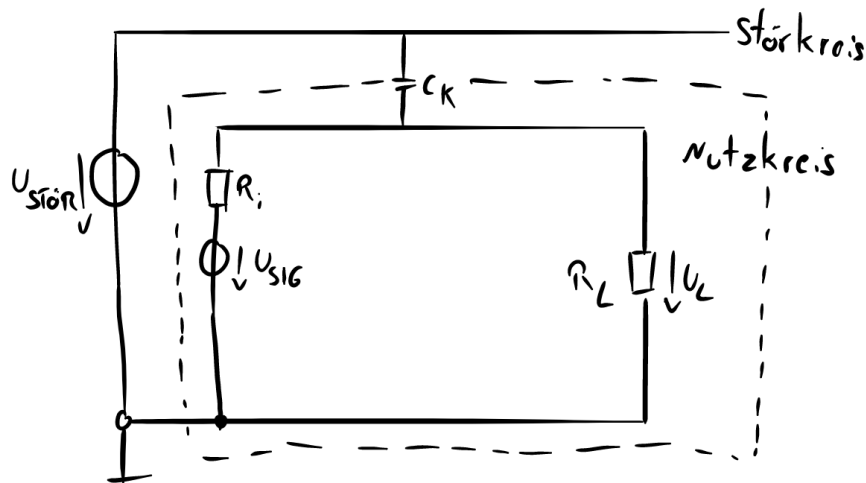


## Kapazitive Kopplung

Die Übertragung der Störgröße auf den Nutzkreis erfolgt über das Elektrische Feld.

Ursache für Kapazitive beeinflussung sind parasitäre (d.h nicht beabsichtigte) Kapazitäten zwischen Leitern die zu verschiedenen Stromkreisen gehören.



$$u_L = u_{SIG} \frac{R_L}{R_i + R_L} + i_{STÖR} \frac{R_i * R_L}{R_i + R_L}$$

Für den (allgemeinen) Fall, dass die Impedanz der Koppelkapazität sehr viel größer ist als die Impedanz des Nutzkreises folgt:  $\frac{1}{\omega C_K} \gg (R_i || R_L)$  gilt  $i_{STÖR} \approx$

$$C_K \frac{du_{STÖR}}{dt}$$

$$i_{STÖR} \frac{R_i * R_L}{R_i + R_L} = \text{Stör-Anteil} \Rightarrow U_L = \frac{R_L}{R_i + R_L} (u_{SIG} + i_{STÖR} * R_i)$$

Für den Störanteil gilt:

▼ im Zeitbereich

$$u_{L,STÖR} = \frac{R_L * R_i}{R_L + R_i} i_{STÖR}$$

$$i_{STÖR} = C_K \frac{du_{STÖR}}{dt}$$

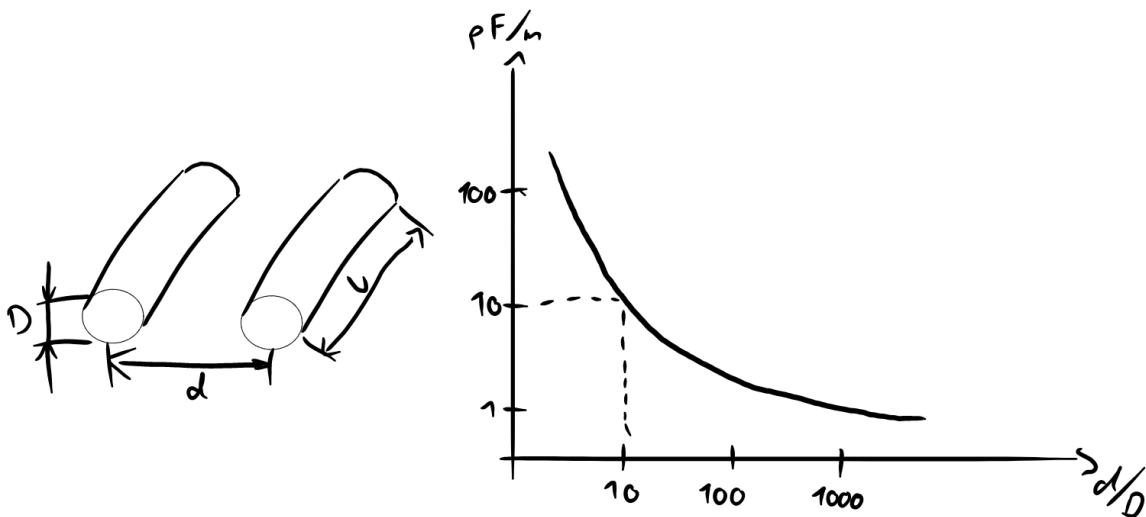
▼ im Frequenzbereich

$$\underline{U}_{L,STÖR} = \frac{R_L * R_i}{R_L + R_i} \underline{I}_{STÖR}$$

$$\underline{I}_{STÖR} = j\omega C_K * \underline{U}_{STÖR}$$

Die Höhe des Störstroms  $i_{STÖR}$  hängt ab von:

1. Der Größe der Koppelkapazität  $C_K$
2. Der Änderungsgeschwindigkeit, der Amplitude und der Frequenz von  $u_{STÖR}$



$$C_K = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \text{ Plattenkondensator}$$

Reale werte für den Kapazitätsbelag von realen Leitungen sind 5 -100 pF/m

### Nachweis eingekoppelter Störungen:

Für den Störanteil gilt:

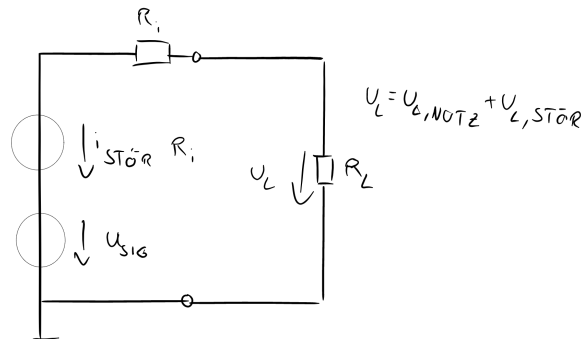
▼ im Zeitbereich

$$u_{L,STÖR} = \frac{R_i * R_L}{R_i + R_L} * i_{STÖR} = \frac{R_i * R_L}{R_i + R_L} C_k \frac{du_{STÖR}}{dt}$$

▼ im Frequenzbereich

$$\underline{U}_{L,STÖR} = j\omega C_K \frac{R_i * R_L}{R_i + R_L} * \underline{U}_{STÖR}$$

### Modellierung der Störspannung



$$u_L = \frac{R_L}{R_i + R_L} * u_{SIG} + \frac{R_L}{R_i + R_L} * i_{STÖR} * R_i$$

Nutzsignal      +      Störsignal

### Diagnose von kapazitiven Kopplungen:

Ersetzen des Nutzsignals  $u_{SIG}$  durch einen Kurzschluß

d.h.  $R_i = 0$

Die Störspannung muss damit verschwinden

### Abhilfemaßnahmen bei kapazitiven Kopplungen:

1. Die Koppelkapazitäten gering halten

$$C_K = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} - \text{kurze Verbindungsleitungen} \Rightarrow A \text{ minimiert}$$

- großer Abstand zwischen sich störenden Leitungen  $\Rightarrow d$  wächst

- Vermeidung paralleler Leitungsführung

2. Verwenden einer Signalspannungsquelle mit möglichst geringem  $R_i$

3. Verringern von  $\frac{du_{STÖR}}{dt} \Rightarrow$  z.B. einfacher RC-Tiefpass

4. Möglichst niederohmige Ausführung der Impedanzen im Stromkreis

$u_{L,STÖR}$  wird kleiner, wenn  $R_i$ ,  $R_L$  kleiner sind

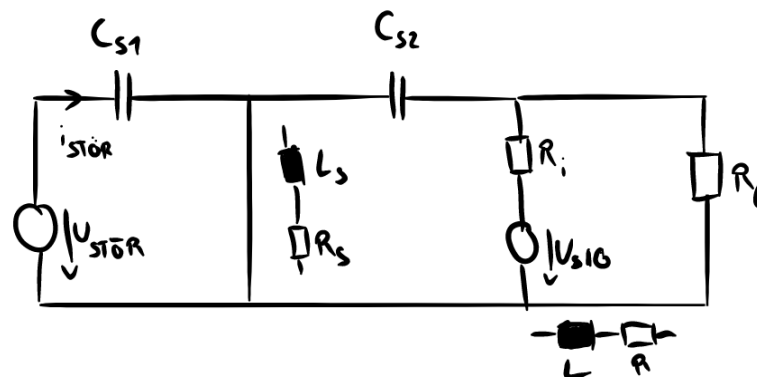
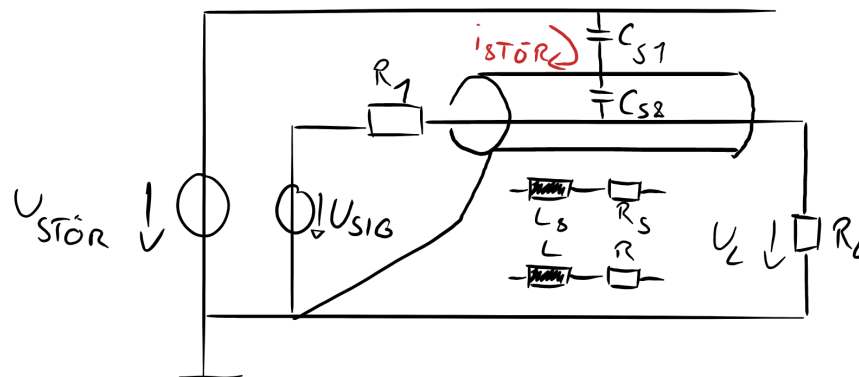
5. Schirmen der gefährdeten Leitungen und Stromkreisen

- abgeschirmte Leitung (Koax kabel)
- Schirmleiterbahnen auf PCB
- Schirmwände zwischen Systemen

### Schirmung:

Die wirksame Koppelkapazität  $C_K$  wird reduziert auf die Kapazität  $C_{S2}$  zwischen Schirm und Nutzkreis.

Bei gleicher Amplitude und  $\frac{d}{dt}$  der Störquelle verringert sich damit die eingekoppelte Störspannung.



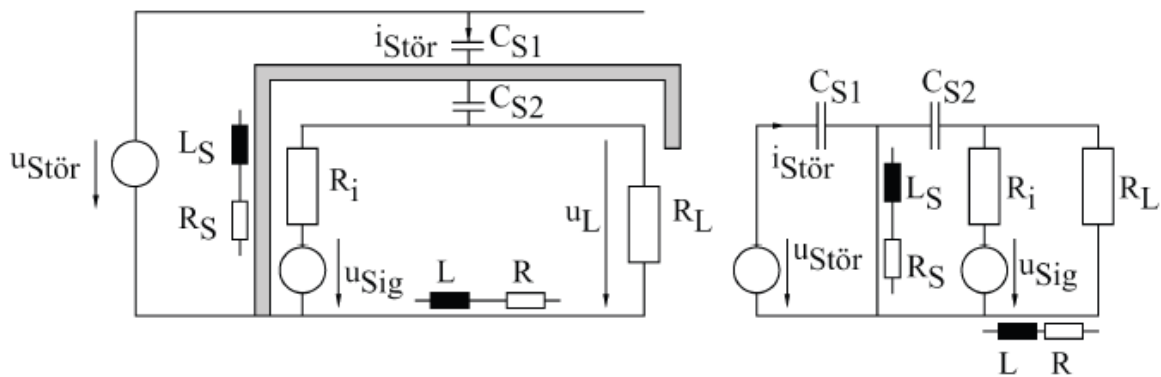


Bild 12: Schirmleiterbahn auf Leiterplatten

Der Schirm muss jeweils aus gut leitendem Material bestehen, damit der über ihn abfließende Strom keinen nennenswerten Spannungsabfall über der Schirmimpedanz  $Z_S = R_S + j\omega L_S$  erzeugt.

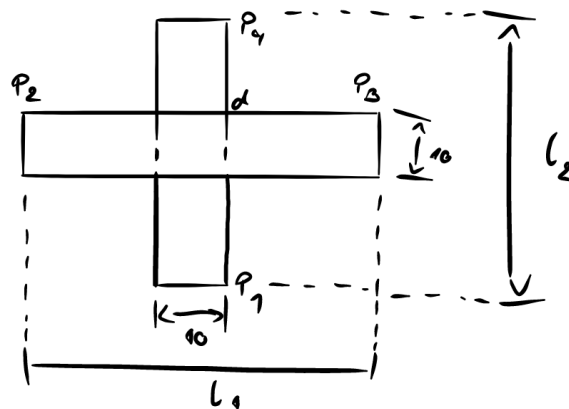
Bsp.: **Kapazitive Kopplung**

$$l_1 = 100\text{mm}$$

$$l_2 = 80\text{mm}$$

$$w = 10\text{mm}$$

$$d = 0,2\text{mm}$$



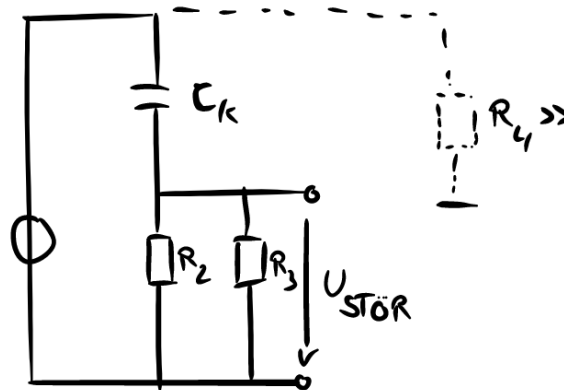
$$C_K = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} = \frac{8,854 \cdot 10^{-12} \text{F} \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-2} \text{m}^2}{0,2 \cdot 10^{-3} \text{m}} = 4,427 \text{pF}$$

## Modellbildung

$V_{AC} = 5V$ ,  $R_4 \gg \rightarrow$  es fließt ein kleiner Strom

orthogonale anordnung  $\Rightarrow$  keine induzierte Spannung

ESB:



$$U_{STÖR} = V_{AC} * \frac{(R_2 || R_3)}{(R_2 || R_3) + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{(R_2 || R_3) * j\omega C_K}{1 + j\omega C (R_2 || R_3)}$$

ges  $|U_{STÖR}|$  für 10, 20, .... 60 MHz

$$f = 50MHz \quad R_2 || R_3 = 25\Omega \quad C_K = 5pF$$

$$U_{STÖR} = V_{AC} * \frac{j2\pi 50 * 10^6 Hz * 5 * 10^{-12} F * 25\Omega}{1 + j2\pi 50 * 10^6 * 5 * 10^{-12} Hz * 25\Omega} = 5V * \frac{j\pi 10^8 * 5 * 10^{-12} * 25 Hz \Omega F}{1 + j\pi 10^8 * 5 * 10^{-12} * 25 Hz \Omega F} =$$

$$= 5 * \frac{j125\pi * 10^{-4}}{1 + j125\pi * 10^{-4}} = \frac{5 * j125\pi * 10^{-4}}{1} = j625\pi * 10^{-4} = j0,196V$$

$$\Rightarrow |U_{STÖR}| \approx 0,2V$$