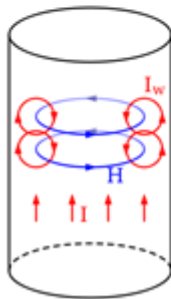
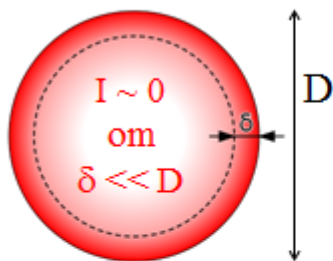


F5 - Verkliga komponenter

- Ledarens egenskaper och skin effekt vid högre frekvenser.
- De verkliga komponenternas modell.
- Parasitresonansen som störningskälla.
- Paraselementens påverkan på ett filter.

[1] Kap. 2.
[2] Kap. 19 sid.843.
[4] Kap. 9.
[5] Kap. 15.

Skin-effekt



EMC Elektronik

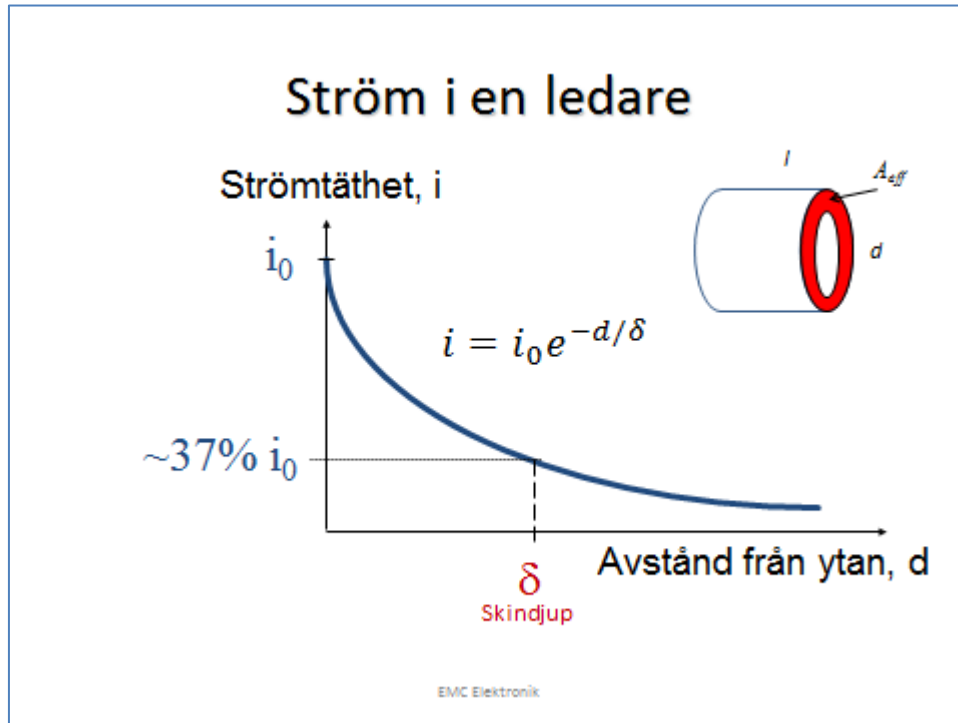
- Ledare för HF strömmar skall ha en stor yta, tvärsnittsarean spelar mindre roll
- 50 Hz $\Rightarrow \delta \approx 1$ cm
- δ minskar för högre frekvens
- Tvinnad koppartråd för HF ger lägre resistans

Vi börjar med en vanlig ledare av koppar.

[Från Wikipedia] Skineffekt är tendensen hos en växelström (AC) att omfördela sig inom en elektrisk ledare så att strömtätheten är störst nära ledarens yta, och mindre vid större djup. Elektriska strömmen flyter i huvudsak vid ledarens yttre del, mellan den yttre ytan och en nivå som kallas skindjupet δ .

Skineffekten får ledarens effektiva resistans att öka vid högre frekvenser då skindjupet blir mindre, vilket minskar den effektiva tvärsektionen hos ledaren.

Skineffekten beror på motriktade virvelströmmar inducerade av det växlande magnetfältet som härrör från växelströmmen. Vid 60 Hz i koppar, är skindjupet cirka 8,5 mm. Vid höga frekvenser blir skindjupet betydligt mindre. Ökad AC-resistans på grund av skineffekten kan lindras med hjälp av speciellt tvinnad Litztråd. Eftersom det inre av en tjock ledare bär så lite av strömmen, kan rörformiga ledare användas för att spara vikt och kostnad. Detta är fallet för ledare på radarstationer (3.5 GHz).



Betrakta en rund ledare som genomflyts av en elektrisk ström I . Om strömmen är en växelström orsakar det växlande magnetiska fältet runt ledaren en emk (elektromotorisk kraft) inuti ledaren. Emk'n är riktat mot strömriktningen i ledaren och hindrar den. Styrkan beror av frekvensen (hastigheten av ändringar)

$$e = d\phi/dt, \text{ där } e = \text{emk}, \phi = \text{magnetiskt flöde}, t = \text{tid}$$

Om frekvensen är tillräckligt stor stoppas strömmen nästan helt i mitten av ledaren går då endast på ytan av ledaren.

Skindjup för koppar

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_r \mu_0 \sigma}} \quad [\text{m}]$$

Cu:

$\mu_r = 1$	}	50 Hz	$\delta = 1 \text{ cm}$
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$		1 kHz	$\delta = 2 \text{ mm}$
$\sigma = 58 \cdot 10^6$		1 MHz	$\delta = 60 \text{ }\mu\text{m}$

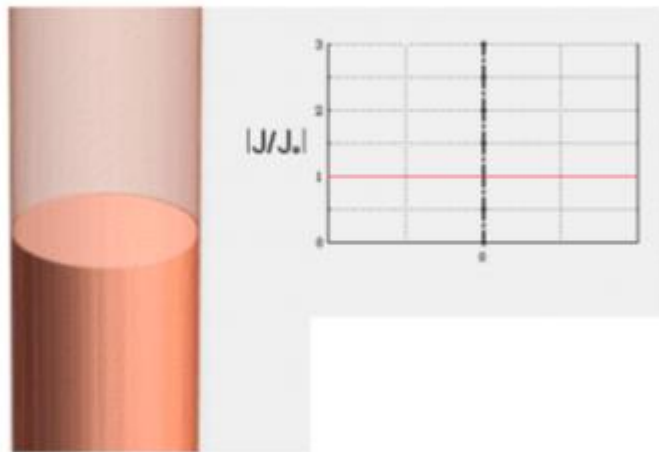
=> Laminatet på ett kretskort behöver inte vara tjockare än 100 μm för signaler över 1 MHz

EMC Elektronik

Skineffekten

Strömförträngningen beror av frekvensen

Likström:

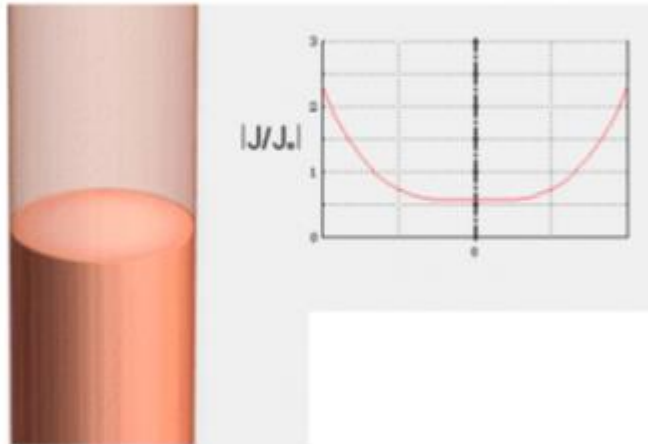


<http://www.eit.lth.se/>

Skineffekten

Strömförträngningen beror av frekvensen

Låg
frekvens:

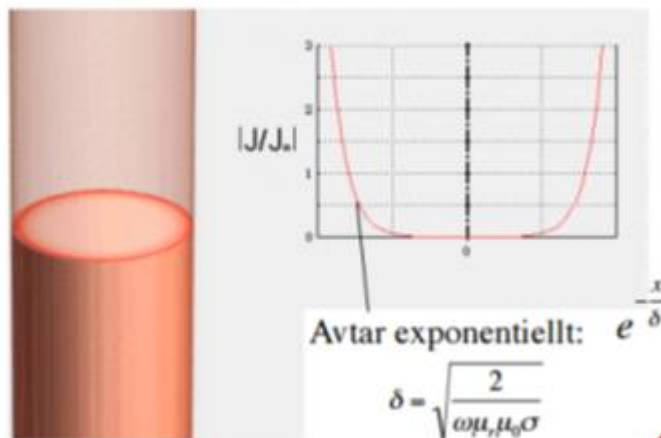


<http://www.eit.lth.se/>

Skineffekten

Strömförträngningen beror av frekvensen

Hög
frekvens:



Avtar exponentiellt: $e^{-\frac{x}{\delta}}$

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu_r\mu_0\sigma}}$$

"Inträngningsdjupet"



<http://www.eit.lth.se/>

Skineffekten

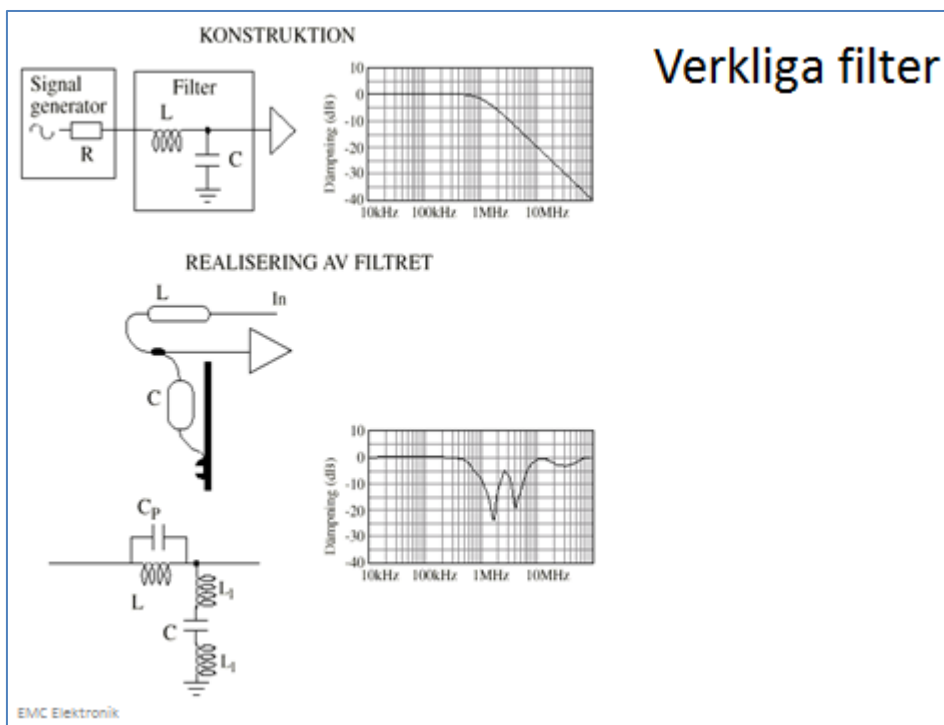
Fler numeriska exempel

Koppar ($\sigma = 5,7 \cdot 10^7$, $\mu_r = 1$)

Frekvens	50 Hz	5 kHz	500 kHz	50 MHz
δ	9,4 mm	0,94 mm	0,094 mm	0,0094 mm

Järn ($\sigma = 1 \cdot 10^7$, $\mu_r = 1000$)

Frekvens	50 Hz	5 kHz	500 kHz	50 MHz
δ	0,71 mm	0,071 mm	0,0071 mm	0,00071 mm



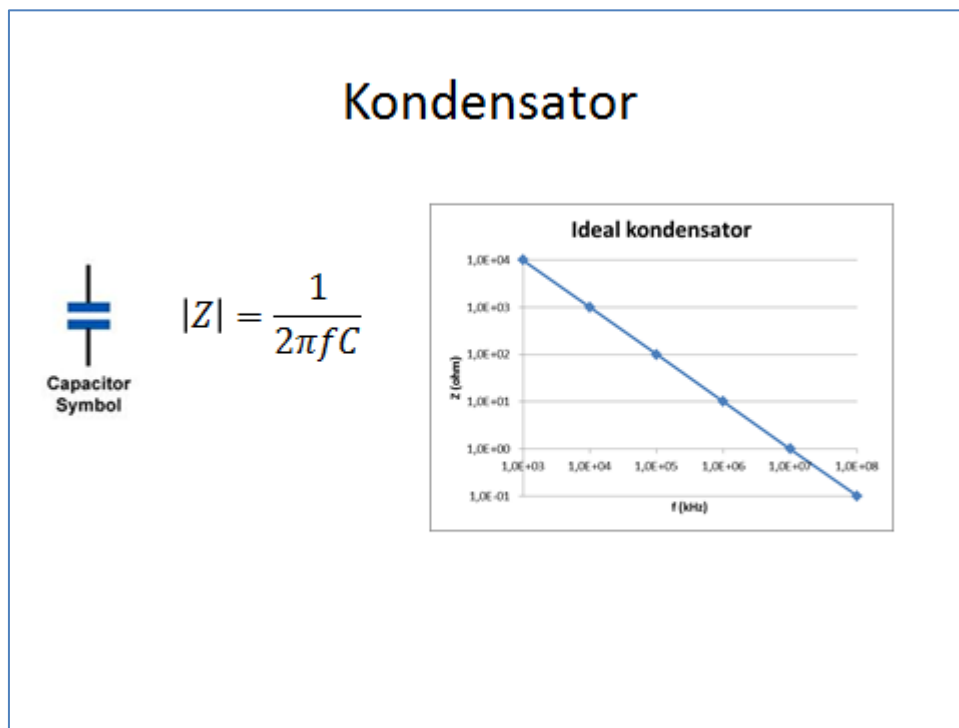
Verkliga filter

Konstruktion av filter på pappret eller i datorn skiljer sig ofta avsevärt från det färdiga filtret i apparaten.

Skillnaden ligger i att de **verkliga komponenterna** har andra egenskaper än de modeller som används för att konstruera filter.

I detta exemplet ovan tar man ingen hänsyn till att spole L i filtret har parasit- (strö-) kapacitansen C_p och att kondensatorn har förutom kapacitansen C betydande induktanser av ledningar (benen) L_1 och L_2 .

Tar man hänsyn till alla egenskaper hos en verklig kondensator, resistor eller spole kan modellen bli ganska komplicerad. Detta är orsaken att vi även här använder en modell av verkligheten fast mera detaljerad. Hur detaljerad modell som skall användas beror på storleken av parasitparametrarna (oönskade egenskaper) hos en komponent.



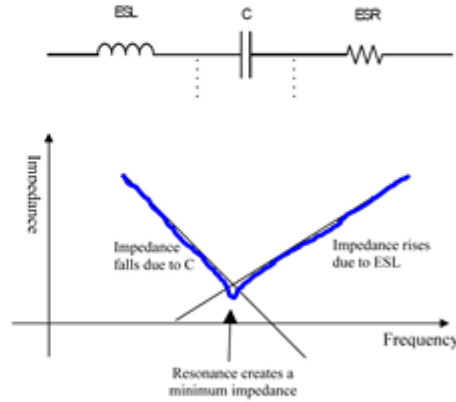
Om man betraktar en ideal kondensator minskar impedanse med ökande frekvens.



Verklig kondensator



- Tantal (elektrolyt)
 - 100nF - 1000 μ F
 - Liten
- Keramiska
 - 1pF – 100nF
 - Bättre egenskaper för högre frekvenser



ESL = Equivalent Series Inductance
ESR = Equivalent Series Resistance

Olika typer av kondensatorer uppför sig olika med ökande frekvens. För vårt ändamål (EMC) är främst keramiska och tantalkondensatorer intressanta.

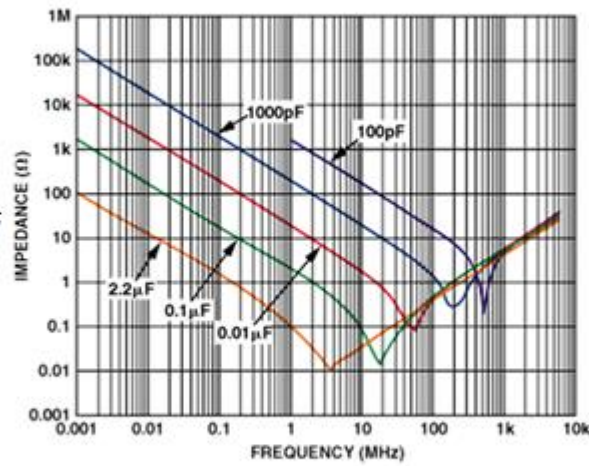
Tantaler har stora kapacitanser i små dimensioner.

Keramiska kondensatorer har lägre kapacitanser men behåller sina goda egenskaper högre upp i frekvens.



Kondensator impedans

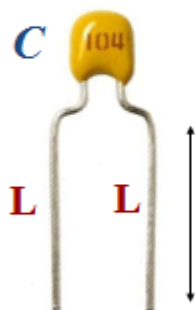
$$|Z| = \frac{1}{2\pi f C}$$



$$|Z| = 2\pi f L$$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Kondensator med ben



$$L \approx 1 \mu H / m$$

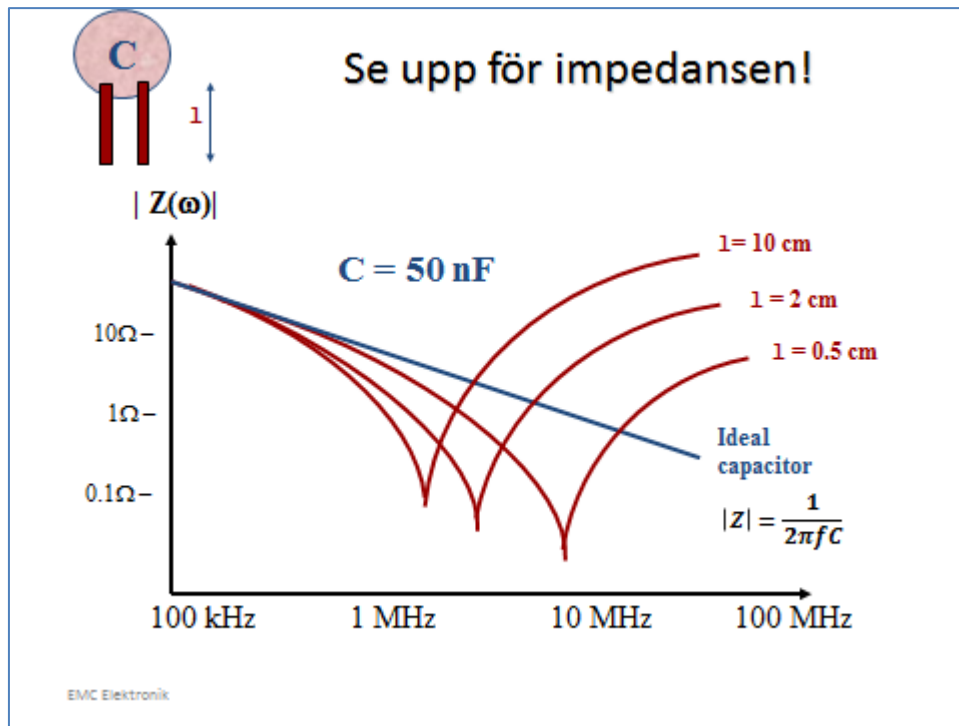
$$l = 1 cm \Rightarrow L = 10 nH$$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

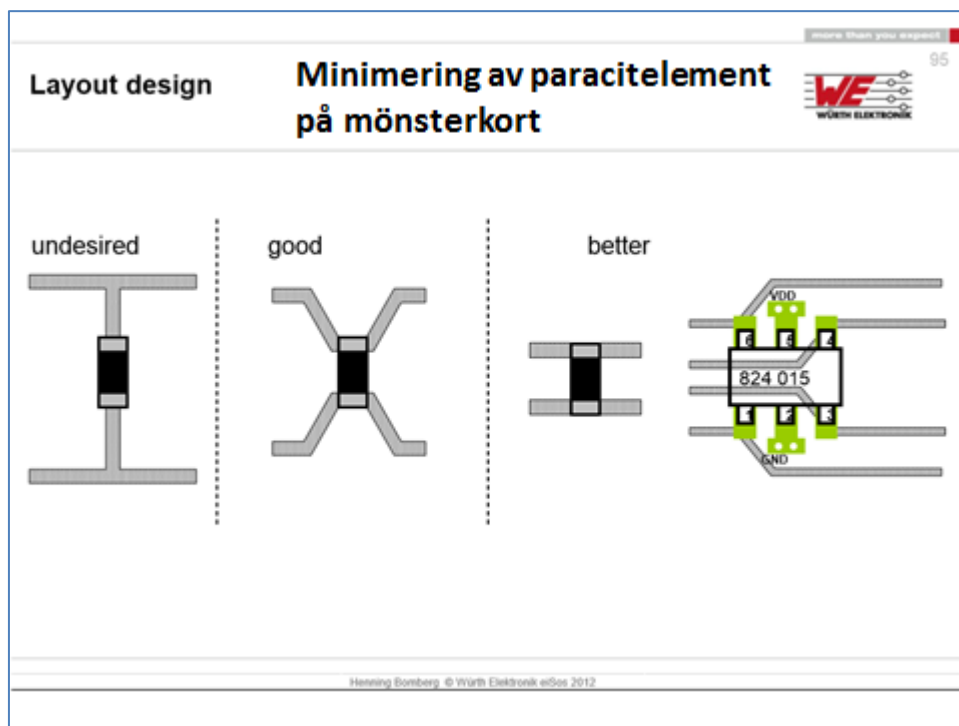
EMC Elektronik

En kondensator med långa ben är en kapacitans och en induktans i serie.

Detta är en krets med en egensesonans med frekvensen f_{res} .



Här ser man hur frekvensegenskaperna försämras om man har långa ben på en kondensator. Tänk på att klippa benen korta och dra ledningsbanorna på mönsterkortet så bra som möjligt!

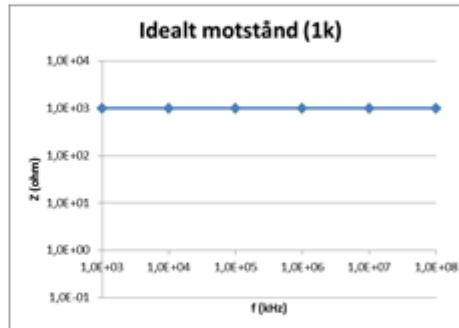


Förslag på hur man minskar inverkan av paracitelement på mönsterkort.

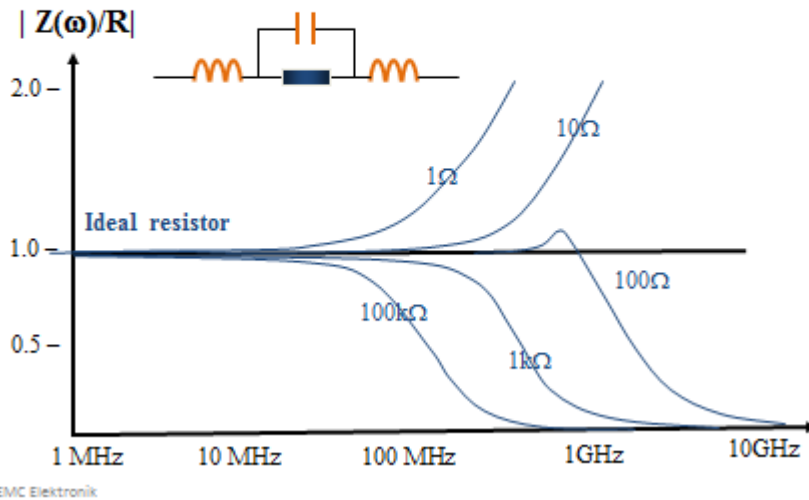
Motstånd, resistor



$$Z = R$$



Motstånd



En resistor R i ett schema har också "parasitparametrar", både ledarnas induktans och strökapacitanser gör att impedansen hos ett motstånd ändras sig med frekvensen.

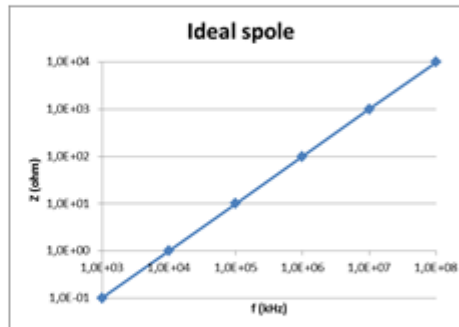
På bilden ser vi att en ideal resistor har en impedans $Z=R$ för alla frekvenser, men i praktiken kan vi inte bortse från både induktans och kapacitans över ca 10 MHz.

För låga resistanser och dimensioner överväger de induktiva paraciterna. För större värden och dimensioner överväger den kapacitiva karaktären. Men vid riktigt höga frekvenser kan den induktiva karaktären öka igen.

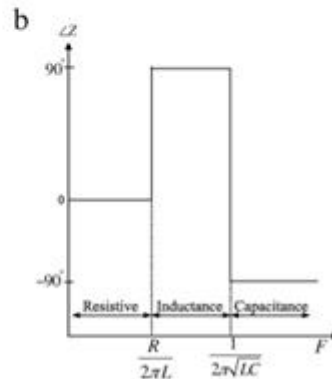
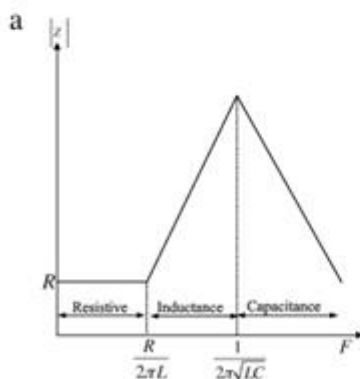
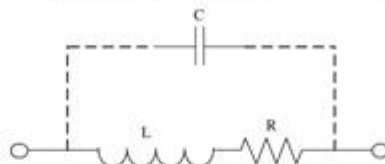
Induktor, spole, drossel



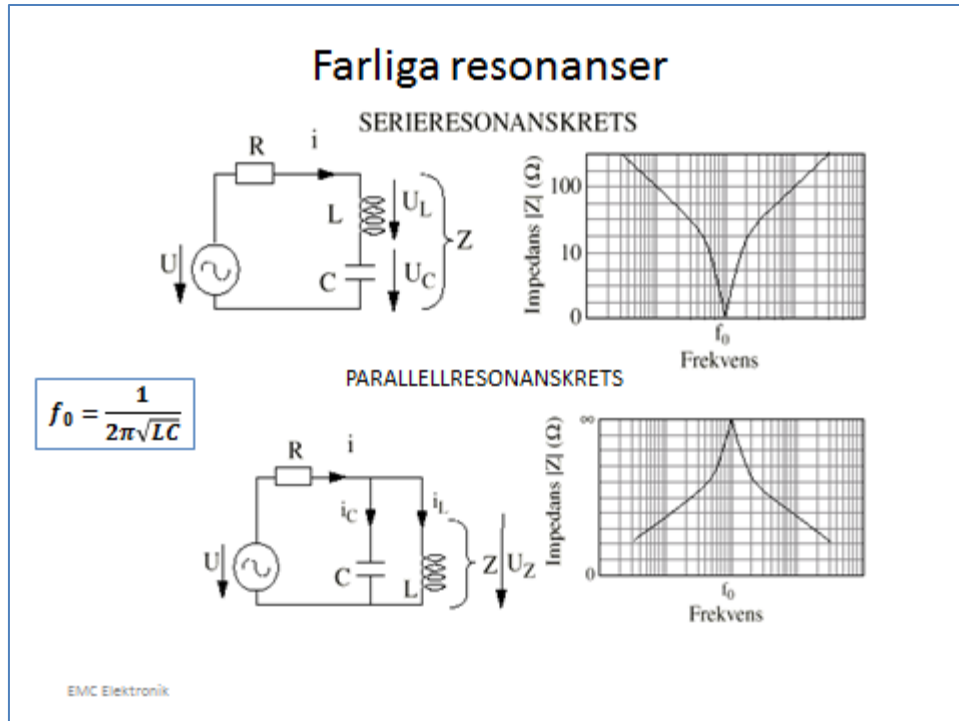
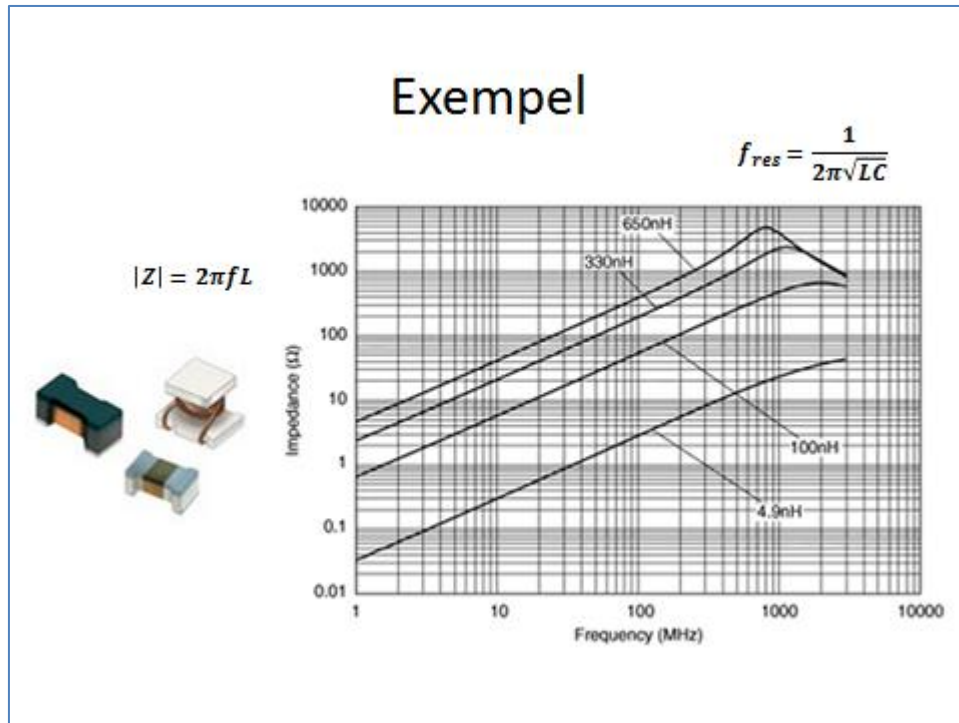
$$|Z| = 2\pi fL$$



Spole, Induktor



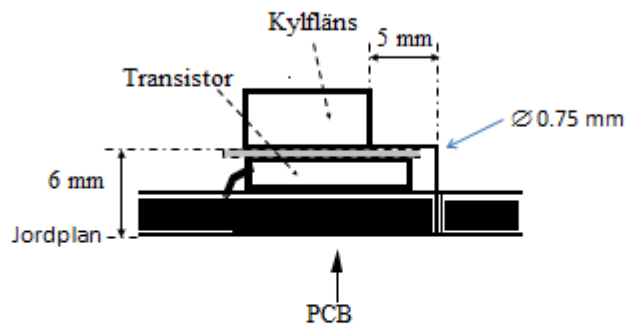
En spole har både en seriersistans och en parallellkapacitans som beror på utformning och geometri hos komponenten. Spolen är egentligen induktiv bara i intervallet i mitten av graferna.



önskade resonanser. Vid resonans kan strömmen eller spänningen överskrida den ursprungliga 10 eller 100 gånger.

Exempel

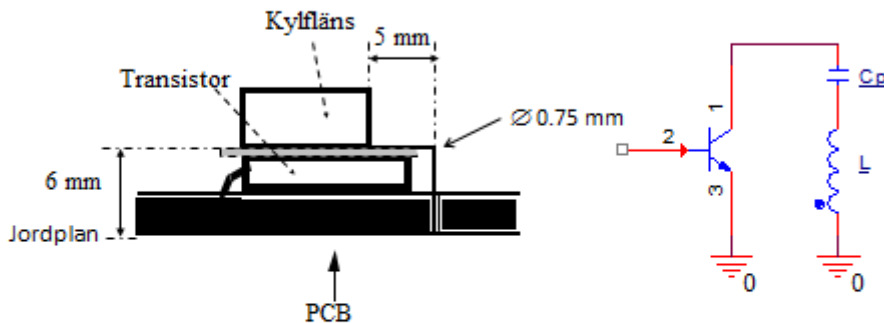
Ex: Transistor med kylfläns



Bärvågsgeneratoren i en basstation genererar 900 MHz ström. Transistorn i generatoren behöver kylas och monteras på en kylfläns. Den paracitkapacitans som bildas mellan transistorns hölje och kylfläns är $C_p = 8.9 \text{ pF}$. Kylflänsen är kopplad till jord med en 5 mm lång och 0.75 mm i diameter cirkulär ledare som ligger 6 mm ovanför jordplan. C_p och induktansen i ledarna går i resonans och kortsluter transistorns kollektor till jord. Varför?

EMC Elektronik

Ex: Transistor med kylfläns



Kapacitansen mellan kylfläns och transistor $C_p = 8.9 \text{ pF}$

Vad är resonansfrekvensen för C_p och jordningen av kylflänsen?

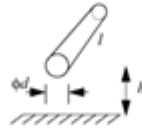
EMC Elektronik

Lösning

Beräkna först induktansen L vid *höga frekvenser*:

$$L \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \times l \times \ln\left(\frac{4h}{d}\right)$$

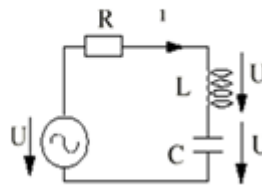
$$\left. \begin{array}{l} \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \\ l = 5 \text{ mm} \\ h = 6 \text{ mm} \\ d = 0.75 \text{ mm} \end{array} \right\} L = 3.5 \text{ nH}$$



Formelsamlingen, sid 304

Resonansfrekvensen för den uppkomna LC-kretsen är

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_p}} \approx 902 \text{ MHz}$$



Räkneövning

- En ledare på ett mönsterkort skall transportera en signal med frekvensen 100 MHz. Vad är skindjupet (=inträngningsdjupet) för strömmen i kopparlaminatet vid denna frekvens?

Lösning:

I formelsamlingen sid 306 fås att inträngningsdjupet är

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_0 \mu_r \sigma}}$$

$$\omega = 2\pi f, \mu_r = 1, \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}, \sigma = 5.82 \times 10^7 \text{ 1}/\Omega\text{m} \Rightarrow$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{2\pi \times 10^8 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 5.82 \times 10^7}}$$

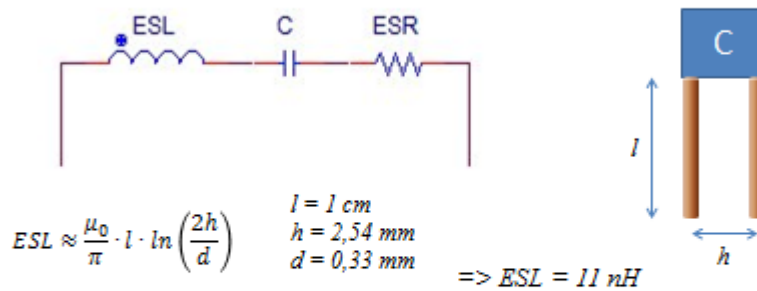
$$\Rightarrow \text{Skindjupet } \delta = 6.6 \text{ } \mu\text{m}$$

Räkneövning

- En kondensator används för att stabilisera spänningen till en krets. De parallella benens längd är 1 cm och avståndet 2,54 mm. Bendiametern är 0.33 mm . Rita upp kondensatorns egentliga schema med strökomponenter samt beräkna resonansfrekvensen om kapacitansen är 10nF. För beräkningen kan höga frekvenser antas.



Lösning



$$ESL \approx \frac{\mu_0}{\pi} \cdot l \cdot \ln\left(\frac{2h}{d}\right)$$

$$l = 1 \text{ cm}$$

$$h = 2,54 \text{ mm}$$

$$d = 0,33 \text{ mm} \Rightarrow ESL = 11 \text{ nH}$$

$$C = 10 \text{ nF} \quad f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 15 \text{ MHz}$$

Vad är ESR vid f_r ?

Beräkning av $R(f_r)$

$$R(f_r) = \frac{\rho \cdot l}{A_{eff}}$$

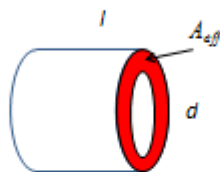
$$A_{eff} = \delta \cdot \pi \cdot d \quad \delta \ll d$$

$$\delta = \frac{66 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{\sigma_r f}} \cong 17 \mu\text{m}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

$$\sigma = \sigma_0 \sigma_r$$

$$R(f_r) = \frac{l}{\sigma_0 \cdot \delta \cdot \pi \cdot d} = 19,5 \text{ m}\Omega$$



$$l = 2 \text{ cm}$$

$$d = 0,33 \text{ mm}$$

$$\sigma_0 = 5,82 \times 10^7 \text{ [1/}\Omega\text{m]}$$

$$\sigma_r = 1$$

R kan beräknas vid 15 MHz då skindjupet är ca 15 μm ($\ll 0,33 \text{ mm}$) i koppar till $R = 19,5 \text{ m}\Omega$

Jmf Högtalarkablar!