

Übertragungsleitungen

Verbindung informationstechnischer Geräte → Leitungen

z.B. Netzwerk	→ PC - Drucker ←	PC - PC
	→ PC - PC Hub (Switch)	PC - Router
	→ Antenne - TV	Telefon - TK Anlage

Was ist eine elektrische Leitung?

- Ein gestreckt aufgebauter Strompfad aus elektrisch leitendem Material.
- Üblich: Doppelader → 1 Ader: Hinleitung; 1 Ader Rückleitung

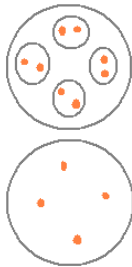


Symmetrisch

Alle Adern gleich aufgebaut

Zweiaderleitungen, z.B. TP
→ Dieselhorst-Martin-Verseilung

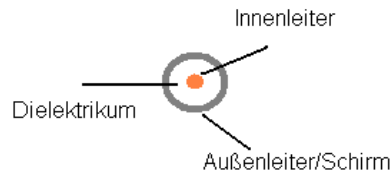
Mehradernleitungen
→ Mehrdrahtleitungen



Unsymmetrisch, z.B. Coax

Adern sind nicht alle gleich aufgebaut

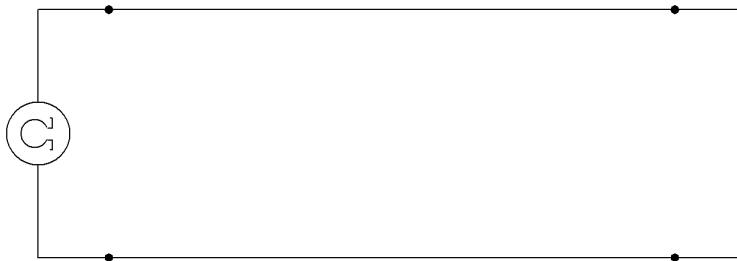
Anwendung: Messtechnik,
TV, Netzwerk



Messtechnische Untersuchung eines Leitungsverhaltens

Bsp.: Leitung IY(ST)Y

1. Messen des ohmschen Widerstands → $R=7,6 \text{ Ohm}$



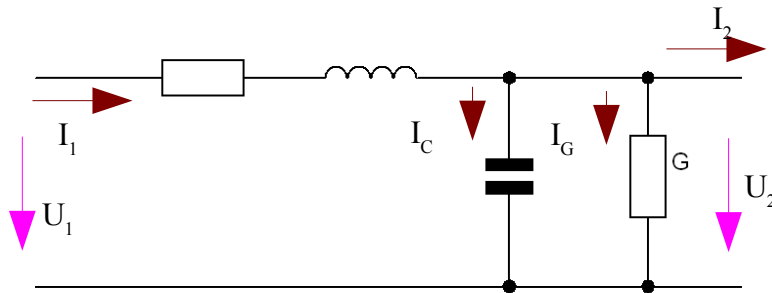
2. Wechselstrommäßige Untersuchung



Erkenntnisse:

- Die Leitung muss korrekt abgeschlossen werden
- Die Ausgangsspannung U_2 ist kleiner als U_1
- Tiefpassverhalten
- Phasenverschiebung zw. U_2 und U_1
- Nichtsinusförmige Spannungen werden verformt \rightarrow Verzerrt

1. Ersatzschaltbild einer Übertragungsleitung



2. Wirkung der Leitungsgrößen \rightarrow Einspeisung: U_1 ; Abschluss R_A

- Leitungswiderstand R:

$$U_R = I_1 * R \rightarrow U_2 = U_1 - U_R \rightarrow U_2 < U_1$$

- Leitungsinduktivität L:

$$U_L = I_1 * X_L \text{ (Phasenverschoben)} \rightarrow U_2 \downarrow$$

- Leitungskapazität C:

$$I_C = \frac{U_C}{I_C} \text{ (Phasenverschoben)} \rightarrow I_2 \downarrow$$

- Ableitung G:

$$G = \frac{1}{R_{ISO}} \rightarrow I_2 \downarrow$$

3. Leitungskennwerte

R, L, C, G:	Abhängig von Leitungslänge
Üblich:	Bezug auf 1 km
Bezeichnung:	Leitungskennwerte bzw. Leitungsbeläge
Kennzeichnung:	R', L', C', G'

$$\text{Widerstandsbelag} = \frac{\text{Leitungswiderstand}}{\text{Leitungslänge}} \quad R' = \frac{R}{L} \quad [R'] = \frac{\Omega}{\text{km}}$$

In der nachstehenden Tabelle sind für einige Leitungsarten die Leitungskennwerte bei einer Frequenz von 800 Hz angegeben:

Leitungskennwerte						
Leitungsart	Leiterwerkstoff	Durchmesser mm	R' Ω / km	C' nF / km	L' mH / km	G' $\mu\text{S} / \text{km}$
Freileitung	Bronze, Hartkupfer	2	17,7	5,4	2,2	1
		2	5,5	6	2	1
Kabelleitung, symmetrisch, sternverseilt	Kupfer, Isolierung mit Papier oder Zellpolyäthylen	0,4	300	36	0,7	0,1
		0,6	130	38	0,7	0,1
		0,8	73,2	40	0,7	0,1
		0,9	56,6	34	0,7	0,1
		1,2	31,8	35	0,7	0,1
		1,4	23,4	36	0,7	0,1

4. Der Wellenwiderstand

Definition:

- Eingangswiderstand $\rightarrow U_1 \rightarrow I_1 \rightarrow$ Phasenverschiebung $\rightarrow Z_e = \frac{U_1}{I_1}$
- auch abhängig vom Abschluss der Leitung (R_L)
- Unabhängigkeit von R_L , wenn die Leitung sehr lang ist (theoretisch unendlich lang)

Der Wellenwiderstand Z_w ist der Eingangsscheinwiderstand einer unendlich lang gedachten Leitung

- $Z_w = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_2}{I_2}$
 - Begriff
 - Fortpflanzungsgeschwindigkeit: von 10000 km/s bis fast 300000 km/s

Ermittlung des Wellenwiderstands realer Leitungen:

- Entscheidende Größe: Induktiver Blindwiderstand X_L
- Berechnung aus Leitungsgrößen:
- Bei niedrigen Frequenzen: $R \gg X_L \rightarrow X_L$ vernachlässigbar
 - $Z_w = \sqrt{\frac{R}{\omega * c}}$
- Bei hohen Frequenzen $R \ll X_L \rightarrow R$ vernachlässigbar
 - $Z_w = \sqrt{\frac{L}{C}}$

Aufgabe 1: Cu, $d=0,6\text{mm}$, $f=10\text{kHz}$

Ges: $Z_w = ?$

$$X_L = 2 \pi * f * L = 2 * \pi * 10\text{kHz} * 0,7\text{mH} = 43 \Omega \rightarrow 43 \Omega < 130 \Omega \rightarrow \text{Formel für niedrige Frequenz}$$

$$Z_w = \sqrt{\frac{R}{\omega * c}} = \sqrt{\frac{130 \Omega}{2 \pi * 10\text{kHz} * 38\text{nF}}} = 233 \Omega$$

Aufgabe 2: Cu, A=1,1mm²; f=120kHz

Ges: $Z_w = ?$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{a}{\pi}} = 1,2 \text{ mm}$$

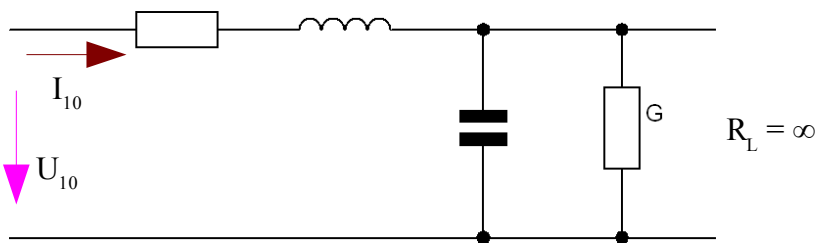
$$X_L = 2 \pi * f * L = 2 * \pi * 120 \text{ kHz} * 0,7 \text{ mH} = 84 \Omega \rightarrow 84 \Omega > 31 \Omega \rightarrow \text{Formel für hohe Frequenz}$$

$$Z_w = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0,7 \text{ mH}}{35 \text{ nF}}} = 141 \Omega$$

→ Messtechnische Ermittlung:

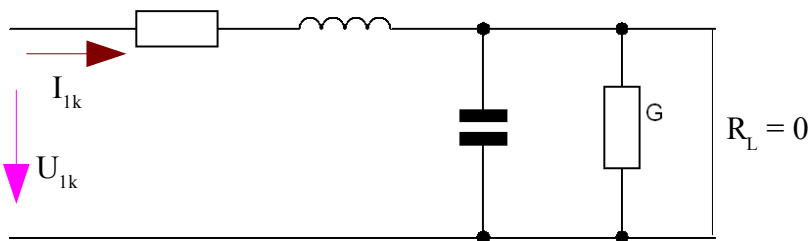
Zwei Messungen:

a) Leerlaufscheinwiderstand Z_{w0}



$$\rightarrow Z_{w0} = \frac{U_{10}}{I_{10}}$$

b) Kurzschlusscheinwiderstand Z_{wk}



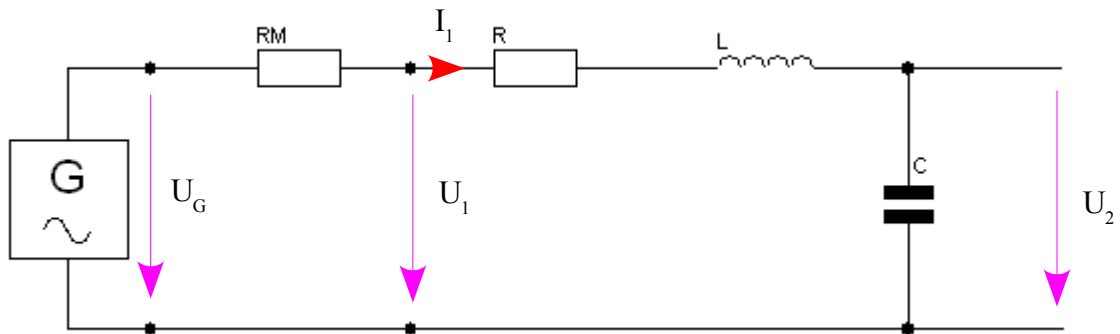
$$\rightarrow Z_{wk} = \frac{U_{1k}}{I_{1k}}$$



geometrischer Mittelwert: $Z_w = \sqrt{Z_{w0} + Z_{wk}}$

Messtechnische Ermittlung des Wellenwiderstandes einer Übertragungsleitung

Messschaltung:



$$U_G = 4V_{SS}(\text{Konstant}); R_M = 600 \Omega; I_1 = \frac{U_{R_M}}{R_M}$$

$$\rightarrow U_{R_M} = U_G - U_1 \rightarrow \text{Ermitteln durch Differenzmessung}$$

Beispiel: Leitung mit 67Ω Widerstand und 1,4mm Durchmesser.

Vorgabe:					Errechnete Werte:		
d/mm	R/ Ω	R'/ Ω	C'/nF	L'/mH	l/km	C/nF	L/mH
1,4	67	23,4	36	0,7	2,86	103	2

Messwerttabelle:

f/Hz	Leerlaufmessung						
	u_1/V_{SS}	i_1/mA_{SS}	Z_{wo}				
100	4	0,29	13,79				
200	4	0,5	8				
300	4	0,7	5,71				
400	3,9	1	3,9				
500	3,9	1,2	3,25				
600	3,8	1,4	2,71				
800	3,7	1,9	1,95				
1000	3,5	2,3	1,52				
2000	3	3,8	0,79				
3000	2,4	4,7	0,51				
4000	1,8	5	0,36				
5000	1,4	5,5	0,25				
6000	1	5,6	0,18				
8000	0,6	5,9	0,1				
10000	0,4	6	0,07				