

Impedans och impedansmätning

Impedans

Många givare baseras på förändring av impedans

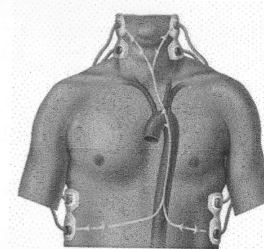
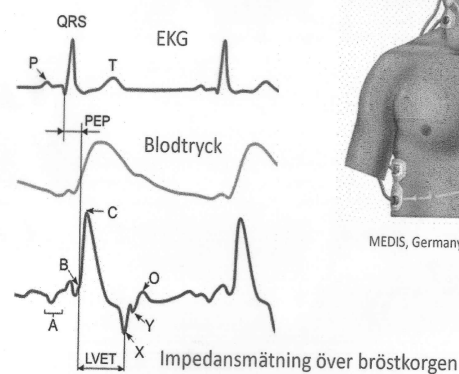
Temperatur

Komponentegenskaper

Töjning

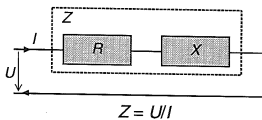
Resistivitetmätning i jordlager

-
-
-
-

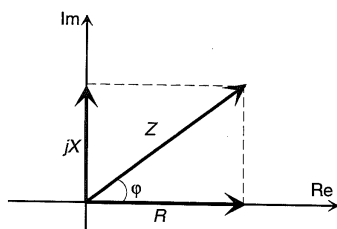


MEDIS, Germany/ Sonosite Inc, WA, USA

Impedans



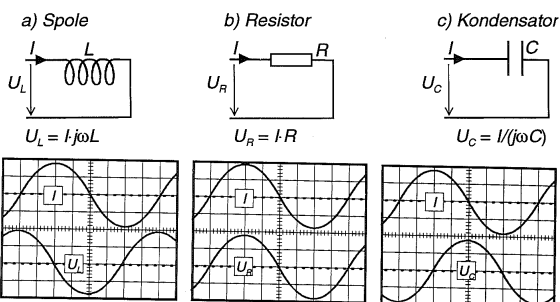
$Z = R + jX$ $R = \text{Resistans} = \text{Re}(Z)$,
 $X = \text{Reaktans} = \text{Im}(Z)$



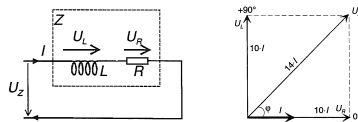
Belopp Fasvinkel

$\frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X^2}$ och $\tan(\varphi) = \frac{X}{R}$

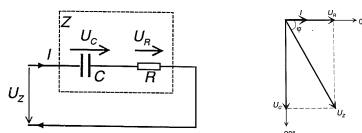
Impedans



Spole + resistor



Kondensator + resistor



OBS!
 De reaktiva delarna är
 frekvensberoende:

$X_L = j\omega L$

$X_C = 1/j\omega C$

Impedans Fasvinkel

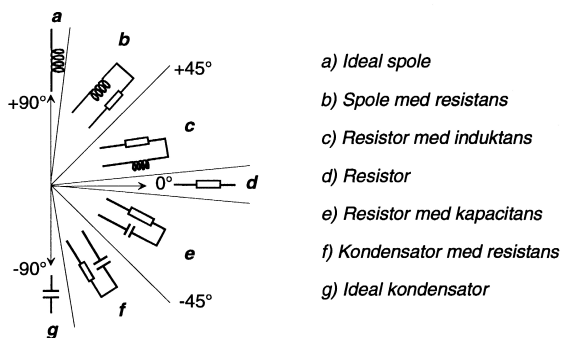
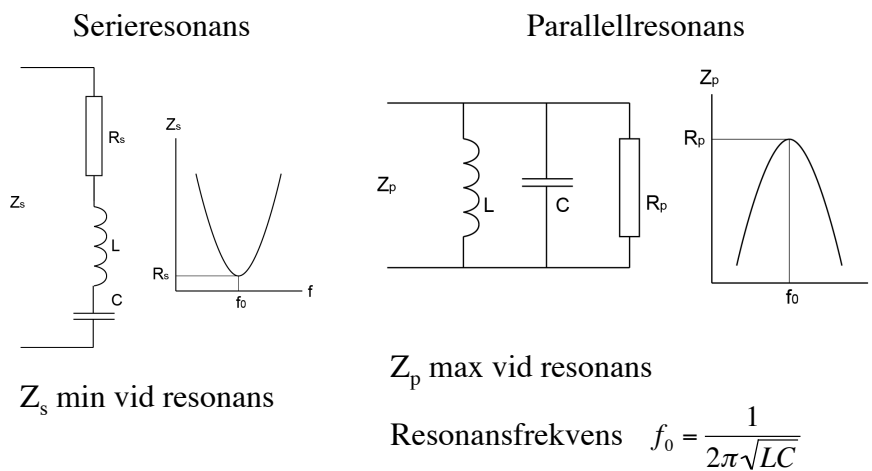


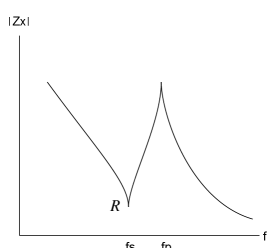
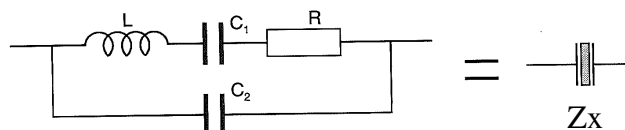
Bild 7.13 Fasvinkeln mellan ström och spänning avgör vilken typ av komponent som testas

Resonanskrets LCR – serie/parallell-resonans



Resonanskrets Kvarts-kristall

Både serie- och parallellresonans

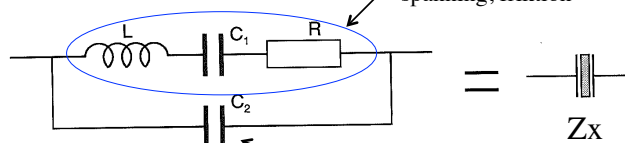


$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$$

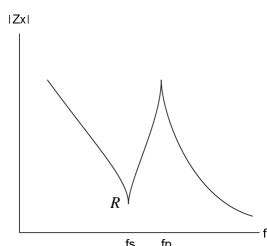
$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}}}$$

Resonanskrets Kvarts-kristall

Elektriska ekvivalenter till de mekaniska egenskaperna – tröghet, mekanisk spänning, friktion



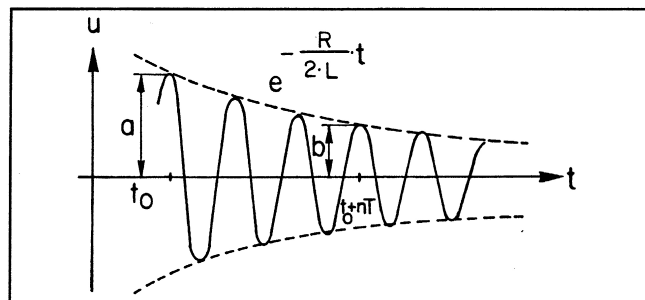
C_2 bildas av de ledande plattorna på var sida om kristallen



$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}}}$$

Resonans avklingning



Resistans

$$R = U/I, \quad \text{Ohms lag}$$

$$R = \rho \times l/A$$

ρ : resistivitet

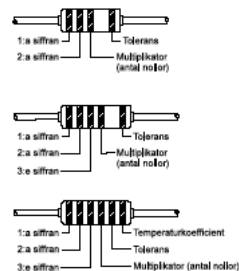
l : längd

A : tvärsnittsarea

Resistans

Färgkodning av resistorer

Märkning av motstånd



Märkning av motstånd.

Små motstånd har ofta sin resistans, tolerans och ibland temperaturkoefficient markerade med 4 till 6 färgingar.

Färgkoder vid motståndsmärkning.

Färg	Siffr	Multiplikator	Tolerans ± %	Temp koeff ± ppm/K
Svart	0	10^0	1	20
Brun	1	10	10	1
Röd	2	10^2	100	2
Orange	3	10^3	1000	3
Gul	4	10^4	10000	0... +100
Grön	5	10^5	100000	0,5
Blå	6	10^6	1000000	0,25
Violett	7	10^0	10000000	0,1
Grå	8	10^{-2}	0,01	-
Vit	9	10^{-1}	0,1	-
Guld	-	10^{-1}	0,1	5
Silver	-	10^{-2}	0,01	10

Resistans

Karakteriseras och mäts med:

Multimeter

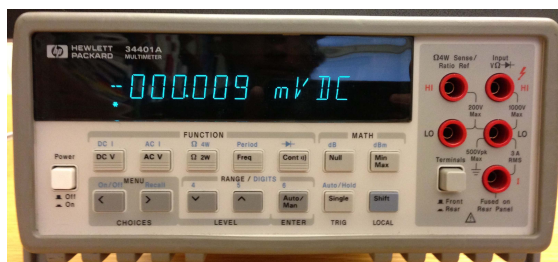
Konstant ström

Brygga

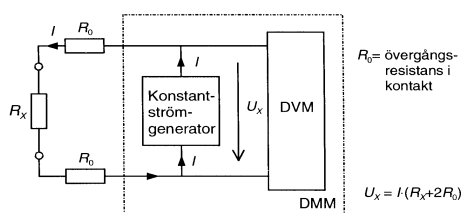
Sensorsystem

Brygga

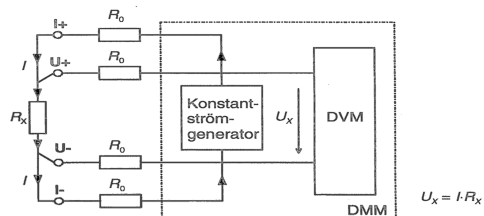
Multimetern



Multimeter - resistansmätning



Tvåtrådsmätning



Fyrtråds-mätning

Ex. Trådtöjningsgivare



15

Wheatstonebrygga

Resistansbestämning

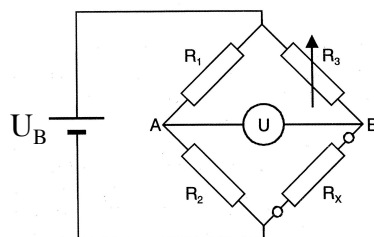


Bild 7.6 Wheatstonebrygga

Balansering av bryggan:

$$U_A = U_B \quad (-> U = 0)$$

ger balansvillkoret:

$$R_1/R_2 = R_3/R_x$$

eller

$$R_x = R_3 \times R_2 / R_1$$

OBS! Oberoende av U_B !

16

Historik



17

Wheatstonebrygga

Utslagsmetod

Mätning av förändring i R_x genom mätning av obalansspänning

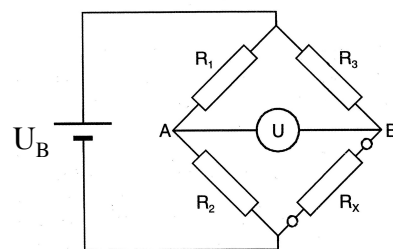


Bild 7.6 Wheatstonebrygga

Ex. Töjningsgivare

Bryggan balanseras vid t ex opåverkad töjningsgivare, 0-läget:
 $R_1 = R_2 = R_3 = R_{x0}$
 Då töjningsgivaren påverkas blir U blir ett mått på avvikelser från 0-läget.
 Genom att ha samma temperaturberoende på ingående komponenter blir kopplingen temperaturkompenserad.

18

Wheatstonebrygga

Fördelar:

- Spänning ut
- Balansering
- Temperaturkompensering

19

Wheatstonebrygga

Fördelar:

- Spänning ut
- Balansering
- Temperaturkompensering

Nackdelar:

- Liten spänning ut
- Fordrar förstärkning

20

Wheatstonebrygga

Ex. Temperaturmätning

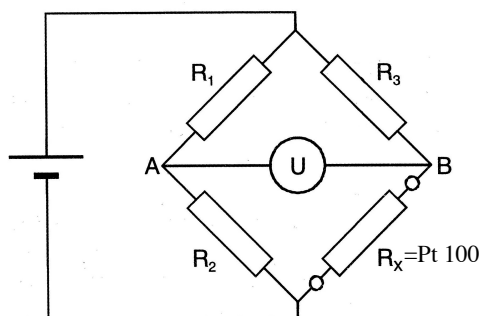


Bild 7.6 Wheatstonebrygga

21

Pt 100

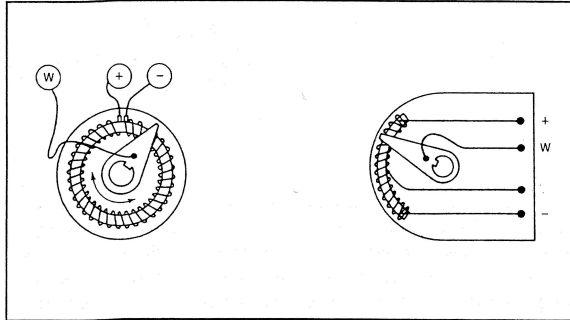
Utsignal från Pt100-givare och termoelement typ K.

Temperatur °C	Resistans Pt 100 Ω	Spänning Termoelement typ K μV
-50	80,31	-1889
-40	84,27	-1527
-30	88,22	-1156
-20	92,16	-778
-10	96,09	-392
0	100	0
10	103,90	397
20	107,79	798
30	111,67	1203
40	115,54	1612
50	119,40	2023
60	123,24	2436
70	127,08	2851
80	130,90	3267
90	134,71	3682
100	138,51	4096
110	142,29	4509
120	146,07	4920
130	149,83	5328
140	153,58	5735
150	157,33	6138

22

Resistiva givare

Funktion – utspänningen, W i fig, ett mått på vinkel eller position



Figur 4.3. Principen för en resistiv givare av potentiometertyp. w = variabel spänning ut.

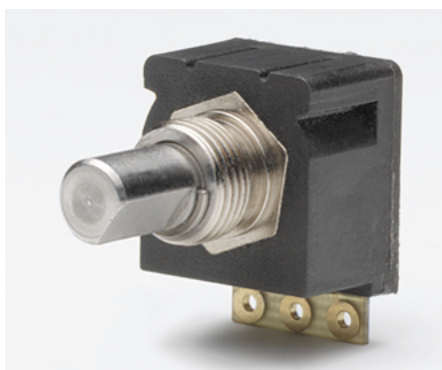
Resistiva givare

Resistiv positionsgivare, potentiometer



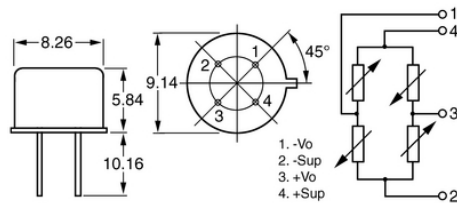
Resistiva givare

Resistiv vinkelgivare, potentiometer

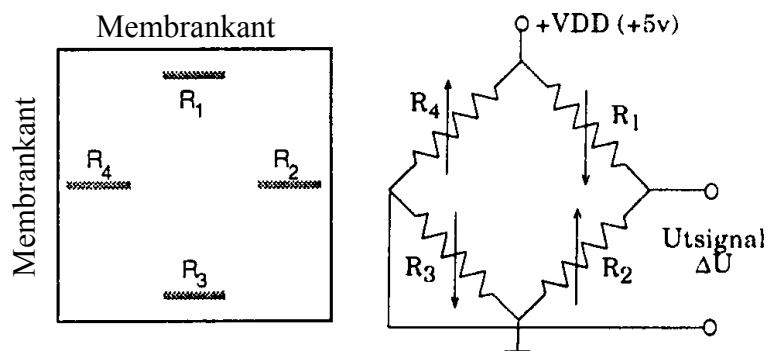


Resistiva givare

Membrangivare, balkgivare
Tryckgivare, accelerometer



Piezoresistiv tryckgivare givarkonfiguration



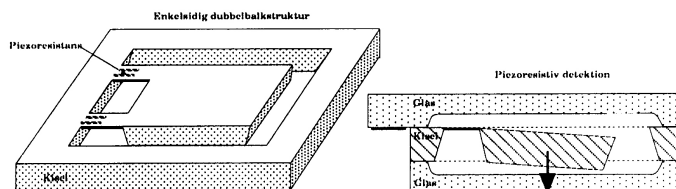
Accelerometer piezoresistiv

E, elasticitetsmodul
h, balktjocklek
L, balklängd
b, balkbredd
M, seismisk massa

$$f_0 = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{Ebh^3}{ML^3}}$$

S, känslighet
k, konstant
L, balklängd
h, balktjocklek

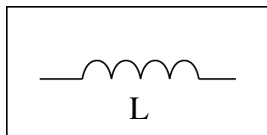
$$S = k \frac{L}{h^2}$$



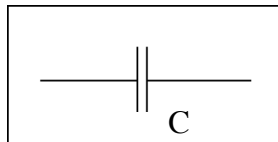
Typiska mått
h \approx 10 μ m
L \approx 100 μ m

Komponenter med reaktans

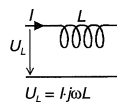
Spole



Kondensator

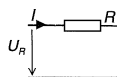


a) Spole



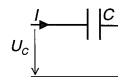
$$U_L = I j\omega L$$

b) Resistor

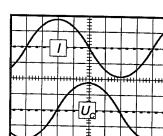
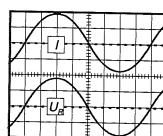
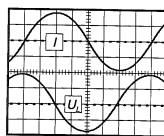


$$U_R = I R$$

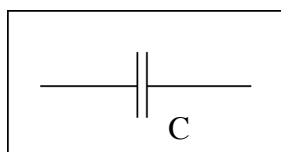
c) Kondensator



$$U_C = I / (j\omega C)$$



Kondensator (Kapacitans)



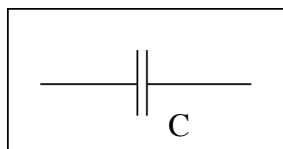
$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

ϵ : Permittivitet

A: Plattornas area

d: Avståndet mellan plattorna

Kondensatorn



$$U = X_c \times I \Rightarrow X_c = U/I$$

X_c : Reaktansen (Impedansen hos en kondensator)

Strömmen 90° före spänningen!

$$X_c = \frac{1}{j\omega C} \quad \begin{array}{l} \omega: 2\pi f \\ C: \text{Kapacitansen} \end{array}$$

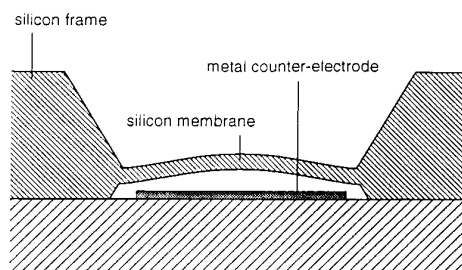
Membrantryckgivare kapacitiv

d = avstånd till metallektroden

w = membrannedböjning i position (x, y)

ϵ = dielektricitetskonstant

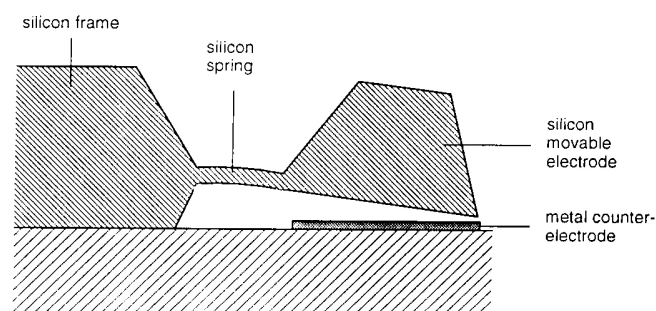
$$\Delta C = C_0 - \iint \frac{\epsilon}{d - w(x, y)} dx dy$$



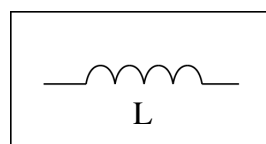
Accelerometer

kapacitiv

$$\Delta C = C_0 - \iint \frac{\epsilon}{d - w(x, y)} dx dy$$



Spole (Induktans)



$$U = X_L \times I \Rightarrow X_L = U/I$$

X_L : Reaktansen (Impedansen hos en spole)

Spänningen 90° före strömmen!

$$X_L = j\omega L$$

ω : $2\pi f$

L: Induktans

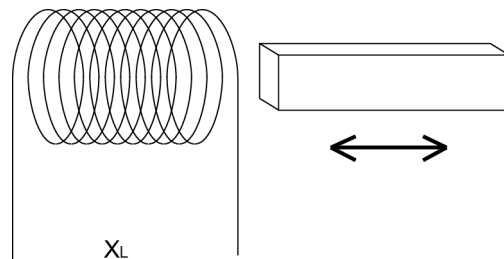
Spole (Induktans)

$$X_L = j\omega L$$

Induktansen, L , och därmed reaktansen, X_L , hos en spole är beroende av antal lindningsvarv i spolen, storlek (area, längd) samt materialet i kärnan. Ferromagnetiska material i kärnan ger stor ökning av induktansen.

Ex. Induktiv positions-givare

$$X_L = j\omega L$$



Avståndet mellan en spole och en kärna av ferromagnetiskt material påverkar spolens induktans. Reaktansen blir ett mått på avståndet (sambandet dock ej linjärt i exemplet).

Sammanfattning

Komponent- typ	Egenskap	Fasvridning I - U	Komplex impedans
Resistor	Resistans	0°	R
Spole	Induktans	+90°	$j\omega L = j2\pi fL$
Kondensator	Kapacitans	-90°	$\frac{1}{j\omega C} = -j \cdot \frac{1}{\omega C} = -j \cdot \frac{1}{2\pi fC}$

Tabell 7.1 Ideala linjära passiva komponenter

Generella impedanser

Karakteriseras och mäts med:

LCR-meter

Impedansanalysator

Brygga

Sensorsystem

Brygga

Frekvens

PLL

Impedansanalysator LCR-analysator



En impedansanalysator mäter en okänd impedans ofta med spänning/ström-metoden vid en viss inställd frekvens eller genom att svepa mätfrekvensen över ett område. Belopp och fasvinkel mäts och kan räknas om till de olika modeller för impedanser.

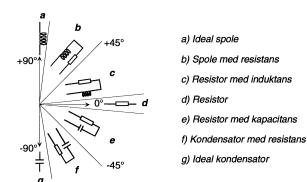
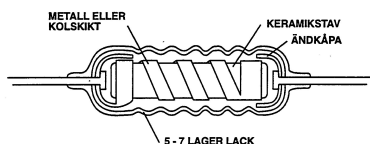
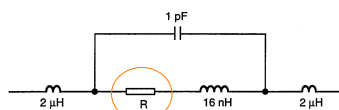


Bild 7.13 Fasvinkeln mellan ström och spänning avgör vilken typ av komponent som testas

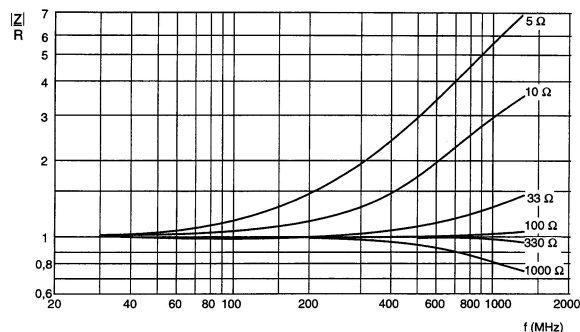
Frekvensegenskaper hos ”verkliga” komponenter - Resistanser



Ex. Parasitkomponenter

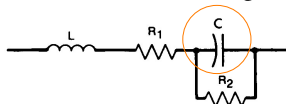


Önskad komponent



Frekvensgenskaper hos "verkliga" komponenter - Kondensatorer

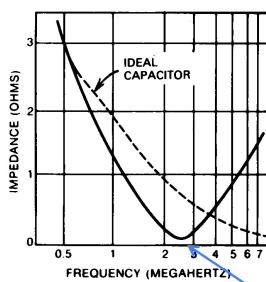
Önskad komponent



Ideal kondensator:

$$X_c = \frac{1}{j\omega C}$$

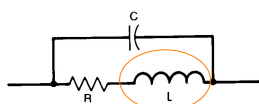
0.1 μF kondensator



Seriesresonans!

41

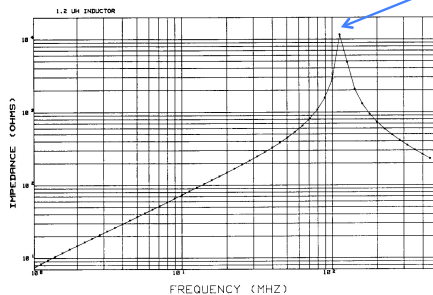
Frekvensgenskaper hos "verkliga" komponenter - Spolar



Önskad komponent

Ideal spole:

$$X_L = j\omega L$$



Parallellresonans!

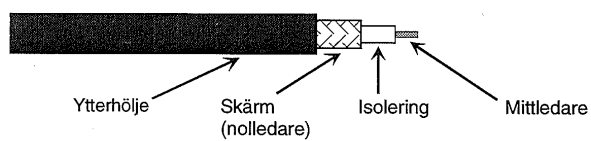
42

Transmissionsledning

Tvinnad partråd



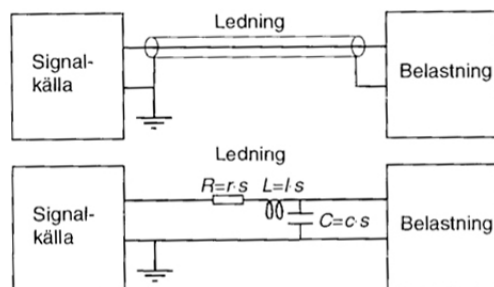
Koaxialkabel



Utbredningshastighet i en koaxialkabel: $2 \cdot 10^8$ m/s

43

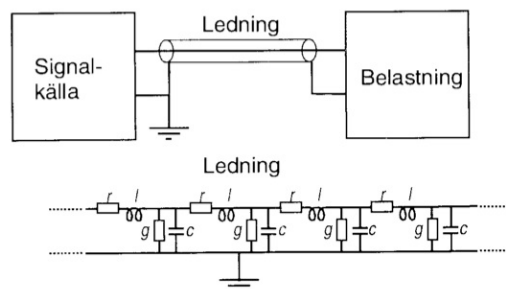
Transmissionsledning *LF-system*



44

Transmissionsledning

HF-system



45

Transmissionsledning

När?

- Ledningens längd, L , är av samma storleksordning som en kvarts våglängd av signalen eller större (sinussignaler)
- Ledningens fördröjningstid, t_p , för t ex en puls är av samma storleksordning som signalens stigtid/falltid eller längre (pulssignaler).

$$L > \lambda/4$$

$$t_p > t_r \text{ el. } t_f$$

46

Transmissionsledning

<i>Frekvens f</i>	<i>Våglängd λ</i>
50 Hz	4000 km
1 kHz	200 km
1 MHz	200 m
10 MHz	20 m
100 MHz	2 m
1 GHz	2 dm
10 GHz	2 cm

47

Transmissionsledning

Exempel

- En koaxialkabel med 1 meters längd (dvs 5 ns fördröjningstid)
- Sinussignaler då våglängden är kortare än 4 m, vilket motsvarar frekvenser över ca 50 MHz.
- För pulssignaler med kortare stigtider än ca 5 ns, oavsett, pulssignalens repetitionsfrekvens

48

Transmissionsledning

Karakteristisk impedans, Z_0

Den karakteristiska impedansen kan sägas vara den impedans man i teorin skulle mäta in i en oändligt lång ledning. Betecknas Z_0

$$Z_0 = \sqrt{\frac{r + j\omega l}{g + j\omega c}}$$

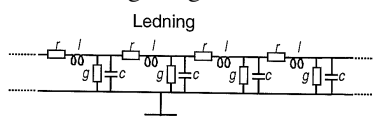
För en förlustfri ledning, $r = g = 0$, gäller:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{l}{c}}$$

Z_0 är då rent resistiv. Vanliga värden:

Koaxialkabel på lab – 50 Ω

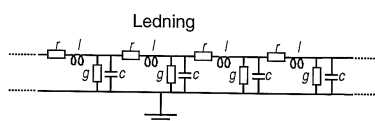
Antennkabel – 75 Ω



49

Transmissionsledning

Utbredningshastighet



Utbredningshastigheten för en signal i en förlustfri ledning:

$$v = \frac{1}{\sqrt{lc}}$$

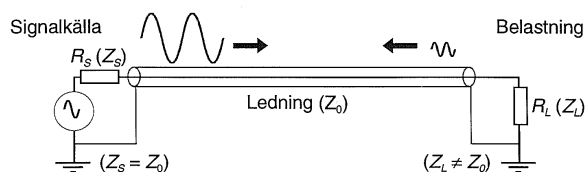
Ex. Koaxialkabel: $2 \cdot 10^8$ m/s

50

Transmissionsledning

Anpassning

För att undvika reflektioner på en transmissionsledning måste ledningen avslutas med impedanser med samma storlek som den karakteristiska impedansen.



Reflektionskoefficient:

$$\rho = \frac{\text{Reflekerade vågens amplitud}}{\text{Infallande vågens amplitud}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

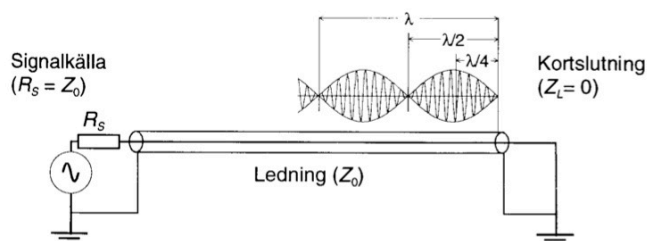
51

Transmissionsledning

Reflektioner – Stående våg

Om $\rho \neq 0$ erhålls reflektioner, vilket ger upphov till stående vågor -> mätfel!

Ex. $Z_L = 0$ vilket ger $\rho = -1$:

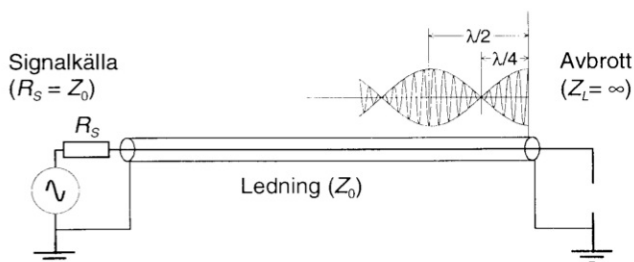


52

Transmissionsledning

Reflektioner – Stående våg

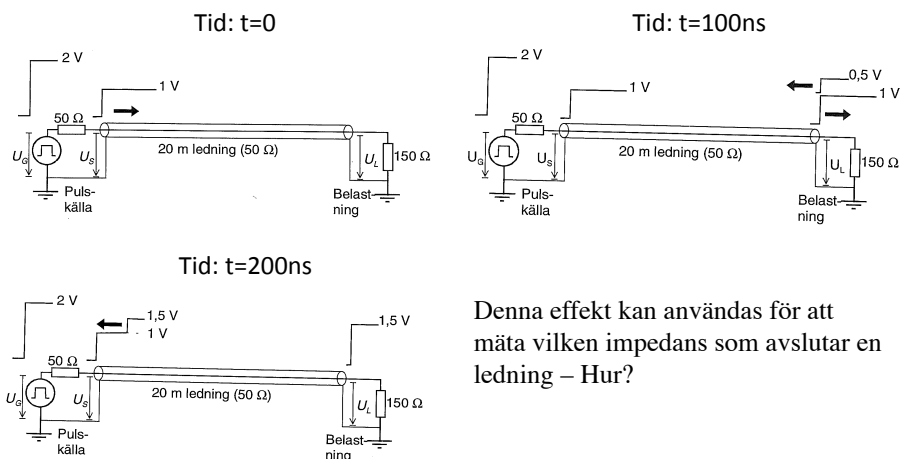
Ex. $Z_L = \infty$ vilket ger $\rho = +1$:



53

Transmissionsledning

Ex. Pulseflektioner vid $\rho = +0,5$



Denna effekt kan användas för att mäta vilken impedans som avslutar en ledning – Hur?

54