

Ein wichtiges Ziel dieses Versuchs ist es, die Bedeutung der Begriffe Phasengeschwindigkeit, Gruppengeschwindigkeit und Dispersion aufzuzeigen. Das geschieht am Beispiel des 'dispersiven Mediums' Drosselkette. Ein weiteres Ziel ist es, anhand dieser speziellen Vierpolkette in die typische Beschreibungsweise -von Vierpoleigenschaften einzuführen. Daneben bietet der Versuch gute Gelegenheit, sehr verschiedenartige Oszilloskopanwendungen kennenzulernen.

### Aufgaben:

#### 1. Beobachten Sie Auswirkung des Lastwiderstandes einer Drosselkette.

Legen Sie dazu ca. 100 Hz-Rechteckspannung (ca.  $2 V_{SS}$ ) aus dem RC-Generator FG800A an den Eingang der Drosselkette. Beobachten Sie mit Hilfe des Zwei-Kanal-Oszilloskops gleichzeitig die Eingangs- und die Ausgangsspannung. (Zeitbasis ca. 1ms/cm, Triggerung durch die Eingangsspannung.)

- Variieren Sie den Lastwiderstand der Drosselkette von 0 bis 50 k $\Omega$  sowie auf  $\infty$  und beobachten Sie dabei die Oszilloskopbilder. Deuten Sie die beobachteten Effekte.
- Stellen Sie (bei möglichst hoher Oszilloskopempfindlichkeit) den Lastwiderstand am Ende der Kette so ein, daß die beobachteten *Reflexionen* minimal sind. Lesen Sie den eingestellten Lastwiderstand ab, d.h. die *charakteristische Impedanz* der Drosselkette bei relativ geringer Frequenz:  $Z_0(\omega \ll \omega_0)$
- Ermitteln Sie die Laufzeit der Kette und vergleichen Sie diese später mit den Ergebnissen für die Gruppengeschwindigkeit aus den Aufgaben 3 und 4.

#### 2. Bestimmen Sie die Grenzfrequenz der Drosselkette und beobachten Sie auftretende Verzerrungen bei der Signalübertragung.

Lassen Sie den Lastwiderstand eingestellt auf  $Z_0(\omega \ll \omega_0)$ . Variieren Sie die Frequenz

- der Rechteckspannung und
  - anschließend der sinusförmigen Wechselspannung
- zwischen etwa 100 Hz und 17 kHz und beobachten Sie dabei jeweils die Veränderung der Form und der Höhe der übertragenen Spannung sowie die Laufzeit bzw. Phasenverschiebung zwischen Ketteneingang und Kettenausgang.

Erläutern Sie die beobachteten Effekte (Bei Rechteckspannung an Fourierzerlegung denken!) und geben Sie einen Näherungswert für die Grenz(kreis)frequenz  $\omega_0$  der Drosselkette an.

#### 3. Nehmen Sie ein Dispersionsdiagramm der Drosselkette auf und bestimmen Sie Phasen- und Gruppengeschwindigkeit.

- Legen Sie sinusförmige Wechselspannung an den Eingang der Drosselkette und stellen Sie am Oszilloskop im X-Y-Betrieb die Ausgangs- über der Eingangsspannung (oder umgekehrt) dar. Erhöhen Sie die Frequenz von kleinsten Werten her langsam, korrigieren Sie dabei jeweils den Abschlußwiderstand gemäß dem theoretischen Verlauf von  $Z_0(\omega)$  und notieren Sie jene am Frequenzmeßgerät angezeigten Frequenzen  $f$ , bei denen das Oszilloskopbild Phasenverschiebungen zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung von  $\pi$ ,  $2\pi$ ,  $3\pi$ , . . .  $n\pi$  erkennen läßt. Zeichnen Sie anhand der Wertepaare (Frequenz  $f$ , Phasenverschiebung  $\Delta\phi$ ) ein 'Dispersionsdiagramm'. Dazu wird die Kreisfrequenz  $\omega$  über der Wellenzahl  $k$  aufgetragen.
- Tragen Sie in das experimentell ermittelte Dispersionsdiagramm auch etliche mit Hilfe der gegebenen Daten ( $n$ ,  $\ell$ ,  $L$ ,  $C$ ) der Drosselkette berechnete Punkte ein.
- Entnehmen Sie dem Dispersionsdiagramm bei etlichen Frequenzen die Phasengeschwindigkeit  $v = \omega/k$  sowie die Gruppengeschwindigkeit  $v_G = d\omega/dk$ .

#### 4. Beobachtung der Laufzeit von Gruppen

Erzeugen Sie durch additive Überlagerung zweier Wechselspannungen (beide Generatoren parallel an den Eingang der Drosselkette angeschlossen) etwa gleicher Amplitude aber etwas verschiedener Frequenz ( $\Delta f \ll f$ ) 'Gruppen', nämlich Schwebungen mit deutlichen Minima. Messen Sie mit Hilfe des Zwei-Kanal-Oszilloskops (evtl. unter Benutzung der Bildspeichermöglichkeit, wobei der Betreuer des Versuchs helfen sollte) die Verzögerung des Ausgangs- gegenüber dem Eingangssignal der passend zur jeweiligen Frequenz-

abgeschlossenen Vierpolkette bei verschiedenen Kreisfrequenzen (etwa  $\omega/\omega_0 = 0,3; 0,5; 0,7; 0,8; 0,9; 0,95$ ) und berechnen Sie daraus jeweils die Gruppengeschwindigkeit.

### 5. Ergebnisvergleich

Vergleichen Sie Ergebnisse der Aufgaben 3 und 4 untereinander und mit der Erwartung. Verwenden Sie dafür ein gemeinsames Diagramm. Diskutieren Sie Abweichungen.

### 6. Darstellung der Durchlaßkurve der Drosselkette

Nutzen Sie die Wobbelmöglichkeit eines der Generatoren für die oszilloskopische Darstellung der Durchlaßkurve der Drosselkette bei festem Lastwiderstand  $Z_A = Z_0(\omega \ll \omega_0)$ .

a) Sehen Sie sich anfangs im Zweikanalbetrieb des Oszilloskops beim Wobbeln die Ausgangswechselspannung des Generators und die vom Oszilloskop her dem VCO-Eingang zugeführte Sägezahnspannung an. Variieren Sie dabei die Ablenkgeschwindigkeit des Oszilloskops.

b) Erläutern Sie etwas näher, als in den Klammern angedeutet, die bei der Darstellung der Durchlaßkurve beobachteten Effekte:

Die Durchlaßkurve scheint von der Ablenkgeschwindigkeit des Oszilloskops (Untersuchungsbereich 20 ms/DIV bis 1 ms/DIV) abhängig zu sein ('Einschwingen') und die Durchlaßkurve zeigt ausgeprägte Schwankungen, die dem theoretischen Verlauf zu widersprechen scheinen ('Fehlanpassung').

### Erläuterung zum 'Wobbeln'

Unter Wobbeln versteht man die automatische Frequenzänderung eines Generators zwischen einer minimalen und einer maximalen Frequenz. Der Vorgang kann einmalig oder ständig wiederholt sein.

In der Regel enthalten Wobbelgeneratoren eine Spannungsquelle (z.B. Sägezahnspannung), deren Ausgang das Wobbeln des eigentlichen Generators (VCO, 'Voltage Controlled Oscillator') bewirkt, und stellen diese Spannung an einem gesonderten Ausgang auch nach außen zur Verfügung. Verwendet man diese frequenzproportionale Spannung für die X-Ablenkung eines Oszilloskops, so kann man in Y-Richtung sehr schön frequenzabhängige Größen darstellen. Zum Beispiel erhält man die Durchlaßkurve eines Filters als Einhüllende. Bei diesem Versuch wird ein VCO-Generator ohne eingebaute Wobbelspannungsquelle verwendet. Der Steuereingang für den VCO wird mit dem Sägezahn Ausgang des Oszilloskops (t-Y-Betrieb) verbunden.

Die Polarität der Sägezahnspannung bewirkt, daß die Frequenzachse von rechts nach links läuft. Bei einer Skaleneinstellung um 10 und der Frequenzbereichswahl 'x1kHz' wird ein geeigneter Frequenzbereich (von etwa 20 kHz bis herunter zu etwa 3 kHz) überstrichen.

### Zubehör:

Drosselkette (21  $\pi$ -Glieder mit Längsinduktivität  $L=0,23\text{H}$  und Querkapazitäten  $C/2=0,79\text{ nF}$ ,  $\ell/n=4,5\text{cm}$ , mit einstellbarem und abschaltbarem Lastwiderstand 0 bis 50k $\Omega$ , mit Buchsen nach jedem  $\pi$ -Glieder)

RC-Generator (Typ SRG-418A; Sinus- oder Rechteckspannung, Frequenz (10Hz bis 1MHz) und Amplitude einstellbar, Ausgangswiderstand 600 $\Omega$ )

RC-Generator (Typ FG800A; Sinus-, Dreieck- und Rechteckspannung, Frequenz (0,2Hz bis 200kHz) und Amplitude einstellbar, Ausgangswiderstand 50 $\Omega$ ; außerdem VCO-Steuereingang, der zum Wobbeln mit Sägezahnspannung bestimmt ist, wobei positive Spannung die Frequenz erniedrigt)

Impulszähl- bzw. Frequenzmeßgerät (Typ MAX-100A;  $f \leq 100\text{MHz}$ )

Oszilloskop (Typ HAMEG 205-2; Zwei-Kanal-Betrieb und X-Y-Betrieb sind möglich; Speicherung ist im t-Y-Betrieb für Ablenkgeschwindigkeiten 20 $\mu\text{s}/\text{DIV}$  und langsamer möglich; die positive Sägezahnspannung des Zeitbasisgenerators liegt an einer Buchse auf der Rückseite des Oszilloskops)

Diverse Kabel (Koaxialkabel mit BNC-Steckern und Laborleitungen mit Bananensteckern) sowie Anschluß-, Übergangs- bzw. Verbindungsstücke

### Literatur:

Vilbig: *Lehrbuch der Hochfrequenztechnik*, Band 1

Carter, Schanz (Philips): *Kleine Oszillographenlehre*

Crawford: *Berkeley-Physik-Kurs 3* (Schwingungen und Wellen)

Jüngst: Vorbereitungshilfe zu 'Gruppen- und Phasengeschwindigkeit'