

## Zusammenfassung zur Übung 2

### ELEKTROENERGIESYSTEME

#### Aufgaben 4 bis 5

#### 1) Leitungen

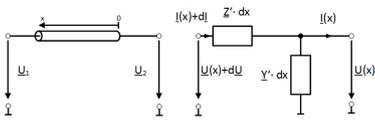
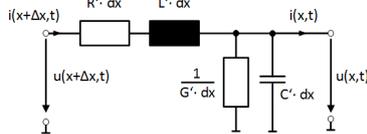
Leitungen sind räumlich ausgedehnte Bauelemente, d.h. die Spannungs- und Stromfunktionen sind vom Ort abhängig. Zur mathematischen Beschreibung von Leitungen kommen partielle Differentialgleichungen zum Einsatz, deren Lösung Wanderwellenvorgänge sind.

#### 2) Wanderwellen

Bei steilflankigen, impulsförmigen Spannungs- bzw. Stromänderungen (hervorgerufen durch Blitzeinschläge oder Schaltvorgänge) treten in Leitungen schnell veränderliche Felder auf. Die Spannung (bzw. der Strom) am Ort  $x$  setzen sich aus einer in positive Richtung hinlaufenden Welle  $u_v$  (bzw.  $i_v$ ) und einer in negativer Richtung zurücklaufenden Welle  $u_r$  (bzw.  $i_r$ ) zusammen.

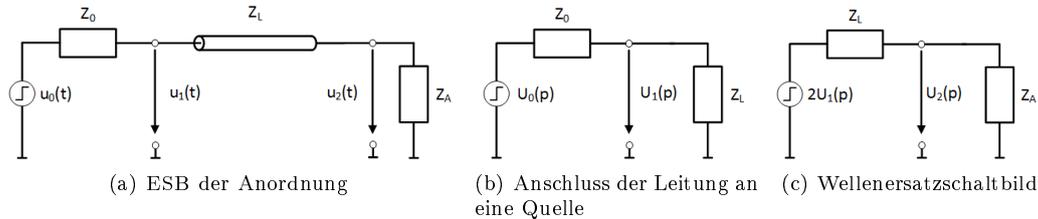
#### 3) Leitungstheorie

Für den Spezialfall sinusförmiger Spannungen und Ströme kann die komplexe Wechselstromrechnung angewendet werden. Bei impulsförmigen Spannungen und Ströme müssen die Maxwell'schen Gleichungen in vollständiger Form gelöst werden.

	Sinusförmige Spannungen & Ströme	Impulsförmige Spannungen & Ströme
Ersatzschaltbild		
Differentialgleichung	$\frac{d^2 \underline{I}}{dx^2} - \underline{Y}' \underline{Z}' \underline{I} = 0$ $\frac{d^2 \underline{U}}{dx^2} - \underline{Z}' \underline{Y}' \underline{U} = 0$	$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} - C' L' \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} = 0$ $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - L' C' \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0$
Lösung bei <b>verlustfreier</b> Leitung ( $R' = 0, G' = 0$ )	$\underline{U}(x) = \underline{U}_2 \cos(2\pi \frac{x}{\lambda}) + j Z_L \underline{I}_2 \sin(2\pi \frac{x}{\lambda})$ $\underline{I}(x) = \underline{I}_2 \cos(2\pi \frac{x}{\lambda}) + j \frac{\underline{U}_2}{Z_L} \sin(2\pi \frac{x}{\lambda})$	$u(x, t) = u_V(x - vt) + u_R(x + vt)$ $i(x, t) = \frac{1}{Z_L} [u_V(x - vt) - u_R(x + vt)]$
Wellenwiderstand (verlustfreie Leitung)	$\underline{Z}_W = Z_L = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$	$Z_L = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$
Ausbreitungsgeschwindigkeit (verlustfreie Leitung)	$v = \frac{1}{\sqrt{L' C'}}$	$v = \frac{1}{\sqrt{L' C'}}$

Es existieren zwei gängige Verfahren zur analytische Berechnung von Wanderwellenvorgängen:

4) Berechnung von **Einfachreflexionen** mit dem Wellenersatzschaltbild:



- Vorgehenshinweis: Übersetzung von ESB aus (a) in Teilprobleme (b) und (c)

**ACHTUNG: Doppelter Wert von  $U_1(p)$  aus (b) wird in (c) eingesetzt**

5) Berechnung von **Mehrfachreflexionen** mit dem Wellengitter nach Bewley

- Bestimmung aller Koeffizienten:

$$X(p) = \frac{Z_L(p)}{Z_0(p) + Z_L(p)}$$

$$C(p) = \frac{Z_A(p)}{Z_L(p) + Z_A(p)} \cdot 2$$

$$B(p) = \frac{Z_A(p) - Z_L(p)}{Z_A(p) + Z_L(p)}$$

$$A(p) = \frac{Z_0(p) - Z_L(p)}{Z_0(p) + Z_L(p)}$$

- Vorgehen nach Schema (siehe Skript S.83 Bild 3.24)

**ACHTUNG: Die Berechnung startet hier ausgehend von der Quelle  $U_0(p)$**