



EMC elektronik, Nils Holmström, Skolan för teknik och hälsa

Formelsamling

Konstanter.

$$\begin{aligned}\mu_0 &= 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \\ \epsilon_0 &\approx 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m} \\ c &\approx 2.997925 \times 10^8 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Resistans.

Ledningsresistans

$$R = \rho \times \frac{l}{A} \quad \begin{array}{l} \rho = \text{resistivitet (Koppar, } \rho = 17,2 \text{ m}\Omega\text{mm}^2\text{)} \\ l = \text{ledarlängd} \\ A = \text{ledararea} = \pi r^2. \end{array}$$

Påverkan av inträngningsdjupet $R = \rho \times \frac{l}{2\pi r \delta}$ $\delta = \text{inträngningsdjupet}$
(Cirkulär ledare)

Konduktivitet

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

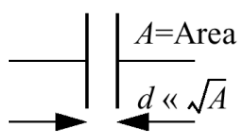
Kapacitans.

Kapacitans.

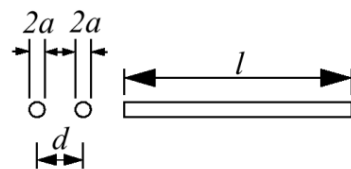
$$C = \frac{Q}{U} \quad \begin{array}{l} Q = \text{laddning} \\ U = \text{spänning.} \end{array}$$

$$i = C \times \frac{du}{dt}$$

Plattkondensator

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$


Parallella ledningar

$$C = \frac{\pi \epsilon_r \epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{d + \sqrt{d^2 - 4a^2}}{2a}\right)}$$


När $a \ll d$

$$C \approx \frac{\pi \epsilon_r \epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{d}{a}\right)}$$

Magnetism

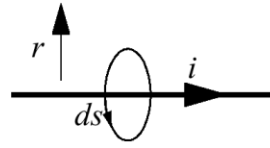
$$B = \mu_r \mu_0 H$$

Amperes lag

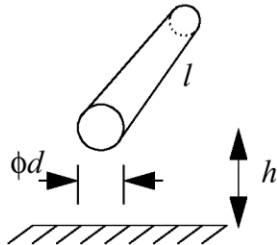
$$\oint H ds = i$$

För lång rak ledare

$$H(r) = \frac{i}{2\pi r}$$



Induktans

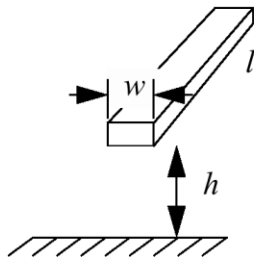


För låga frekvenser.

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

För höga frekvenser, $d \gg$ inträngningsdjupet.

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

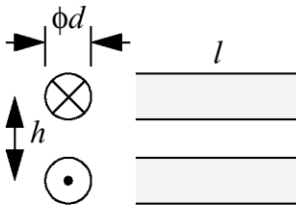


För låga frekvenser.

$$L \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \times l \times \left(\frac{\mu_r}{4} + \ln\left(\frac{2\pi h}{w}\right) \right) [H]$$

För höga frekvenser, $w \gg$ inträngningsdjupet.

$$L \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \times l \times \ln\left(\frac{2\pi h}{w}\right) [H]$$



För låga frekvenser.

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

För höga frekvenser, $d \gg$ inträngningsdjupet.

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

Ömsesidiga induktansen

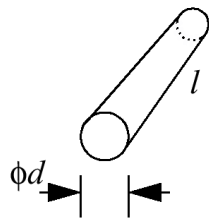
$$M = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(l \times \ln \frac{(\sqrt{l^2 + h^2} + l)}{d} - (\sqrt{l^2 + h^2} + l) \right) [H]$$

För låga frekvenser.

$$L \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \times l \times \left(\frac{\mu_r}{4} + \ln\left(4\frac{l}{d}\right) - 1 \right) [H]$$

För höga frekvenser, $d \gg$ inträngningsdjupet.

$$L \approx \frac{\mu_0}{2\pi} \times l \times \left(\ln\left(4\frac{l}{d}\right) - 1 \right) [H]$$



$N =$ Antal varv

○ $A =$ Areal

$$l \gg \sqrt{A}$$

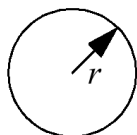
$$L \approx \mu_0 \times \frac{AN^2}{l} [H]$$

För låga frekvenser.

$$L \approx \mu_0 r \left(\frac{\mu_r}{4} + \ln\left(8\frac{r}{d}\right) - 2 \right) [H]$$

För höga frekvenser, $d \gg$ inträngningsdjupet.

$$L \approx \mu_0 r \left(\ln\left(8\frac{r}{d}\right) - 2 \right) [H]$$



$d =$ trådradie
 $N = 1.$

Induktion

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

$N =$ antal varv

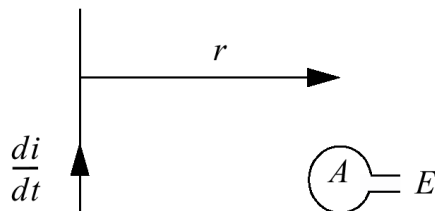
$\Phi =$ flödet genom slingan

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

$L =$ induktans

$i =$ ström genom induktans.

Inducerad EMK i slinga



$A =$ Areal

$d =$ trådradie

$N = 1.$

$$E \approx \frac{\mu_0 A}{2\pi r} \times \frac{di}{dt}$$

Resonanskretsar

Resonansfrekvens $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$

Serieresonans $Q_{serie} = \frac{1}{\omega_0 CR} = \frac{\omega_0 L}{R}$

Parallellresonans $Q_{parallell} = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 CR$

Spektra

Fourier serie $x(t_1 + t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(2\pi n \frac{t}{T}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(2\pi n \frac{t}{T}\right)$

Där koefficienterna är $a_0 = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} x(t) dt$ $T = \text{periodtid}$
 $n = \text{tonnummer}$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} x(t) \cos\left(2\pi n \frac{t}{T}\right) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} x(t) \sin\left(2\pi n \frac{t}{T}\right) dt$$

Gränslinje för grundton och övertoner $U_n = 2Ud \times \frac{\sin(n\pi d)}{n\pi d} \times \frac{\sin\left(n\pi \times \frac{t_r}{T}\right)}{n\pi \times \frac{t_r}{T}}$ $d = \text{puls/paus förhållande}$

Elektromagnetism

Utbredningshastighet $v = f \times \lambda = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \mu_0 \epsilon_r \epsilon_0}}$ $v = \text{utbredningshastighet}$
 $f = \text{frekvens}$
 $\lambda = \text{våglängd}$

Inträngningsdjupet $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_0 \mu_r \sigma}} [m]$ $\delta = \frac{66 \times 10^{-3}}{\sqrt{\sigma f}} [m]$

Vågimpedans i metall $\frac{E}{H} = Z = \sqrt{\frac{j\omega \mu_r \mu_0}{\sigma + j\omega \epsilon_r \epsilon_0}} [\Omega]$

Vågimpedans i luft $Z_0 = 377 [\Omega]$ $\mu_r = 1$
 $\epsilon_r = 1$
 $\sigma = 0$

I vacuum: $f = \frac{c}{\lambda}$ $d_{krit} = \frac{\lambda}{2\pi}$

Fyrkantvåg: $f_a = \frac{1}{\pi T}$ $f_b = \frac{1}{\pi t_r}$

Skärmning

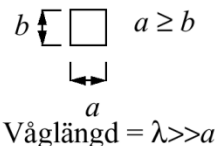
Reflektionsdämpning $\frac{E_1}{E_0} = \frac{4Z_0Z_S}{(Z_0 + Z_S)^2}$ $Z_0 =$ Infallande vågens impedans
 $Z_S =$ Skärmens impedans

Absorptionsdämpning $\frac{E_1}{E_0} = e^{-t/\delta}$ $t =$ skärmens tjocklek

Multipel reflektion $\frac{E_1}{E_0} = 1 - e^{-2\frac{t}{\delta}}$

Skärmningseffektivitet $SE = 20\log\left(\frac{E_0}{E_1}\right) = 20\log\left(\frac{H_0}{H_1}\right)$

Skärmningseffektivitet täta hål $SE \approx 20\log\left(\frac{\lambda}{2a}\right) + 20\log\left(1 + \ln\left(\frac{a}{b}\right)\right) [dB]$



Strålat fält

Magnetisk dipol i fri rymd. $E \leq \frac{132 \times 10^{-16} \times f^2 AI}{r} [V/m]$ $f =$ frekvens
 $A =$ Area

Elektrisk dipol i fri rymd. $E \leq \frac{2\pi \times 10^{-7} \times fIl}{r} [V/m]$ $I =$ ström
 $l =$ dipollängd
 $r =$ avstånd till källan

Resonant dipol, $l \geq 1/2\lambda$, dipol i fri rymd. $E \leq \frac{60 \times I}{r} [V/m]$

$1/2\lambda$, dipol i fri rymd. $E \approx \frac{7\sqrt{P}}{r}$ $P =$ Matad effekt

Mottagarantenn

Monopol i fri rymd. $U = \int_0^h E_x dx \Rightarrow \left[h = \frac{\lambda}{4}\right] = \frac{E \times \lambda}{2\pi}$ $h =$ antenn längd

Signaltransmission

Karakteristisk impedans $Z_0 = \frac{V}{I} = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}}$ $R_0 =$ Ledningsresistans / l
 $L_0 =$ Induktans / l
 $C_0 =$ Kapacitans / l
 $G_0 =$ Läckningskonduktans / l

$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$ $R_0 = G_0 = 0$, förlustfri ledning

Våghastighet

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{(R_0 + j\omega L_0) \times (G_0 + j\omega C_0)}}$$

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} \quad R_0 = G_0 = 0, \text{ förlustfri ledning}$$

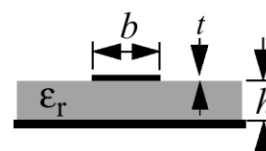
Utbredningskonstant

$$T_0 = \frac{1}{v_0}$$

Microstrip

$$Z_0 \approx \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1,41}} \ln\left(\frac{5,98h}{0,8b + t}\right) [\Omega]$$

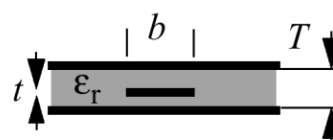
$$T_0 \approx 3,34 \sqrt{\epsilon_{eff}} \approx 3,34 \sqrt{0,47\epsilon_r + 0,67} [ns/m]$$



Stripline

$$Z_0 \approx \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{4T}{0,67\pi(0,8b + t)}\right) [\Omega]$$

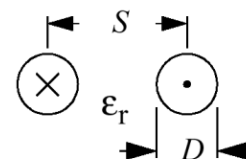
$$T_0 = 3,34 \sqrt{\epsilon_r} [ns/m]$$



Parallella ledare

$$Z_0 = \frac{120}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{S}{D} + \sqrt{\left(\frac{S}{D}\right)^2 - 1}\right) [\Omega]$$

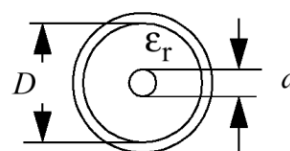
$$T_0 = 3,34 \sqrt{\epsilon_r} [ns/m]$$



Koaxialkabel

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{D}{d}\right) [\Omega]$$

$$T_0 = 3,34 \sqrt{\epsilon_r} [ns/m]$$



Karakteristisk kapacitans

$$C_0 = \frac{\sqrt{\epsilon_{eff}}}{Z_0 \times c} \quad \epsilon_{eff} = \text{effektiva dielektrisitetskonstanten}$$

Karakteristisk induktans

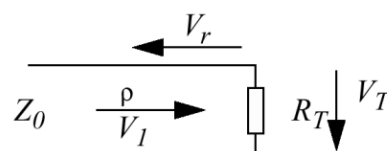
$$L_0 = \frac{Z_0 \times \sqrt{\epsilon_{eff}}}{c}$$

Reflektionskoefficient

$$\rho_T = \frac{R_T - Z_0}{R_T + Z_0}$$

$$V_r = \rho_T V_1$$

$$V_T = V_1 (1 + \rho_T)$$



Materialdata

Relativ ledningsförmåga och relativ permeabilitet.

Material	σ_r	μ_r
Silver	1.05	1
Koppar (glödgad)	1.00	1
Guld	0.70	1
Krom	0.66	1
Aluminium (mjuk)	0.61	1
Aluminium	0.40	1
Zink	0.32	1
Beryllium	0.28	1
Mässing	0.26	1
Kadmium	0.23	1
Nickel	0.20	100
Brons	0.18	1
Platina	0.18	1
Tenn	0.15	1
Stål (SAE 1045)	0.10	1000
Bly	0.08	1
Rostfritt stål (430)	0.02	500

Konduktivitet: $\sigma = \sigma_0 \sigma_r$ $\sigma_0 = 5.82 \times 10^7$ [1/ Ω m]

Permeabilitet: $\mu = \mu_0 \mu_r$ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ [H/m]