

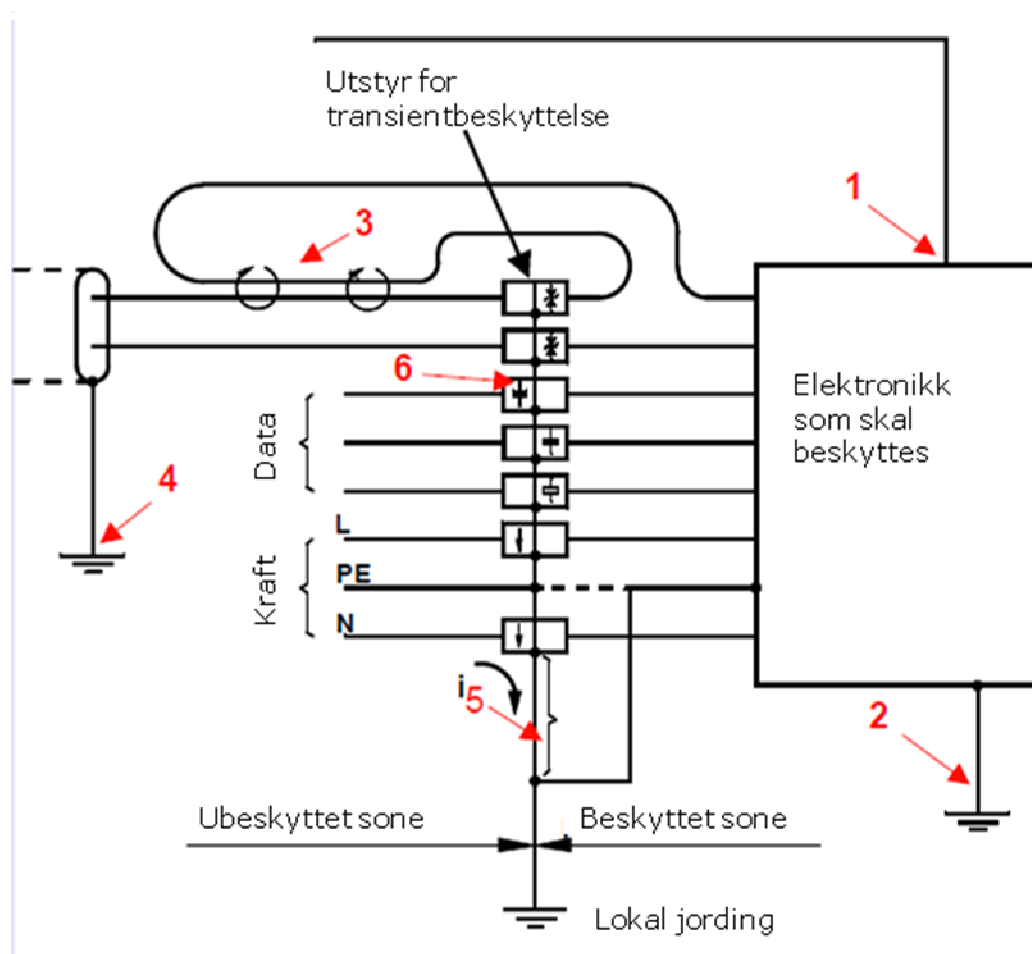
EMC – Elektromagnetisk forenlighet

v/ Rune Øverland, Trainor Automation AS

Dette er andre artikkel i en serie av to. Her tar vi for oss kabelforlegning, nipler og potensialutjevning knyttet til kraft- og signalkabler.

”Vanlige feil”

Figuren nedenfor viser noen typiske feilkilder som kan føre til funksjonssvikt på det elektroniske utstyret eller feil på datasignaler.



Figur: Eksempler på gal EMC

1. Uskjermet kabel trekkes inn i EMC-sone (kan ødelegge for øvrige beskyttelsestiltak)
2. Mer enn ett jordingspunkt (skulle vært jordet ved SPE (Single Point Entry))
3. Kobling (kapasitiv/induktiv) fra en uskjermet kabel til en ”beskyttet” kabel
4. Kabelskjerm skulle vært jordet nær ved SPE-jord
5. Elektronikkjord (inkludert PE) skulle vært tilkoblet til SPE-jord kun i ett punkt (for å hindre spenningsfall). Stiplet linje indikerer rett jording.
6. Beskyttelse installert på gal side.

EMC-tiltak

Fordelingsanlegget må planlegges nøye.

Enheter som overfører store effekter, slik som høyspente koblingsanlegg, transformatorer, hovedfordelinger, underfordelinger, skinne- og kabelføringer, skal ha tilstrekkelig avstand (og skjerminger) til områder hvor det benyttes støyfølsomt utstyr.

Kraftkrevende elkraftteknisk utstyr forårsaker forstyrrelser ved at det utstråler lavfrekvent, elektrostatisk og elektromagnetisk støy.

Elektriske forstyrrelser kan i betydelig grad forplante seg fra en kabel til den andre når kabler legges tett sammen på stiger eller i kanaler.

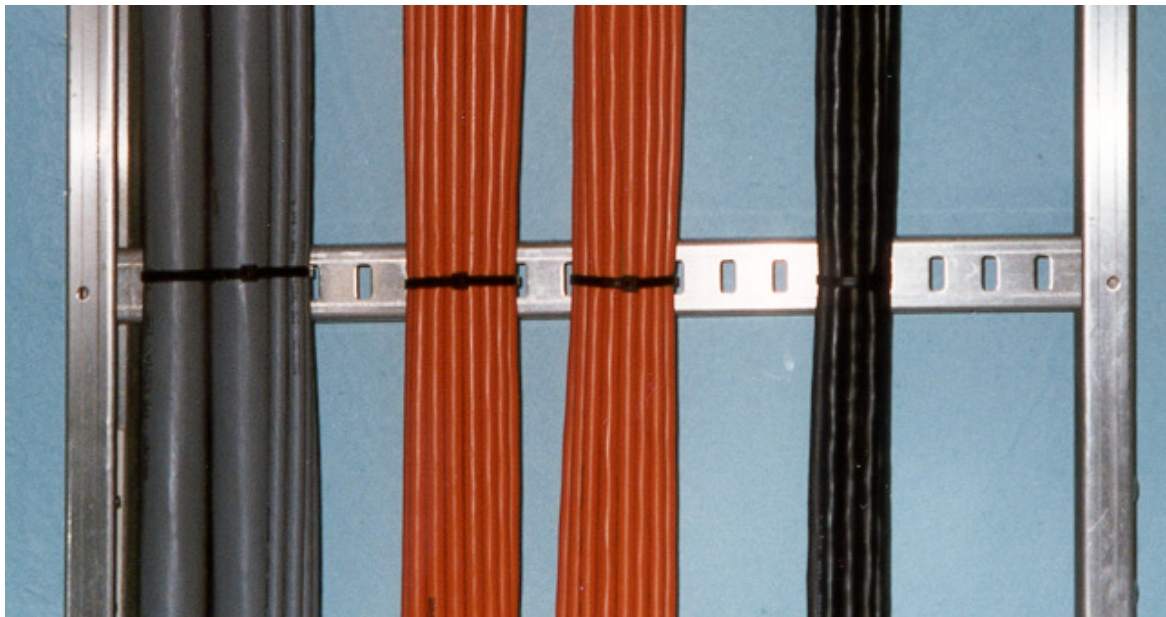


Foto: Hovedregel – separat forlegning for de ulike kabelklassene

Bruk av skjermede kabler vil fra et støymessig synspunkt over alt være gunstig. Når skjermede kabler benyttes, er det utførelsen av jording av denne skjermen som bestemmer hvilken effekt skjermen skal få.

Gjeldende forskrifter må alltid følges ved utførelse av beskyttelsesjording.

Ved å hindre at det flyter strømmer i jordledninger, strømmer mellom jordede anleggsdeler og sirkulerende jordstrømmer, reduseres problemer med forstyrrelser fra jordingsanlegget.

EMC-jording er å lede støyende strøm ønsket vei, for eksempel utenom et mulig støy-”offer”. Gjennom lav-impedante forbindelser oppnås spenningslikhet mellom krets og skjerm.

Og, ikke-jording brukes for å isolere et mulig støy-”offer” mot støyende strømmer og spenninger.

EMC-program

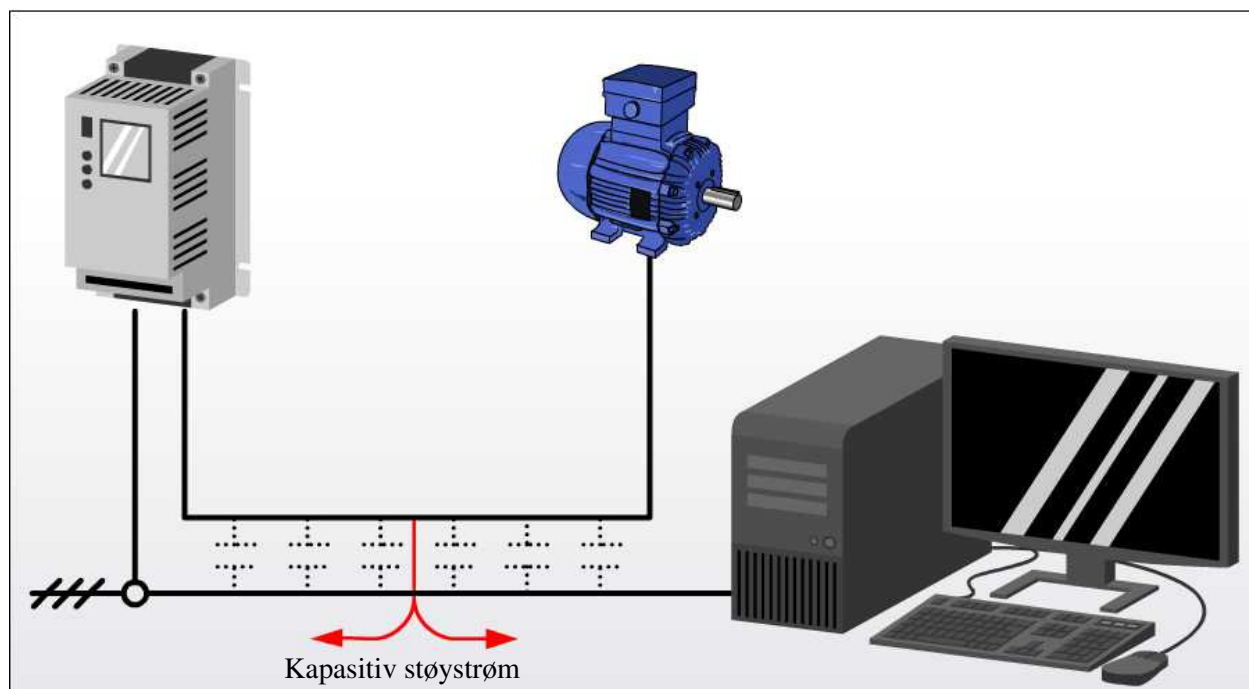
Et EMC-program er en plan som har til formål å sikre at utstyr vil oppfylle sine tiltenkte funksjoner uten å forstyrre eller bli forstyrret av EMI fra annet utstyr.

En slik plan bør inneholde følgende punkter:

- Klasseinndeling av kabel (grad av støygenerering og grad av støyfølsomhet)
- Spesifikasjon av kabeltyper
- Forlegningskrav (oppfylle minimumsavstand mellom ulike klasser av kabler)
- Montasje og utførelse av kabelstiger
- Plan for avslutning/skjøting av ulike kabler/kabeltyper
- Jording, fysisk utførelse og materialvalg
- Støyskjerming av utstyr, støydempingstiltak (filtre, galvaniske skillekoblinger etc) i installasjonen

Elektrisk nærfelt - luftbåren kapasitiv kobling

Kapasitiv kobling opptrer ved spenningsforskjell mellom to gjenstander, for eksempel mellom to kabler som ligger i nærheten av hverandre.



Figur: Luftbåren kapasitiv kobling. Det frekvensstyrte signalet fra frekvensomformereren til motoren har andre "usynkroniserte" spenningsnivåer enn resten av anlegget. Denne spenningsforskjellen setter opp et elektrisk nærfelt med en kapasitiv støystrøm som resultat.

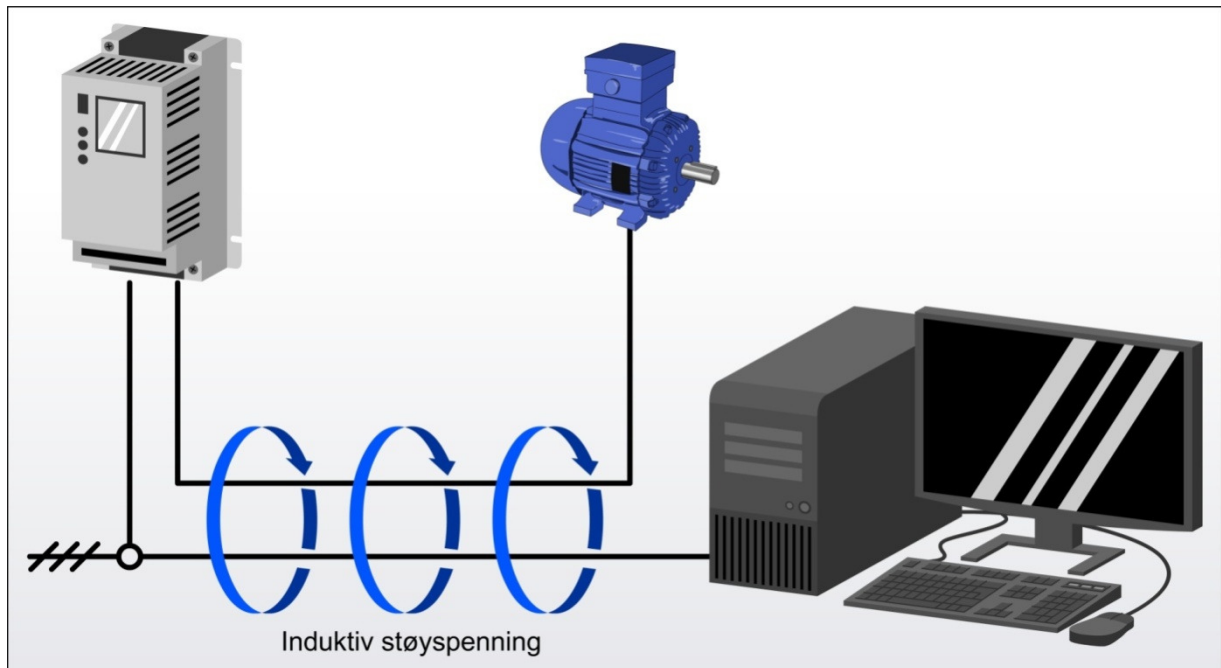
I den første artikkelen tok vi for oss fem typiske metoder for å oppnå god EMC. Den første metoden er å legge kabler med tilstrekkelig langt nok avstand fra hverandre.

Magnetisk nærfelt - luftbåren induktiv kobling

Induktiv kobling skaper et magnetisk nærfelt rundt en elektrisk leder når det går strøm igjennom ledningen.

Når ledningene løper parallelt, er koblingen størst.

Skjerming av magnetfeltet kan utføres ved å legge den isolerte lederen direkte på et ledende jordplan, en kabelrenne eller lignende.



Figur: Induktiv kobling (induktiv støyspenning)

EMC – Potensialutjevning (jording)

Ved EMC- potensialutjevning må vi ha for øye at koblingen svært ofte også trenger å gi en lavohmig passasje for høyfrekvente strømmer. Lav- og høyfrekvent potensialutjevning mellom de utsatte deler er den gylne regel for EMC.

Ideen bak system- og sikkerhetsjording er basert på at det blir opprettet en lavohmig elektrisk forbindelse mellom jordingsobjektet og fysisk jord. Denne filosofien er ikke lenger holdbar når det blir etablert jordinger for EMC-formål.

En uheldig utformet EMC-jording kan i verste fall føre til at EMC-problemet øker i stedet for å avta. Det kan blant annet skje når store støystrømmer som blir generert i et system, blir koblet over til et annet system via en felles jordleder.

Vekselstrømsimpedansen til en (jord-)leder ($Z = R + \omega L$) består av en ohmsk del som er lite frekvensavhengig (R), og en induktiv del som er direkte proporsjonal med frekvensen (ωL).

Den eneste måten å redusere selvinduksjonen på er å valse ut lederen til et bredt bånd med stor overflate.

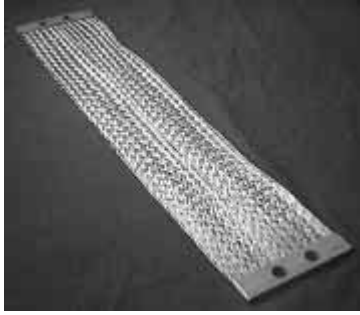


Foto: HF (Høy-frekvens) utjevningsforbindelse

Hvis vi har erfaring for at installasjonens jordingsystem er sterkt støybefengt, kan vi høyfrekvensisolere EMC-potensialutjevningen fra installasjonens jord ved å sette inn drosler i ledningen mellom byggets jord og de lokale EMC-ekvipotensialflatene.

NEK 410-2-8-3.20: Note 2

”For EMC purposes interconnections between metal parts equalize the different potentials and require a low impedance in the frequency range considered. The frequency range considered includes the operating as well as the disturbance frequencies.”

”EMC-krav”: Max impedans $< 2 \Omega$, anbefalt $< 0,2 \Omega$

$$Z = R + j\omega L$$

Når DC \rightarrow $Z = R$ f.eks: Resistans ($1,5 \text{ mm}^2$) $\approx 12 \text{ m}\Omega/\text{meter}$

Når $f = 50 \text{ Hz}$ \rightarrow $Z \approx R$ Kabellengde $\approx 100 \text{ meter}$ $\rightarrow Z = 2 \Omega$

Når $f = 1 \text{ MHz}$ \rightarrow $Z \approx j\omega L$ f.eks: ”Hovedregel” $L = 1 \mu\text{H}/\text{meter kabel}$

Når $f = 1 \text{ MHz}$ $\rightarrow L \approx 1/3 \mu\text{H}$, dvs

en kabellengde = 3 cm pr $0,2 \Omega$

Når $f = 100 \text{ MHz}$ $\rightarrow Z \approx j\omega L$ f.eks: Krav = $2\Omega = 2\pi fL \rightarrow L = 1/(\pi f)$

en kabellengde = 3 mm pr 2Ω

Det vil si at ved støyfrekvenser rundt 100 MHz, vil en maksimal EMC-utjevningsforbindelse på $0,2 \Omega$ gi en maksimal lengde på 0,3 mm. En ”Pig-tail” er dermed en svært dårlig løsning.

”Pig-Tails” blir fort en høy-ohming forbindelse en høy-frekvente støysignaler. Dette blir nesten like ille som ujordede EMC-skjermer.

Klassifikasjon av kabler

Kabler deles inn i fem klasser, som hver har egen karakteristik med hensyn til støygenerering og støyfølsomhet.

Som hovedregel skal alle de forskjellige kabelklassene A til E ha separat forlegning og avstanden bør være så stor som mulig.

Klasse	Klassifikasjon	Funksjon (eksempler)
A	Støygenererende, ikke støyfølsomme, 24V – 600 VDC, 60 Hz, 400 Hz	Kraftkabler Kontrollkabler i kretser med mekaniske kontakter og reléspoler
B	Lite støygenererende, lite støyfølsomme, 0,5 – 50 V, lavfrekvens	Telefonkabler Signalkabler Synkronkretser (60 – 400Hz)
C	Støyfølsomme, støygenererende 0,5 – 5V, 50 W 0,1 – 24V DC, høyfrekvens	Videosignaler Datatransmisjon
D	Svært støyfølsomme 10 mV – 100 mV 50 W – 2000 W DC, lav-til superhøyfrekvens	Mottakerantenner Hydrofon og mikrofonkabler Analoge måleverdier
E	Svært støygenererende Lav- til superhøy frekvens	Radio-sender Sonarsignaler Radar-moduler

Tabell: Klasseinndeling av kabler

Når det brukes uskjermede parallelle kabler på kabelstiger og lignende skal de ha følgende minimumsavstand:

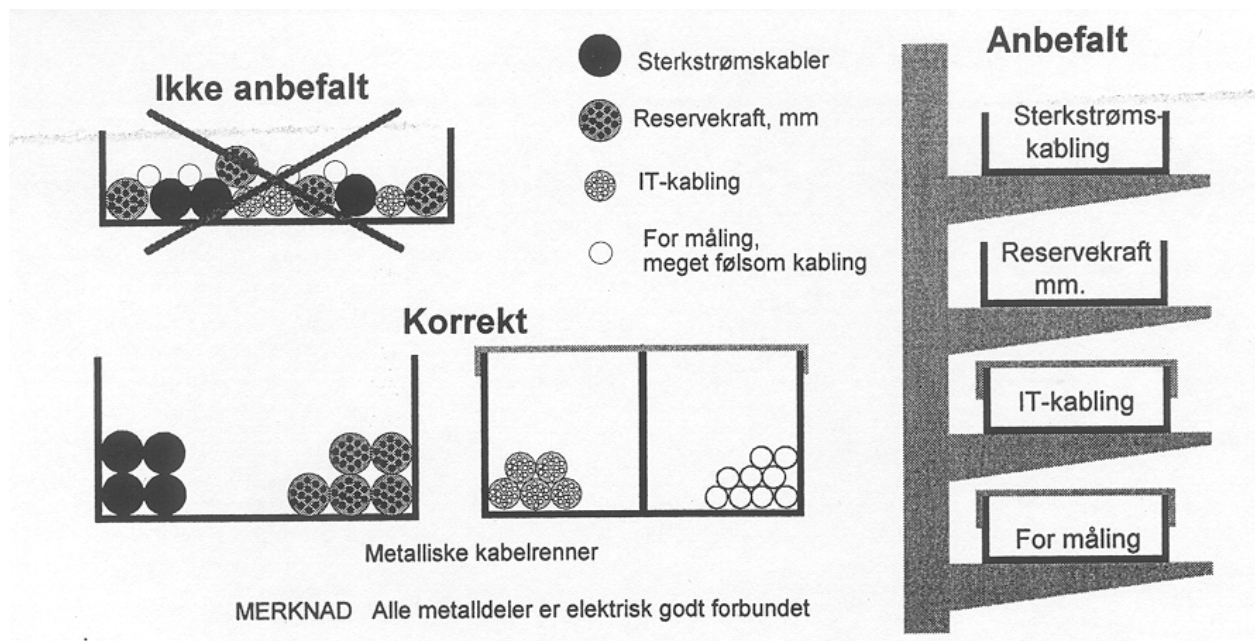
Kabelklasse	A	B	C	D	E
A	0	0,25	0,25	0,5	0,25
B	0,25	0	0,25	0,25	0,25
C	0,25	0,25	0	0,25	0,5
D	0,5	0,25	0,25	0	0,5
E	0,25	0,25	0,5	0,5	0

Tabell: Minimumsavstander i meter mellom uskjermede kabler ved parallellføring over minst 2 meter.

Fra et støymessig synspunkt vil det være gunstig å overalt bruke kabler med skjerm som jordes.

Kabelklasse	A+B	C+D	E
A+B	0	0,10	0,25
C+D	0,10	0	0,50
E	0,25	0,25	0

Tabell: Minimumsavstander mellom skjermede og jordete kabler i ulike kabelklasser med både parallellføring og kryssing



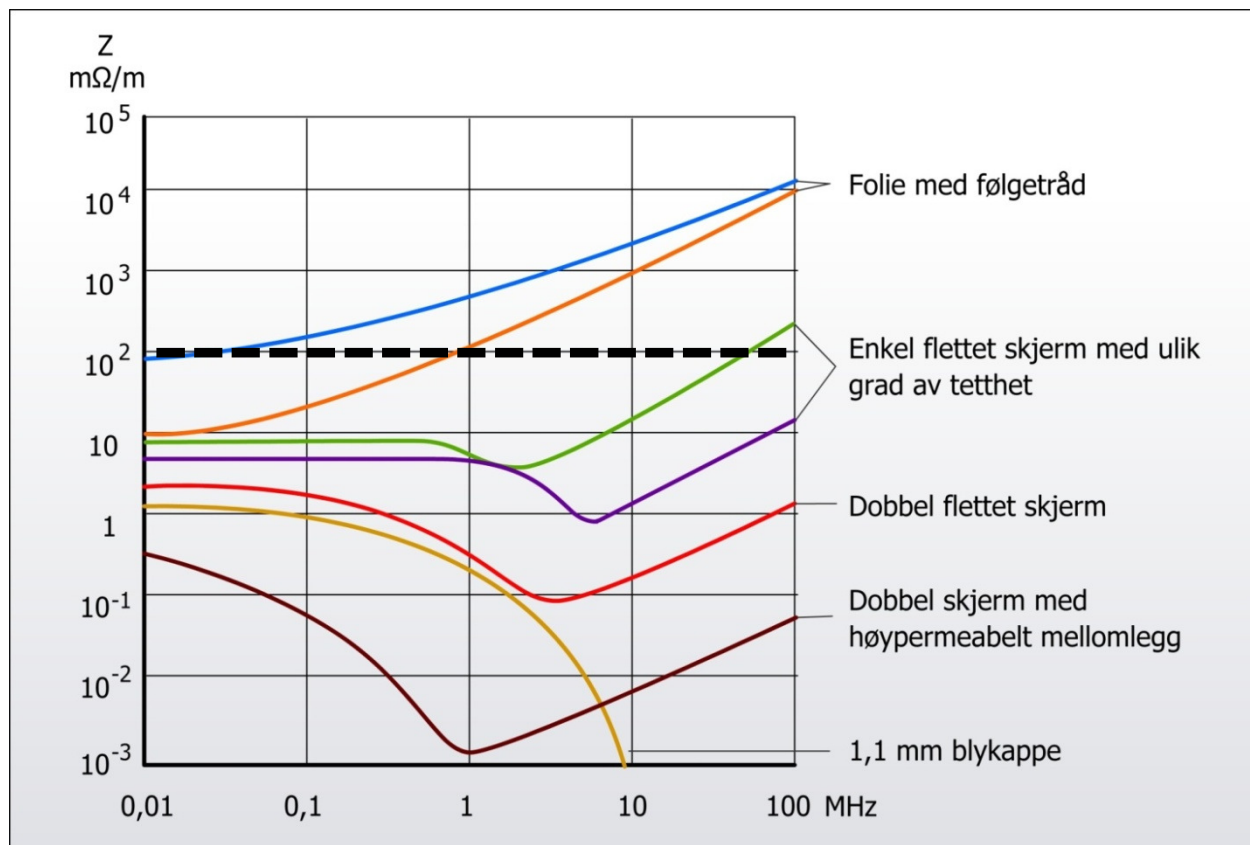
Figur: Adskillelse av kabler i et kabelforlegningssystem

Kabler bør monteres enten direkte mot ledende skrog, på kabelstiger, eller på broer med bunn av minst 1,5 med mer perforert stålplate. Best skjerming oppnår når kablene forlegges mot vegg i kabelbroer.

Potensialutjevning av EMC-skjermer (NEK EN 50174)

Noen ganger er det nødvendig å eksperimentere hva som er beste termineringsløsning av EMC kabelskjerm. Resultatet er avhengig av støytypen og dens støyspektrum, kabellengde, og andre omgivelsesfaktorer.

- Ved lave frekvenser "kortsletter" skjermen det elektriske felt som måtte bli strålet inn mot kableen.
- Hvis det stråles inn lavfrekvent magnetisk felt (som forekommer sjeldent), kan kabelskjermen ikke kortslette dette. Feltet vil trenge gjennom skjermen og induserer den samme spenning på innerlederne som på en uskjermet kabel.
- Ved høyere frekvenser (f eks. over ca 10 MHz) går strømmen kun i de ytre deler av EMC-skjermen. Når skjermen ikke er særlig tykk, er inntrengnings-dybden for strømmen liten slik at de høyfrekvente støysignalene ikke trenger gjennom skjermmaterialet.
- Maksimum ledningsimpedans skal være 100 milliOhm pr meter i hele frekvensområdet (opp til 100 MHz)



Figur: Kurvene viser sammenhengen mellom støyfrekvens i kabelskjermen (horisontal akse) og kabelens ledningsimpedans (vertikal akse). Skala har enheten milliohm per meter.

Ved lave frekvenser ”kortsletter” skjermen det elektriske felt som måtte bli strålet inn mot kabelen.

Hvis det stråles inn lavfrekvent magnetisk felt (som forekommer sjeldent), kan kabelskjermen ikke kortslutte dette. Feltet vil trenge gjennom skjermen og induserer den samme spenning på innerlederne som på en uskjermet kabel.

Ved høyere frekvenser (f eks. over ca 10 MHz) går strømmen kun i de ytre deler av EMC-skjermen. Når skjermen ikke er særlig tykk, er inntrengnings-dybden for strømmen liten slik at de høyfrequente støysignalene ikke trenger gjennom skjermmaterialet.

RS 232, RS422, RS485

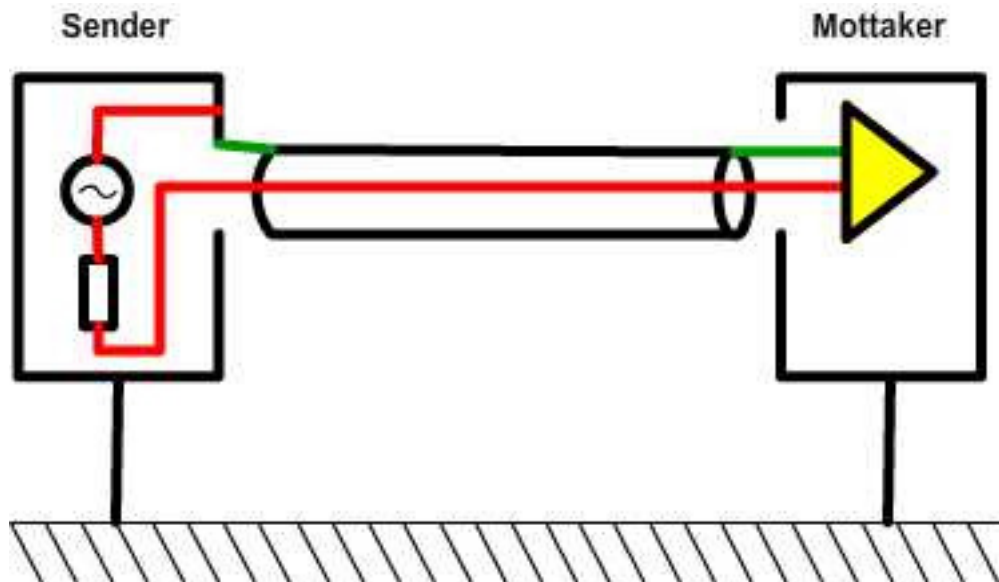
RS-232 seriell datakommunikasjon ble definert for flere tiår siden. Standarden definerer spenningsnivå som samsvarer med logisk ”en” og ”null” referert til et 0 V-nivå. Vi omtaler dette som ubalansert datalinje. Bruken av ubalanserte kretser gjør at RS-232 er følsom overfor forandringer i jord mellom apparatene.

RS-422 er et høyhastighetssystem, hvor logisk ”en” og ”null” er definert som spenningsforskjellen mellom mottagerkretsens innganger. Vi snakker om balanserte datalinjer.

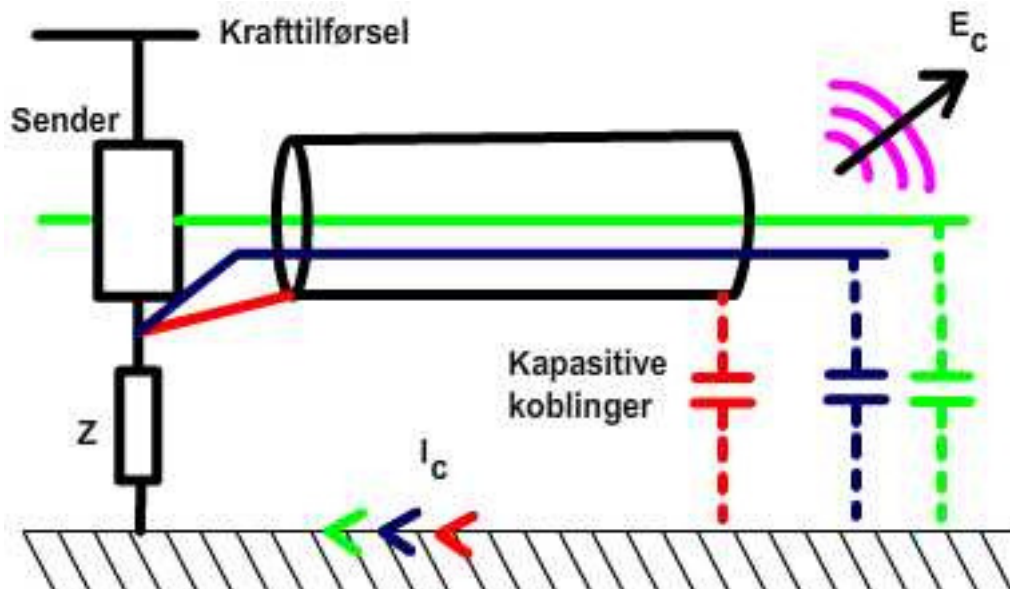
RS-485 er en etterkommer av RS-422, som brukes som buss i flerpunkts-konfigurasjoner.

EMC-skjerm potensialutjevnes i én ende

- Induserte høyfrekvente støystrømmer induisert utenfra flyter på grunn av strømfortrengningen på skjermens yterside (folie), og påvirker ikke feltet innenfor skjermen (Faraday's "bur").
- Ved flettet skjerm blir ikke denne adskillelsen like effektiv ved høyfrekvente støystrømmer.
- Støystrømmen (HF) kan gi spenningsforskjell langs skjermen og vi kan få en antennevirkning.



Figur: Koaksialkabel potensialutjevnes til kasse i senderenden (grønn strek), men ikke i mottakerenden.



Figur: Krets for fellesmodus (CCMR) med skjerm

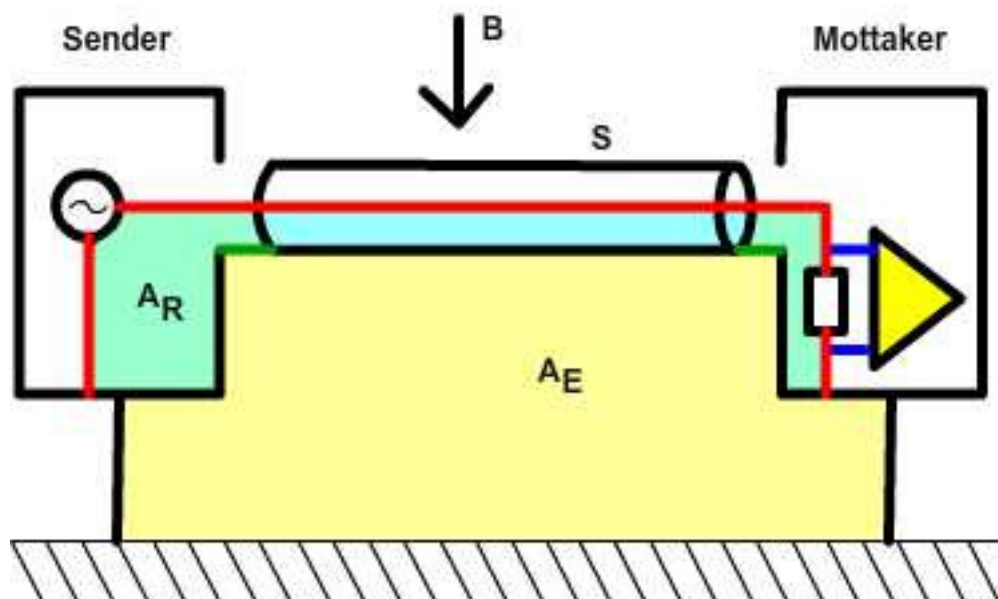
Sirkulerende fellesmodus-strømmer (I_c) i en kabel fins i kabelens signalledere og kabelskjerm. Strømmene setter opp et spenningsfall over jordingen med impedansen Z .

Dersom vekselstrøymen går i kabelskjermen, vil skjermen virke som en effektiv antenne. Dette til tross for at skjermen som regel er ment å skulle begrense utstrålingen.

Støyarealet, mellom EMC-skjerm og jordplanet, kan minimaliseres ved å legge kabelen så nær apparatets metallflater som mulig.

EMC-skjerm potensialutjevnes i begge ender

- Hovedregelen er at en kabelskjerm skal potensialutjevnes i begge ender for at skjermen skal være effektiv. Dette gir også skjerming mot magnetisk felt.
- Potensialutjevning i begge ender gir null potensialforskjell mellom kabel og jordplan.



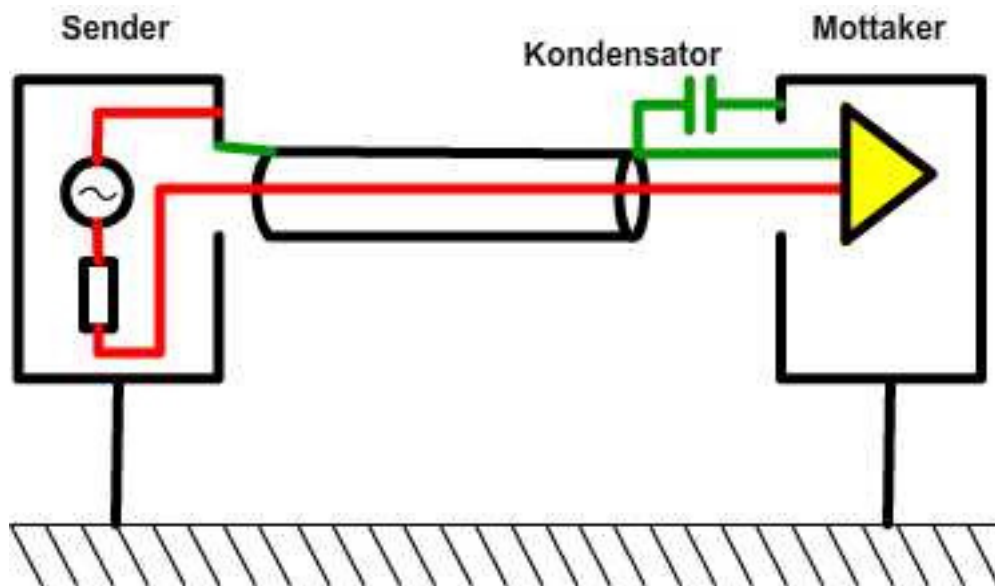
Figur: Kabelskjerm jordet i begge ender (grønn). B = Støyende magnetfelt. A_E = Jordsløyfeareal (lysegul), A_R = Restsløyfeareal (lyseblå) Det er viktig å holde dette arealet så lite om mulig. S = EMC-skjerm.

EMC-skjerm med kombi-potensialutjevning

Dersom vi potensialutjevner den ene enden av EMC-skjermen direkte (ved sender), og kapasitivt ved bruk av kondensator i den andre enden (ved mottaker), oppnår vi fordelene ved både enkel og dobbel potensialutjevning.

Ved lave støyfrekvenser fungerer denne kombi-løsningen tilnærmet som enkel potensialutjevnet skjerm med god kapasitiv skjerming.

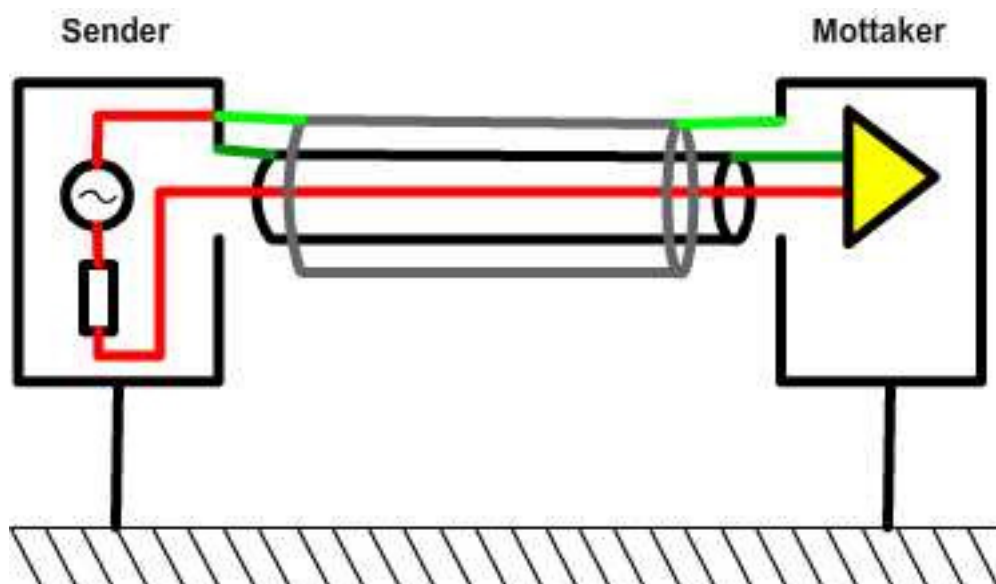
Ved høye støyfrekvenser virker denne kombi-løsningen som dobbelt-potensialutjevnet EMC-skjerm med god elektromagnetisk skjerming, men uten problemene med jordpotensialforskjeller.



Figur: Signalgiver usymmetrisk montert i potensialutjevnet metallkabinett. Koaksialkabel galvanisk potensialutjevnet i senderenden, potensialutjevnet via kondensator i mottakerenden.

Dobbelskjernet kabel

- Indre EMC-skjerm potensialutjevnes i samme ende som signalkretsen.
- Ytre EMC-skjerm potensialutjevnes i begge ender, eventuelt med ”mellom”-potensialutjevning.



Figur: Signalgiver usymmetrisk montert i potensialutjevnet metallkasse. Dobbelskjernet koaksialkabel (Triax) med yterskjerm potensialutjevnet i begge ender.

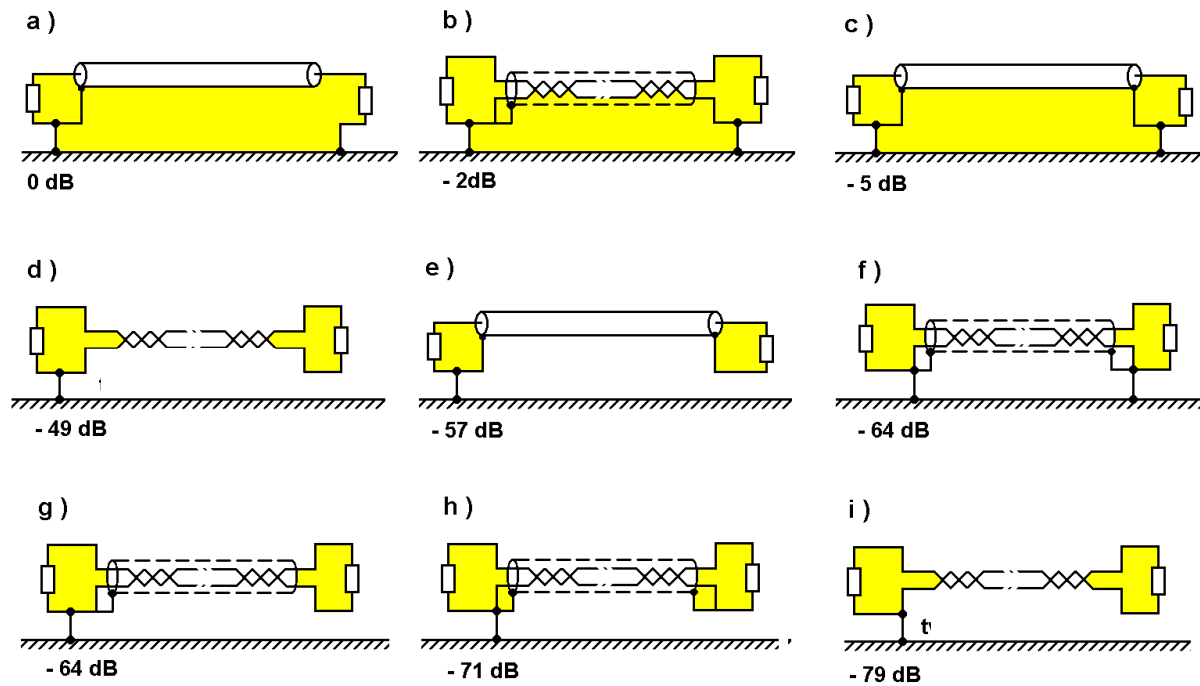
Dersom kabelen er lang (mer enn 50 til 100 m) mister EMC-skjermen sin effekt.

Det er tilrådelig å foreta et stort antall mellomforbindelser til jordplan eller jordskinne tilkoblet apparatskap.

«Twisted pair» signalledere

Tvunne signalledere er meget vanlige ved datakommunikasjon fordi et «Twisted pair» gir god immunitet mot elektrisk støy induisert utenfra.

Da elektronikken kun bruker differansen mellom lederne, får støyen ingen innflytelse ved mottageren.



Figur: Eksempler på innflytelse av 50 Hz-forstyrrelse i jordplanet.

Delfigur b) til og med delfigur i) viser graden av redusert innflytelse av støy i forhold til a). Delfigur d) har 20 tårn per meter, mens delfigur i) har 60 tårn per meter.

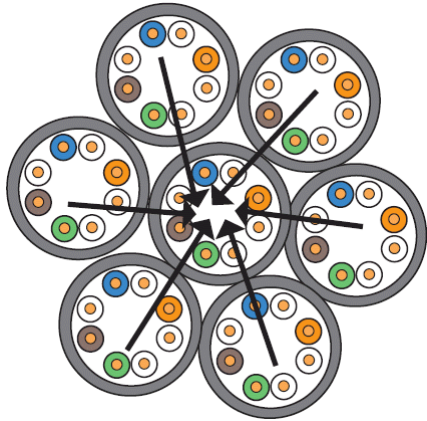
PROFIBUS PA (Prosess Automasjon) benyttes særlig til å kommunisere med instrumenter i prosessindustrien.



Foto: Signalkabel for PROFIBUS DP. Kabelen har både flettet kobberskjerming og aluminiumsfolie som gir den gode EMC-karakteristikker. Lederne er revolverte ("Twisted").

Cross Talk

Fremmedkryssstale (Alien Cross Talk) kan best beskrives som støy mellom kommunikasjonskanaler. Støy overført fra en kabel til andre kabler i umiddelbar nærhet. Jo tettere kablene ligger, jo større er problemet.



Figur: en rapport fra IBM konkluderte med at 1 prosent bitfeil struper båndbredden i datanettet med 80 prosent. Skjermte kabler er en effektiv løsning mot "Cross Talk".

EMC-nippelen

Nippelen skal opprettholde en intakt EMC-sone. Den skal ha gode egenskaper for strekkavlastning og tetningsgrad for støv og vann.

Det spesielle er en krans av "tenner" eller lignende som danner god elektrisk forbindelse mellom kabelskjermen (360 °) og niplen. Andre konstruksjoner bruker en kon som blir presset rundt skjermen.

Viktig at nippelens gjenger har "tenner" som skjærer gjennom lakk/maling og lignende for å skape god kontakt med skapet for å unngå kapasitiv kobling.





Foto: EExe pakknippel også for EMC beskyttelse. Nippelen har innvendig potensialutjevning/jording av EMC-skjermen ved at en kon blir presset sammen rundt skjermen.