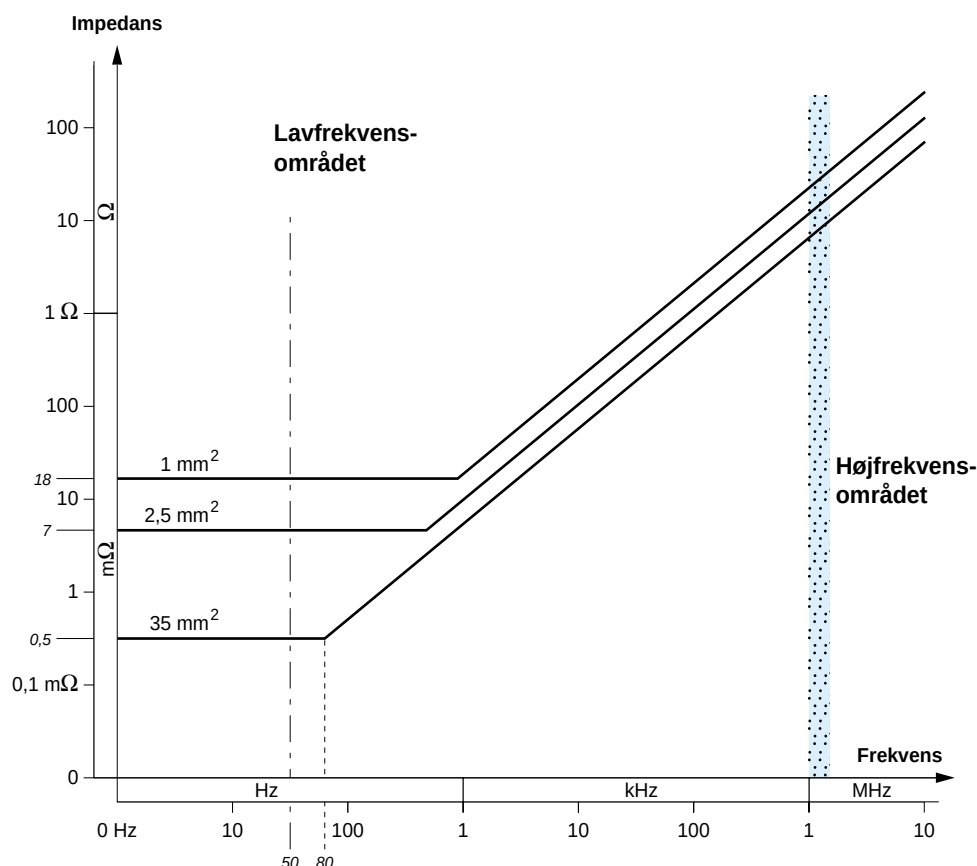


Frekvensafhængighed for en leder

Niveauet for elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) i udstyr er knyttet til koblingen mellem dets kredsløb, og selve denne kobling afhænger direkte af impedanserne mellem disse kredsløb.

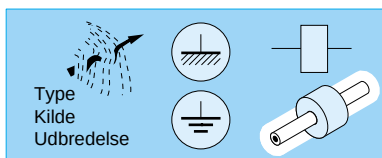


De benyttede ledere og deres monteringsform har derfor afgørende indflydelse på en installations elektromagnetiske karakteristika.



Typiske impedansværdier for en elektrisk leder af længden $L = 1$ m

Ved 100 kHz har to 1 mm² kabler, der ligger parallelt, lavere impedans end et 35 mm² kabel
 ==> det er årsagen til fordelene ved trådnetsforbindelser.



Kabler

Lavfrekvens (LF) ydelse

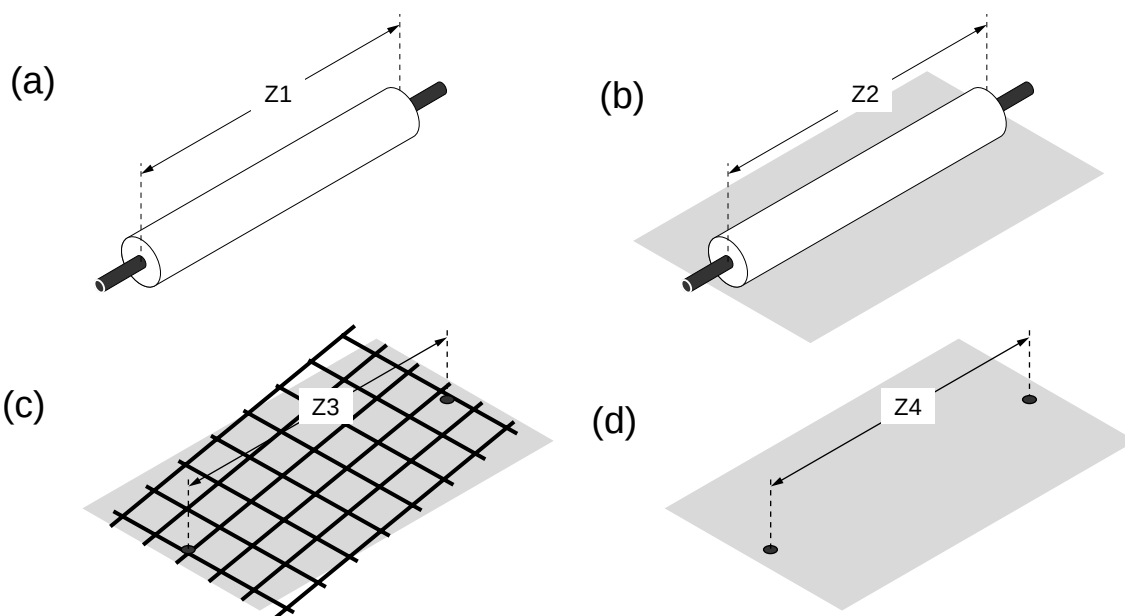
Ved lavfrekvens (LF) løber strømmen gennem lederen, hvorimod skineffekten er dominerende ved højfrekvens (HF). Strømmen løber da på lederens overflade.

Ved lavfrekvens (LF) (50 Hz-60 Hz) er ledningens tværsnitsareal den mest betydende faktor

Højfrekvens (HF) ydelse

Ved højfrekvens (HF) ($f \approx > 1 \dots 5 \text{ MHz} \dots$)

- Omkredsen af lederens tværsnit spiller den største rolle (skineffekt)
- Lederens tværsnitsareal er af relativt lille betydning
- Kablets længde er af afgørende betydning



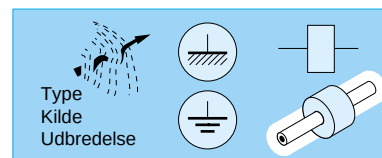
Forklaring:

- a: Z1, kabel i luft (induktans pr. længdeenhed: $l \approx 1 \mu\text{H/m}$).
- b: Z2, kabel monteret på en metaloverflade.
- c: Z3, metaltrådnat med kontakt i alle kryds (f.eks. sammensvejset armering i beton).
- d: Z4, metalplade.

For en given kabellængde er impedansen pr. længdeenhed følgende: $Z1 > Z2 > Z3 > Z4$



Kabler



En leders længde og tværsnitsareal

En leders impedans afhænger primært af dens induktans pr. længdeenhed, som er proportional med kablets længde.

Denne induktans begynder at spille en afgørende rolle over 1 kHz, når det gælder standardkabler.

Dette betyder, at for en leder, der kun er nogle få meter lang, er impedansen som følger:

- adskillige milliohm ved jævnstrøm eller lavfrekvens (LF)
- adskillige ohm ved omkring 1 MHz
- adskillige hundrede ohm ved højfrekvens (HF) (≈ 100 MHz ...)



Hvis en leders længde overskrider 1/30 af bølgelængden for det signal, som den bærer, bliver kablets impedans «uendelig».

==> installationen fungerer da, som om der ikke var nogen leder.

$$L_{(m)} > \frac{\lambda}{30}$$

λ : bølgelængde for signal på leder

$$\lambda > \frac{300}{f_{(MHz)}} \implies$$

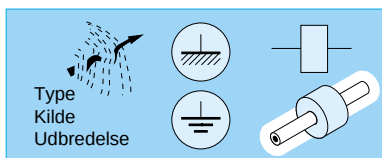
f : frekvens for signal på leder i MHz

$$L > \frac{10}{f_{(MHz)}}$$

L : lederens længde i meter



En leder er værdiløs, hvis $L > \frac{10}{f_{(MHz)}}$. Eksempel: tilledning



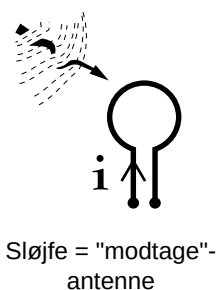
Kabler

En leders funktion som antenne

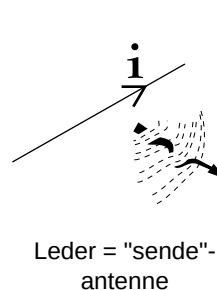
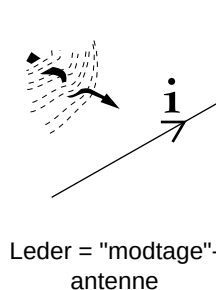
Ledere fungerer som en slags antenner, og det felt, som de udstråler, kan opsamles andetsteds. Sådanne ledere kan forårsage udstråling, når en højfrekvens (HF) strøm løber gennem dem.

1

Magnetfelt $\vec{H}$



Elektrisk felt $\vec{E}$



2

3

Antenners længde

Antennevirkningen bliver særdeles iøjnefaldende for ledere med en bestemt længde set i forhold til bølgelængden for det udstrålede signal. .

① $L = \frac{\lambda}{4}$ Såkaldt "kvart-bølge" antenne

$$L_{(m)} > \frac{75}{f_{(MHz)}} \implies \text{Tunet antenne}$$

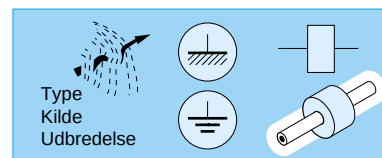
Eksempel : $f = 100\text{MHz}$ $L > \frac{75}{100} = 0,75 \text{ m}$

Ved denne frekvens (100 MHz) bliver en leder med længden $L > 0,75 \text{ m}$ en effektiv antenne.

② $L = \frac{\lambda}{2}$ Såkaldt "halv-bølge" antenne



Kabler



Grøn/gul PE/PEN leder

I gamle installationer, der blev etableret uden at tage højde for HF fænomener, har de grønne/gule (PE/PEN) ledere en længde ($L > 1$ til 2 m), der betyder, at de:

- ==> *effektivt medvirker til LF (50 Hz-60 Hz) ækvipotentiel sammenbinding af installationen og dermed til personer og ting (IEC 364, NF C 15 100 etc.).*
- ==> *praktisk talt ikke spiller nogen rolle for HF ækvipotentiel sammenbinding og derfor heller ikke installationens (EMC).*

1

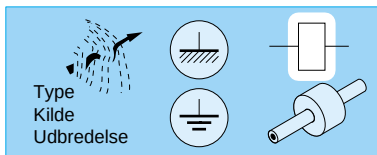
2

3

Forbindelse mellem tilgængelige ledende dele

Det er af afgørende betydning omhyggeligt og systematisk at forbinde alle tilgængelige dele for at opnå HF ækvipotentiel sammenbinding.

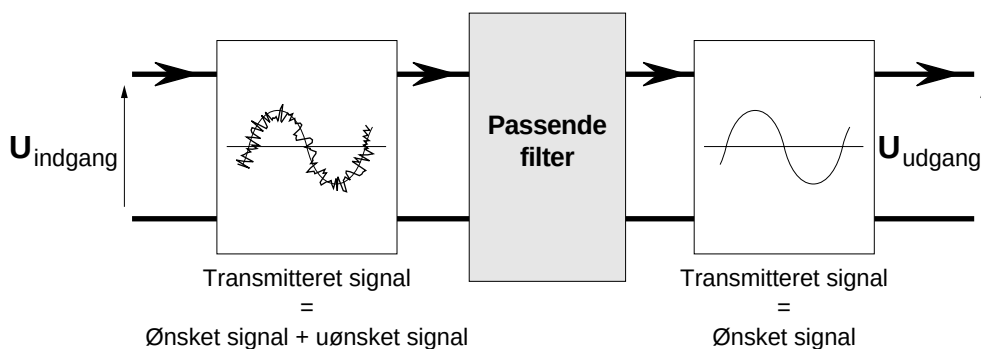
- ==> *Hvis længden af steljordforbindelsen er for stor ($L > 10/F$ (MHz)), bliver installationen «flydende»; der vil uafvendeligt opstå potentialeforskelle mellem udstyrets dele, og disse forskelle vil forårsage uønskede strømme.*



Filtre

Et filters funktion

Et filters funktion er at lade ønskede signaler slippe igennem og eliminere den uønskede del af det transmitterede signal.



Anvendelsesområde:

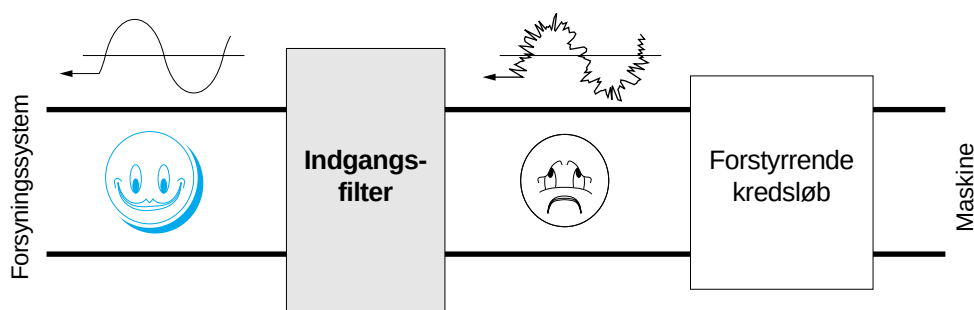
- Overtonefiltre, $F \leq 2,5 \text{ kHz}$
- RFI filtre (ledet radiofrekvens interferens) $F \leq 30 \text{ MHz}$

Virkningsretning:

- Indgangsfiltre

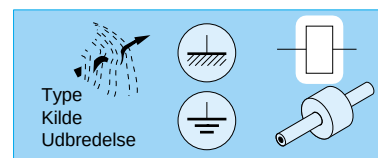
Eksempel: overtonefiltre, RFI filtre

Disse beskytter forsyningssystemet mod forstyrrelser, der genereres af det forsynede udstyr.

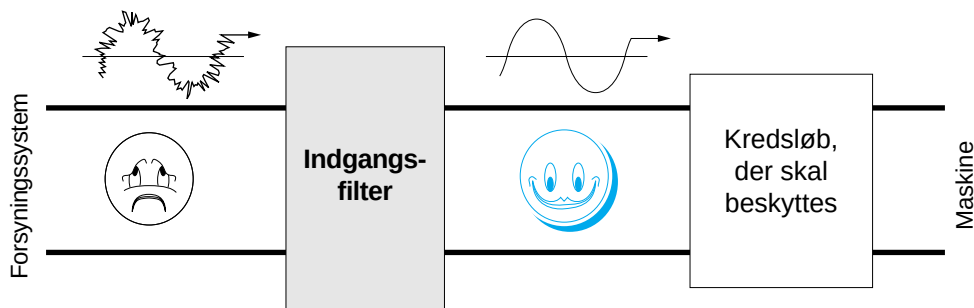




Filtre



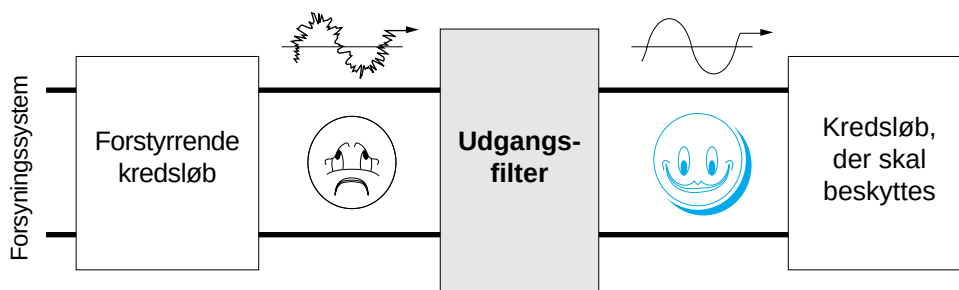
Filtre beskytter også udstyr mod forstyrrelser, der har deres oprindelse i forsyningssystemet.



- Udgangsfiltre

Eksempler: «sinuskurve»filtre

Disse beskytter belastningen mod forstyrrelser, der har deres oprindelse i udstyret.



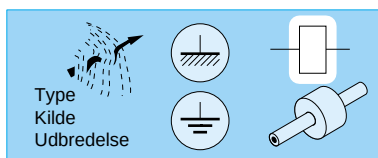
Forskellige filtertyper

Filtreringstyper:

- Differential-mode filtre
- Common-mode filtre
- Kombinerede filtre, der giver både common-mode og differential-mode filtrering.

Teknologi

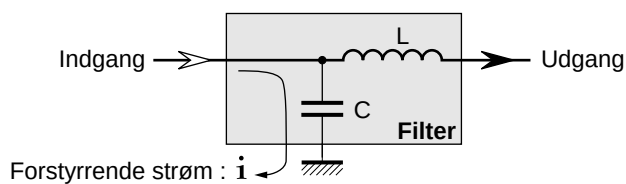
- Passive filtre
- Aktive equalizere



Filtre

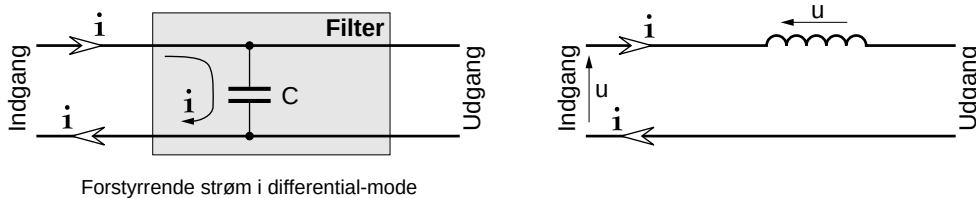
Princip for passiv filtrering = impedans-mistilpasning

- Blokering af forstyrrelser: serieinduktans ($Z = L\omega$)
- Kanalisering af forstyrrelser: parallelkapacitet ($Z = \frac{1}{C\omega}$)
- En kombination af ovenstående

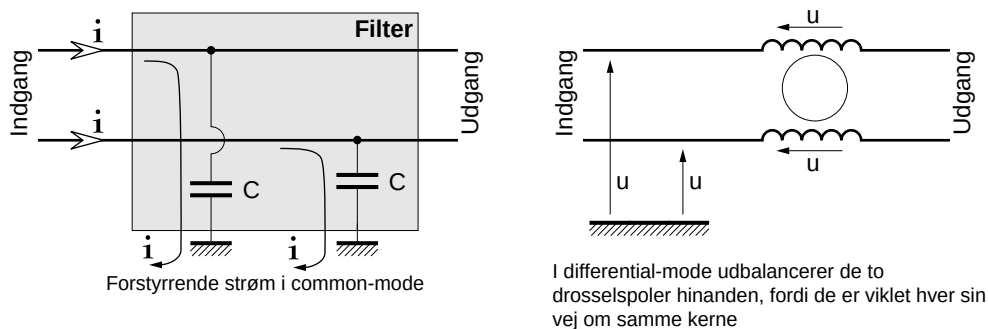


- Afsætte den forstyrrende energi: ferritkerner

Passiv filtrering i «differential-mode»



Passiv filtrering i «common-mode»

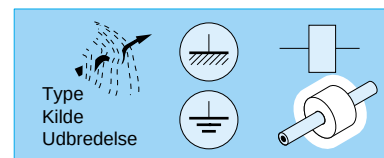


Princip for aktiv equalizer

- Benyttes kun til bortfiltrering af harmoniske strømme,
- Genererer et signal, der er det forstyrrende signals komplement, for at genskabe et sinusformet signal.

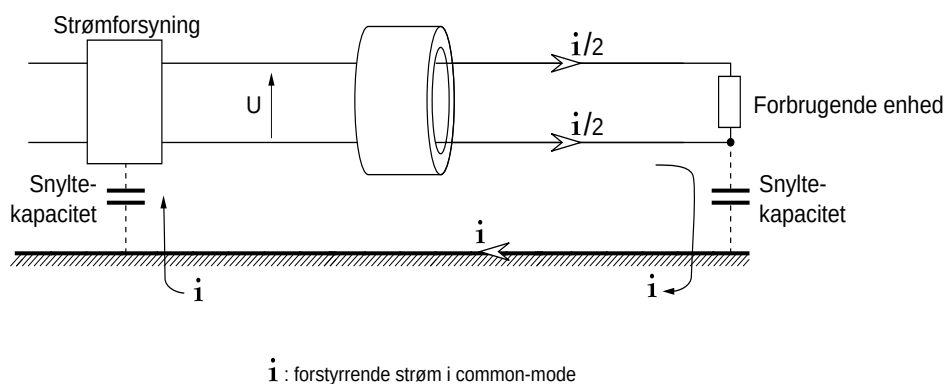


Ferritkerner



Dette er common-mode højfrekvens (HF) filtre.

Ferritkerner består af et materiale, der har en meget høj magnetisk kerne af permeabilitet (μ_r).



Ferritkerner udnytter to principper:

- common-mode induktans (se afsnittet Filtre)
- absorption af modstandstab (temperaturstigning), der induceres af common-mode HF interferens.

Begge disse principper resulterer i en common-mode impedans, hvis effektivitet afhænger af dens størrelse i forhold til impedansen i det kredsløb, der skal beskyttes.

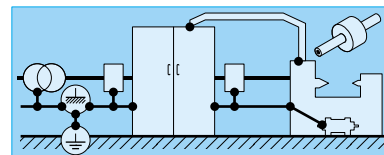
1

2

3



KAPITEL 2



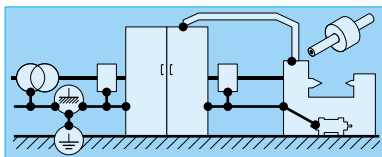
OPNÅELSE AF ELEKTROMAGNETISK KOMPATIBILITET I EN INSTALLATION

1

2

3

*PRAKTISKE
RETNINGSLINJER*



Forord

1

Design, produktion, modifikation eller vedligeholdelse af udstyr begynder altid med en analyse, der har til formål at fastlægge:

- karakteristika ved materialer og komponenter, så de kan opfylde den ønskede funktion,
- reningslinjer for mekanisk og elektrisk design, der gør det muligt at opnå den ønskede funktion.

2

En sådan analyse udføres under hensyntagen til såvel konstruktionsmæssige som økonomiske begrænsninger.

3

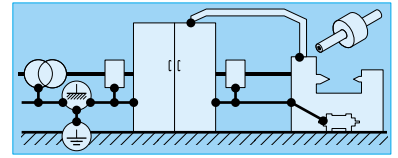
Ud fra dette synspunkt er det tilrådeligt **lige fra starten af designfasen at være opmærksom på vigtigheden af en installations elektromagnetiske kompatibilitet.**

Det er den bedste garanti mod fejlfunktion og eskalerende omkostninger.

Hvis man ser bort fra (EMC) under analysen af et produkt, kan det give en umiddelbar omkostningsbesparelse på nogle procent af anlæggets samlede omkostninger ((EMC) eksperter er enige om, at ekstraomkostningerne udgør 3 til 5%).

Imidlertid skal der så ofte foretages modifikationer, når installationen tages i drift. De samlede omkostninger ved sådanne modifikationer vil under hensyntagen til de snævre marginer ofte udgøre nogle procent eller endda op til 20%. Dette betyder yderligere forsinkelse af leveringen og skaber problemer i forhold til kunden.

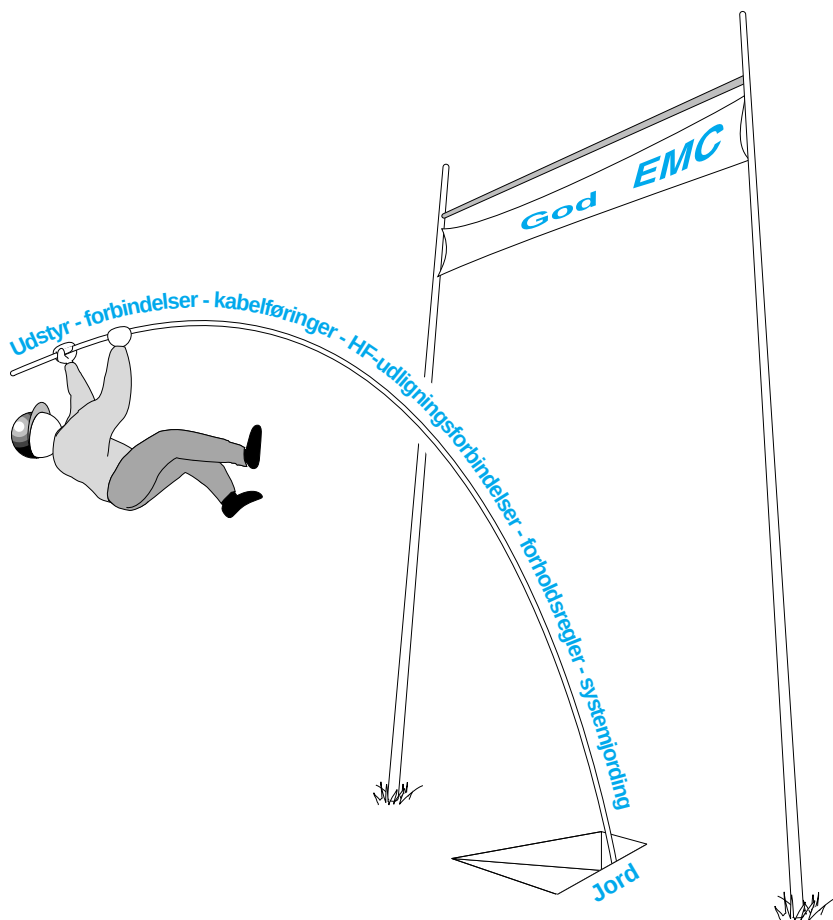
(EMC) proceduren



(EMC) proceduren skal være dækkende

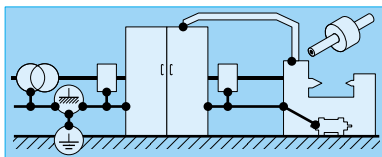
Korrekt funktion bygger på godt design, korrekt valg og godt håndværk i alle installationens led.

Uafhængigt af installationens livscyklus skal de i det følgende definerede «Praktiske retningslinjer» anvendes omhyggeligt og metodisk.



Fortolkningen af (EMC) og HF fænomener er særlig kompliceret. Det er derfor nødvendigt at anvende forsigtighed og altid huske, at der ikke findes nogen mirakelkure eller universalløsninger, når det gælder (EMC).

Ikke desto mindre vil anvendelse af nærværende «Praktiske retningslinjer» betyde, at sandsynligheden for at opnå korrekt funktion i installationen vil stige, selv om de begrænsninger og tilhørende forholdsregler, der gør sig gældende, er specifikke for den enkelte installation.



(EMC) proceduren

Design af en ny installation eller udvidelse af en installation

1

DEFINITION AF NORMER FOR (EMC)

- Generiske (EMC) standarder
- Produktstandarder

2

ANALYSÉR

- Betingelserne
- Eksterne (offentlige, private netværk, sted, miljø etc.)
 - Interne (bygning, maskine, anlæg tæt ved, etc.)

DEFINÉR

De begrænsninger, stedet og opgaven sætter.

FIND

De (EMC) produkter og tilbehør, der er kompatible med begrænsningerne (installationer, datablade etc.).

FASTLÆG

De regler for installationen, der er nødvendige for at opnå tilfredsstillende (EMC) (kablingsmetoder, forholdsregler etc.).

OPBYG

Installationen i nøje overensstemmelse med de definerede regler.

KONTROLLÉR

Korrekt opbygning af installationen og udstyrets korrekte funktion.

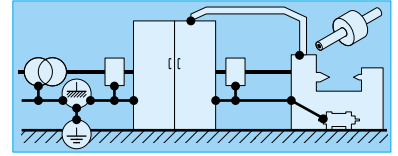
HVIS RELEVANT - FORETAG MÅLINGER

Hvis standarden kræver dette.

KORRIGÉR

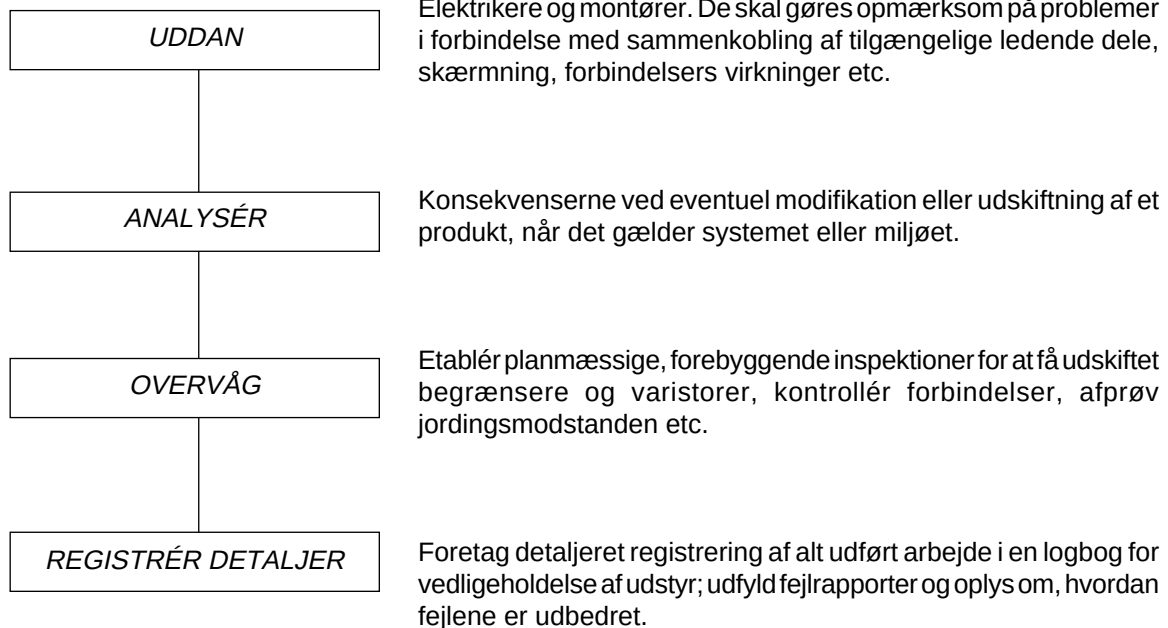
Hvis relevant.

(EMC) proceduren



Vedligeholdelse af en installation eller opgradering - opdatering af installeret udstyr

Opretholdelse af (EMC) er en enkel opgave, men den skal være godt organiseret og planlagt samt omhyggeligt overvåget.



1

2

3

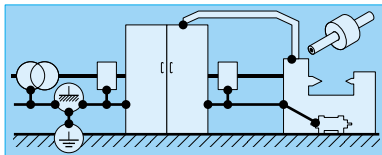
Overholdelse af disse fire regler giver altid - foruden (EMC) - firmaet ekstra fordele.

Husk, at simpel forringelse af en elektrisk forbindelse (korrosion, glemt genmontering af skærmning, manglende bolte i kabelkanal) er nok til at give en væsentlig forringelse af en installations (EMC) ydelse.

Opgradering af installeret udstyr, udvidelse af en maskine etc.

Den benyttede fremgangsmåde skal være den samme som i designfasen. Det er vigtigt at vedligeholde omfattende dokumentation, der beskriver eventuelle ændringer; dette letter idrifttagning og fremtidige indgreb.

Uafhængigt af installationens livscyklus skal de i det følgende definerede «Praktiske retningslinjer» anvendes omhyggeligt og metodisk.



(EMC) proceduren

Forbedring af en eksisterende installation

Årsagerne til eventuelle fejlfunktioner skal findes og analyseres.

1

SAML INFORMATION,
LYT

Indsaml information fra relevante personer, især fra operatører.

2

IDENTIFICÉR

- 1- Det påvirkede udstyr.
Få et nøjagtigt billede af fejlen.
- 2- Interferenskilde/-kilder.
Vurdér interferensens omfang.
- 3- Interferensens koblings- eller overførselsform.

3

SE I

Nærværende håndbog vedrørende forståelse af fænomenerne og identifikation af problemerne.

Læs afsnittet «Praktiske retningslinjer» grundigt.

FASTLÆG PRIORITETER

Arbejd med de vigtigste interferenskilder i prioriteret rækkefølge.

Foretag først de handlinger, der ikke kræver voldsom modifikation eller langvarig nedlukning af maskinen.

Arbejd med interferensindgangene én efter én, indtil den sidste nås.

FASTLÆG LØSNINGER

Efter overvejelse af problemet og grundig læsning af kapitlet «Praktiske retningslinjer» skal installationen inspiceres; se omhyggeligt efter eventuelle vigtige punkter og noter, hvad der skal gøres.

IVÆRKSÆT LØSNINGER

Arbejd metodisk og med omtanke.

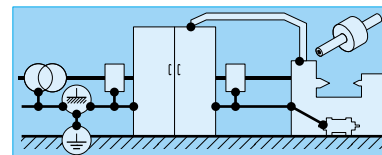
Udfør én handling ad gangen. I begyndelsen er resultaterne måske næppe synlige, problemerne kan endda blive værre; men fortsæt uden at tabe modet, indtil der opnås tilfredsstillende resultater.

Opgiv eller fjern aldrig en afhjælpning. Det kan kun komme på tale efter at have nået et resultat, og da kun hvis afhjælpningen betyder store ulemper for installationen.

Det kan nemlig vise sig, at den afhjælpning, som man først troede var værdiløs, alligevel bidrager til korrekt funktion.

Hvis en fejl ikke kan gentages, eller der er et alvorligt problem, kan det være nødvendigt at søge råd eller hjælp hos en (EMC) ekspert, der har grundigt kendskab til det produkt, som kan være årsag til problemet.

Praktiske retningslinjer



Ændringer i teknologi eller teknikker gør det muligt at designe og fremstille mere og mere højtydende produkter, maskiner etc.

Det er klart, at dette også medfører ændringer i begrænsningerne, og at disse berettiger til ændringer i de praktiske retningslinjer for design af installationer.

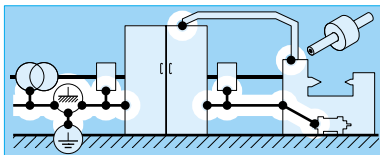
De «Praktiske retningslinjer» består af alle de koncepter, der skal tages i betragtning for at opnå tilfredsstillende installation af udstyr og elektriske installationer.

Overholdelse af «Praktiske retningslinjer» giver en væsentlig reduktion i begrænsningerne og omkostningerne ved de mest almindelige (EMC) problemer.

VALG AF KOMPONENTER	
Lavfrekvens (LF) fænomener	Højfrekvens (HF) fænomener
- Beskyttelsessystemer - Filtrering - Kabellængder	- ÆKVIPOIENTIEL sammenkobling af tilgængelige ledende dele (sammenbinding) - Omhyggelig kabelføring - Valg af kabler - Passende tilslutninger, der er velegnet til HF formål - Skærmning af kabler - Kabelkanaler og kabelføring - Kabellængder
Beskyttelsessystemer af størst betydning	Installation af størst betydning

Relaterede emner:

- Jordsystem side 8
- Strømforsyning side 18
- Kabinet side 26
- Kabler side 32
- Regler for kabelføring side 36
- Kabelføring side 44
- Tilslutninger side 52
- Filtre side 56
- Overspændingsafledere side 60
- Ferritkerner side 62



Jordsystem

Indledning

1

Lav- og højfrekvens ÆKVIPOIENTIEL SAMMENKOBLING af tilgængelige ledende dele er den gyldne regel inden for (EMC)

2

 **LF og HF ækvipotentiel sammenkobling af anlægget**

==> ved hjælp af passende specifik sammenbinding etc.

 **Lokal LF og HF ækvipotentiel sammenkobling**

==> ved hjælp af sammenbinding af alle tilgængelige ledende dele og, om nødvendigt, sørge for et specifikt passende jordplan etc.

3

Sørg for systematisk sammenkobling af alle metalkonstruktioner, racks, chassiser og jordledere.

 **Tilslutninger**

(se afsnittet «Tilslutninger» senere i nærværende kapitel.

==> Tag særlige forholdsregler for at sikre, at tilslutninger er udført korrekt med hensyn til at opnå LF og HF kvalitet samt lang levetid.

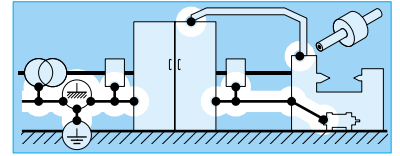
==> Direkte metal-til-metal sammenkobling (ingen leder) vha. boltede sammenspændinger.

==> Tilslutning via flettet metalbånd eller anden kort, bred tilslutning.

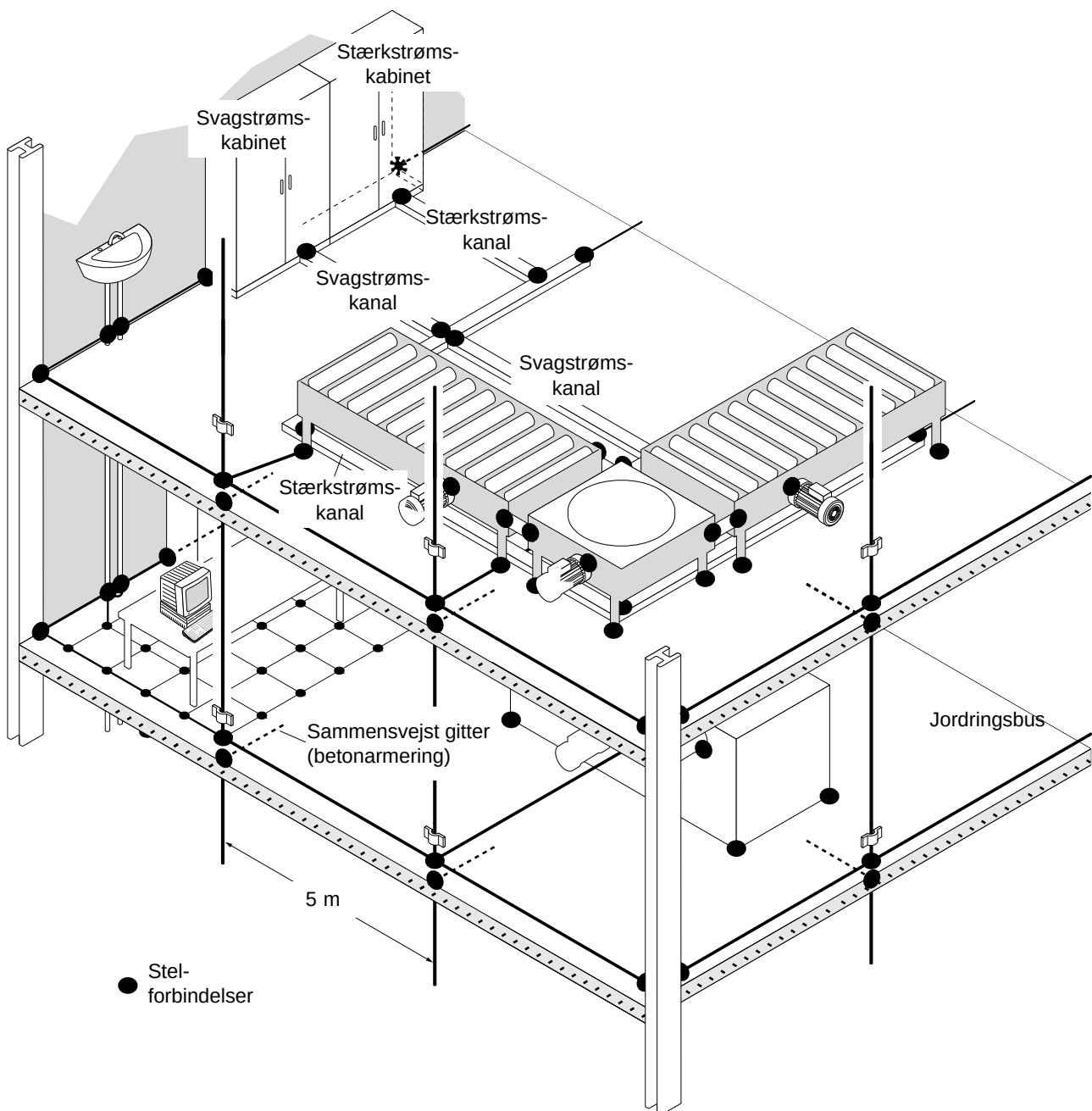


Man må ikke overse maling eller anden overfladebehandling af isolerende materialer

Jordsystem



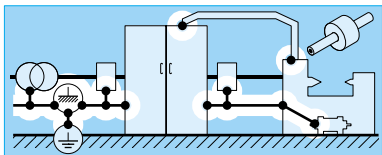
Bygning



1

2

3



Jordsystem

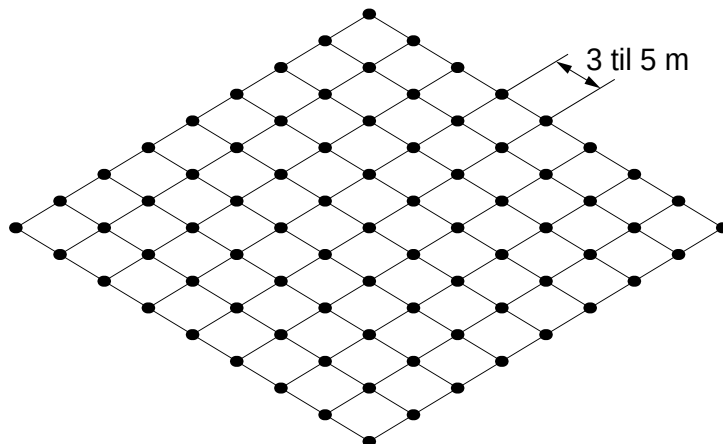
Bygning (fortsat)

1

LF og HF ækvipotentiel sammenkobling af installationen

==> Sørg for et jordplan og en jordringbus for hver etage (gitter af stænger til betonarmering, dobbeltgulv med fletværk af kobberledere etc.).

2



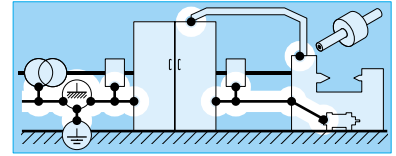
3

==> Forbind alle bygningens metalkonstruktioner til jordsystemet (stålkonstruktioner, sammensvejet betonarmering, metalrør og -kanaler, kabelkanaler, transportbånd, dør- og vinduesrammer af metal, riste og gitter etc.)

==> Det er tilrådeligt at designe og fremstille et specielt, finmasket jordplan i områder, der er beregnet til følsomt udstyr (edb-udstyr, målesystemer etc.).

==> etc.

Jordsystem



Udstyr / maskine

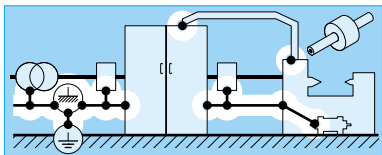
Lokal LF og HF ækvipotentiel sammenkobling af udstyret eller maskinen

- ==> *Sørg for sammenkobling af alle metalkonstruktioner i en enkelt udstyrsenhed (kabinet, jordplansplade i kabinettets bund, kabelkanaler, rør og kanaler, metalkonstruktioner og maskinstel etc.).*
- ==> *Tilføj om nødvendigt jordledere, beregnet til at forbedre sammenkoblingen af tilgængelige ledende dele (begge ender af alle ledere i et kabel, der ikke benyttes, skal forbindes til steljord).*
- ==> *Tilslut dette lokale steljordsystem til anlæggets jordsystem ved at benytte det størst mulige antal separate tilslutninger.*

1

2

3



Jordsystem

Kabinet

Se afsnittet «Komponentlayout» senere i nærværende kapitel).

1  **LF og HF ækvipotentiel sammenkobling af kabinet og dets komponenter.**

==> *Hvert kabinet skal have en jordplansplade nederst i kabinettet.*

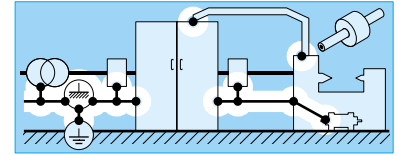


2 **Pas på kabinetbundplader, der er dækket af maling eller andet isolerende materiale.**

3 ==> *Alle uisolerede metaldele på komponenter og enheder, der er monteret i kabinettet, skal boltes direkte på jordplanspladen for at sikre en holdbar metal-til-metal kontakt af god kvalitet.*

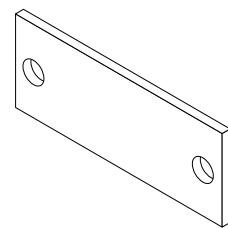
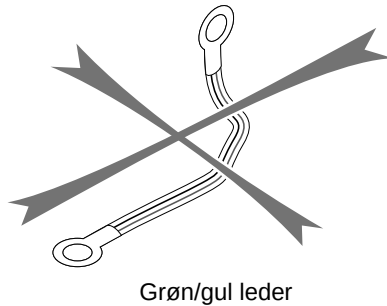
==> *På grund af sin store længde kan den grønne/gule jordleder i almindelighed ikke give jordforbindelse af HF kvalitet.*

Jordsystem

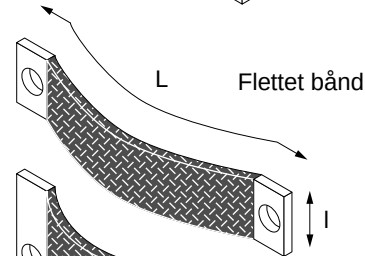


Elektriske tilslutninger

PE - PEN

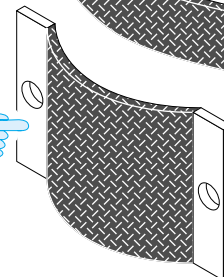


Fladjern



Flettet bånd

$$\frac{L}{I} < 3$$



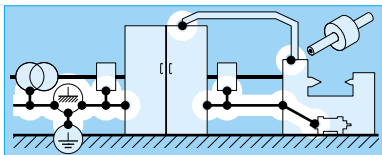
1

2

3



**Ækvipotentiel sammenkobling -
Sammenbinding - Gennemgang - IEC 364 sikkerhed**



Jordsystem

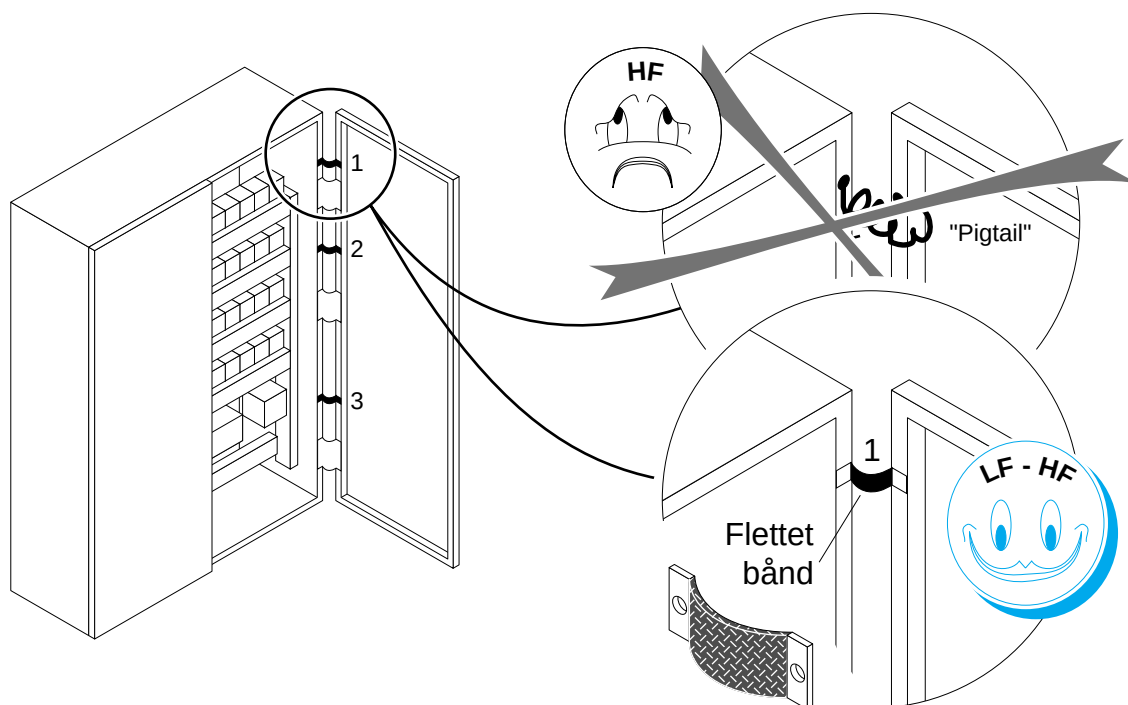
Udligningsforbindelse af tilgængelige ledende dele

— KABINET —

1

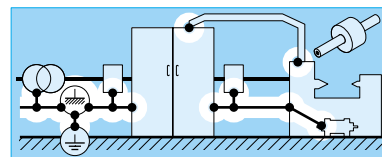
2

3



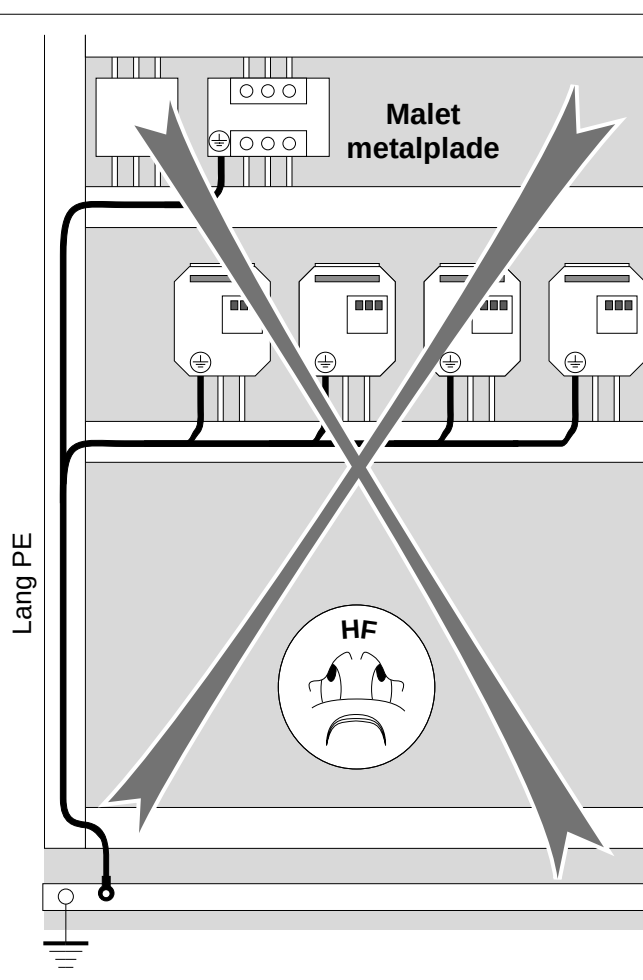
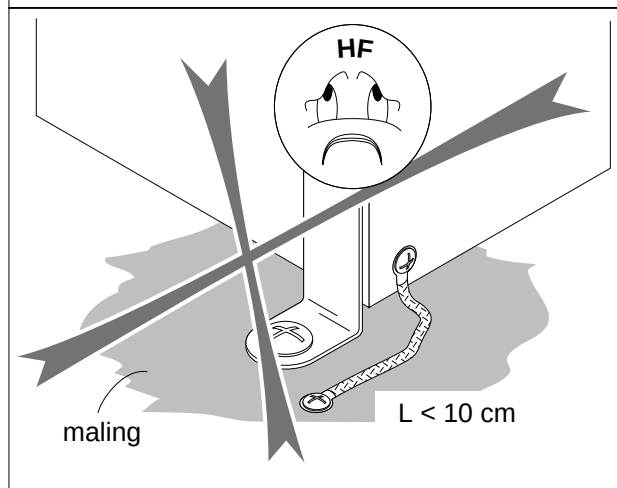
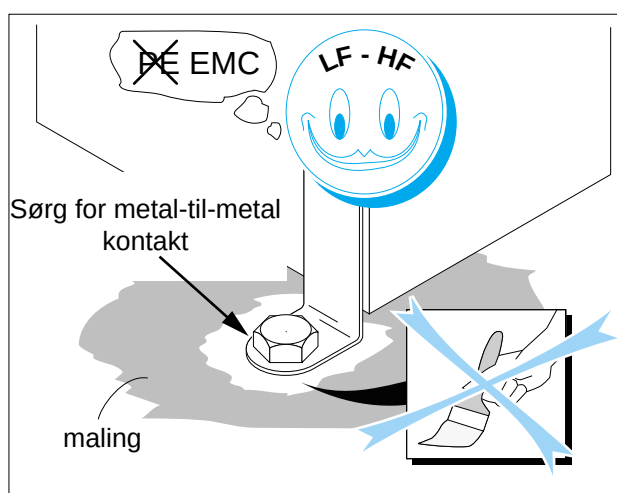
Udligningsforbindelse - Sammenkobling - med henvisning til IEC 364 sikkerhed

Jordsystem



Udligningsforbindelse af tilgængelige ledende dele

— KABINET —



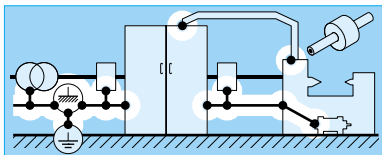
1

2

3



Udligningsforbindelse - Sammenkobling - med henvisning til IEC 364 sikkerhed



Jordsystem

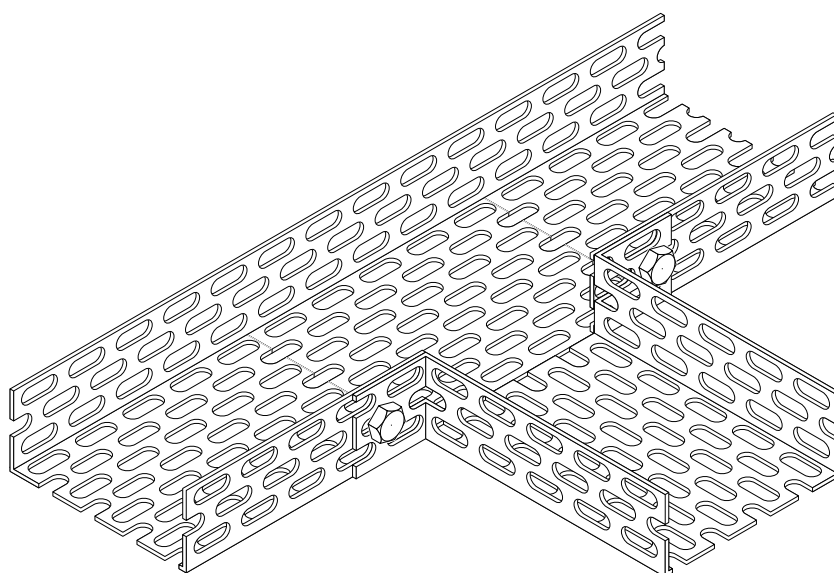
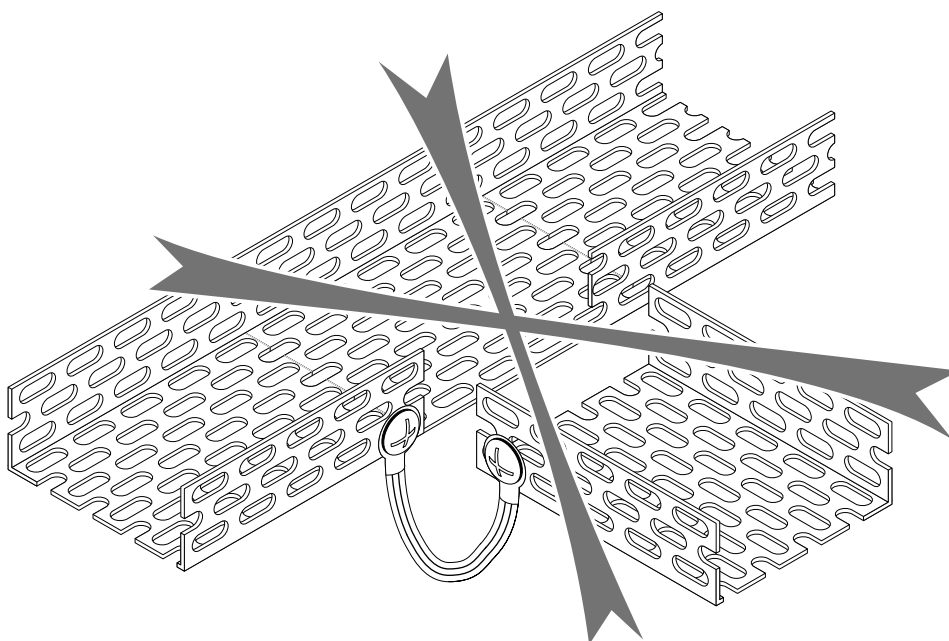
Udligningsforbindelse af tilgængelige ledende dele

— INSTALLATION —

1

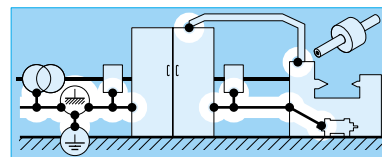
2

3

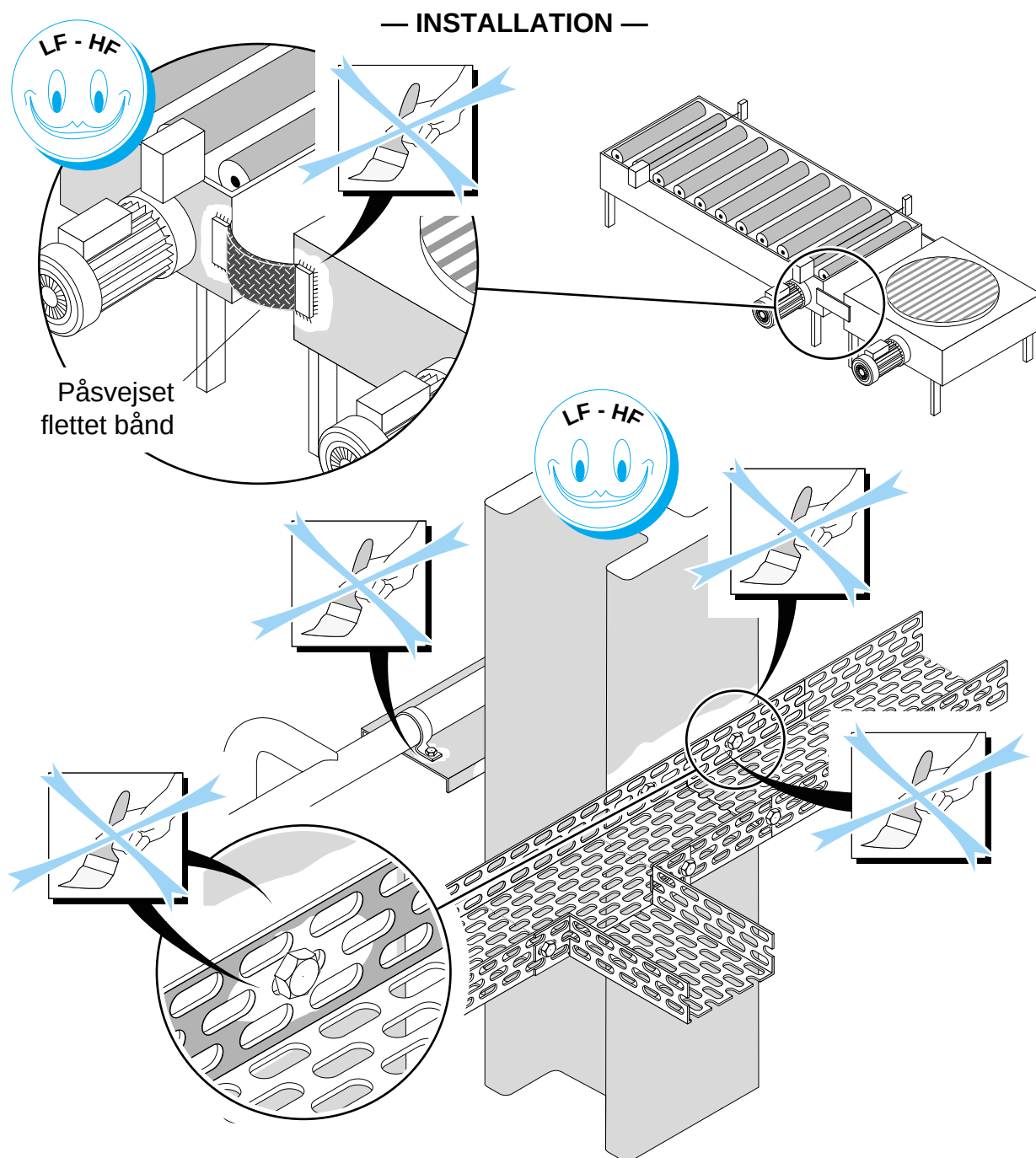


Udligningsforbindelse - Sammenkobling - med henvisning til IEC 364 sikkerhed

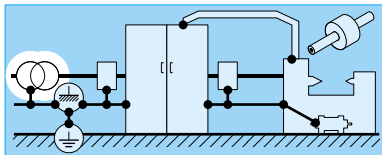
Jordsystem



Udligningsforbindelse af tilgængelige ledende dele



Udligningsforbindelse - Sammenkobling - med henvisning til IEC 364 sikkerhed



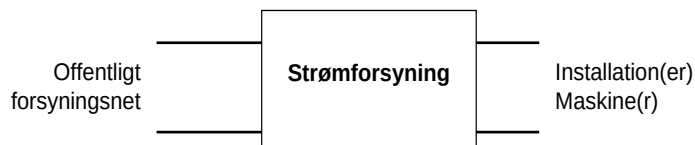
Strømforsyning

Formål

At sørge for strømforsyning af høj kvalitet og en grad af tilgængelighed, der gør det muligt at opnå korrekt funktion i installationen.

Strømforsyningen er et mellemlid mellem forskellige elektriske forsyningskilder:

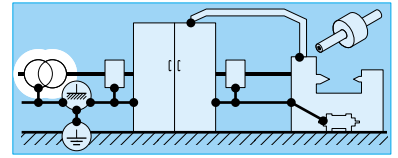
- Offentligt (LV) forsyningsnet og kunder,
- (MV) forsyningsnet og industrikunder,
- Inden for en enkelt installation, mellem generelle kredsløb og udgående fødeledninger.



Almen regel:

- Sørg for filtrering af strømforsyningen
Et passende justeret industrielt netfilter er velegnet.
- Montér begrænsere, gnistgab på strømkilden.
Placér disse komponenter, som forårsager interferens under drift, i god afstand fra følsomt udstyr.

Strømforsyning



Analyse

Forankoblet kredsløb

Identificér potentielle interferenskilder og den type forstyrrelse (natur, intensitet, frekvens etc.), der kan tænkes at påvirke strømforsyningen.

Efterkoblet kredsløb

Identificér de forskellige udstyrsenheder, der strømforsynes, og den type forstyrrelse de genererer, som kan tænkes at påvirke strømforsyningen.

Vurdér virkningerne og mulige konsekvenser af sådanne forstyrrelser i den installation, der skal strømforsynes.

- Acceptable eller uacceptable konsekvenser (kontinuerlige, periodiske etc.)
- Alvor og omkostning ved interferens
- Installationsomkostninger
- Forventet tilgængelighed og pålidelighed etc.

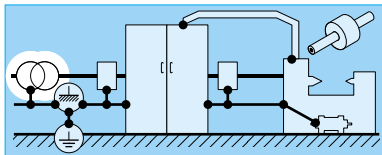
Tekniske specifikationer

Når man har defineret de tekniske specifikationer for strømforsyningen, skal man:

- 1 - Tage højde for producentens tekniske data, når det drejer sig om strømforsyninger, som er «hyldevarer», immunitet, udstråling, common-mode dæmpning, filtreringskarakteristika etc.
- 2 - I forbindelse med specialfremstillede strømforsyninger kontrollere strømforsyningens ydelse på leveringstidspunktet (transformator, speciel strømforsyning, reservestrømforsyning, nødstrømforsyning etc.).
- 3 - Definere de tekniske data for det elektriske strømforsyningsudstyr, der skal kontrolleres, og kontrollere dets egenskaber før idrifttagning.

Isolation ved hjælp af transformator

(Se underafsnittet «Skilletransformatorer» i Kapitel 1 i afsnittet «Udbredelsesformer for elektromagnetisk interferens».)



Strømforsyning

Jordsystemer

Jordsystemet fastlægger den elektriske tilslutning af nulpunktet og tilgængelige ledende dele i forhold til jord.

For svagstrøms (LV) installationer angives det af:

Første bogstav: nulpunktets status i forhold til jord

T = nulpunktet direkte jordet

I = jordet gennem en høj impedans

Andet bogstav: de tilgængelige ledende deles status i forhold til jord

T = tilgængelige ledende dele forbundet direkte til en separat jord

N = tilgængelige ledende dele forbundet til nulpunktets jord

TN system :

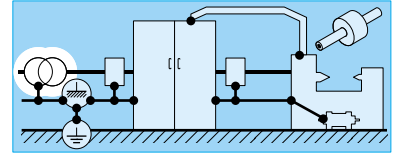
Dette system inddeles i to grupper: TN-C, TN-S

TN-C : jord- (PE) og nul- (N) ledere er samlet i én og udgør en enkelt PEN leder.

TN-S : jord- (PE) og nul- (N) ledere er adskilt og hver især jordet.

Ved valg af et jordsystem **har sikkerhed for personer altid forrang**
frem for funktionelle aspekter

Strømforsyning



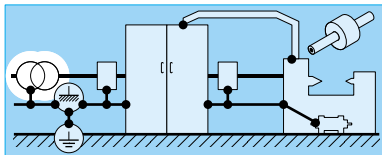
Jordsystemer: (EMC) ydelse

	TT	TN-C	TN-S	IT
Sikkerhed for personer	God ??HF1-relæ?? er obligatorisk	God Vær forsigtig og kontrollér PE lederens gennemgang ved udvidelse af installationen		
Sikkerhed for ting Brandfare Beskadigelse af udstyr	God	Dårlig Ekstremt store strømme i PEN leder - kan overstige kA Forbudt i farlige områder	Dårlig Differentialbeskyttelse 500 mA	God Anbefales pga. indbygget sikkerhed, da der ikke sker ???gnistdannelse???
Forsyningsforhold	God	God	God	Meget god
(EMC) ydelse	God PE leder er ikke længere en unik potentialerference for installationen - Giver almindeligvis ???lightning arrester?? (luftledninger) - Behov for styring af udstyr med store lækstrømme, der er placeret ???downstream?? i forhold til enheder, som beskytter mod differentialeforskelle	Dårlig Der løber interferensstrøm i tilgængelige ledende dele. Udstråling af (EMC) interferens fra PE. Kan ikke anbefales, hvis installationen indeholder udstyr, der frembringer harmoniske	Meget god - Behov for at styre udstyr med store lækstrømme, der er placeret ???downstream?? i forhold til differentialbeskyttende enheder. - Store fejlstrømme i PE (induceret interferens) - Én enkelt jord	Dårlig Ikke kompatibel med brug af common-mode filter - Det kan være nødvendigt at dele installationen op for at reducere kabellængderne og begrænse lækstrømme - TN systemet ???to the 2nd fault???

1

2

3

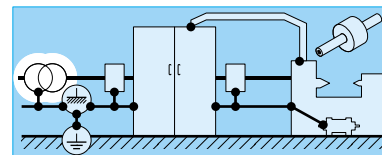


Strømforsyning

Jordsystem: (EMC) ydelse (fortsat)

		Første bogstav (angiver nulpunktets status)		Strømforsyning	
		Nulpunkt direkte jordet	Nulpunkt jordet gennem en impedans eller ingen forbindelse	Direkte, svagstrøms system	Via transformator, privat stærk-/svagstrøm
Status for installationens tilgængelige ledende dele	T Tilgængelige ledende dele sammenkoblet og forbundet til jord i ét punkt	TT 	I 	JA	JA
			IT 	NEJ	JA
	N Tilgængelige ledende dele forbundet til nulpunktet	TN-C 	Advarsel NOTE 1 : I TN-C systemet må PEN lederen (kombineret nul og PE) aldrig skæres over. I TN-S systemet som i de andre systemer må PE lederen aldrig skæres over. NOTE 2 : I TN-C systemet har funktionen "beskyttelsesleder" forrang for funktionen "nul". Især skal en PEN leder altid være forbundet til "jord"terminalen på brugsenheden, og der skal være monteret et bånd mellem denne terminal og nulterminalen. NOTE 3 : TN-C og TN-S systemerne kan benyttes i samme installation. Det er alt afgørende, at TN-C systemet er placeret nærmere strømkilden end TN-S systemet. TN-S systemet er obligatorisk ved tværsnitsarealer < 10 mm ² Cu eller < 16 mm ² Al eller for bøjelige kabler.	JA	JA
		TN-S 		JA	JA

Strømforsyning

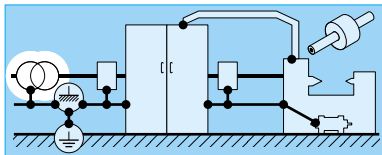


Udkobling	Beskyttende enhed	Behov for vedligeholdelse	Bemærkninger
1. fejl	Fejlstrømsrelæ • Ved kilde og/eller • på hver udgående fødeledning (horizontal selektivitet)	NEJ Periodisk inspektion	- Størrelsen af isolationsfejlstrøm er begrænset ved hjælp af jordingsmodstande (et par snese ampere). - Sammenkobling af tilgængelige ledende dele og jording via PE leder, der er adskilt fra nullederen. - Der er ingen krav til nullederens gennemgang. - Udvidelse mulig uden beregning af lederlængder. - Enkleste løsning ved design af en installation.
2. fejl	NEJ Behov for tester til kontinuerlig isolationsovervågning	JA Behov for indgreb for at afhjælpe 1. fejl	- Størrelsen af 1. isolationsfejlstrøm kan ikke skabe en farlig situation (flere dusin mA). - Dobbeltisolationsfejlstrømmen er stor. - Betjeningsmæssige tilgængelige ledende dele er jordet via PE leder, som er adskilt fra nulleder. 1. isolationsfejl skaber ikke fare eller interferens. - Signalering er obligatorisk ved 1. isolationsfejl; derefter fejlfinding og afhjælpning ved brug af fejlstrømmåler mellem nulleder og jord. - Der skal slås fra ved 2. isolationsfejl ved brug af enhed til beskyttelse mod overstrøm. - Det skal kontrolleres, at der sker fraslag ved 2. fejl. - Denne løsning er optimal for fortsat drift. - Behov for installation af forbrugende enheder, der har en fase/jord isolationsspænding, der er større end fase-til-fase spændingen (ved 1. fejl). - Spændingsbegrænsere er uundværlige.
Fortsat drift sikret	Temperaturstigning i kabler ved 2. fejl	Efter 1. fejl => TN konfiguration	
1. fejl	Forbudt	NEJ - Kontrol af, at relæet slår fra, skal udføres: - i designfasen v.h.a. beregning - obligatorisk ved tidspunktet for idrifttagning - periodisk (hvert år) ved målinger - Kontrol af frakobling skal gentages, hvis installationen udvides eller ombygges	- Betjeningsmæssige tilgængelige ledende dele er forbundet til PEN leder, som så er jordet. - Store isolationsfejlstrømme (forøget interferens og brandfare) (ved kortslutning kA). - Kombineret nulleder og beskyttelsesleder (PEN). - Nulstrømme i bygningens ledende dele og tilgængelige ledende dele kan være årsag til brand og spændingsfald, som giver interferens i et følsomt medikoteknisk, edb- og telekommunikationsudstyr. - Frakobling er obligatorisk ved første isolationsfejl; afhjælpning ved hjælp af enheder til beskyttelse mod overstrøm.
1. fejl	NEJ Men det er nødvendigt med et fejlstrømsrelæ ved lange kredsløb	NEJ - Kontrol af, at relæet slår fra, skal udføres: - i designfasen ved beregning - obligatorisk ved tidspunktet for idrifttagning - periodisk (hvert år) ved hjælp af målinger - Kontrol af, at relæet slår fra, skal gentages, hvis installationen udvides eller ombygges.	- Betjeningsmæssige tilgængelige ledende dele er forbundet til PEN leder, som så er jordet. - Store isolationsfejlstrømme (forøget interferens og brandfare) (ved kortslutning kA). - Separat nulleder og beskyttelsesleder (PE). - Frakobling er obligatorisk ved første isolationsfejl, afhjælpning ved hjælp af enheder til beskyttelse mod overstrøm. Det anbefales altid at bruge ELCB'er til beskyttelse af personer mod indirekte kontakt, især i det sidste distributionskredsløb, hvor sløjfeimpedanser måske ikke er kontrollable. - Det er svært at afprøve beskyttende enheder for korrekt funktion. Brug af ELCB'er hjælper med til at løse dette problem.

1

2

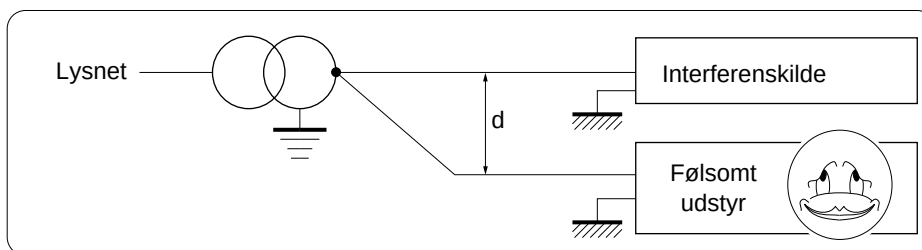
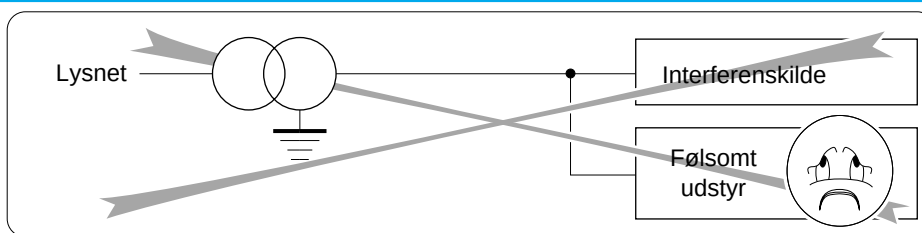
3



Strømforsyning

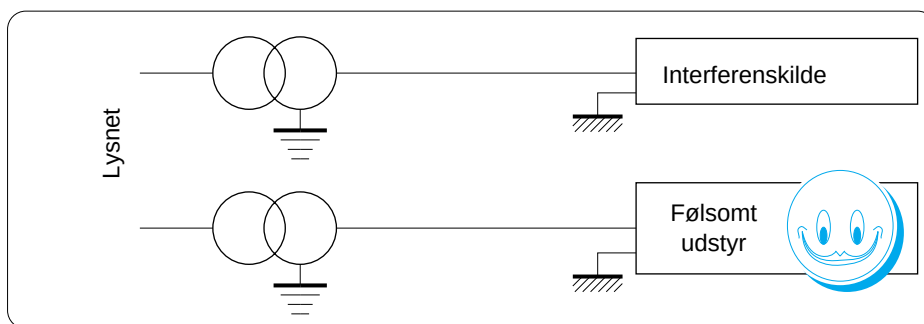
Distribution i installationen

Forbind enhedernes strømforsyninger i en STJERNE konfiguration, idet der startes fra strømkilden.

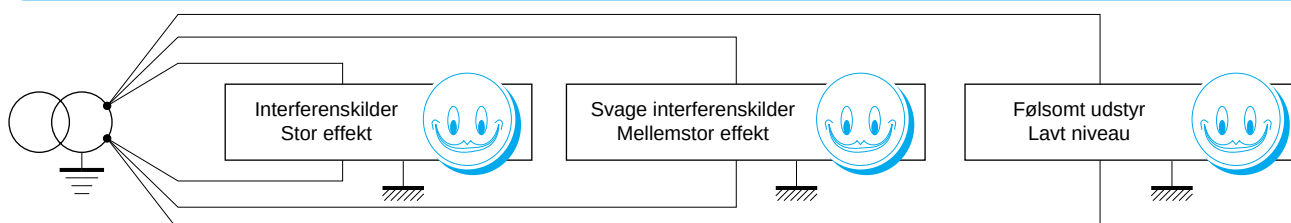


d = afstand mellem kabler: se Regler for kabelføring senere i nærværende kapitel.

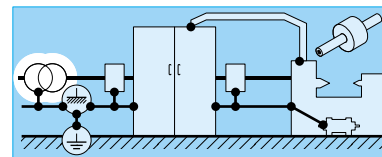
Hvis der benyttes udstyr, der er meget følsomt eller frembringer væsentlig interferens, skal strømforsyningerne adskilles.



Forbind forsyningskredsløbene, idet udstyr, der interfererer, placeres så nær strømkilden som muligt, og det mest følsomme udstyr placeres længst fra strømkilden.

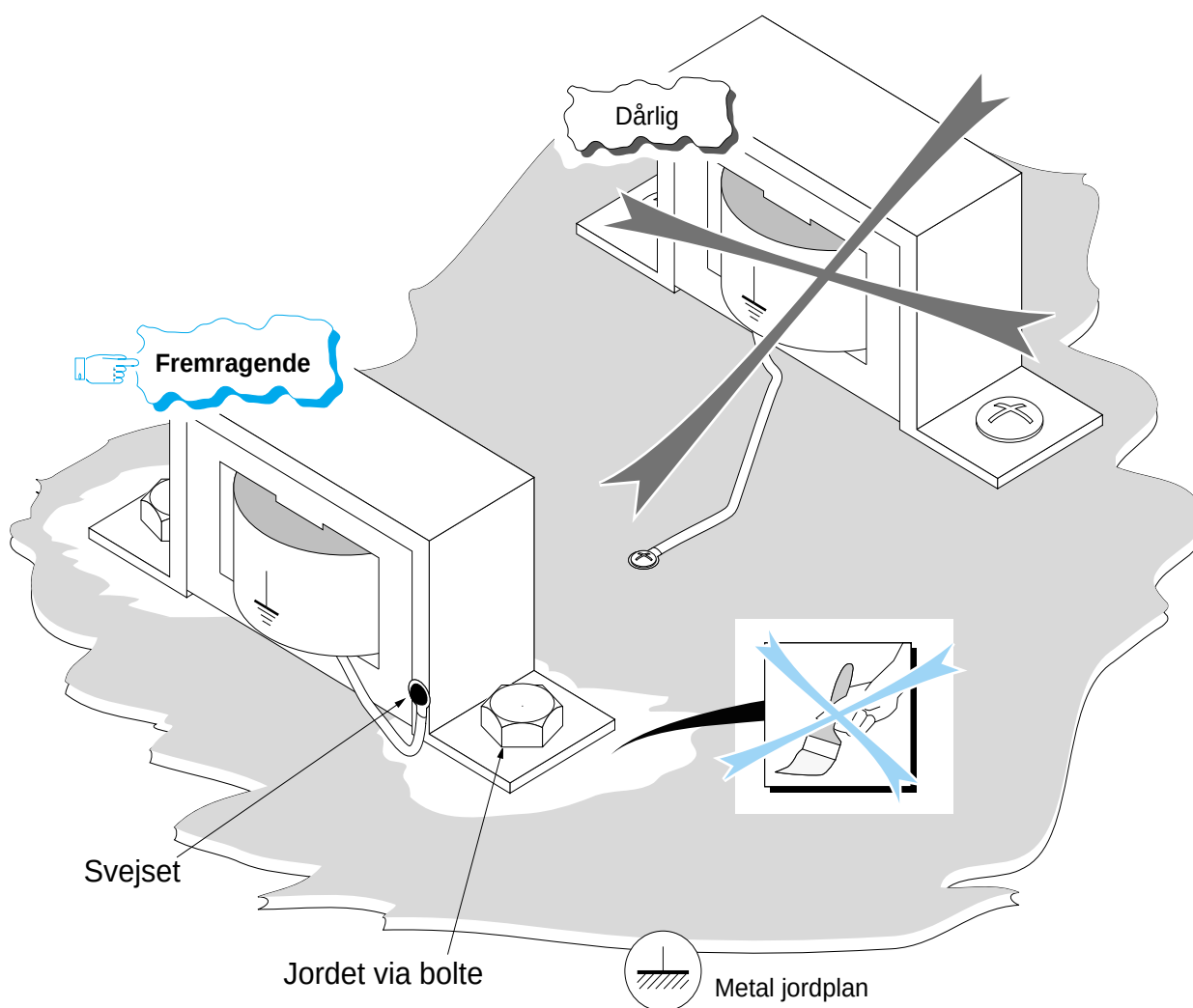


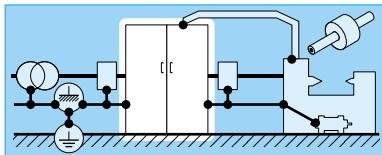
Strømforsyning



Jording af transformatorens skærme

- Stelforbindelsen skal være så kort som mulig.
- Transformatorens hus skal monteres metal-til-metal på et ledende jordplan.





Kabinet

Analyse

1

Komponenter

- Identificér mulige interferensskilder og fastslå typen af udsendt interferens (natur, styrke, frekvens etc.).
- Identificér følsomt udstyr og fastslå dets immunitetsniveau.

Benyt producentens dokumentation, og notér karakteristika såsom:

- effekt, strømforsyningspænding (380 V, 500 V etc.), signalers type ($\sim$; $=$), signalers frekvens (50 Hz, 60 Hz, 10 kHz ...),
- kredsløbstype (omskiftning med tørre kontakter etc.)
- typen af styret belastning (induktor eller spole etc.).

2

3

Signaler fremført via kabler

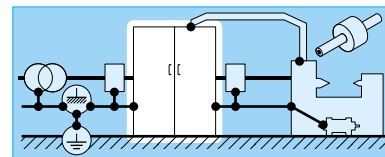
- Find «indgangs»kablerne (signaler, der har deres oprindelse uden for kabinettet) og «udgangs»kabler.
- Fastslå signaltypen på disse kabler, og del dem op i klasser*, nemlig: følsomme, svagt følsomme, svagt interfererende, interfererende.

(Se afsnittet «Kabler» senere i nærværende kapitel).

— *Ikke-standardiseret begreb, der er valgt til brug i nærværende dokument. —



Kabinet



Analyse (fortsat)

Eksempel på typisk klassifikation

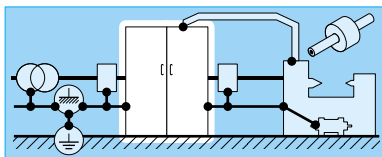
Følsom	Interfererende
• Programmable logic controllers (PLC) • Printkort • Regulatorer • Kabler, der er tilsluttet sådanne komponenter, nemlig indgange og udgange såsom (detektorer, sensorer, prober etc.) --> klasse* 1 eller 2 • Kabler, der fremfører analoge signaler --> klasse* 1	• Transformatorer i kabinet • Kontaktorer, afbrydere etc. • Sikringer • Switching strømforsyninger • Frekvenskonvertere • Motorer med variabel hastighed • DC $\equiv$ strømforsyninger • Microprocessor clock-signaler • Kabler, der er tilsluttet sådanne komponenter • Strømforsyningslinjer • «Effekt»kabler i almindelighed --> klasse* 3 eller 4 (Se afsnittet «Kabler» senere i nærværende kapitel).

— *Ikke-standardiseret begreb, der er valgt til brug i nærværende dokument. —

1

2

3



Kabinet

Jordreferenceplan

Før man gør noget som helst andet, skal man fastlægge og sørge for et umalet jordreferenceplan i kabinettets bund

1

Denne metalplade eller dette metalgitter forbindes på flere punkter til rack'et i metalkabinettet, som selv er forbundet til udstyrets jordsystem.

2

Alle komponenter (filtre etc.) boltes direkte på dette jordplan.

Alle kabler lægges på jordplanet.

360° skærmning opnås ved hjælp af låsemøtrikker, der er skruet direkte på jordplanet.

3

Man skal være særligt omhyggelig ved etablering af enhver form for forbindelse (se afsnit senere i nærværende kapitel).

Kabelgennemføringer

Kabler, der forårsager interferens, skal forsynes med filtre, hvor de føres ind i kabinettet.

Vær omhyggelig med valg af kabelafslutninger, der er beregnet til at forbinde skærmen til jord (væg).

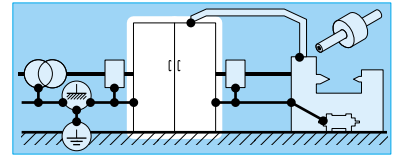
Kabeltræk

(Se afsnittene «Kabler», «Regler for kabelføring» og «Kabelføring - Kabelkanaler» senere i nærværende kapitel).

Del kablerne op efter klasse og før dem i separate kabelkanaler af metal; der skal være passende afstand mellem kanalerne.



Kabinet



Belysning

Brug ikke fluorescerende lamper, gas udløsningsrør etc. til intern belysning af kontrolpanelers kabinetter (de genererer harmoniske etc.).



Brug glødelamper.

1

Komponentlayout

Opdel og adskil «interfererende» og «følsomme» komponenter, kabler etc. i forskellige kabinetter.

2

Små kabinetter

Opdeling ved hjælp af paneler af metalplade, der er jordet på flere punkter, reducerer påvirkning fra forstyrrelser.

3

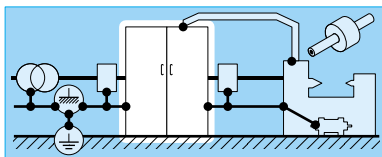
Store kabinetter

Brug et selvstændigt kabinet til komponenter af hver klasse.

«Interfererende» og «følsomme» kabinetter må ikke sammenblandes.



Manglende overholdelse af disse retningslinjer kan betyde, at den indsats, der ydes ved montering og idrifttagning, bliver virkningsløs.

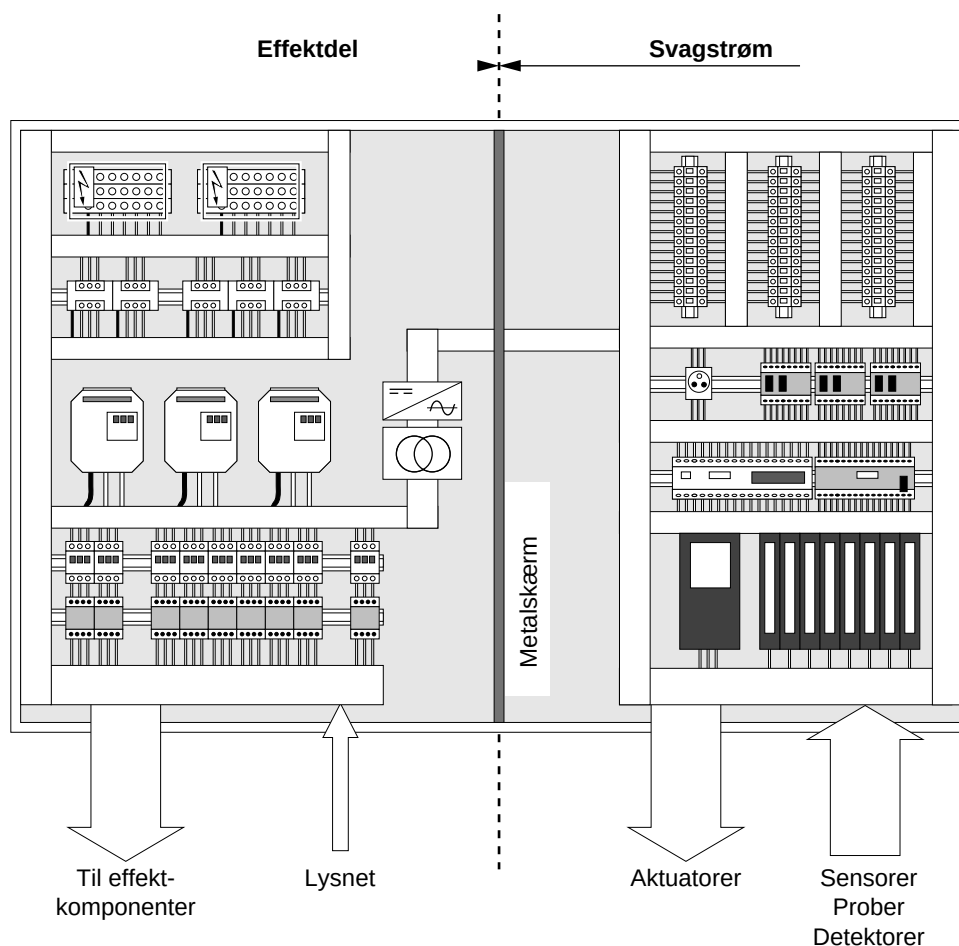


Kabinet

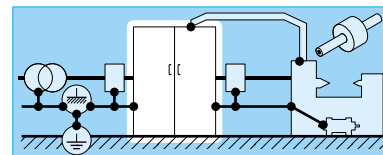
Eksempel på det strukturelle layout for et lille kabinet



I små kabinetter kan det være tilstrækkeligt med opdeling ved hjælp af paneler af metalplader, der er boltet til chassiset.

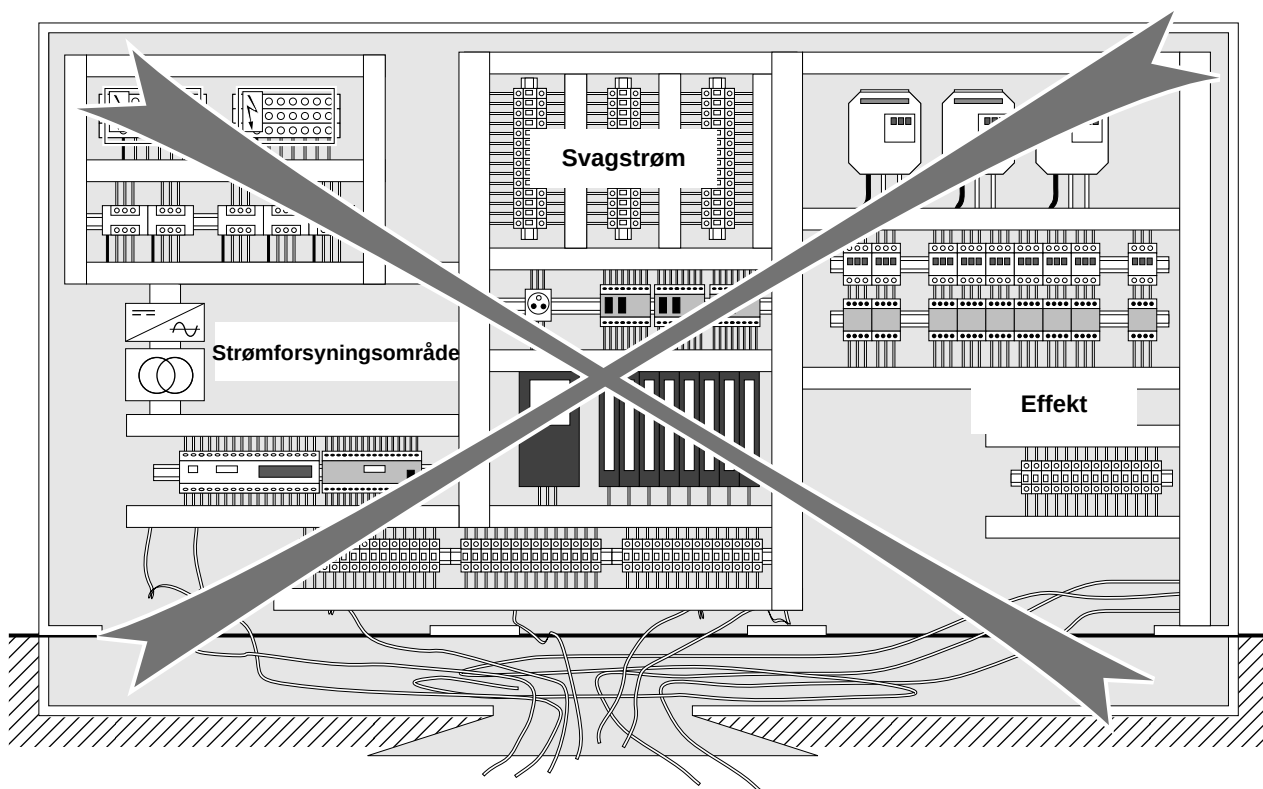


Kabinet



Eksempel på det strukturelle layout for et stort kabinet

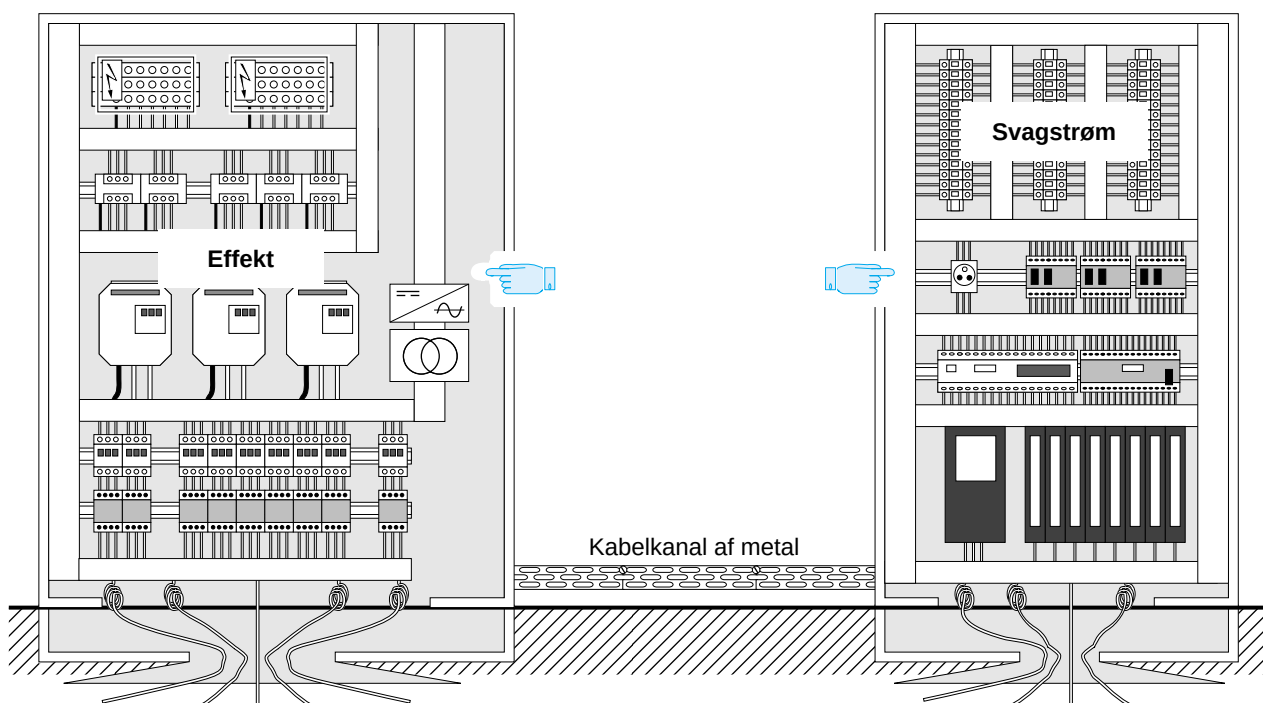
Man må aldrig blande kabler eller vikke overskydende kabel op i en rulle.

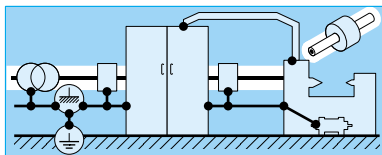


1

2

3





Kabler

Signalklasser*

Klassifikation af signaler efter interferensniveau

Klasse*	Interfererende	Følsom	Eksempel på fremført signal eller tilsluttet udstyr
1 Følsom		++	- Lavniveau kredsløb med analog udgang, sensorer etc. - Målekredsløb (prober, sensorer etc.)
2 Let følsom		+	- Styrekredsløb tilsluttet til ohmsk belastning - Lavniveau digitale kredsløb (bus etc.) - Lavniveau kredsløb med alt-eller-intet udgang (sensorer etc.) - Lavniveau DC strømforsyninger
3 Let interfererende	+		- Styrekredsløb med induktiv belastning (relæer, kontaktorer, spoler, invertere etc.) med passende beskyttelse - Rene AC strømforsyninger - Netforsyninger tilsluttet stærkstrømsenheder
4 interfererende	++		- Svejseapparater - Stærkstrømskredsløb i almindelighed - Elektroniske hastighedsregulatorer, switching strømforsyninger etc.

Valg af kabler

Anbefalede kabeltyper ud fra signalklasse*

Klasse*	Type	Enkelt- leder	Par- snoet	Skærmet par- snoet	Skærmet (fletværk)	Hybrid skærmning (skærm + flet)
1	Følsom				Pris ↗	
2	Let følsom				Pris ↗	
3	Let interfererende				Pris ↗	
4	Interfererende					



Anbefales ikke



Anbefales,
overkommelig pris

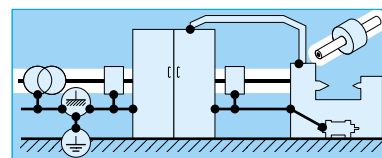


Anbefales ikke,
høj pris
for denne signalklasse

— *Ikke-standardiseret begreb, der er valgt til brug i nærværende dokument. —



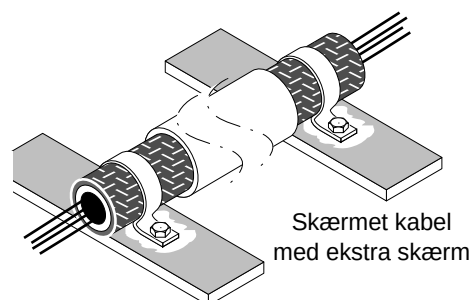
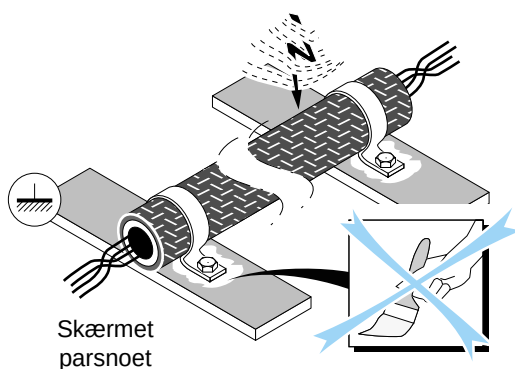
Kabler



Eksempel på kabler, der benyttes til forskellige signalklasser*

Klasse* 1

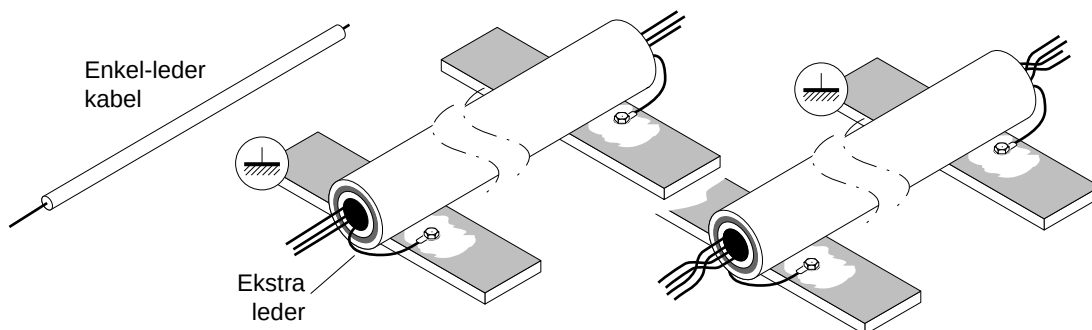
Følsomme
signaler



1

Klasse* 2

Let
følsomme
signaler

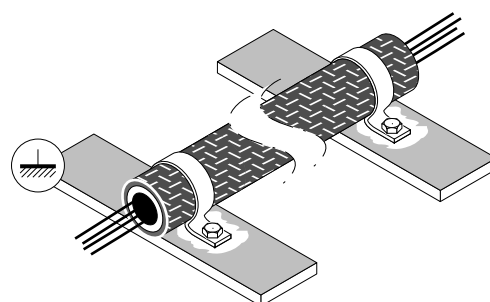
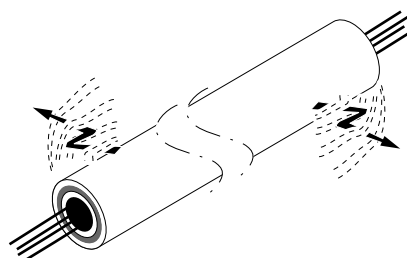


2

3

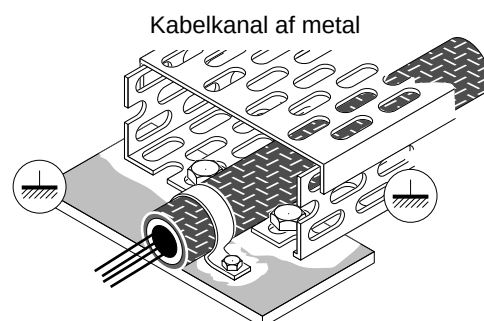
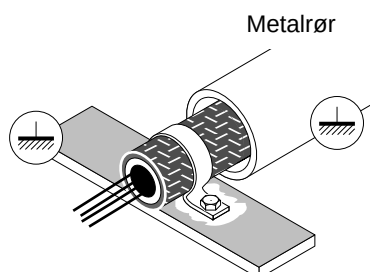
Klasse* 3

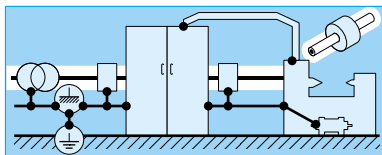
Let
interfererende
signaler



Klasse* 4

Interfererende
signaler





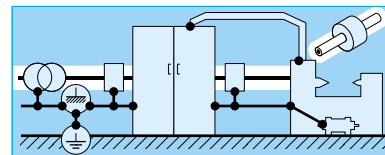
Kabler

Kablers ydelse, når det gælder (EMC)

Kabel	Ledet	Udstrålet			Common mode
		LF : 0 - 50 Hz	LF < 5 MHz	LF > 5-30 MHz	
Enkelt-leder kabel	Ingen virkning	Gennemsnitlig ¹	Acceptabel ¹	Utilstrækkelig ¹	Dårlig
		1 : Hvis ud- og indgående kabler ligger meget tæt			
2-leder parallel		Gennemsnitlig	Acceptabel	Utilstrækkelig	
2-leder snoet parallel		God ²	God op til 100 kHz	Brugbar	Dårlig
		2 : Afhænger af antallet af snoninger/m			
Skærmet parsnoet		God	God	Gennemsnitlig	God
Aluminium-tape skærmning		Gennemsnitlig	Brugbar	Utilstrækkelig	
Fletværk		Fremragende	Fremragende	God	
Skærmning + flet		Fremragende	Fremragende	Fremragende	



Kabler

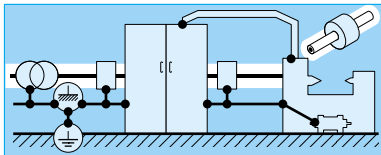


Kobling		Interferens-niveau	Anvendelsesområder
Differential mode	Crosstalk, kapacitiv, induktiv kobling		
Dårlig	Dårlig		Kun ufølsomt udstyr, lavfrekvens (LF) anvendelser, 50 Hz-60 Hz
God	Dårlig	Udstyr, der giver let interferens	Tertiær industri, let støjende industrielle miljøer
Fremragende	God	Svag menneskeskabt interferens	Tertiær industri, let støjende industrielle miljøer, signaler < 10 MHz
	Gennemsnitlig	Svag menneskeskabt interferens (radiosendere, fluorescerende belysning)	Let støjende industrielle anlæg, lokalnet Tertiært databehandlingsudstyr
	God	Typisk menneskeskabt interferens	Typisk industrisektor Databehandling, måling, styring Lokalnet Motorstyring etc.
	God	Kraftig menneskeskabt interferens (sværindustri)	Meget følsomme produkter i meget støjende miljø

1

2

3



Regler for kabelføring

De 10 bud

Gylden regel i (EMC)

Sørg for højfrekvens (HF) og lavfrekvens (LF) ÆKVIPOIENTIEL SAMMENKOBLING af tilgængelige ledende dele :

1

- lokalt (installation, maskine etc.)
- på anlægsniveau

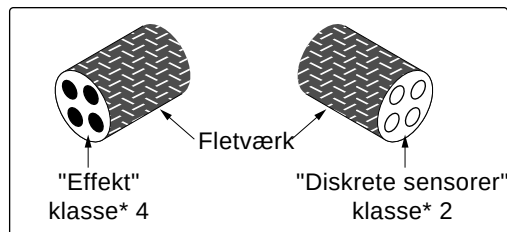
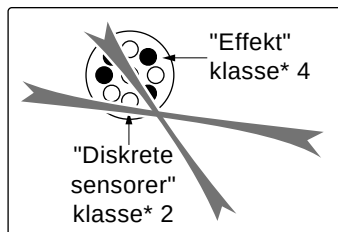
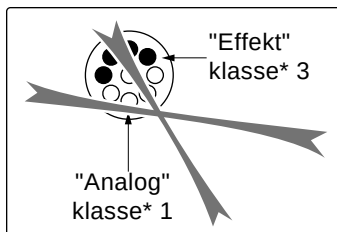
1

2

2

Før aldrig signaler i de følsomme klasser* (1-2) og signaler i de interfererende klasser* (3-4) i samme kabel eller samme bundt ledere.

3



Fletværk : aluminiumtape, metalarmering, etc.
udgør ikke en skærm

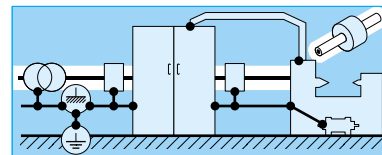
3

Minimér længden for parallel føring af kabler, der fremfører signaler af forskellig klasse*: følsomme (klasse* 1-2) og interfererende (klasse* 3-4).

Minimér kablens længde.

— *Ikke-standardiseret begreb, der er valgt til brug i nærværende dokument. —

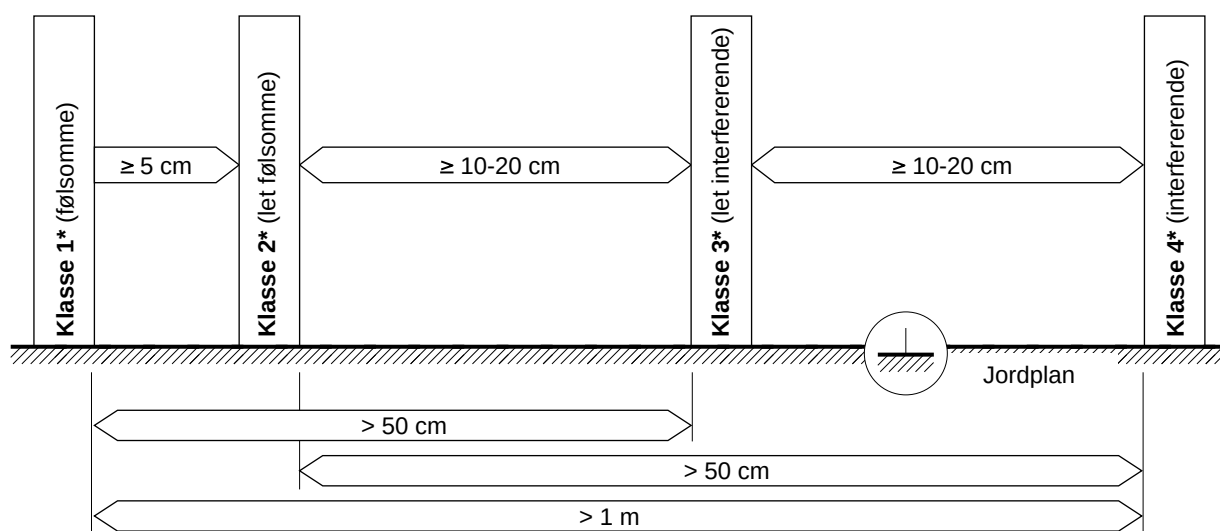
Regler for kabelføring



4

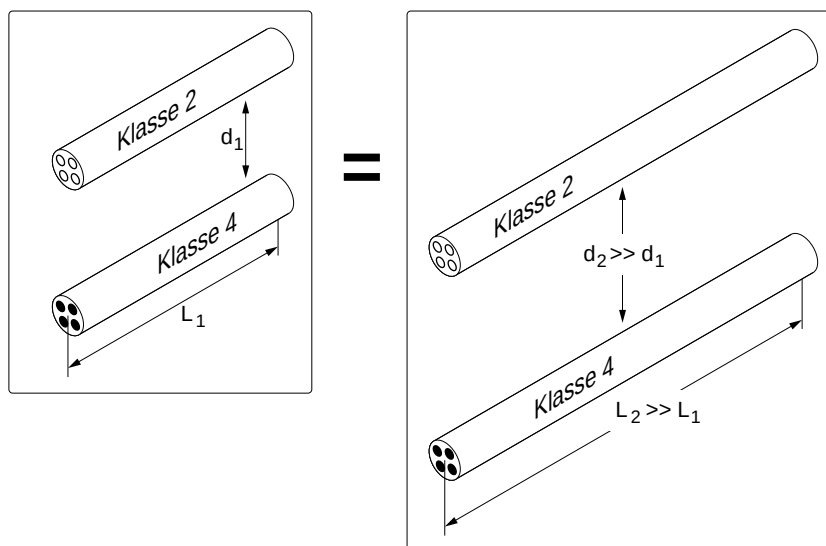
Maksimér afstanden mellem kabler, der fremfører signaler af forskellig klasse*, især følsomme signaler (1-2) og interfererende signaler (3-4) - dette er meget effektivt og relativt billigt.

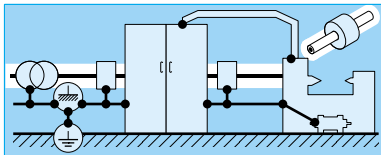
Nedenstående værdier er blot vejledende og forudsætter, at kablerne er monteret på et jordplan og er mindre end 30 m lange.



— *Ikke-standardiseret begreb, der er valgt til brug i nærværende dokument. —

Jo længere kabel, desto større afstand kræves der mellem kabler.

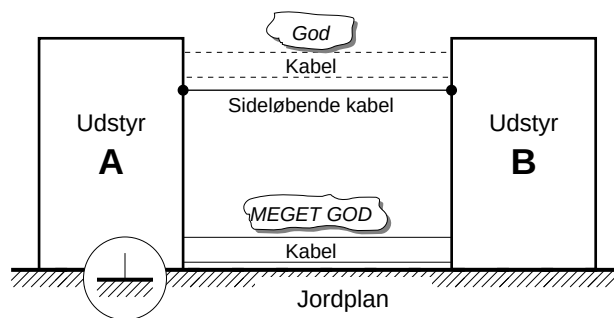
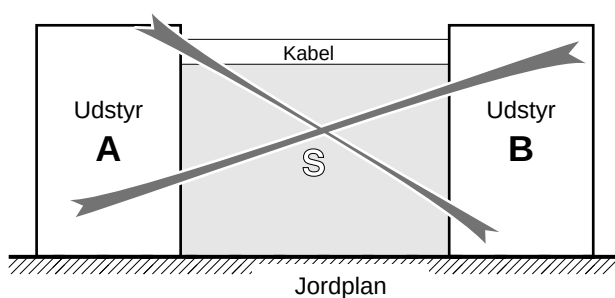




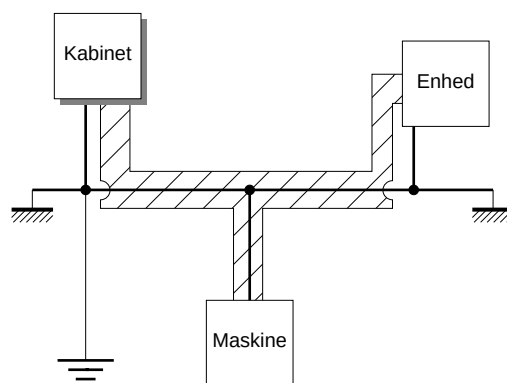
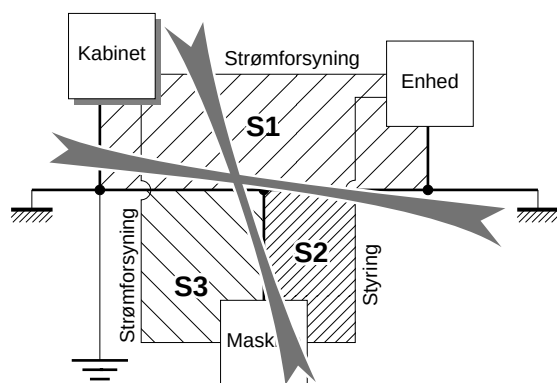
Regler for kabelføring

5

Minimér jordsløjfers overfladeareal

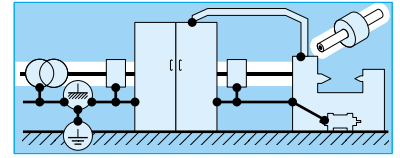


Sørg for gennemgående jordplan mellem to kabinetter, maskiner, udstyrsenheder.



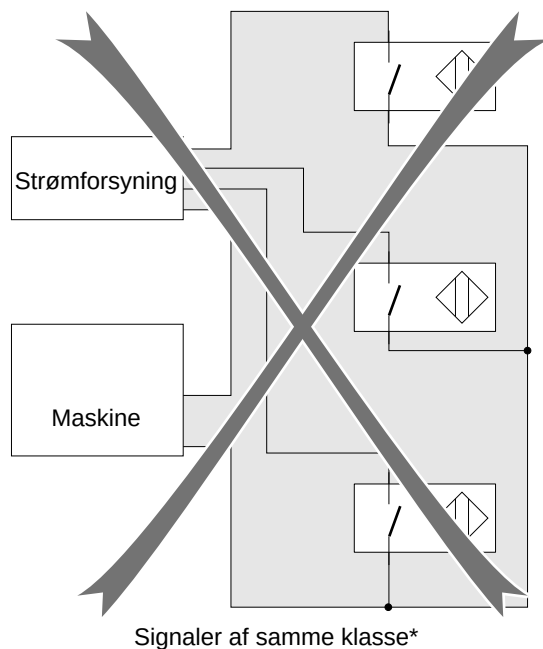
Placér alle ledere - i hele deres længde - tæt på jordplanet (kabinettets montageplade, tilgængelige ledende dele af metalhuse, maskiners eller bygningers ækvipotentielle strukturer, andre ledere, kabelkanaler etc.).

Regler for kabelføring

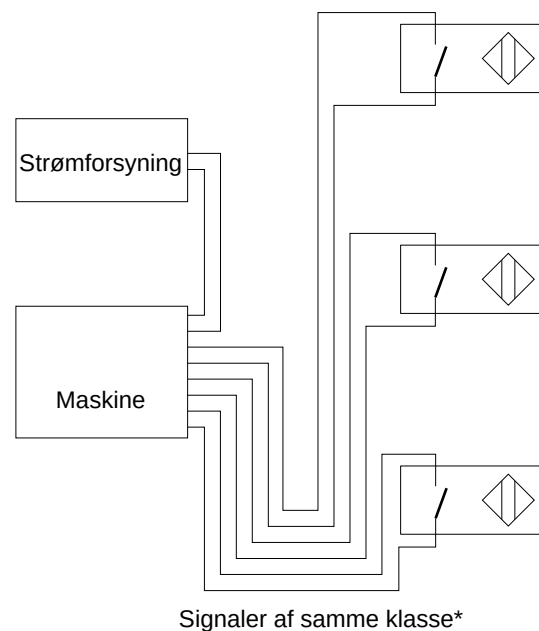


6

Den UDGÅENDE leder skal altid placeres så tæt som muligt på RETURlederen.



Signaler af samme klasse*



Signaler af samme klasse*

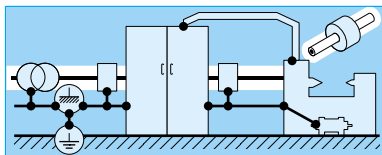
* : lavniveau sensorer ==> klasse 2

Brug af 2-tråds (2-leders) kabler gør det muligt at sikre, at den UDGÅENDE leder løber ved siden af RETURlederen over den fulde længde.

1

2

3



Regler for kabelføring

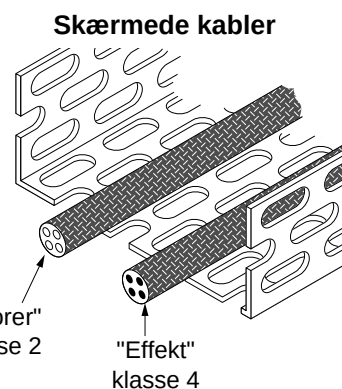
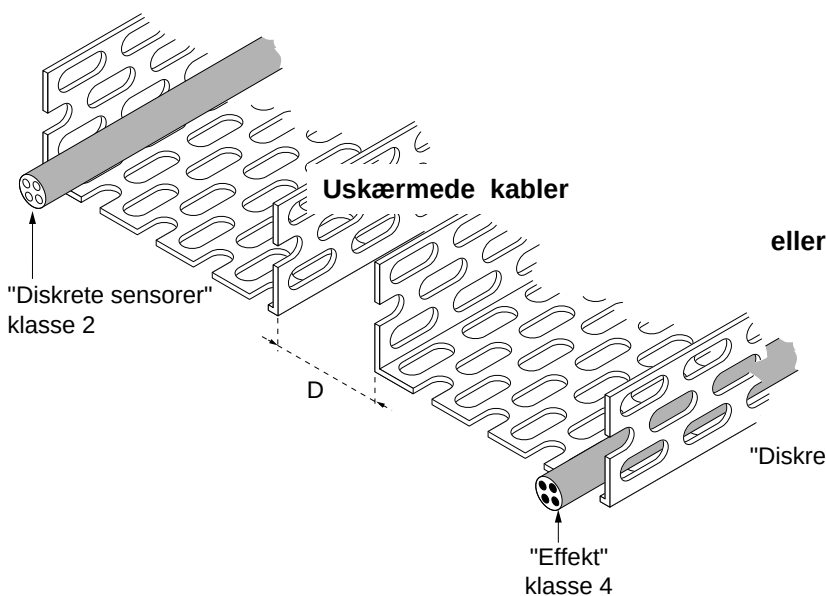
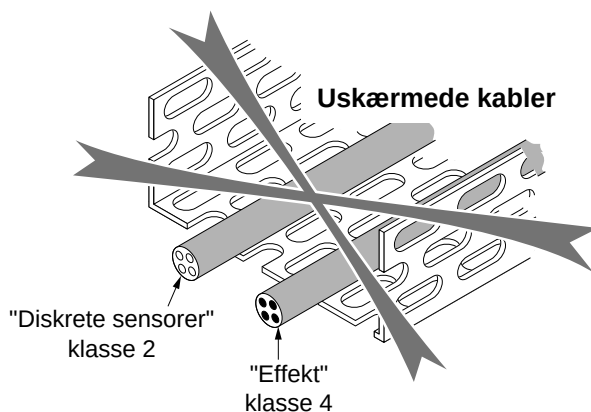
7

Brug af skærmede kabler gør det muligt at placere kabler, der fremfører signaler af forskellig klasse, i samme kabelkanal.

1

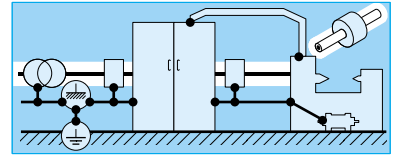
2

3



— *Ikke-standardiseret begreb, der er valgt til brug i nærværende dokument. —

Regler for kabelføring



8

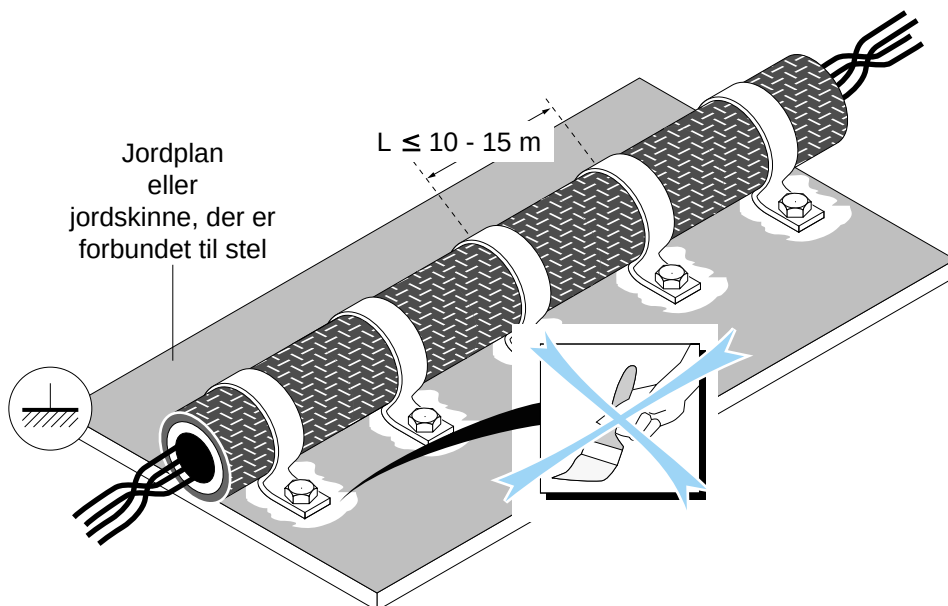
Tilslutning af skærm

Skærm tilsluttet i begge ender

- Meget effektiv mod eksterne forstyrrelser (højfrekvens (HF) etc.),
- Meget effektiv selv ved kablets resonansfrekvens,
- Ingen potentialeforskel mellem kabel og stelforbindelse,
- Muliggør samlet anbringelse af kabler, der fremfører signaler af forskellig klasse (under forudsætning af tilfredsstillende tilslutning (360°) og ækvipotentiel sammenkobling af tilgængelige ledende dele (sammenbinding etc.),
- Meget stor begrænsende effekt (højfrekvens (HF)) - er ≈ 300 ,
- Kan ved ekstreme højfrekvens (HF) signaler inducere lækstrømme til jord, når det gælder lange kabler $> 50-100$ m.

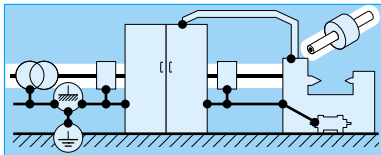
Meget effektiv

Fordi LF og HF ækvipotentiel sammenkobling af anlægget er en gylden regel i (EMC), er det bedst at tilslutte skærm til stelfjord i begge ender.



Skærmning mister sin effektivitet, hvis kabellængden er for stor.

Det er tilrådeligt at sørge for en række mellemliggende tilslutninger til stelfjord.



Regler for kabelføring

Skærm tilsluttet i kun den ene ende

- Ineffektiv mod eksterne forstyrrelser i HF elektrisk felt,
- Kan benyttes til at beskytte en isoleret link (sensor) mod LF elektrisk felt,
- Skærm kan fungere som antenne og blive resonant
==> i så tilfælde er interferensen kraftigere end uden skærmning!
- Gør det muligt at undgå (LF) brum,
==> brum forårsages af LF strøm i skærmen.

1

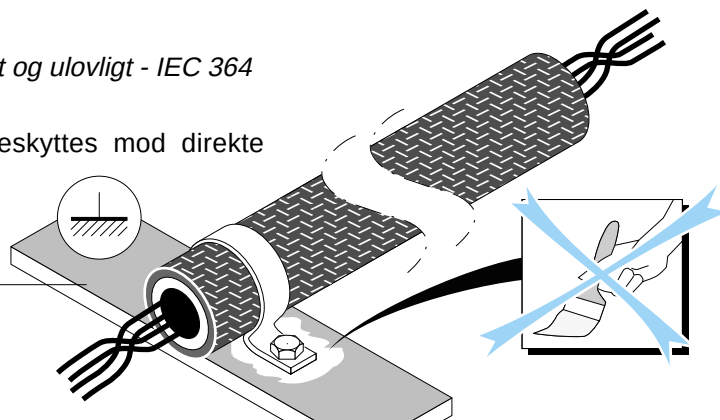


Der kan forekomme en stor potentialeforskel i den ende af skærmen, der ikke er jordet.

==> dette er farligt og ulovligt - IEC 364

Skærmen skal derfor beskyttes mod direkte kontakt.

Jordplan
eller
jordskinne,
der er forbundet
til stel



2

3

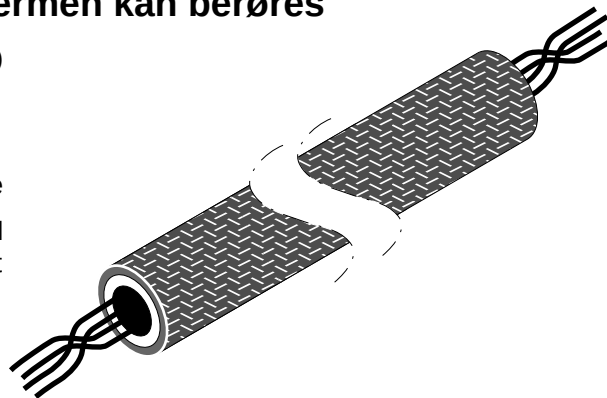
Gennemsnitlig effektivitet

Ved manglende ækvipotentiel sammenkobling af anlægget (brum) er tilslutning ved kun den ene ende en metode til at opnå acceptabel funktion.



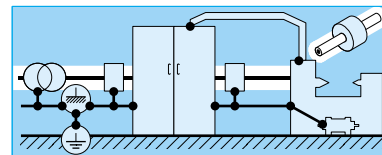
Skærm ikke forbundet til steljord: forbudt, hvis skærmen kan berøres

- Ineffektiv mod eksterne forstyrrelser (HF) etc.,
- Ineffektiv mod magnetiske felter,
- Begrænser kapacitiv crosstalk mellem ledere
- Der kan forekomme en stor potentialeforskel mellem skærm og steljord ==> dette er farligt og ulovligt (IEC 364)



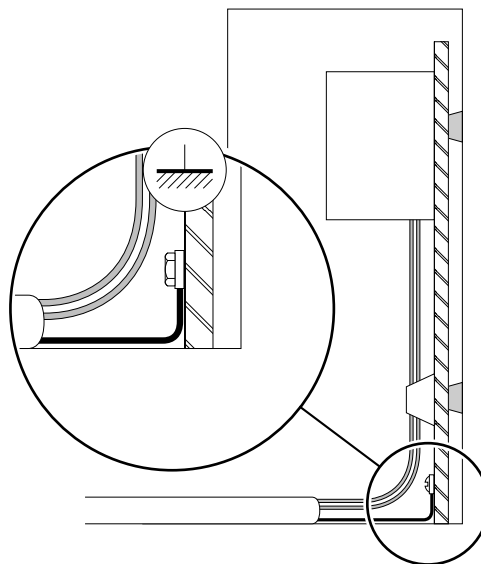
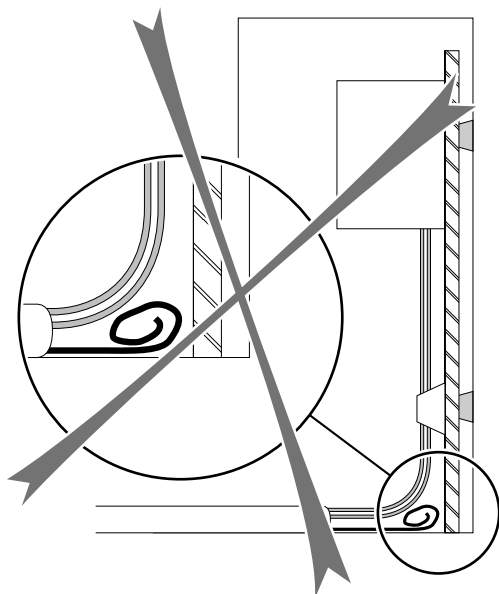
Fuldstændigt ineffektiv, især sammenlignet med fordelene og de ringe omkostninger ved korrekt monteret skærmning.

Regler for kabelføring



9

Enhver leder i et kabel, som er i overskud eller ikke bruges, skal altid jordes (chassis, kabelkanal, kabinet etc.) i begge ender



For klasse* 1 signaler kan sådan tilslutning generere LF brum, der påtrykkes det ønskede signal, hvis den ækvipotentielle sammenkobling af de tilgængelige ledende dele af installationen er utilstrækkelig.

— *Ikke-standardiseret begreb, der er valgt til brug i nærværende dokument. —

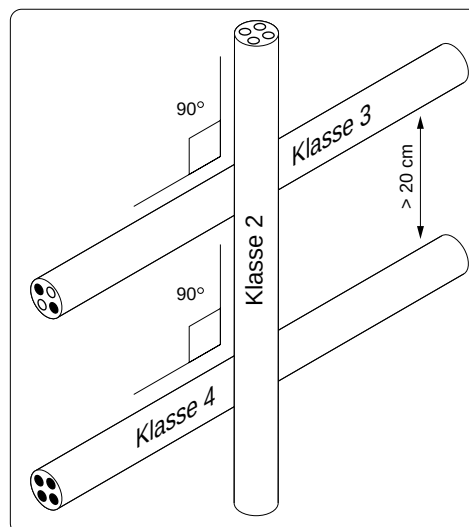
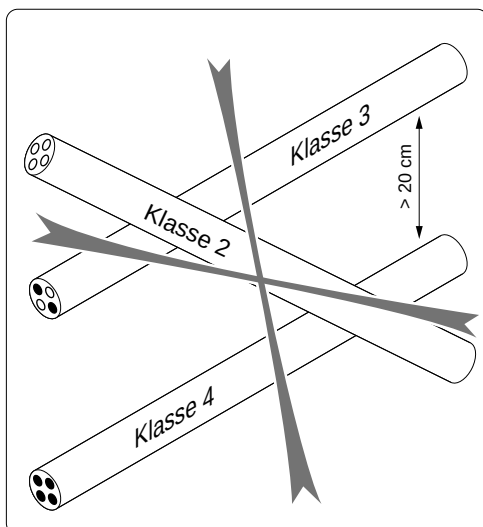
1

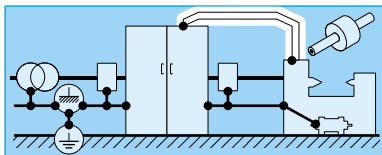
2

3

10

Sørg for, at ledere eller kabler, der fremfører signaler af forskellig klasse, især følsomme signaler (1-2) og interfererende signaler (3-4), krydser hinanden i rette vinkler





Kabelføring

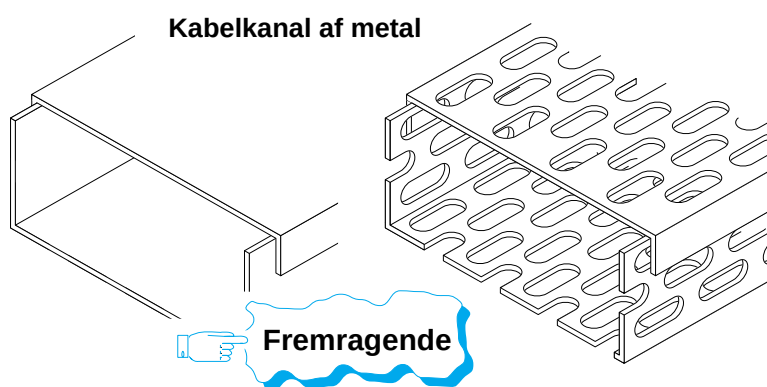
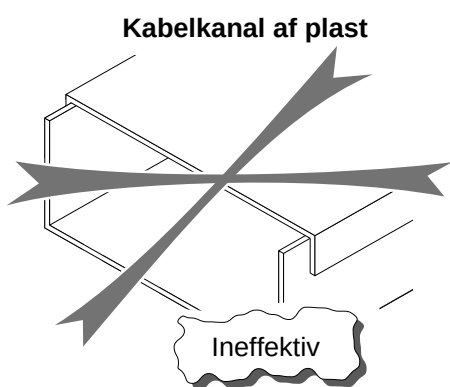
Kabelkanaler

Korrekt tilsluttede kabelkanaler, installationsrør etc. af metal giver meget effektiv overordnet skærmning af kabler.

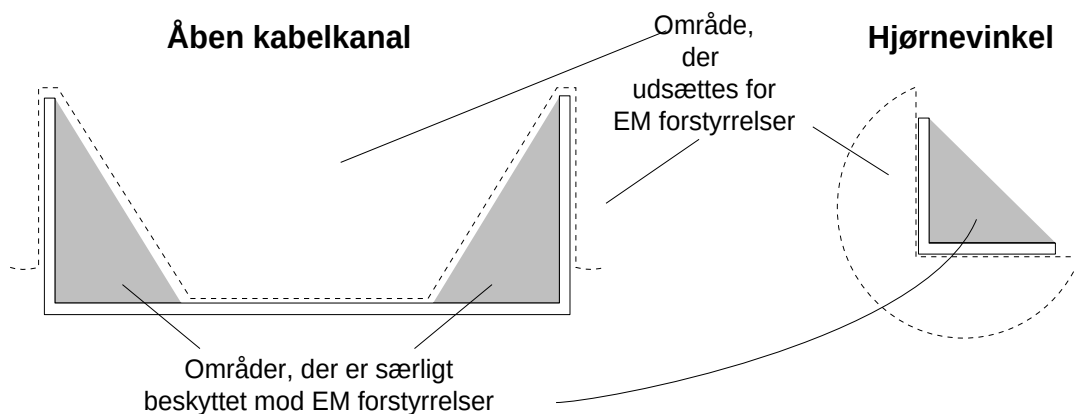
1

2

3



Reaktion ved EM forstyrrelser

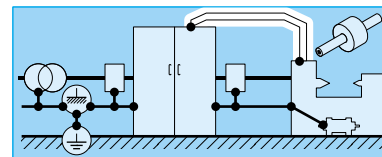


Kabelkanalens afskærmende effekt er meget afhængig af kablets placering i kanalen.

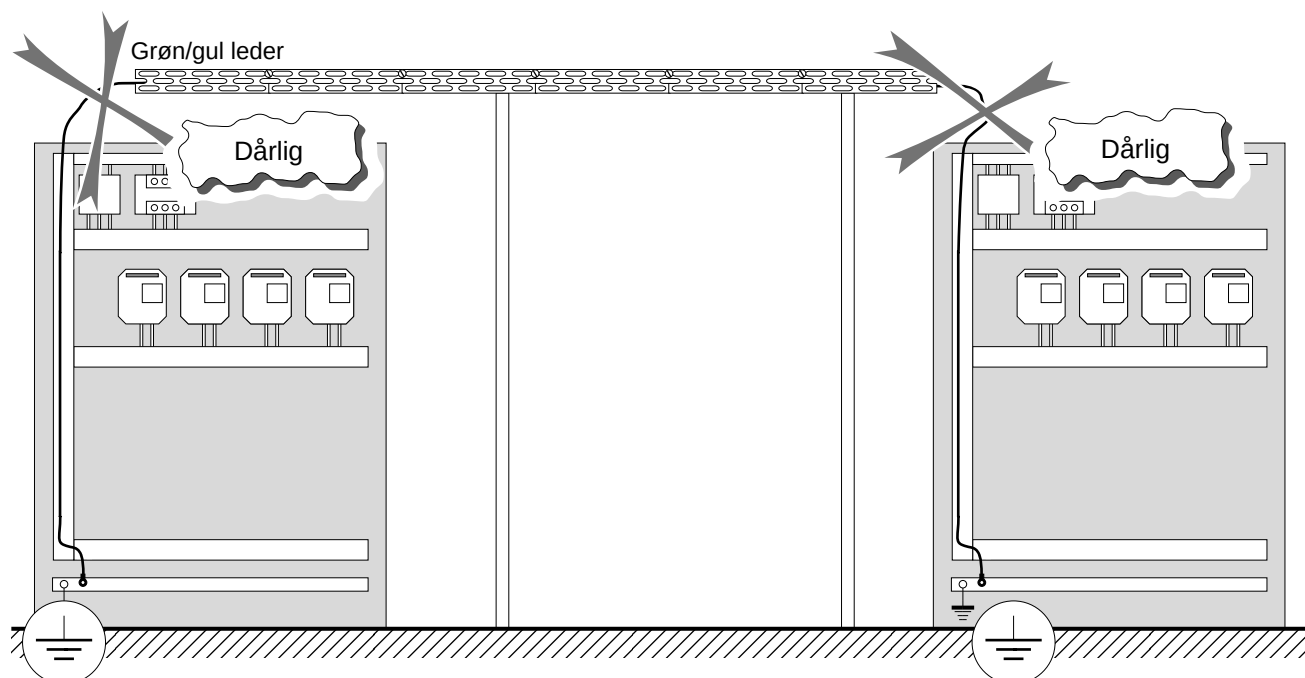


Selv den bedste kabelkanal af metal er ineffektiv, hvis tilslutningerne i enderne er af dårlig kvalitet.

Kabelføring



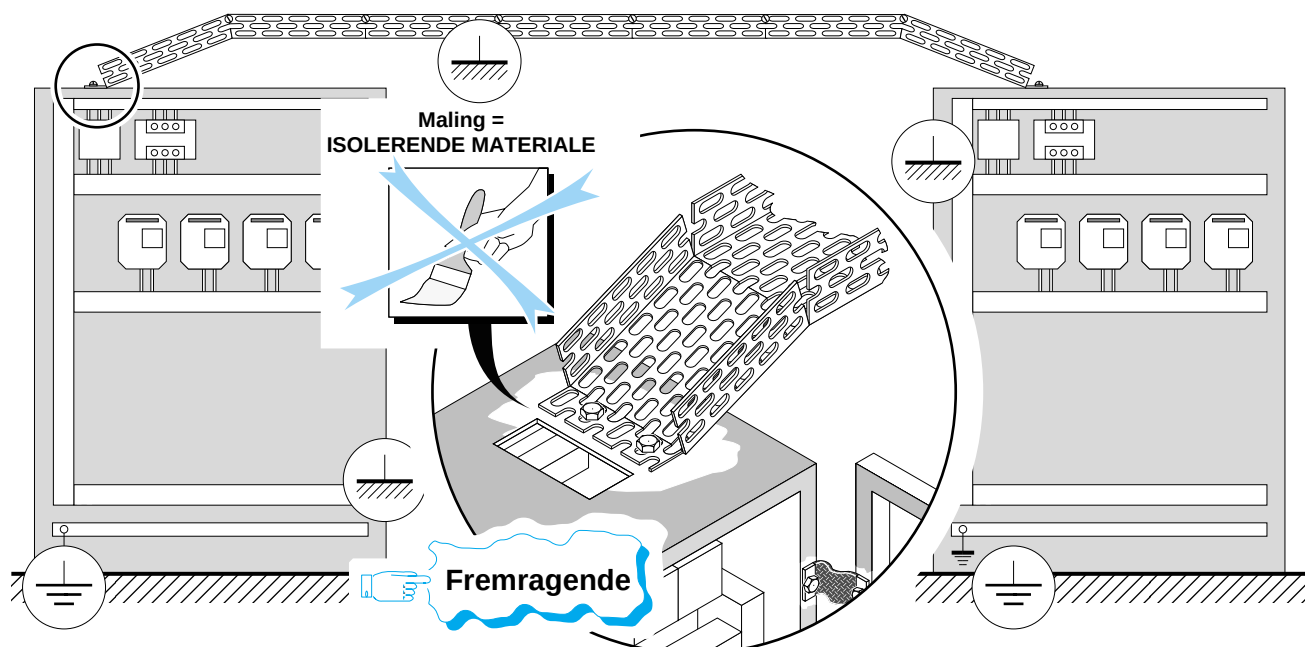
Tilslutning til kabinetter



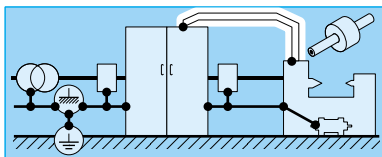
1

2

3



Enderne af kabelkanaler, installationsrør etc. af metal skal boltes på metalkabinetter for at sikre tilstrækkelig forbindelse.



Kabelføring

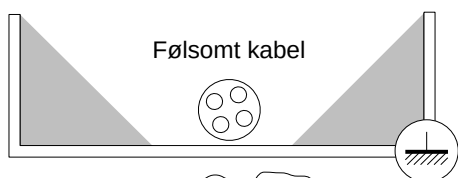
Placering af kabler

1

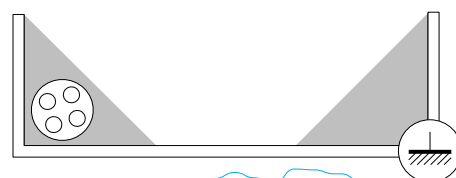
2

3

Kabel-kanaler

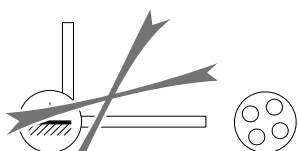


Middel

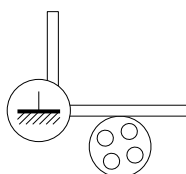


Fremragende

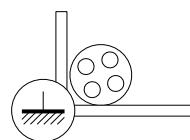
Kabel-bøjler



Kan ikke anbefales



God

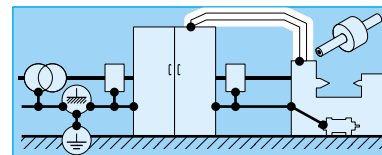


Fremragende



Selv den bedste kabelkanal af metal er ineffektiv, hvis tilslutningerne i enderne er af dårlig kvalitet.

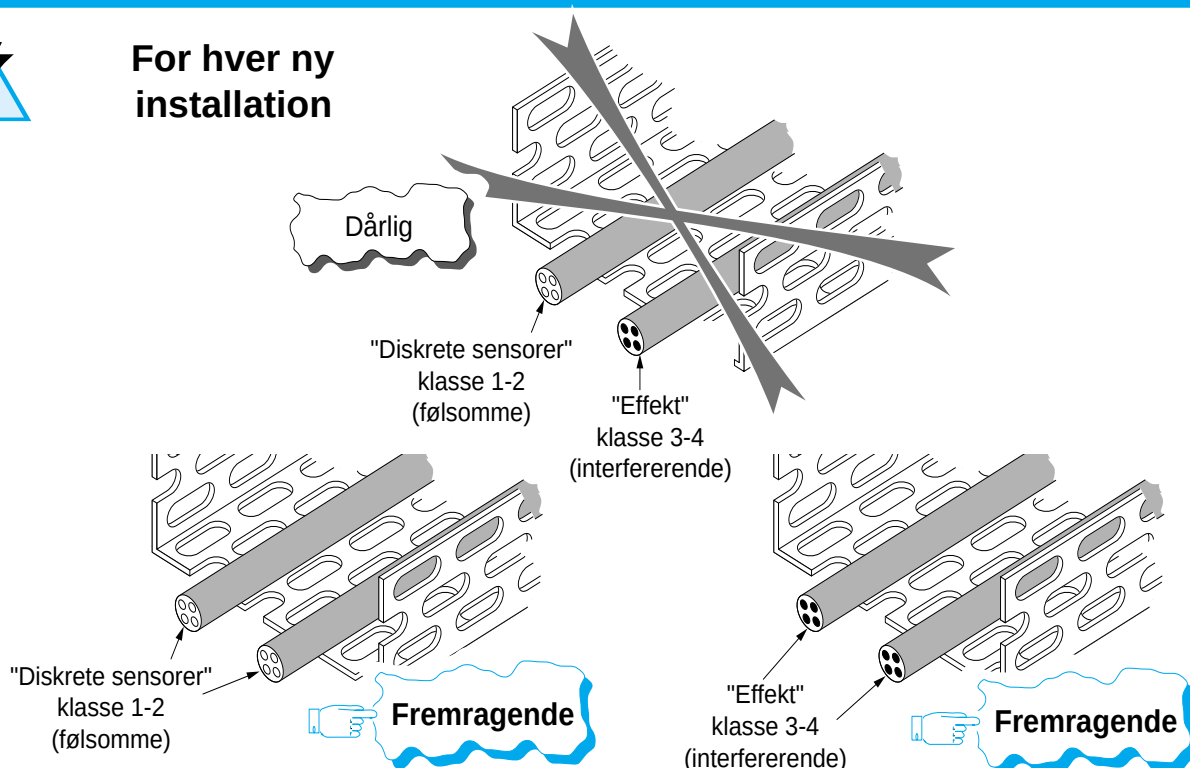
Kabelføring



Interfererende og følsomme kabler skal følge forskellige ruter.



For hver ny installation



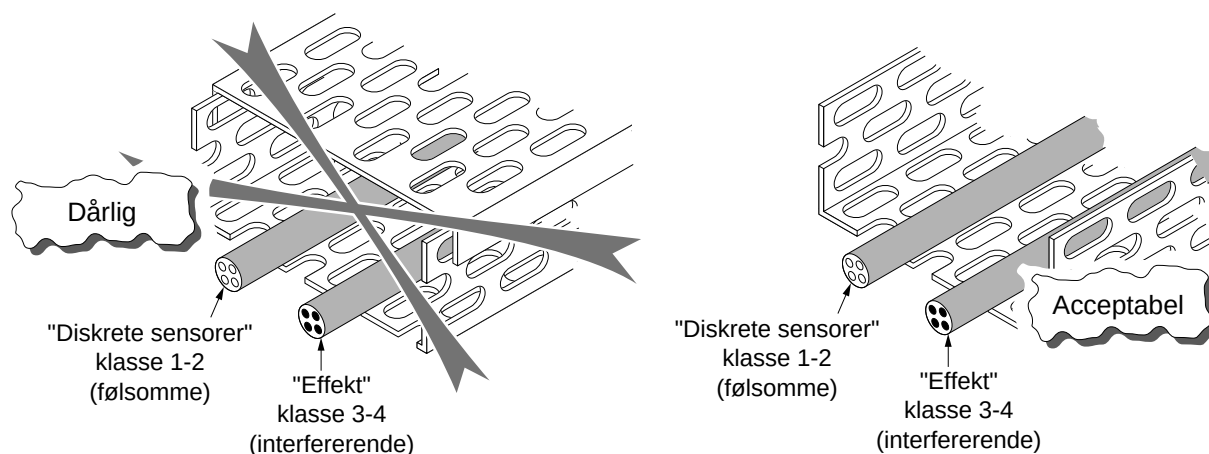
1

2

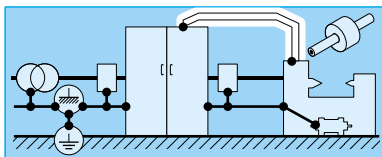
3



For hver eksisterende installation



Hvis «følsomme» (klasse 1-2) og interfererende (klasse 3-4) kabler lægges i samme kabelkanal, på trods af at dette ikke er anbefalelsesværdigt, vil det være en fordel at lade kabelkanalen være åben.



Kabelføring

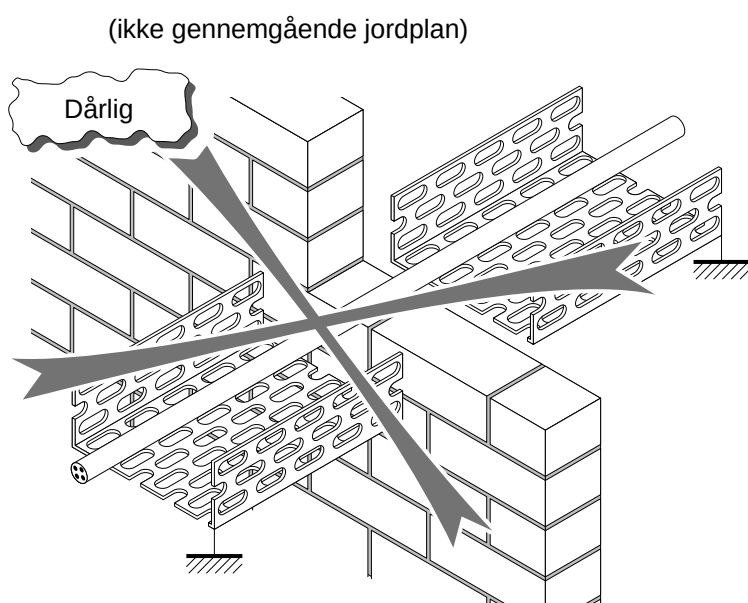
Tilslutning af ender

Når det gælder kabelkanaler, installationsrør etc. af metal, skal enderne overlappe og boltes sammen.

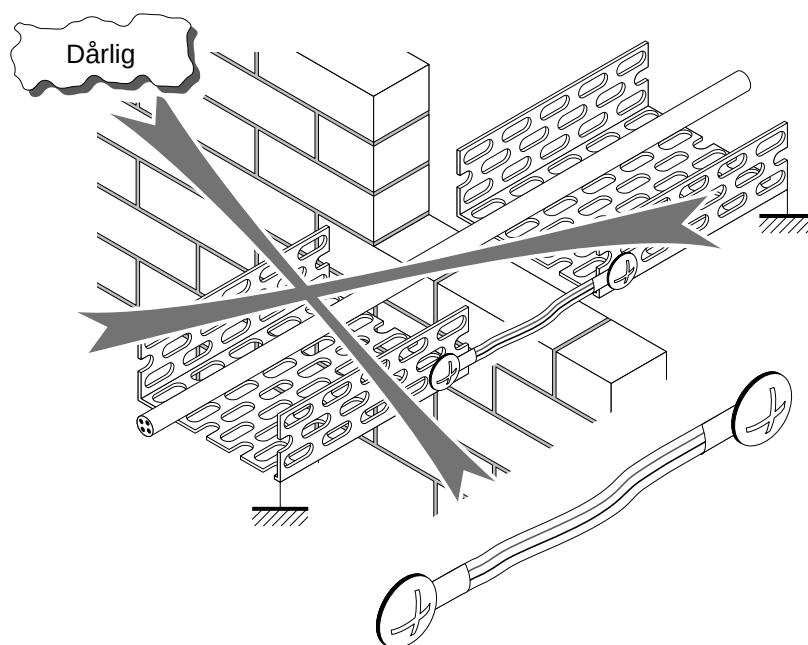
1

2

3

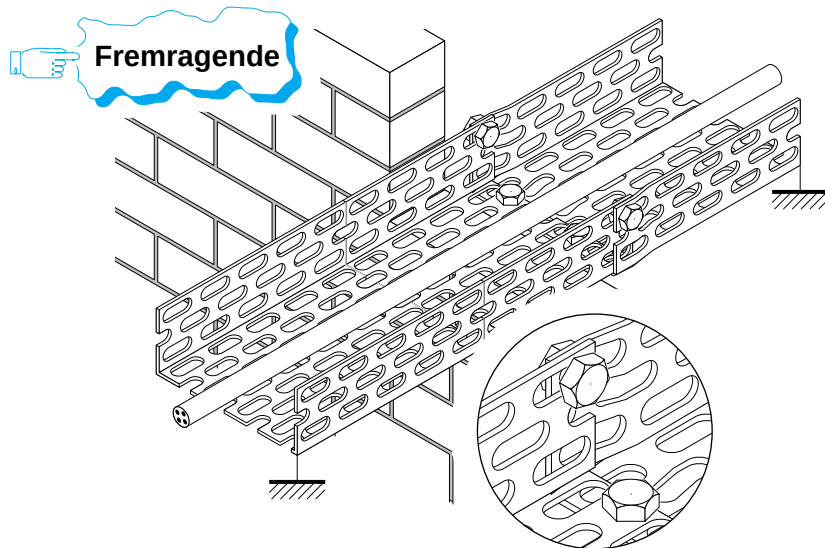
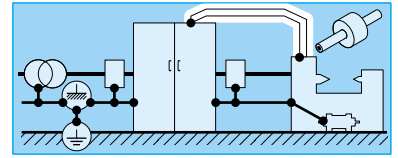


(ikke gennemgående jordplan)



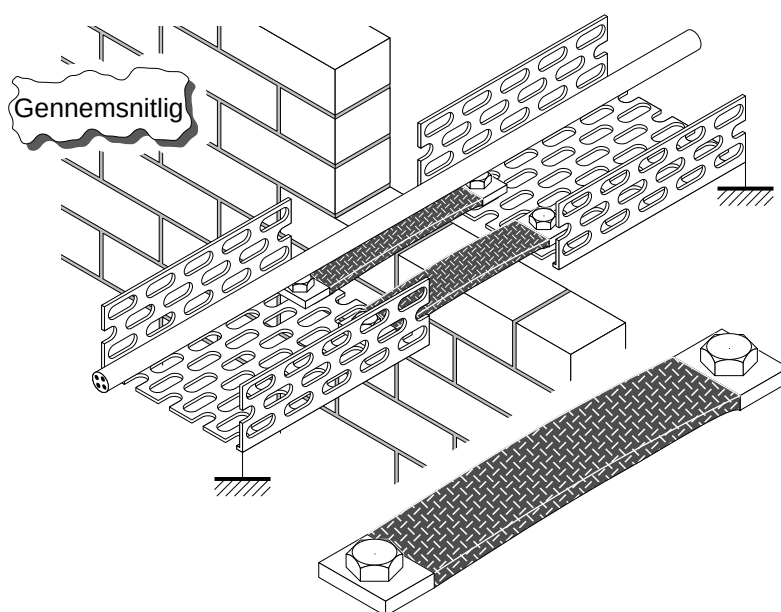
En leder, der er cirka 10 cm lang, reducerer en kabelkanals effektivitet med en faktor 10.

Kabelføring

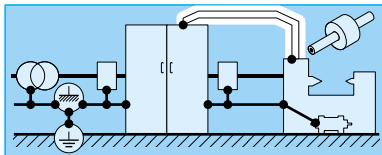


Hvis det ikke er muligt at lade kabelkanalers ender overlappe hinanden og bolte dem sammen:

==> *montér et kort, bredt flettet bånd under hver leder eller kabel.*



Selv den bedste kabelkanal af metal er ineffektiv, hvis tilslutningerne i enderne er af dårlig kvalitet.

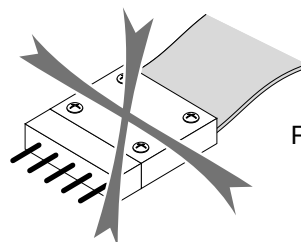
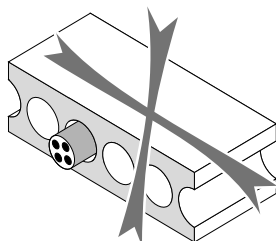


Kabelføring

Metoder til kabelføring, der ikke kan anbefales

1

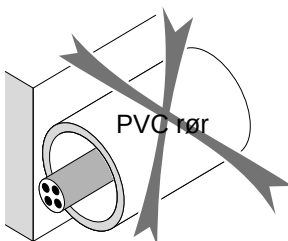
Strukturelt hulrum
i skillevæg



Fladkabel, bus ...

2

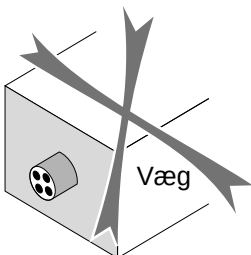
Overflademonteret
installationsrør



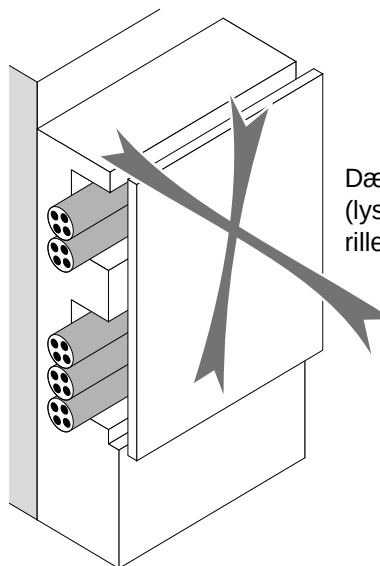
PVC rør

3

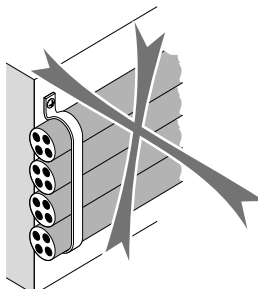
Skjult
installationsrør



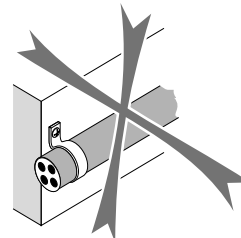
Væg



Dækliste, kantliste
(lysningsprofil) med
riller



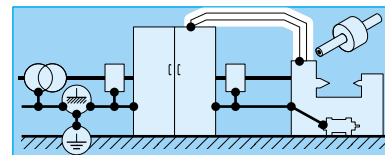
Direkte fastgøring
på vægge og lofter
ved hjælp af clips, bånd etc.



*Selv den bedste kabelkanal af metal er ineffektiv,
hvis tilslutningerne i enderne er af dårlig kvalitet.*

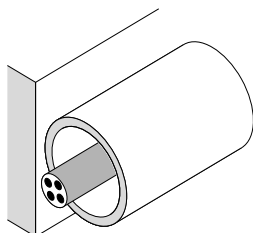


Kabelføring

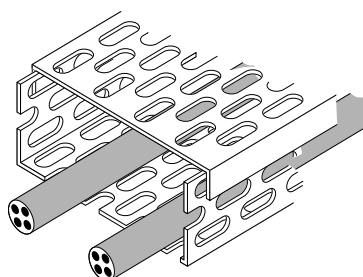


Anbefalede metoder til kabelføring

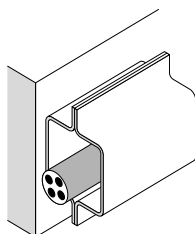
Installationsrør



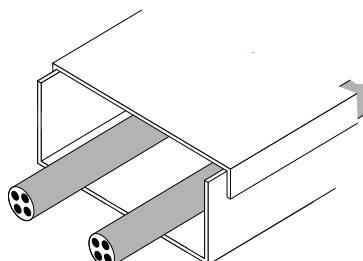
Perforeret kabelbakke



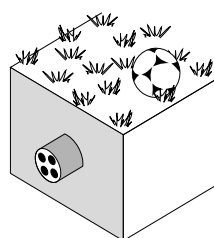
Kabelskinne



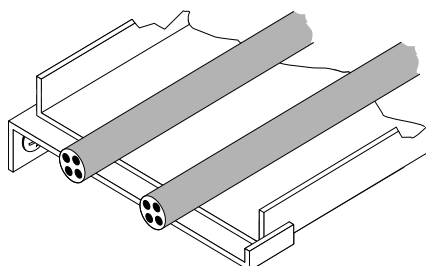
Lukket kabelbakke



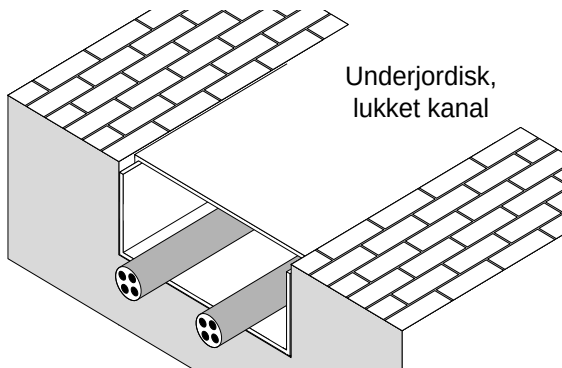
Nedgravet kabel



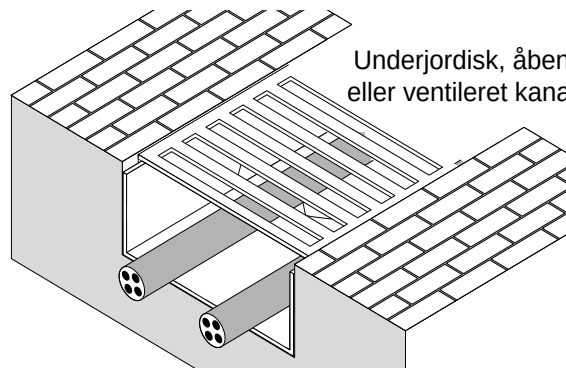
Kabelbakke eller kabelstige



Underjordisk, lukket kanal



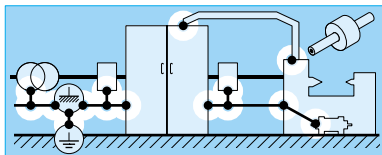
Underjordisk, åben eller ventileret kanal



1

2

3



Tilslutninger

TILSLUTNINGERS kvalitet er af lige så stor betydning som brug af bedste kabler, skærmning, jordsystem

Det forudsættes, at læseren er fortrolig med højfrekvens (HF) fænomener; i modsat fald bør læseren se nærmere i kapitel 1 (især afsnittet «Kabler»).

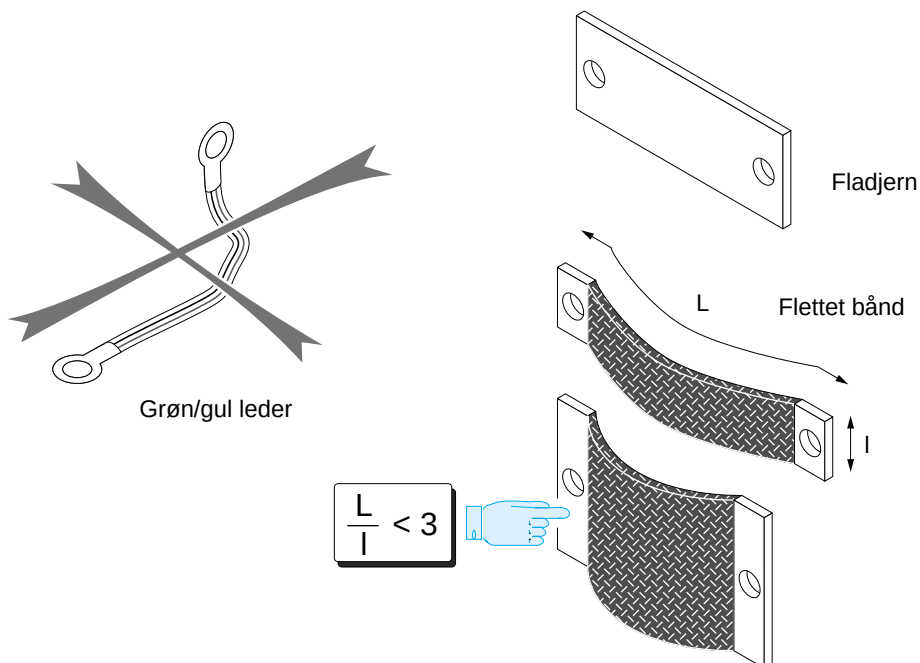
1

Tilslutningers type og længde

2

Steljordforbindelser etc. skal altid være så korte og brede som muligt.

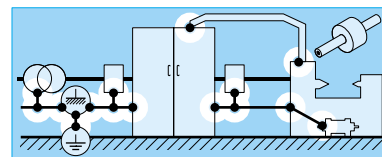
3



Husk: ved højfrekvens (HF) er kablets længde den afgørende faktor (se kapitel 1)

Tilslutningers kvalitet er en afgørende faktor inden for (EMC).

Tilslutninger



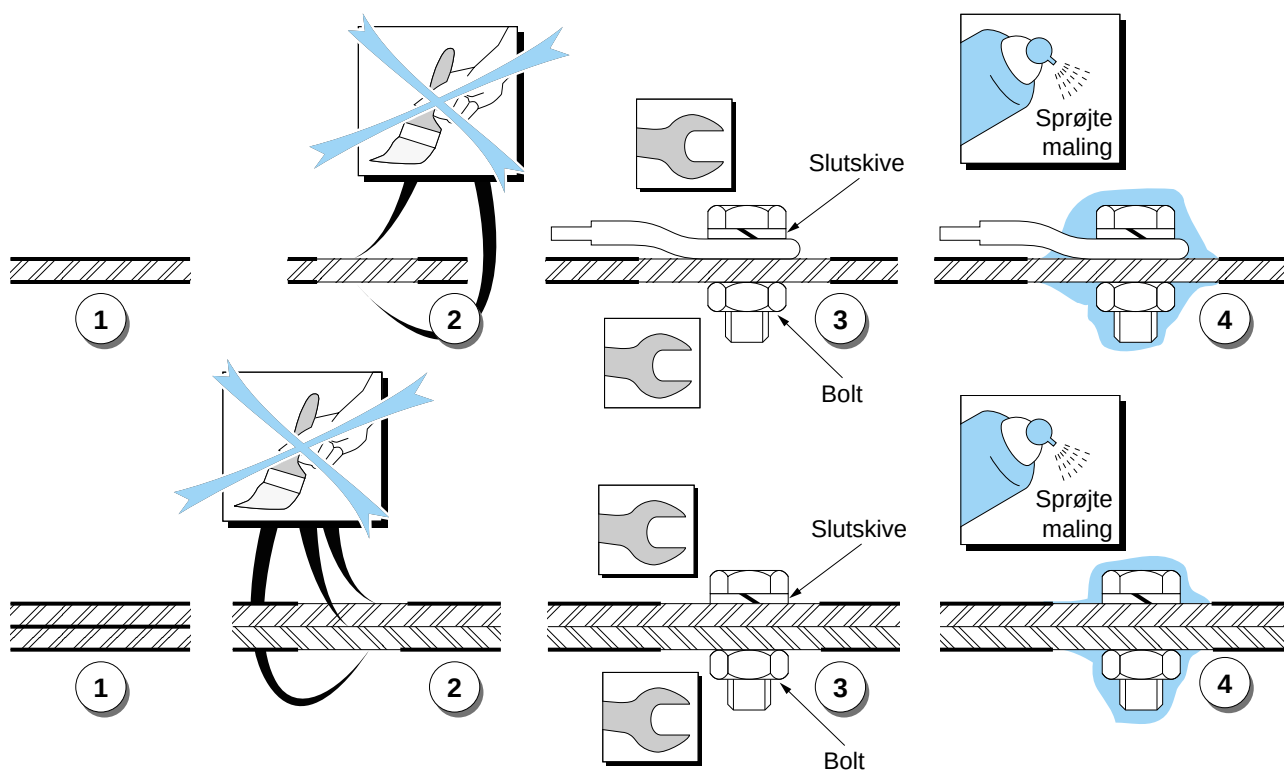
Etablering af en tilslutning

Det er afgørende nødvendigt at sikre «metal-til-metal» kontakt og et stort kontaktryk mellem ledende dele.

Fremgangsmåde:

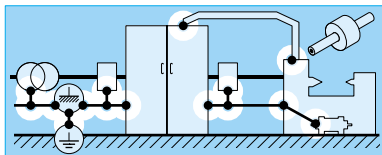
- 1 - Malede metalplader,
- 2 - Afdækning - fjernelse af maling,
- 3 - Sørg for passende tilspænding ved hjælp af for eksempel et system med møtrik og bolt samt slutskiver
- 4 - Sørg for, at der opretholdes god kontakt i lang tid.

=> efter tilspænding: påfør maling eller fedt for at beskytte mod korrosion.



Fjern isolerende belægning, maling etc. mellem de overflader, der skal have kontakt

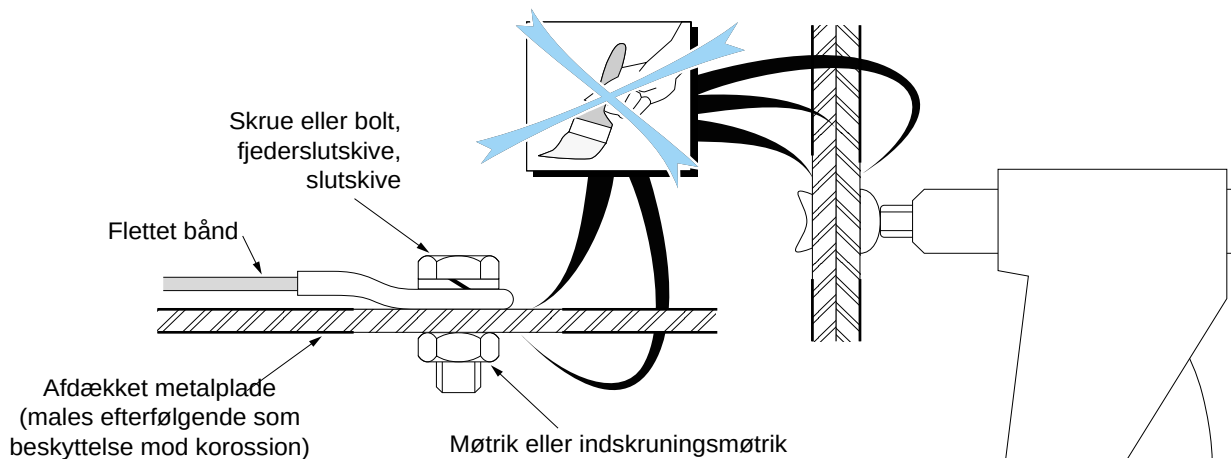
Tilslutningers kvalitet er en afgørende faktor inden for (EMC).



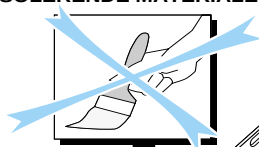
Tilslutninger



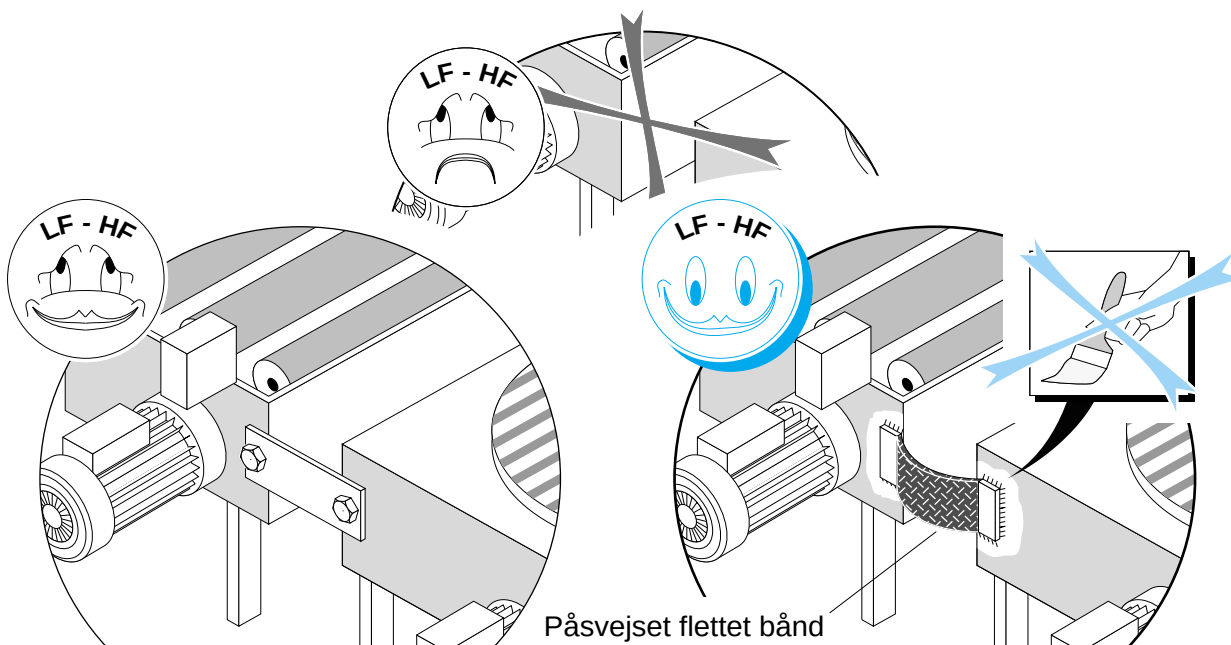
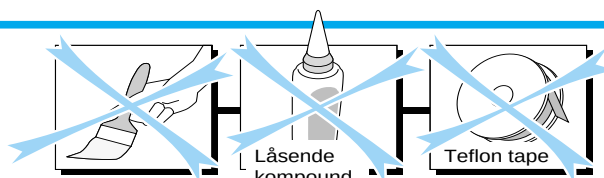
Faldgrubber, der bør undgås



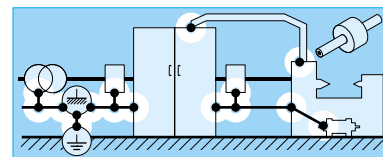
Maling = ISOLERENDE MATERIALE



Maling, låsende kompond og Teflon tape = ISOLERENDE MATERIALER



Tilslutninger



Tilslutning af skærm

Påloddet kabelsko

Fortinnet udgående leder

Jordplan
eller
jordskinne
forbundet til chassis

⚠ Sørg for metal-til-metal
kontakt

Ideelt: kontakt over 360°

1

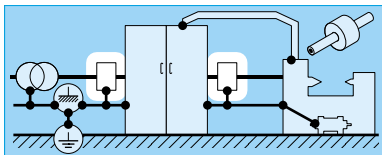
2

3



Vær opmærksom på isolerende plasttape mellem skærm og kappe

Tilslutningerne ved skærmens ender skal give metal-til-metal kontakt over 360°.



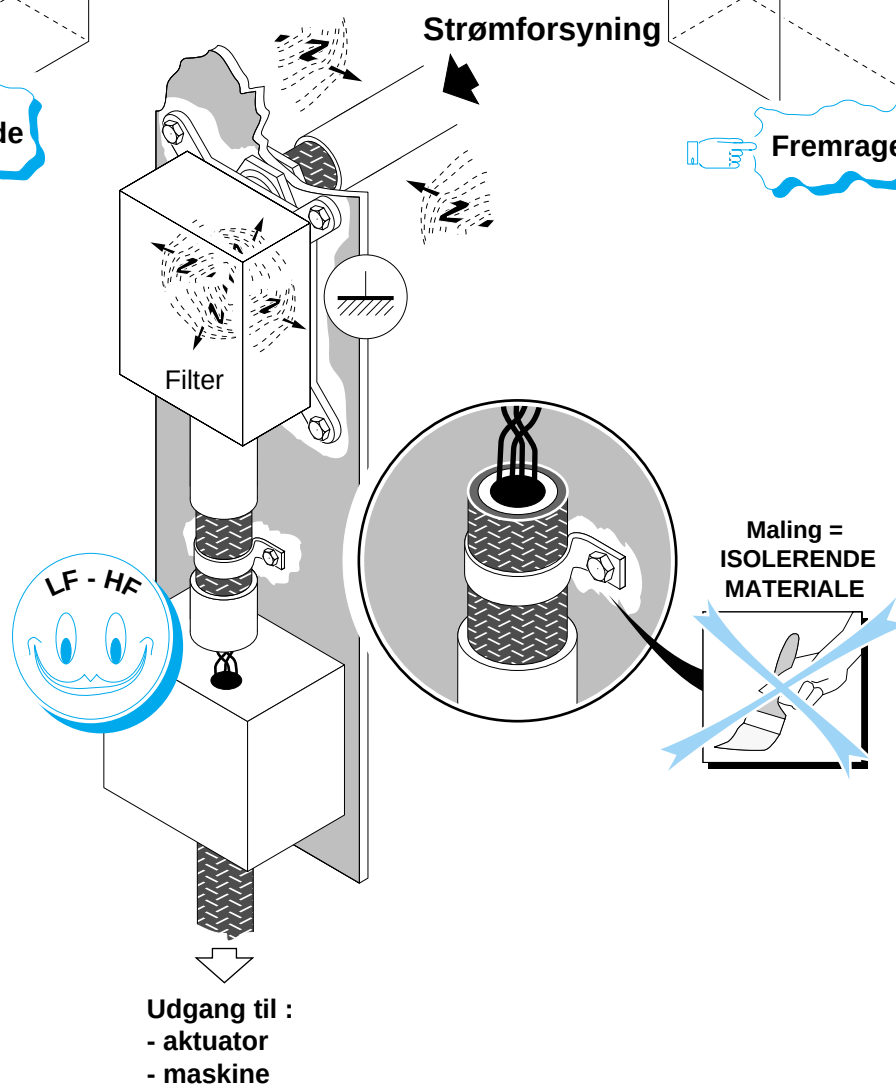
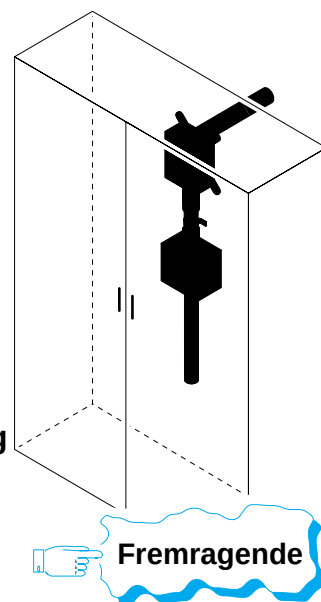
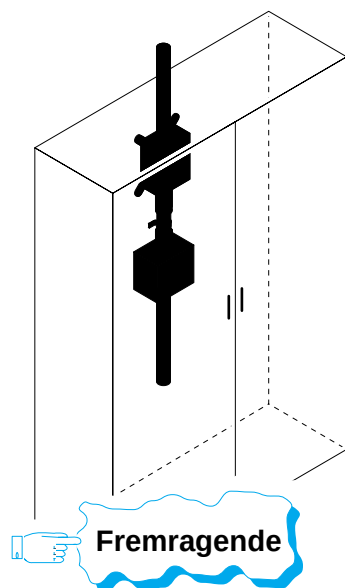
Filtre

≠ i kabinet

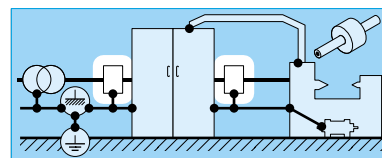
1

2

3



Filtre

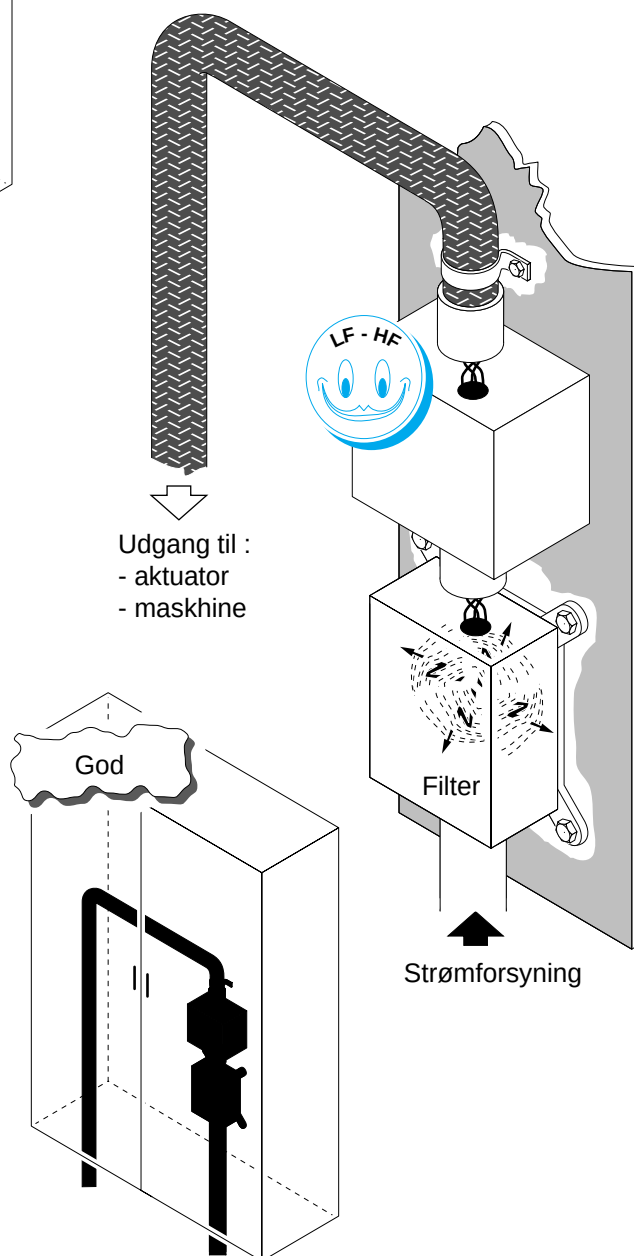
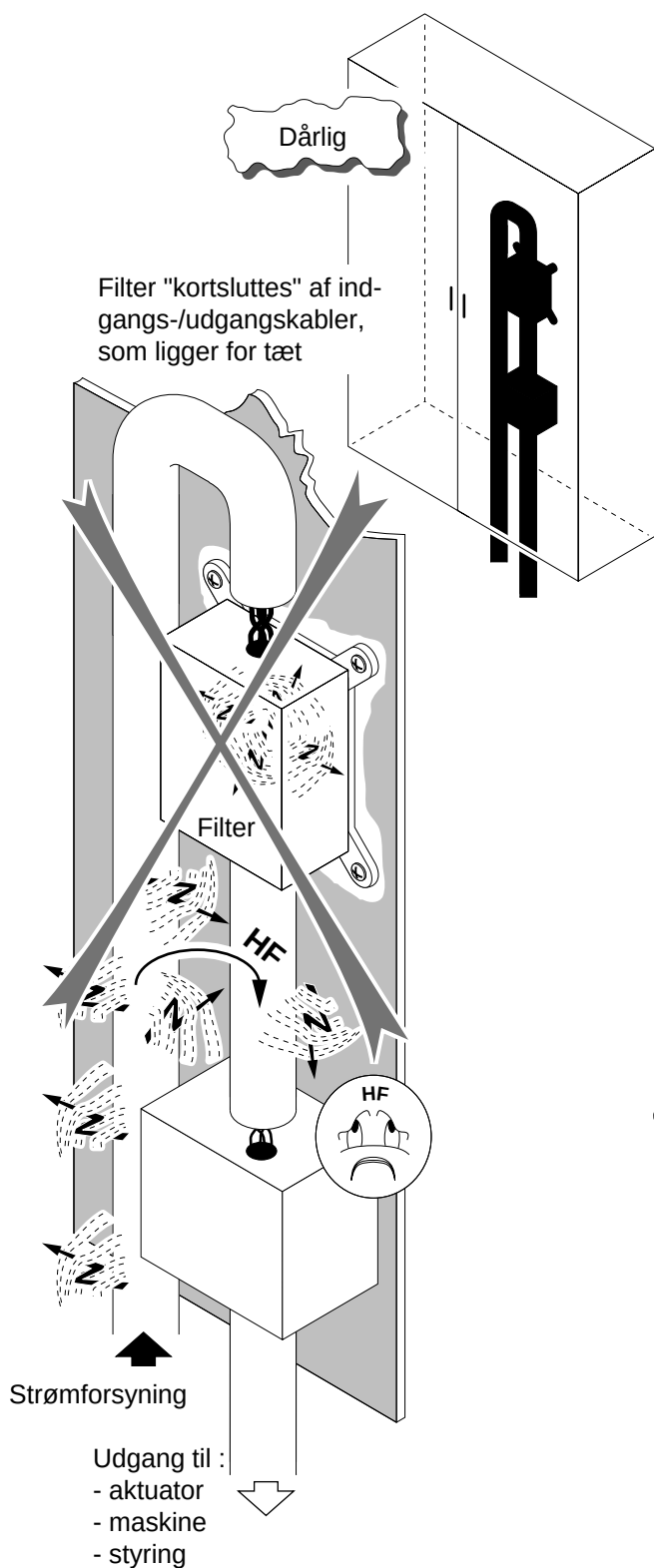


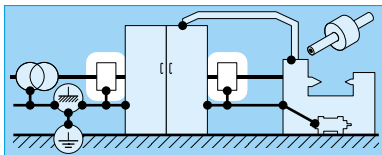
Indgangskablet må ikke løbe langs med udgangskablet

1

2

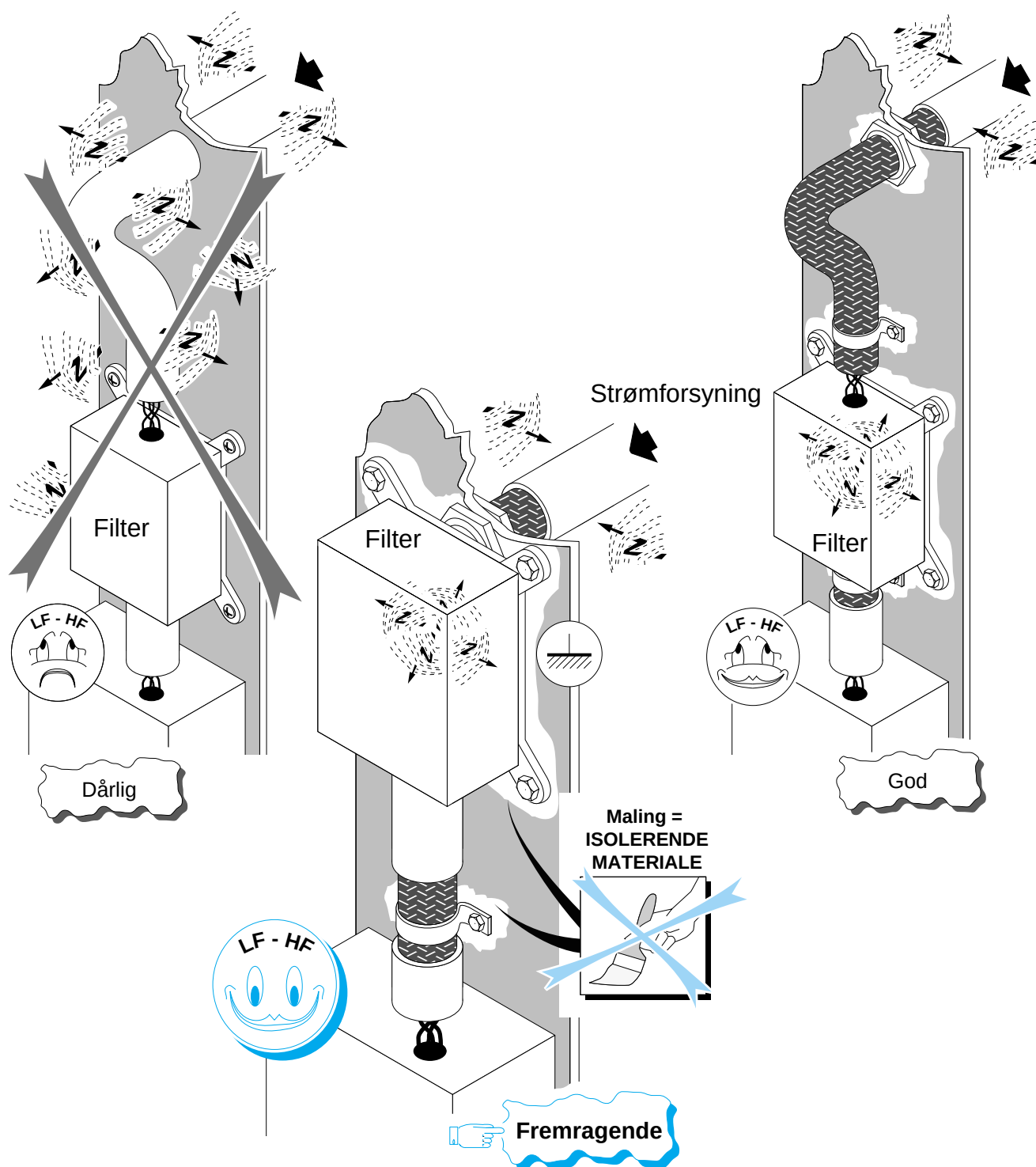
3





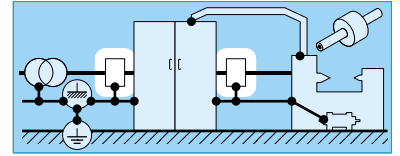
Filtre

Montering af filtre

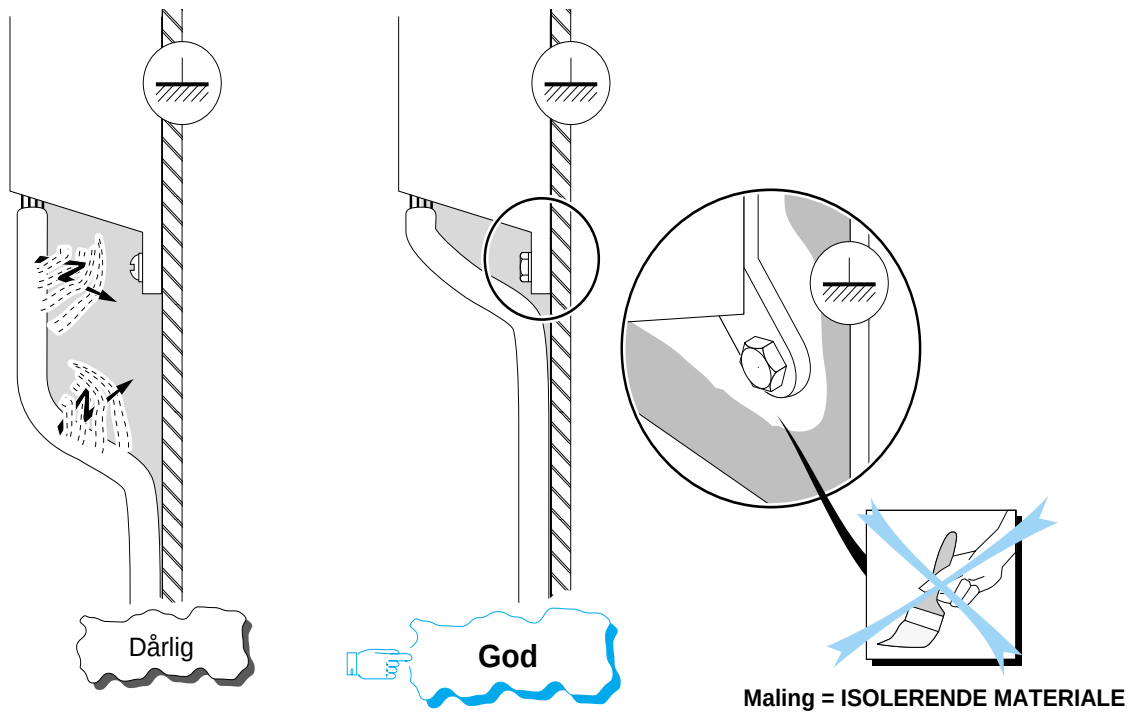


Filtre skal indskydes på det sted, hvor kablet går ind i kabinetkablet, og skal boltes fast på chassis eller jordplan i bunden af kabinettet

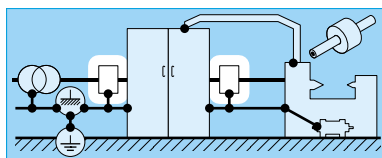
Filtre



Tilslutning af filtre



Placér kablerne på jordreferenceplan i kabinettets bund



Dæmpning af transienter

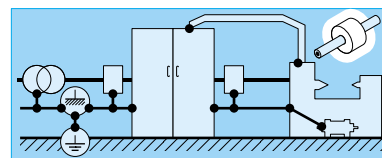
Forskellige komponenter til dæmpning af transienter over en selvinduktion (spole)

De forskellige enheder i nedenstående oversigt har til formål at reducere:

- overspændinger forårsaget af frakobling
- resterende højfrekvens (HF) (amplitude + stigtid du/dt)

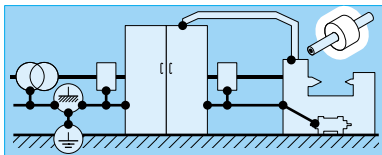
Oscillogram	Interferensundertrykkelsens type	Kredsløbsdiagram	Overspændingsbegrænsning	
1	---		$> 1 \text{ kv}$	Ingen begrænsning. Høj overspænding på op til flere kV, der indledes af en række frakoblingsimpulser med stejle kurveflanker.
2	R - C kredsløb RC ledet dæmper kurveflanken		$\approx 2U_c$	God begrænsning: i størrelsesordenen 2 x styrespændingen U_c . (Variabel afhængigt af frakoblingsøjeblik, spoletype og værdier for R og C).
3	Varistor		$\approx 2U_c$ Forudbestemt	Begrænsning af overspænding til en forudbestemt spidsværdi for klipning, der er cirka dobbelt så stor som den maksimale styrespænding U_c .
	Bidirektional amplitudebegrænsende diode		$\approx 2U_c$ Forudbestemt	Begrænsning af overspænding til en forudbestemt spidsværdi for klipning, der er cirka dobbelt så stor som den maksimale styrespænding U_c .
	"Friløbs"-dioder		U_c Ingen overspænding	Total fjernelse af overspænding.

Dæmpning af transienter



En kombination af amplitudebegrænsende dioder + RC led giver fordele ved begge kredsløbstyper

Anvendelse	Faldetid	Virkning på funktion
Typisk overspænding mellem terminalerne på en spole, der frakobles af en tør kontakt. Eksempel: kontaktor, 9 A mærkestrøm. For nærmere oplysninger, se kapitel 1.	Tr_1	
- I forbindelse med AC forsynede enheder. Bruges ikke ret meget ved DC (equalizers volumen og pris). - Understøtter frakobling (nedsætter sliddet på styrekontakt). - Virkning på højfrekvens (HF): - Eliminerer stejle kurveflanker eller overslagsspænding (ingen højfrekvens (HF) strømme i styrekredsløbet). - Kun en dæmpet lavfrekvens (LF) oscillerende spændingskurve observeres (i størrelsesordenen ≈ 100 Hz).	$Tr = 1 \text{ to } 2$ Tr_1	Forøger faldtiden med en faktor omkring 1 til 2. (I almindelighed acceptabelt givet den store spredning i faldetider ved AC)
- I forbindelse med AC forsynede enheder. - Understøtter frakobling (nedsætter sliddet på styrekontakt). - Virkning på højfrekvens (HF): - Før grænsen for klipning nås, kan der afhængigt af kontaktttype og størrelsen af UC forekomme en række kortvarige frakoblings impulser. - Der kan løbe kortvarige højfrekvens (HF) strømme med lav amplitude i styrekredsløbet. - Kan håndtere stor energi (større end RC led).	$Tr = 1,2 \text{ to } 2$ Tr_1	Forøger faldtiden med en faktor omkring 1,2 til 2.
- I forbindelse med AC eller DC forsynede enheder (bortset fra amplitudebegrænsende dioder, der undertrykker interferens). - Understøtter frakobling (nedsætter sliddet på styrekontakt). - Virkning på højfrekvens (HF): - Ringe resterende HF (begrænset risiko for afbrydelser) for lavniveaus styrespændinger (UC). - Der kan løbe kortvarige højfrekvens (HF) strømme med lav amplitude i styrekredsløb til høje styrespændinger > 200 V (HF ydelsen svarer til en varistors).	$Tr = 1,2 \text{ to } 2$ Tr_1	Forøger faldtiden med en faktor omkring 1,2 til 2.
- I forbindelse med DC forsynede enheder (biasset komponent). - Understøtter frakobling (nedsætter sliddet på styrekontakt). - Virkning på højfrekvens (HF): Ved frakobling tager dioden sig af den energi, som frembringes af induktansspolen i form af strøm; spændingen over dens terminaler er næsten nul, og spændingen over styrekontaktens terminaler er lig med UC. - Ingen risiko for afbrydelser og tilhørende HF interferens.	$Tr = 4 \text{ to } 8$ Tr_1	Forøger faldtiden med en faktor omkring 4 til 8. (Variabel, afhængigt af elektromagnetens type og størrelse).



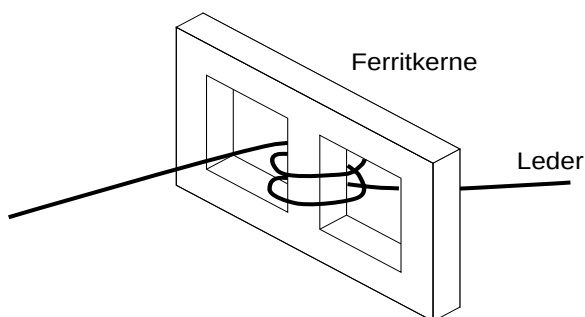
Ferritkerner

«Udgående» ledere og «retur»ledere for det signal, der skal renses, skal begge passere gennem ferritkernen.

1

2

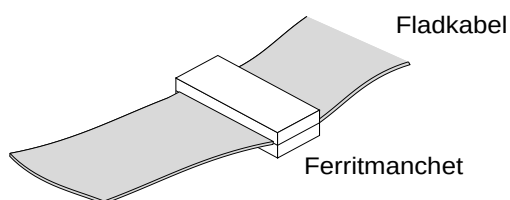
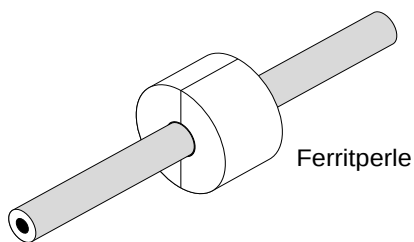
3



Antallet af viklinger øger effektiviteten, men skaber også snyltekapacitet mellem viklinger. Det maksimale antal viklinger, som ikke må overskrides, afhænger af:

- interferensens frekvens
- kablet
- ferritkernen

==> Man må eksperimentere for at finde det optimale.



Ferritmanchetter i to stykker er lettere at montere, men mindre effektive end massive (lukkede) ferritmanchetter.

👉 Udstrålingsproblem: ferritmanchetten skal være placeret så nær den interfererende enhed som muligt.

👉 Immunitetsproblem : ferritmanchetten skal placeres så nær den følsomme enhed som muligt; men denne metode skal kun anvendes, hvis interferensen ikke kan dæmpes i det interfererende udstyr, eller dette ikke kan identificeres.



KAPITEL 3

(EMC) STANDARDER, FACILITETER OG TESTS

1

2

3

Standarder

Indledning

En standard er en samling regler, beskrivelser og metoder, som producenter kan benytte som en reference ved udformning og test af et af deres produkter.

1

Der findes 3 typer (EMC) standarder

2

Grundlæggende publikationer eller standarder

Dette er standarder eller vejledninger, der i generelle vendinger definerer krav vedrørende (EMC) (fænomener, tests etc.).

3

De kan anvendes på alle produkter og bruges som en reference - især af komitéer, der skal forberede specifikke standarder.

Grundlæggende standarder vil ikke blive harmoniseret på europæisk niveau.

Generiske (europæiske) standarder

Disse standarder definerer væsentlige krav i form af niveauer, der skal overholdes af hvert produkt, typetests etc. lånt fra grundlæggende standarder.

Hvis der ikke findes nogen produkt- eller produktseriestandard, gælder de for ethvert produkt, der installeres i et defineret miljø.

Produkt- eller produktseriestandarder

Disse standarder definerer de anvendelige konstruktionsmæssige forholdsregler, karakteristika, testmetoder og streghedsgrader etc., der anvendes for givne produkter eller produktserier.

Hvor de findes, har disse standarder forrang frem for generiske standarder.



Standarder

Standardiseringsorganisationer

CISPR : International Special Committee on Radio Interference,
IEC : International Electrotechnical Commission (Genève),
CENELEC : European Committee for Electrotechnical Standardisation (Bruxelles),
Dokumentreferencer starter med bogstaverne EN, ENV, HD ...

1

UTE : Union Technique de l'Electricité en France
(French Electrical Engineering Association),
UTE er det franske medlem af CENELEC
UTE dokumentreferencer starter med bogstaverne NF ...

2

3

CISPR publikationer

De første CISPR publikationer blev trykt i 1934. De sigtede mod at beskytte udsendelse og modtagelse af radiobølger.

De definerer især testbetingelser og udstrålingsgrænser for elektriske og elektroniske produkter.

Standarder

Eksempler på CISPR publikationer, der kan anvendes på vores produkter

1	CISPR 11-1990	Grænser og målemetoder for karakteristika for elektromagnetisk interferens, der frembringes af industrielle, videnskabelige og medicinske enheder (ISM), der arbejder med radiofrekvenser.
2	CISPR 14-1993	Grænser og målemetoder for radiofrekvens-interferens, der frembringes af husholdningsapparater og lignende elektriske apparater med motorer eller termiske enheder, elektrisk værktøj og lignende elektriske apparater.
3	CISPR 16-1-1993	Specifikationer for metoder og instrumenter til måling af radiofrekvens-interferens og immunitet over for samme. Første del: Instrumenter til måling af radiofrekvens-interferens og immunitet over for samme.
	CISPR 17-1981	Metoder til måling af interferensundertrykkende karakteristika ved komponenter til reduktion af radiofrekvens-interferens og for passive filtre.
	CISPR 18-1-1982	Metoder til måling af interferensundertrykkende karakteristika ved komponenter til reduktion af radiofrekvens-interferens og for passive filtre. Første del: Beskrivelse af fænomener.
	CISPR 22-1993	Grænser for og metoder til måling af karakteristika for data-behandlingsudstyr, når det gælder radiofrekvens-interferens.



Standarder

IEC publikationer

Standarder i IEC 801-X serien

Standarder i IEC 801-X serien fremkom første gang i 1970'erne. De beskæftiger sig med elektromagnetisk kompatibilitet for måle- og styringsudstyr i industrielle processer.

De er rettet til producenter og brugere af disse typer udstyr.

Disse standarder er nu ved at blive afløst af standarderne i IEC 1000-4-X serien.

Standarder i IEC 1000-X-X serien

IEC 1000-X-X publikationer handler udelukkende om elektromagnetisk kompatibilitet og har indarbejdet alle IEC standarder vedrørende dette område efter 1991.

1

2

3

Standarder

1
2
3

Del	IEC	Aktuel IEC reference	Emne	EN/ENV ækvivalent	NF C ækvivalent
Generel		IEC 1000-1-1 (1992)	Anvendelse og fortolkning af fundamentale funktioner og begreber.		
Miljø		IEC 1000-2-1 (1990)	Elektromagnetisk miljø for ledet lavfrekvens (LF) interferens og transmission af signaler over offentlige forsyningsnetværk.		
		IEC 1000-2-2 (1990)	Kompatibilitetsniveauer for ledet lavfrekvens (LF) interferens og transmission af signaler over offentlige lavspændings forsyningsnetværk.		
		IEC 1000-2-3 (1992)	Udstrålede fænomener og ledede fænomener ved andre frekvenser end netfrekvensen.		
		IEC 1000-2-4 (1994)	Kompatibilitetsniveauer i industrielle installationer, når det gælder ledet lavfrekvens-interferens.		NF C 91-002-4 (1995-08)
Grænser		IEC 1000-2-5 (1995)	Klassifikation af elektromagnetiske miljøer.		
	555-2	IEC 1000-3-2(1995)	Grænser for mærkeværdier for harmonisk strøm < 16 A pr. fase, der udsendes af apparater.	EN 61000-3-2 (1995)	NF C 91-003-2 (1995-08)
	555-3	IEC 1000-3-3 (1994)	Begrænsning af spændingsvariationer og flimmer i lavspændingssystemer til udstyr, hvis mærkestrøm er ≤16 A.	EN 61000-3-3 (1995)	NF C 91-003-3 (1995-08)
		IEC 1000-3-5 (1994)	Begrænsning af spændingsvariationer og flimmer i lavspændingssystemer til udstyr, hvis mærkestrøm er >16 A.		
Test- og måleteknikker	801-1	IEC 1000-4-1 (1992-12)	Oversigt over immunitetstests. Grundlæggende (EMC) publikation.	EN 61000-4 (1994-08)	NF EN 61000-4-1 NF C 91-004-1 (1995-01)
	801-2	IEC 1000-4-2 (1995-01)	Test af immunitet over for elektrostatiske udledninger. Grundlæggende (EMC) publikation.	EN 61000-4-2 (endnu ikke publiceret)	NF C 91-004-2 (1995-06)



Standarder

Del	IEC	Aktuel IEC reference	Emne	EN/ENV ækvivalent	NF C ækvivalent
Test- og måleteknikker (fortsat)	801-3	IEC 1000-4-3 (1995-02)	Test af immunitet over for udståret radiofrekvens- elektromagnetiske felter.	ENV 50140 (1993)	
	801-4	IEC 1000-4-4 (1995-01)	Test af immunitet over for højhastigheds burst transienter. Grundlæggende (EMC) publikation.	EN 61000-4-4 (endnu ikke publiceret)	NF C 91-004-4(1995-06)
	801-5	IEC 1000-4-5 (1995-02)	Test af immunitet over for ??impulse waves??.	EN 61000-4-5 (endnu ikke publiceret)	NF C 91-004-5 (1995-06)
		pr IEC 1000-4-6	Immunitet overfor ledet interferens, der induceres af radiofrekvensfelter.	ENV 50141 (1993)	
		IEC 1000-4-7 (1991-07)	Vejledning om måling af harmoniske og inter-harmoniske samt måleudstyr, der er anvendeligt til strømforsyningssystemer og enheder, der er tilsluttet disse.	EN 61000-4-7 (1993-03)	NF EN 61000-4-7 NF C 91-004-7 (1993-06)
		IEC 1000-4-8 (1993-06)	Test af immunitet over for magnetfelter ved netfrekvensen. Grundlæggende (EMC) publikation.	EN 61000-4-8 (1993-09)	NF EN 61000-4-8 NF C 91-004-8 (1994-02)
		IEC 1000-4-9 (1993-06)	Test af immunitet over for pulserende magnetfelter. Grundlæggende (EMC) publikation.	EN 61000-4-9 (1993-09)	NF EN 61000-4-9 NF C 91-004-9 (1994-02)
		IEC 1000-4-10 (1993-06)	Test af immunitet over for dæmpede oscillerende magnetfelter. Grundlæggende (EMC) publikation.	EN 61000-4-10 (1993-09)	NF EN 61000-4-10 NF C 91-004-10 (1994-02)
Installations- anbefalinger		IEC 1000-4-11 (1994-06)	Test af immunitet over for spændingsdyk, kortvarige strømudfald og spændingsvariationer.	EN 61000-4-11 (1994-09)	NF EN 61000-4-11 NF C 91-004-11 (1995-01)
		pr IEC 1000-4-12	Test af immunitet over for dæmpede oscillerende bølger. Grundlæggende (EMC) publikation.		
		IEC 1000-5-1	Almene overvejelser		
		IEC 1000-5-2	Jording og kabelføring		
T e		IEC 1000-5-3	Eksterne påvirkninger		

Standarder

CENELEC publikationer

EN eller ENV ... publikationer fastlægger standarder, der er anvendelige i hele Det Europæiske Frihandelsområde (EFTA).

1

De harmoniseres i øjeblikket med (EMC) direktivet.

De gengiver almindeligvis internationale standarder.

Eksempler: EN 55011 gengiver CISPR 11
 EN 61000-4-1 gengiver IEC 1000-4-1

2

3

Generiske (europæiske) standarder

I mangel af specifikke standarder for produkter eller produktserier er disse standarder anvendelige inden for Det Europæiske Frihandelsområde (EFTA).

De harmoniseres på europæisk niveau.

Produkt- eller produktseriestandarder

Disse standarder er anvendelige på de produkter eller produktserier, som de dækker.

De fastlægger anvendelige krav og strenghedsgrader for tests.

Inden for Europa har de, hvis de findes og er harmoniseret, forrang over for generiske eller grundlæggende standarder.

Eksempel: EN 60947-1 A11

Lavspændings omskifter- og styringsudstyr (alment), Amendment A11: Specifikke (EMC) detaljer.



(EMC) faciliteter og tests

Nationale standarder

Disse udsendes i Frankrig af UTE.

De i Frankrig for øjeblikket udsendte standarder gengiver almindeligvis europæiske standarder.

Eksempel: NF EN 60947-1 A11 (Frankrig)

DIN EN 60947-1 A11 (Tyskland)

Disse standarder afløser eksisterende nationale standarder, der behandler samme emner.

Eksempel: VDE 871, 875 ...

1

2

3

(EMC) faciliteter og tests

Man må skelne mellem to typer tests, der kan udføres på et produkt ved brug af relevante midler.

Typetests

Dette er tests, som producenter udfører for at opnå godkendelse af produkter, før de sendes på markedet.

Test på stedet

Dette er tests, der gælder det udstyr, som indgår i produktet. Disse tests udføres på kundens ansvar og er beregnet til at kontrollere installationer, udstyr eller maskiner.

Test faciliteter

De faciliteter og fremgangsmåder, der anvendes ved disse tests, er præcist beskrevet i standarderne.

Indeks

A

Analyse : 2-26, 2-27
Antena effect : 1- 52
antenne : 1- 52
Asynkrone maskiner : 1- 13

B

Belastning : 1- 13
belastninger : 1- 20, 1- 23, 1- 24
Belysning : 2-29
belysning : 1- 27
belægning : 2-53

C

Cabinet : 2-12, 2-26
CENELEC : 3-8
CISPR : 3-3, 3-4
Computere : 1- 13

D

De 10 bud : 2-36
Design : 2-4
Designing : 2-4
Distribution : 2-24

E

eksisterende installation : 2-6
Elektromotorer : 1- 25, 1- 26
EMC proceduren : 2-3
ender : 2-48

F

faciliteter : 3-9
Faldgrubber : 2-54
Ferritkerner : 1- 57, 2-62
filtertyper : 1- 55
Filtre : 1- 54, 1- 55, 1- 56, 2-56, 2-57, 2-58, 2-59
Fluorescent : 1- 27
Fluorescerende belysning : 1- 27
Forbedring : 2-6
fordeling : 1- 29
forstyrrelser : 1- 22
forvrængning : 1- 11
Fremgangsmåde : 2-53

G

Galvanisk kobling : 1- 32
glødelamper : 2-29
Grøn/gul : 1- 53

H

halvledere : 1- 23, 1- 24
Harmoniske : 1- 10, 1- 12

I

IEC publikationer : 3-5
installation : 2-4
interferens : 1- 7, 1- 8, 1- 9, 1- 10, 1- 11, 1- 12, 1- 13, 1- 14, 1- 15, 1- 16, 1- 17, 1- 18, 1- 19, 1- 20, 1- 21, 1- 22, 1- 23, 1- 24, 1- 25, 1- 26, 1- 27, 1- 28, 1- 29, 1- 32, 1- 33, 1- 34, 1- 35, 1- 36, 1- 37
Isolation : 2-19

Indeks

J

Jordforbindelsens rolle : 1- 40
jordforbindelser : 1- 40
Jordreferenceplan : 2-28
Jordsystem : 2-8, 2-9, 2-22
Jordsystemer : 2-20, 2-21

K

Kabelføring : 2-46
kabelføring : 2-36, 2-37, 2-38, 2-39, 2-40, 2-41, 2-42, 2-43, 2-50, 2-51
Kabelgennemføringer : 2-28
Kabelkanaler : 2-44
Kabeltræk : 2-28
Kabinet : 2-12, 2-26, 2-27, 2-30, 2-31
kabinet : 2-56
Kabler : 1- 49, 1- 50, 1- 51, 1- 52, 1- 53, 2-32, 2-33, 2-34, 2-35
kanaler : 2-44
kilder : 1- 15, 1- 17
Kobling : 1- 30, 1- 34
kobling : 1- 35
Komponentlayout : 2-29
Kondensatorer : 1- 13
kontakter : 1- 20

M

Montage : 2-58
Montering af filtre : 2-58

N

net-interferens : 1- 18

O

Optokobler : 1- 39

P

PE/PEN leder : 1- 53
Placering af kabler : 2-46
Praktiske retningslinjer : 2-7
Procedure : 2-3
publikationer : 3-5
Punktsvejsning : 1- 28

R

Regler : 2-38
Regulatorer : 1- 13
relæer : 1- 13

S

sikkerhed : 2-14, 2-15
skærm : 2-55
Sløjfer : 1- 46
sløjfer : 1- 46, 1- 47
Standarder : 3-1, 3-2, 3-3, 3-6, 3-7
Stelforbindelser : 1- 42, 1- 43, 1- 44, 1- 45, 1-46, 1- 47, 1- 48
Strømforsyning : 2-18, 2-19, 2-20, 2-21



Indeks

T

Test på stedet : 3-9
Tilslutning : 2-55
Tilslutning af filtre : 2-59
Tilslutning til kabinetter : 2-45
tilslutninger : 2-13
Tilslutningers type og længde : 2-52
transformator : 2-19
transformatorens skærme : 2-25
Transienter : 1- 14
Transmission : 1- 30
tværsnitsareal : 1- 51
Typer af elektromagnetisk interferen : 1- 19
Typer af elektromagnetisk interferens : 1- 19
Typetests : 3-9
Typisk jording af en installation : 1- 41
tællere : 1- 13

U

Udbredelsesformer : 1- 30
udladninger : 1- 16
Udligningsforbindelse : 2-14, 2-15, 2-16, 2-17
udstråling : 1- 36
Udstyr : 2-11
udvidelse : 2-4

V

Vedligeholdelse : 2-5