Institut für Elektroenergiesysteme
und Hochspannungstechnik (IEH)
Leiter: Prof. Dr.-Ing. T. Leibfried

Zusammenfassung zur Übung 2

ELEKTROENERGIESYSTEME

Aufgaben 5 bis 6

1) Leitungen

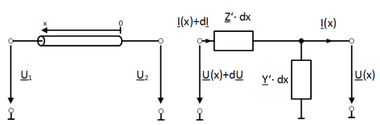
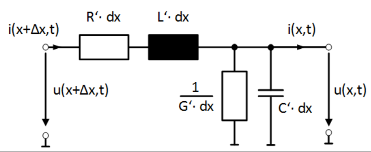
   Leitungen sind räumlich ausgedehnte Bauelemente, d.h. die Spannungs- und Stromfunktionen sind vom Ort abhängig. Zur mathematischen Beschreibung von Leitungen kommen partielle Differentialgleichungen zum Einsatz, deren Lösung Wanderwellenvorgänge sind.

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.

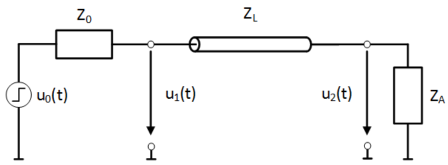
3) Leitungstheorie

   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.

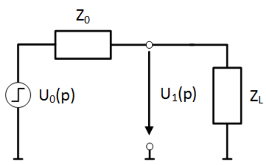
	Sinusförmige Spannungen & Ströme	Impulsförmige Spannungen & Ströme
Ersatzschaltbild		
Differentialgleichung	$\frac{d^2\underline{I}}{dx^2} - \underline{Y}'\underline{Z}'\underline{I} = 0$ $\frac{d^2\underline{U}}{dx^2} - \underline{Z}'\underline{Y}'\underline{U} = 0$	$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} - C'L'\frac{\partial^2 i}{\partial t^2} = 0$ $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - L'C'\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0$
Lösung bei **verlustfreier** Leitung ($R' = 0,\ G' = 0$)	$\underline{U}(x) = \underline{U}_2 cos(2\pi\frac{x}{\lambda}) + jZ_0\underline{I}_2 sin(2\pi\frac{x}{\lambda})$ $\underline{I}(x) = \underline{I}_2 cos(2\pi\frac{x}{\lambda}) + j\frac{\underline{U}_2}{Z_0} sin(2\pi\frac{x}{\lambda})$	$u(x,t) = u_V(x - vt) + u_R(x + vt)$ $i(x,t) = \frac{1}{Z_{\mathrm{L}}}\left[u_V(x - vt) - u_R(x + vt)\right]$
Wellenwiderstand (verlustfreie Leitung)	$\underline{Z}_W = Z_{\mathrm{L}} = Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$	$Z_{\mathrm{L}} = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$
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:

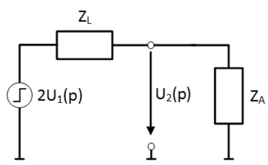
4) Berechnung von **Einfachreflexionen** mit dem Wellenersatzschaltbild:



(a) Anschluss der Leitung an eine Quelle



(b) ESB der Anordnung



(c) 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:

$$X(p) = \frac{Z_{\mathrm{L}}(p)}{Z_0(p) + Z_{\mathrm{L}}(p)}$$

$$C(p) = \frac{Z_{\mathrm{A}}(p)}{Z_{\mathrm{L}}(p) + Z_{\mathrm{A}}(p)} \cdot 2$$

$$B(p) = \frac{Z_{\mathrm{A}}(p) - Z_{\mathrm{L}}(p)}{Z_{\mathrm{A}}(p) + Z_{\mathrm{L}}(p)}$$

$$A(p) = \frac{Z_0(p) - Z_{\mathrm{L}}(p)}{Z_0(p) + Z_{\mathrm{L}}(p)}$$

- Vorgehen nach Schema (siehe Skript S.85 Bild 2.34)

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