F8 - Kablar

- Kort genomgång av egenskaper hos elektriska kablar
- Läck-kapacitans och kopplingsimpedans
- Inverkan av tvinning på inducerade störningar
- CM och LP-kabel
- Kabelskärmens jordning

[1] Kap. 4.
[3] Kap. 12.4
[4] Kap. 4
[5] Kap. 15.2

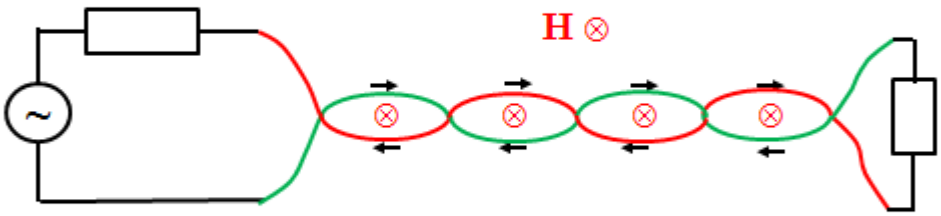
Under tidigare föreläsningar har vi belyst problemet med jordning och rekommenderat vissa lösningar för störningar som dyker upp i samband med en gemensam impedans.

Vidare utveckling av jordningsproblematiken kan vara jordning av skärmade kablar. För att diskutera jordning av kablar behövs en liten introduktion om kablar generellt och om skärmade kablar i synnerhet.

Den enklaste kabel som vi använder för att skicka signaler mellan olika apparater eller delar av apparater är ett par koppartrådar med isolering. De är inte skyddade mot induktion av störningar och inte heller mot utstrålning av sådana.

Den enda effektiva metoden mot DM störningar är att partvinna kablarna som på bilderna nedan.

Tvinnad kabel minskar Differential Mode störningar



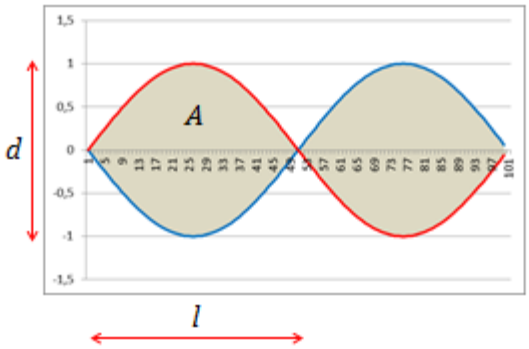
Tvinning minskar induktiv och kapacitiv överhörning.

Typisk EMI reduktion -30 dB

EMC Elektronik

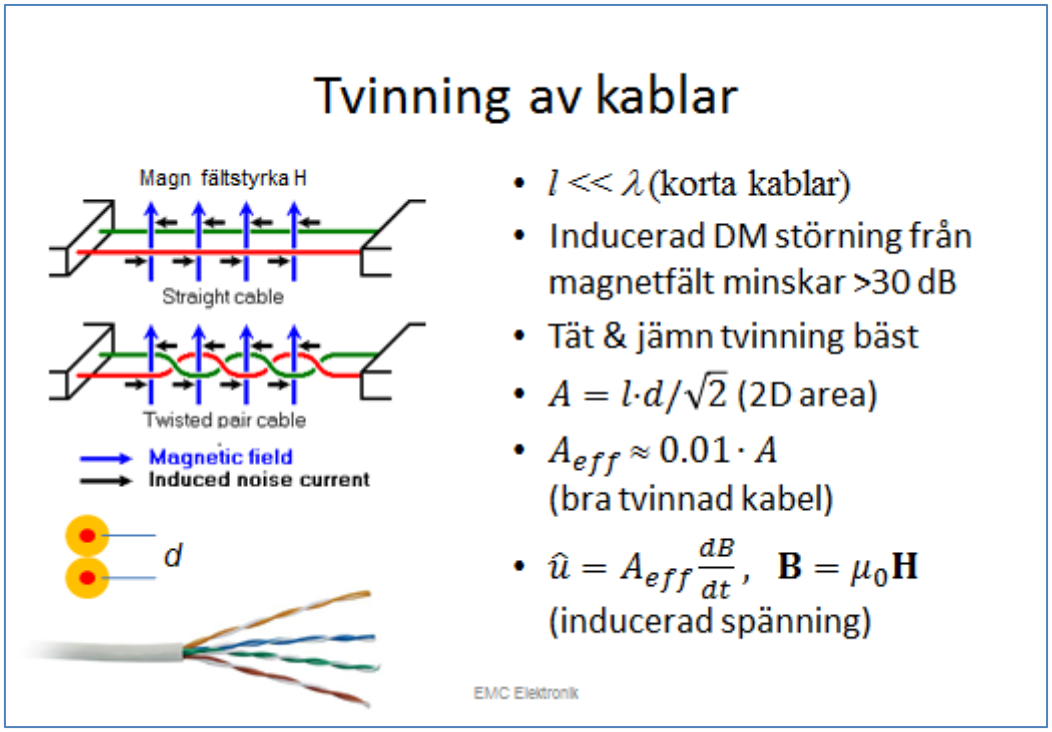
Om alla slingor är lika i bilden ovan blir den inducerade spänningen noll. Ju tätare tvinnad kabeln är och ju tunnare isolering, desto mindre störningar plockar den upp.

Beräkning av projicerade ytan



$$A = l \cdot \frac{d}{\sqrt{2}}$$

EMC Elektronik



Måttet är antal slag per meter. Ett vanligt värde är 50 slag/meter. Ytan av en slinga beräknas som

$$A = l \times \frac{d}{\sqrt{2}}$$

, där A = arean, l = längden av kabeln, d = tråddiameter. Den effektiva störningsupptagande arean A_{eff} brukar anges i procent av *A*. Ett typiskt värde för en bra kabel är 1%. Den spänning som induceras i en kabel kan beräknas som

$$\hat{u} = A_{eff}\frac{dB}{dt} \text{ [V]}$$

,där û = maximaltvärdet av den inducerade spänningen, A_{eff} = effektiva arean, B = magnetisk flödestäthet och t = tid.

Ex. Induktion i tvinnad kabel

Uppgift 2, sid 295

En signalkabel är parallell med en kraftkabel på en sträcka av 5m. Avståndet *R* mellan kablarna är 0,5 m. Strömderivatan i kraftkabeln *di/dt* har uppmätts till 200 A/us.

Signalkabeln har följande data:

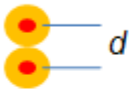
- Area: 2 x 0,5 mm^2
- Ledarnas isolation är 1 mm tjock
- Tvinningen är 20 slag/m

Med ledning av tvinningen kan man anta att signalkabelns areaobalans är 5%.

Beräkna inducerad spänning i signalkabeln!

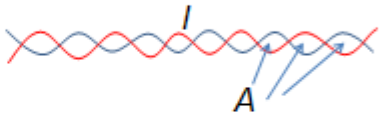
Beräkna först ytan *A* (projektionen) av den tvinnade kabeln!

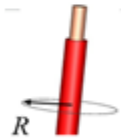
ledararean = πr^2 => $r = \sqrt{\frac{arean}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.5mm^2}{\pi}} = 0.4mm$ (radien av ledarna)



d = 2 x isolationstjocklek + 2 x r = 2.8 mm

$$\boxed{A = l \cdot d / \sqrt{2}}$$





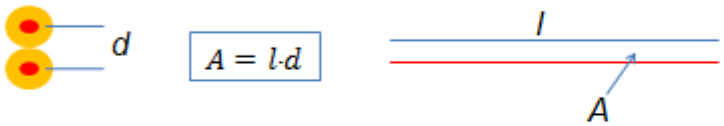
=> $A = 9.9 \times 10^{-3}$ m^2 $A_{eff} = 0.05 \times A = 4.95 \times 10^{-4}$ m^2

$$\boxed{H = \frac{i}{2\pi R}} \qquad B = \mu_0 H = \frac{\mu_0 i}{2\pi R} \qquad di/dt = 200 \text{ A/µs}$$

$$\hat{u} = A_{eff}\frac{dB}{dt} = \frac{A_{eff}\mu_0}{2\pi R}\frac{di}{dt} = 39.6mV$$

Hur många dB förbättring blev det med tvinnad kabel?

Vilken spänning skulle ha inducerats om kabeln inte hade varit tvinnad och ortogonal mot magnetfältet?



$$A = l \cdot d$$

=> A = 5m x 2.8mm = 1.4 x 10^{-2} m^2

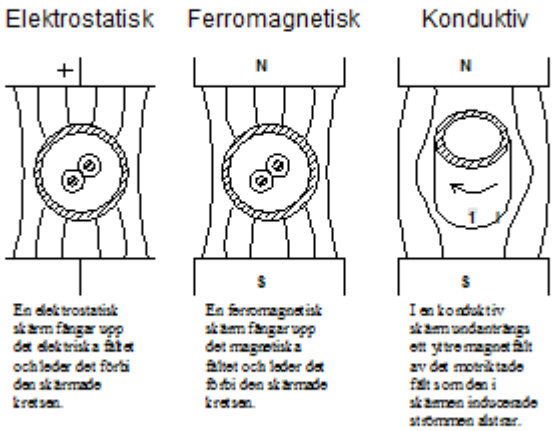
$$\hat{u} = A\frac{dB}{dt} = \frac{A\mu_0}{2\pi R}\frac{di}{dt} = 1.12V$$

$$Dämpning = 20log\left(\frac{u_{tvinn}}{u_{rak}}\right) = -29dB$$

=> tvinningen ger som bäst ca 29 dB störningsundertryckning

Men man uppnår mycket bättre skydd med en skärmad kabel. Det finns flera typer av skärmar för kabel.

Skärmning av kabel



EMC Elektronik

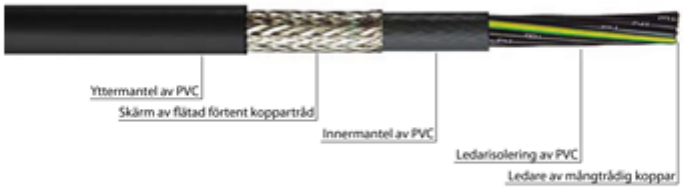
Det finns olika typer av skärmverkan, elektrostatisk, ferromagnetisk och konduktiv skärmning.

Olika typer av skärm

- Flätad skärm
- Ruslindad skärm (”huller om buller”)
- Folieskärm med dräneringstråd
- Kombinationsskärmar
- Ferritskärm
- Stålfläta
- Metallrör
- mm.

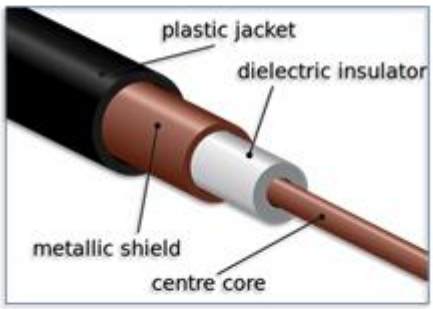
Flätad skärm

- Vanligast
- Både höga och låga frekvenser
- Billig



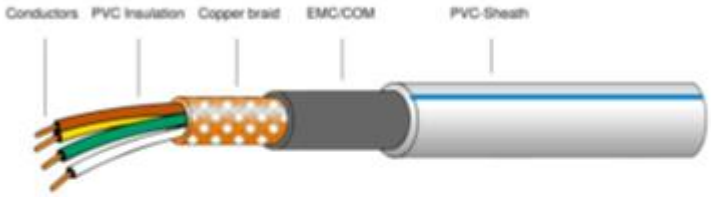
Koaxial kabel

Folieskärm med dräneringstråd

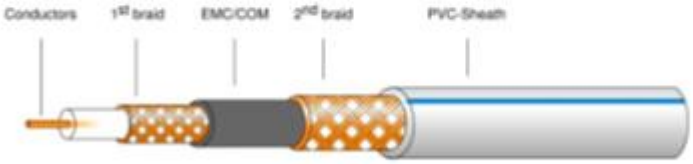


CMS- and LTI-cable

Common Mode Suppression & Low Transfer Impedance

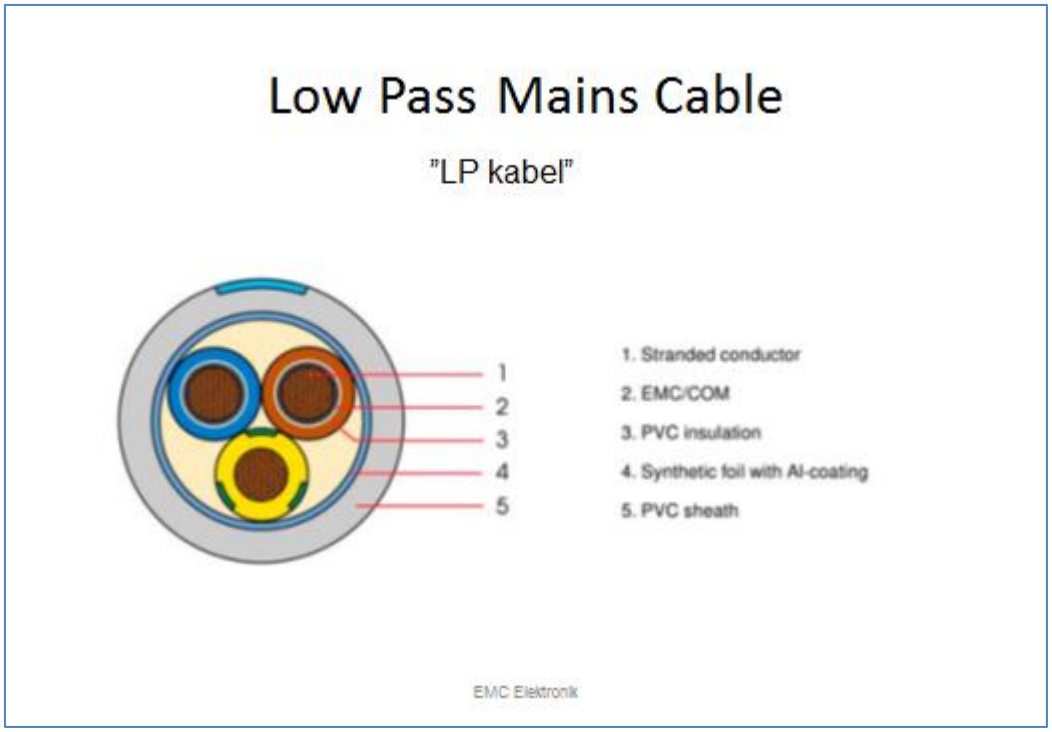


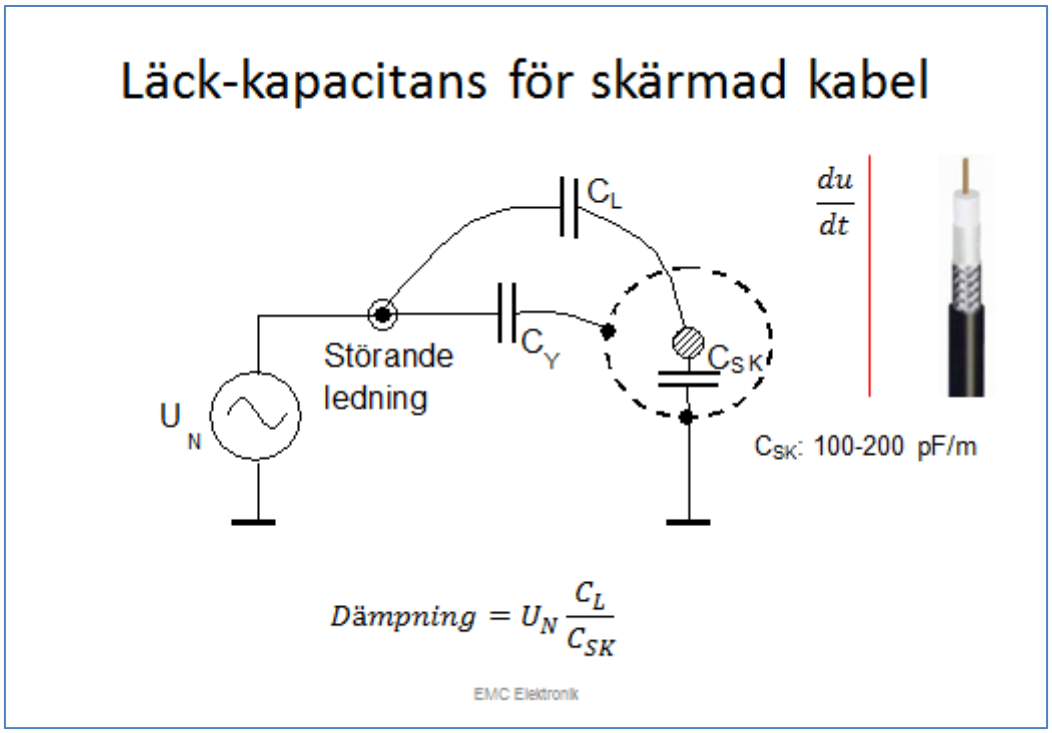
"CMS kabel"



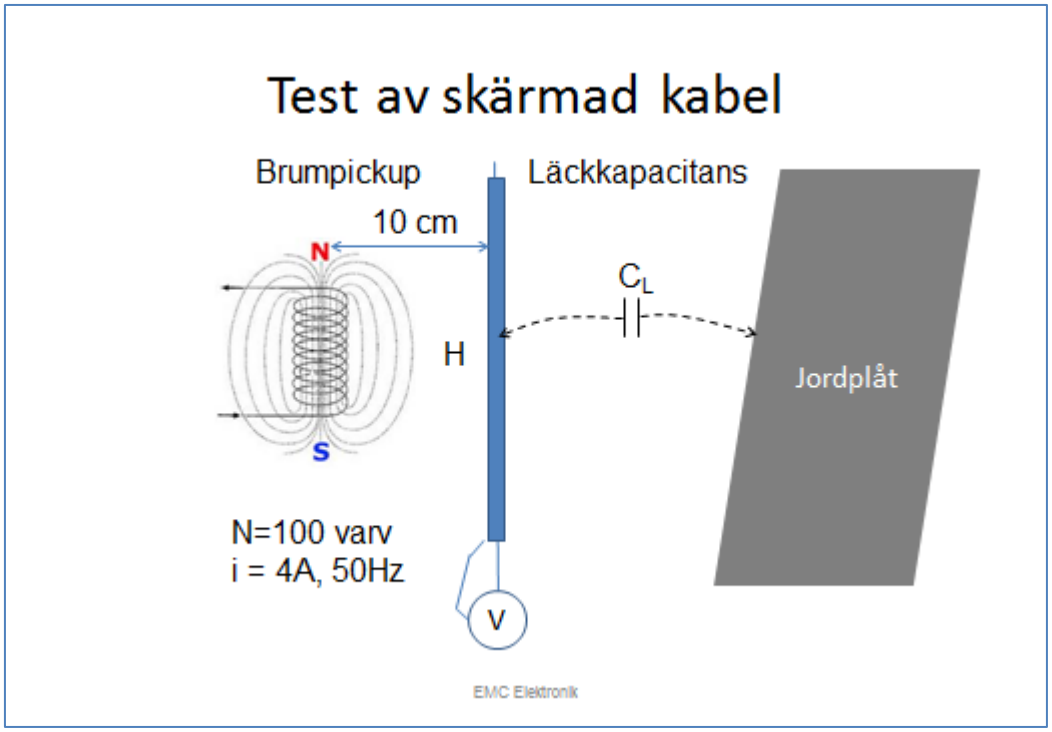
"LTI kabel"

Typical construction of a CMS cable (up) and a LTI cable (below)





I en skärmad kabel finns det en s.k. läckkapacitans. Störningen kan kopplas genom de parasitkapacitanser som finns (se bilden) eller genom induktion (detta behandlas senare i kursen).



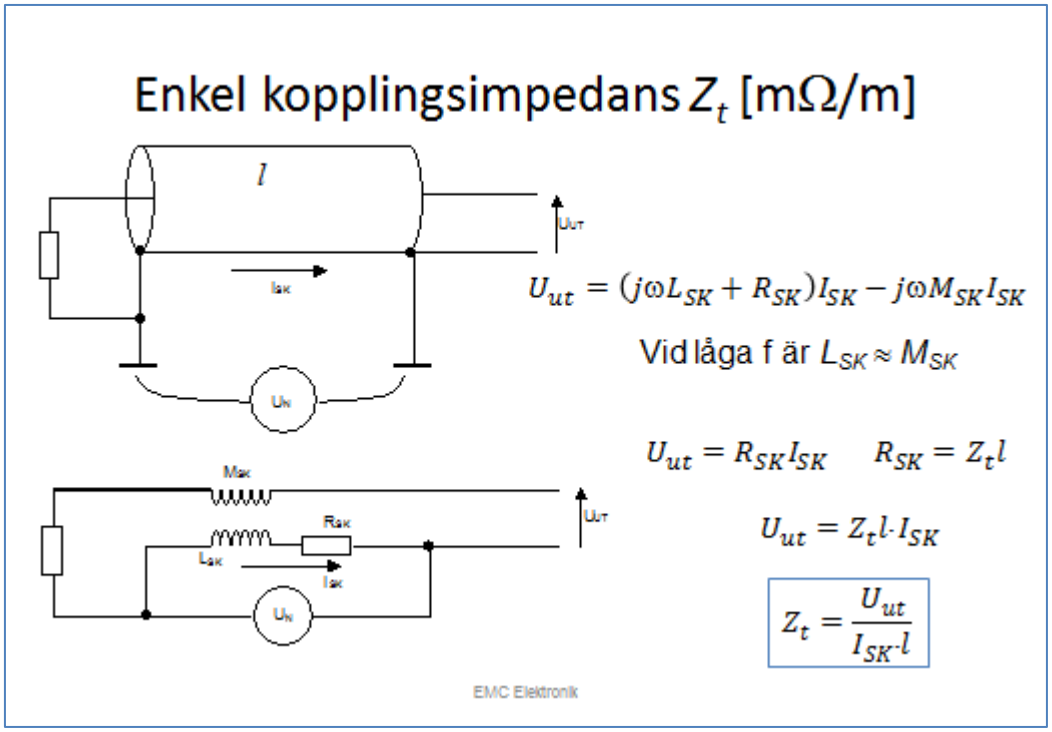
Testning av brumpickup och läckkapacitans

Egenskaper hos några olika kabeltyper

Typ av kabel:	**Brumpickup från testspole [µV]**	**Läckkapacitans C_L [pF/m]**
Audiokabel med ruslindad skärm "EMT"	30	0,002
Enkel flätad skärm	65	0,1
Industrikabel Telcon	110	0,04
Belden 8451	60	0,006
Folieskärmad, Al-skärm	40	0,0003
Enkel flätad skärm, billig	200	3,6
NEK typ PFSK med 60 slag/m	8	0,002
Oskärmad AWG36 med 100 slag/m	2	-
Oskärmad AWG36 med 30 slag/m	20	-

EMC Elektronik

Störningskoppling genom läckkapacitans kallas för "brumpickup" för att det oftast observerats i samband med avspelning av vinylskivor med skivspelare. Några praktiska storlekar av störningen beroende på kabeltyp visas i tabellen.



Storleken av en inducerad störning i en skärmad kabel beror på en s.k. kopplingsimpedansen Z_t (överföringsimpedans, transfer impedance). Kopplingsimpedans storlek visar hur mycket spänning kabel tar upp om det flyter ström i skärmen.

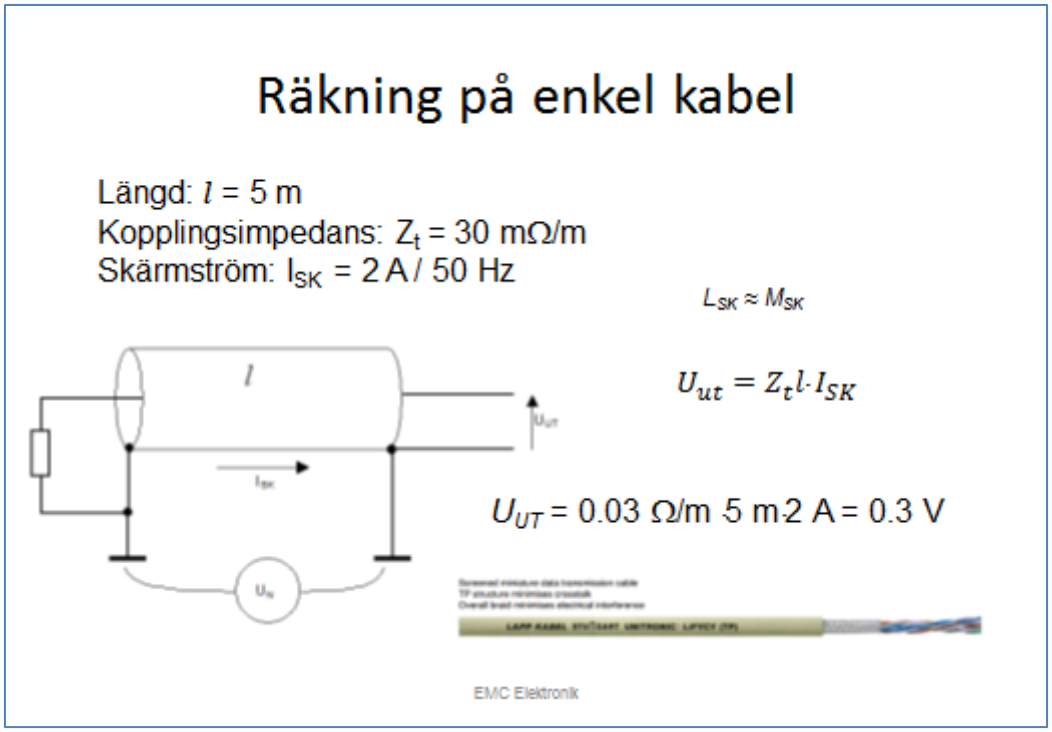
$$Z_t = \frac{U_{ut}}{I_{SK} \cdot l}$$

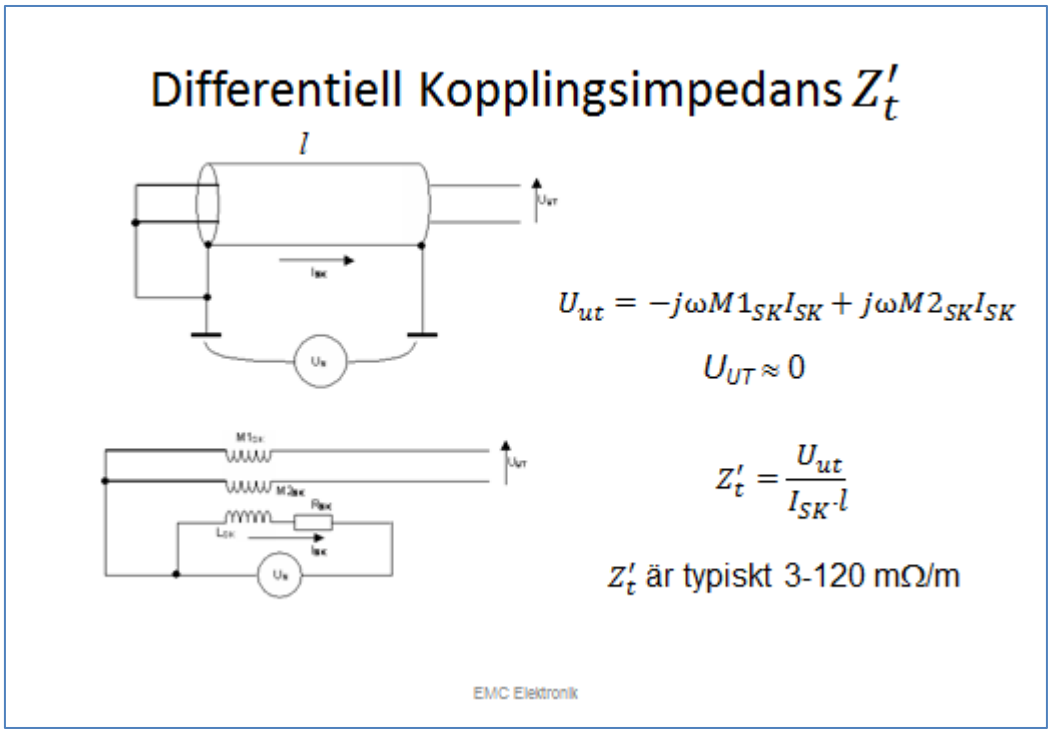
Störningsspänningen blir

$$U_{ut} = (j\omega L_{SK} + R_{SK})I_{SK} - j\omega M_{SK} I_{SK}$$

Vid låga frekvenser är $M_{SK} \approx L_{SK}$ =>

$$U_{ut} = R_{SK} I_{SK}$$





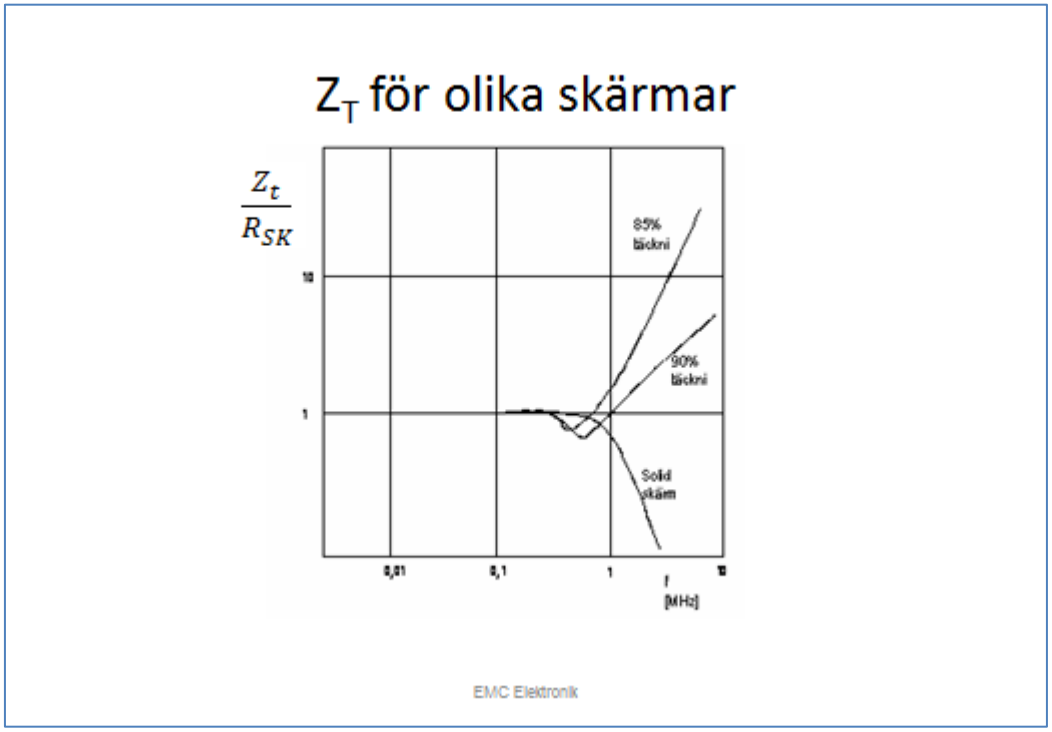
För en differentiell koppling är beräkning något annorlunda:

$$U_{ut} = -j\omega M1_{SK} I_{SK} + j\omega M2_{SK} I_{SK}$$

Teoretiskt sett borde $M_{SK1} = M_{SK2}$ och $U_{UT} = 0$, men i praktiken är de inte exakt lika vilket resulterar i ett litet strömberoende (skärmström) som ger spänningen U_{UT}. Kopplingsimpedansen är

$$Z_t' = \frac{U_{ut}}{I_{SK} \cdot l}$$

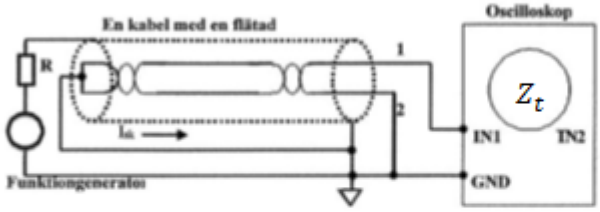
, där Z_t' = kopplingsimpedansen för en differentiell koppling, I_{SK} = skärmströmmens storlek, l = kabellängden.
Kabeln är inkopplad till två strömkretsar, en inre som representerar nyttosignalen och en yttre som beror på längsspänningen. Den är därför omgiven av två elektromagnetiska fält, ett på insidan av skärmen och ett på utsidan.

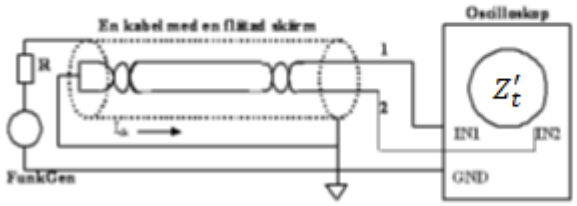


Skärmar med olika täthet har olika kopplingsimpedans Z_T.

Vid höga frekvenser när skärmen inte täcker helt blandas de två fälten med en ökad koppling som följd. Detta visar sig i diagrammet som ökande kopplingsimpedans. Ju större hålen eller maskorna i skärmen desto tidigare börjar ökningen.
Den minskning som inträffar strax innan impedansen börjar stiga beror på att inträngningsdjupet δ börjar göra sig gällande.

Laborationskopplingar för uppmätning av kopplingsimpedans

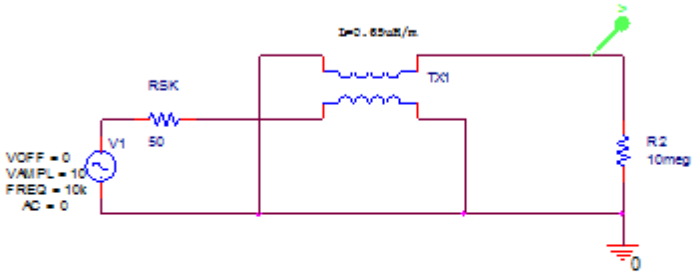




Mät upp $Z_t(f)$ och $Z'_t(f)$!

Jfr simulerade resultat och datablad!

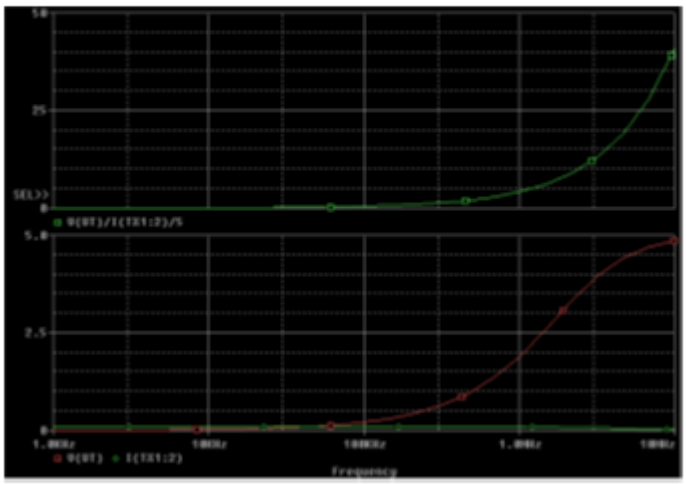
Simulering av kopplingsimpedans



$$Z_t = \frac{U_{ut}}{I_{SK} \cdot l}$$

Simulerad Kopplingsimpedans Z_t

$$Z_t = \frac{U_{ut}}{I_{SK} \cdot l}$$



EMC Elektronik

Jordning av kablar

- När kabel är elektriskt kort dvs. mycket kortare än störningens våglängd (l << λ) kopplas skärmen till den punkt som bäst <u>följer innerledarens potential</u>. Denna punkt måste kunna leda skärmströmmarna till jord.
- Skärmen får inte jordas över isolationssnittet!
- När kabel är elektriskt lång dvs. skärmen är mycket längre än störningens våglängd jordas skärmen i <u>båda ändar</u>.

EMC Elektronik

Om jordning av kablar

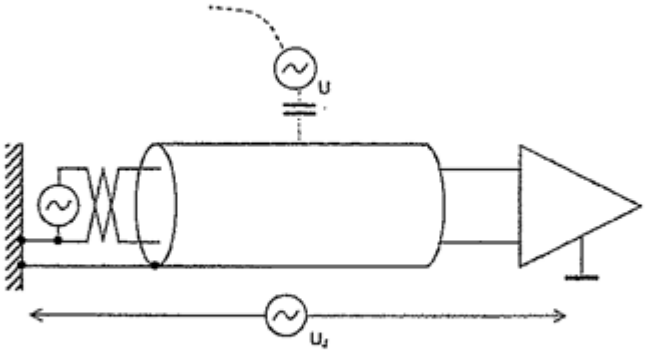
Det är väldigt svårt att ge några generella regler för skärmens jordning. Riktlinjer kan vara följande:

När kabel är elektriskt kort dvs. mycket kortare än störningens våglängd (l << λ)kopplas skärmen till den punkt som bäst följer innerledarens potential. Denna punkt måste kunna leda skärmströmmarna till jord.

Observera att en kabel kan vara elektriskt kort för en lågfrekvens störning (t.ex. 50 Hz) och samtidigt elektriskt lång för högfrekvens störning!

När kabel är elektriskt lång dvs. skärmen är mycket längre än störningens våglängd jordas skärmen i båda ändar.

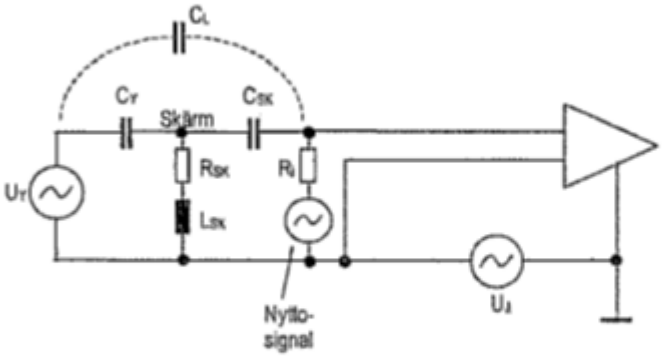
Jordad signalkälla



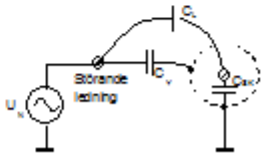
Figur 4-11 Skärmens jordning vid jordad signalkälla

EMC Elektronik

Ekvivalentschema jordad signalkälla

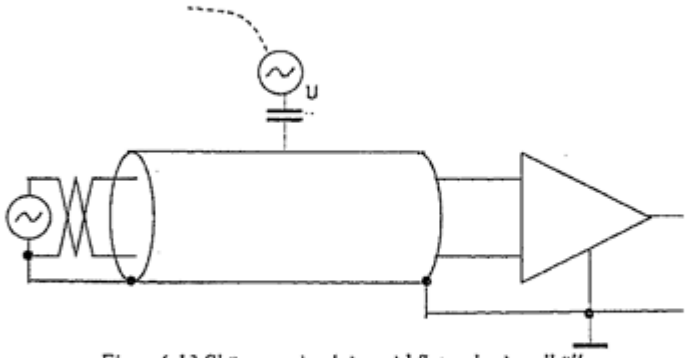


Figur 4-12 Ekvivalentschema för vid jordad singalkälla



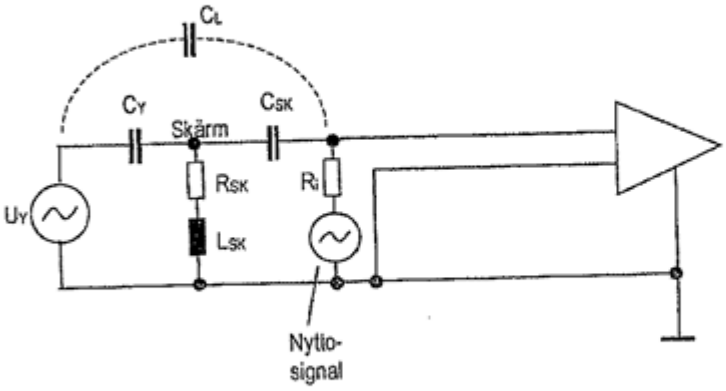
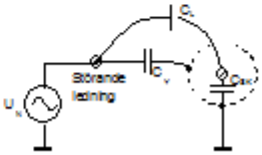
EMC Elektronik

Flytande signalkälla



Figur 4-13 Skärmens jordning vid flytande signalkälla

Ekvivalentschema flytande signalkälla



Figur 4-14 Ekvivalentschema vid flytande signalkälla