

Hochschule für Telekommunikation Leipzig (HfTL)

Matrikel: DKMI17

**Laborprotokol Netzwerktechnik**  
**Labor**  
**Informations- und Kommunikationstechnik**

Thema: MF02 S-Parameter VNA

Vorgelegt am: 14. April 2020

Vorgelegt von: Marvin Laubenstein  
Marc Hey


Kontakt: s176137@hft-leipzig.de

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>1 Vorbereitung des Versuches</b>	<b>8</b>
1.1 Ziel und Abgrenzung des Versuches . . . . .	8
1.2 Theoretische Voraussetzungen . . . . .	8
1.3 Vorbereitende Aufgaben . . . . .	8
1.3.1 Begriffe . . . . .	8
1.3.2 Tiefpass (proportionales System mit Verzögerung) . . . . .	8
1.3.3 Hochpass (differenzierendes Übertragungsglied mit Verzögerung) . .	9
1.3.4 Schwingkreis . . . . .	9
<b>2 Durchführung des Versuchs</b>	<b>10</b>
2.1 Versuchseinrichtung . . . . .	10
2.2 Methodische Hinweise . . . . .	10
2.3 Aufgabenstellung . . . . .	10
2.3.1 Tiefpass (proportionales System mit Verzögerung) . . . . .	10
2.3.2 Hochpass (differenzierendes Übertragungsglied mit Verzögerung) . .	11
2.3.3 Schwingkreis . . . . .	11
<b>3 Auswertung</b>	<b>12</b>
3.1 Tiefpass (proportionales System mit Verzögerung) . . . . .	12
3.2 Hochpass (differenzierendes Übertragungsglied mit Verzögerung) . . . . .	12
3.3 Schwingkreis . . . . .	12

# Abbildungsverzeichnis

# Abkürzungsverzeichnis

 <b>Deutsche Telekom</b>	<b>Signale und Systeme</b> -Labor-	Hochschule für Telekommunikation Leipzig
---	---------------------------------------	---

### Versuchsanleitung

Thema: **Grundübertragungsglieder im Zeitbereich**

Erarbeitet von: Prof. Dr. Ines Rennert

Matthias Wolf

Sebastian Schön

Stand : WS 2011/2012

## **1 Vorbereitung des Versuches**

### **1.1 Ziel und Abgrenzung des Versuches**

In diesem Versuch sollen die theoretischen Kenntnisse zu Ausgleichsvorgängen an einfachen Vierpolen vertieft werden. Es werden Sprung- und Rechteckimpulsantworten eines Tiefpasses, auch bezeichnet als proportionales System mit Verzögerung, eines Hochpasses, auch bezeichnet als differenzierenden System mit Verzögerung, und eines Schwingkreises untersucht.

### **1.2 Theoretische Voraussetzungen**

Wiederholen Sie in Vorbereitung auf diesen Versuch die Beschreibung zeitkontinuierlicher Systeme im Zeit- und Bildbereich.

### **1.3 Vorbereitende Aufgaben**

#### **1.3.1 Begriffe**

Wie sind die Signalgrößen Anstiegs- und Abfallzeit, Dachabfall, Impulsdauer und Überschwingen definiert?

Wie sind die Systemantworten Übergangsfunktion und Sprungantwort definiert?

### 1.3.2 Tiefpass (proportionales System mit Verzögerung)

Ein proportionales System mit Verzögerung 1. Ordnung ist in Bild 1 dargestellt.

- Geben Sie die Übertragungsfunktion  $G(p)$ , die Übertragungskonstante  $K_P$  und die Zeitkonstante  $T_1$  an.
- Ermitteln Sie die Sprung- und Impulsantwort. Skizzieren Sie deren qualitativen Verlauf und tragen Sie die Zeitkonstante  $T_1$  in  $h(t)$  ein.
- Wie lang sind die Anstiegszeiten für einen Sprung bei  $T_1 = 100 \mu\text{s}$  und  $T_1 = 1 \text{ ms}$ ?
- Berechnen Sie  $R_2$  für die beiden Zeitkonstanten.
- Welche Impulsfolgefrequenz ist bei einem Tastgrad  $k = 0,2$  und einer Systemzeitkonstante  $T_1 = 1 \text{ ms}$  zu wählen, um den Ausgleichsvorgang darzustellen?

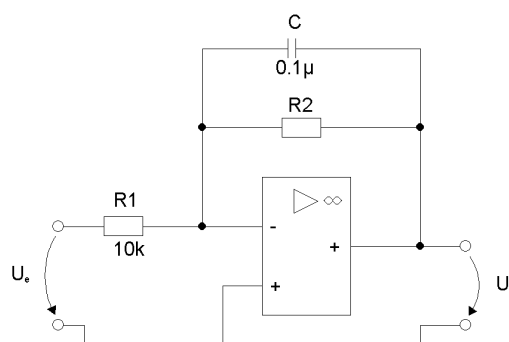


Bild 1: Proportionales System mit Verzögerung 1. Ordnung

### 1.3.3 Hochpass (differenzierendes Übertragungsglied mit Verzögerung)

Ein differenzierendes Übertragungsglied mit Verzögerung 1. Ordnung ist in Bild 2 dargestellt.

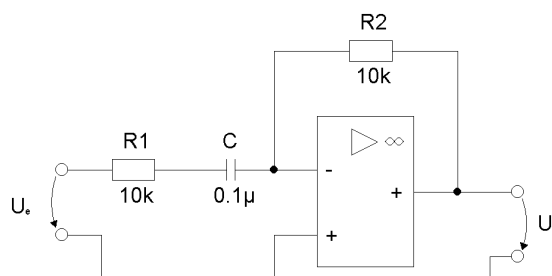


Bild 2: Differenzierendes Übertragungsglied mit Verzögerung 1. Ordnung

Geben Sie die Übertragungsfunktion  $G(p)$ , die Übertragungskonstante  $K_D$  und die Zeitkonstante  $T_1$  an.

Ermitteln Sie die Sprungantwort und skizzieren Sie deren qualitativen Verlauf.

Wie lang ist die Abfallzeit der Sprungantwort bei einer Zeitkonstante  $T_1 = 1 \text{ ms}$ ?

Nach welcher Zeit tritt ein Dachabfall von 10% auf?

#### 1.3.4 Schwingkreis

Eine mögliche Realisierungsform des Schwingkreises ist in Bild 3 dargestellt.

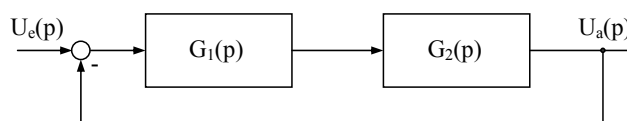


Bild 3: Schema des rückgekoppelten Systems

Die Berechnung der Gesamtübertragungsfunktion erfolgt formal nach folgender Gleichung:

$$\frac{U_a(p)}{U_e(p)} = \frac{G_1(p) \cdot G_2(p)}{1 + G_1(p) \cdot G_2(p)}$$

Elektronisch wird der Schwingkreis durch ein aktives RC-Filter mit einstellbarer Zeitkonstante und Proportionalitätsfaktor sowie einem Integrierer realisiert.

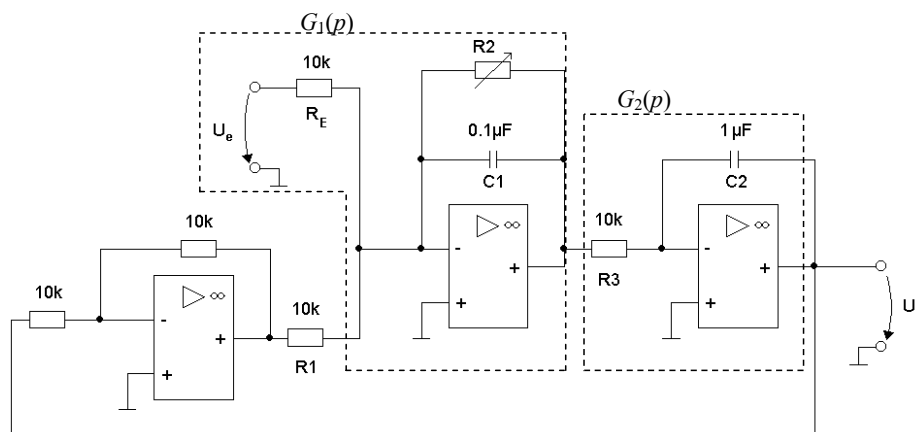


Bild 4: Schwingkreis

Geben Sie die Gesamtübertragungsfunktion an, und berechnen Sie die Konstanten  $K_P$ ,  $K_I$  und

$T_1$ . Wandeln Sie die Gesamtübertragungsfunktion in die Form  $G(p) = \frac{1}{p^2 T^2 + p 2DT + 1}$  um,

und geben Sie  $T$  und  $D$  allgemein an.

Wie groß muss  $R_2$  sein, so dass bei diesem Schwingkreis der Kriechfall, der aperiodische Grenzfall oder ein abklingender periodischer Vorgang auftritt?

Ermitteln Sie mittels Übergangsfunktion die Anstiegszeit im aperiodischen Grenzfall.

Überlegen Sie, welches Rechtecksignal man am Eingang des Systems anlegen muss, um die Ausgleichsvorgänge anschaulich darzustellen zu können. Welchen Tastgrad muss man einstellen? Sollte die Impulsfolgefrequenz größer oder kleiner als die Eigenfrequenz des Systems mit periodischem Vorgang sein?

Wie ist  $R_2$  festzulegen, um eine stationäre Schwingung zu erhalten?

Wie ändert sich durch Variation von  $R_2$  das Systemverhalten dieses Übertragungsgliedes?

Welche Eigenfrequenz und Periodendauer hat dieser Schwingkreis?

## 2 Durchführung des Versuchs

### 2.1 Versuchseinrichtungen

Analog – Board	hps 3220
Pulsgenerator	PM5715
Zweikanaloszilloskop	PM3370B
Drucker	Epson SQ2550

### 2.2 Methodische Hinweise

Lesen Sie zunächst die am Versuchsplatz ausliegende Kurzanleitung zur Einstellung des Pulsgenerators.

Beachten Sie, dass in Aufgabe 2.3 durch die OPV - Beschaltung eine Invertierung stattfindet. Berücksichtigen Sie dies bei der Einstellung des Oszilloskopes.

Zur sicheren Abbildung ist das Oszilloskop extern aus dem Pulsgenerator zu triggern. Arbeiten Sie im Digital - Modus, um die Ergebnisse auch ausdrucken zu können. Drucken Sie das Ausgangssignal immer gemeinsam mit dem Eingangssignal des Systems in einem Bild aus. Koppeln Sie die Signale direkt mit dem Oszilloskop (DC – Modus).



## 2.3 Aufgabenstellung

### 2.3.1 Tiefpass (proportionales System mit Verzögerung)

Stellen Sie am Pulsgenerator eine Rechteckimpulsfolge mit einer Frequenz  $f = 40 \text{ Hz}$ , einem Tastgrad  $k = 0,2$  und positiven Impulsen von  $1 \text{ V}$  Maximalspannung ein.

- a) Stecken Sie einen Tiefpass mit einer Zeitkonstante  $T_1 = 1 \text{ ms}$ .
  - Messen Sie die Zeitkonstante, Anstiegszeit und Impulsdauer.
  - Drucken Sie das Ein- und Ausgangssignal aus.
- b) Verändern Sie die Zeitkonstante auf  $100 \text{ } \mu\text{s}$ , indem Sie den Widerstand  $R_2$  im Rückkoppelzweig mit einen  $1 \text{ k}\Omega$  - Widerstand ersetzen.
  - Messen Sie die Zeitkonstante, Anstiegszeit und Impulsdauer.
  - Drucken Sie das Ein- und Ausgangssignal aus.
  - Warum ändert sich der stationäre Endwert?
- c) Verringern Sie die Impulsdauer des Eingangssignals auf  $200 \text{ } \mu\text{s}$ . Die Zeitkonstante wird wieder auf  $1 \text{ ms}$  erhöht.
  - Wie groß ist die maximale Spannung des Ausgangssignals?
  - Stellen Sie das Signal über zwei Perioden dar, und drucken Sie das Oszillogramm aus.

### 2.3.2 Hochpass (differenzierendes Übertragungsglied mit Verzögerung)

Stecken Sie einen Hochpass mit einer Zeitkonstante von  $1 \text{ ms}$ .

- a) Stellen Sie eine Impulsdauer von  $5 \text{ ms}$  ein. Behalten sie die Frequenz  $f = 40 \text{ Hz}$  bei.
  - Ermitteln Sie durch geeignete Messung aus dem Oszillogramm die Zeitkonstante des Systems, sowie die Abfallzeit  $t_f$  der Sprungantwort.
  - Drucken Sie die Sprungantwort, dargestellt über  $10 \text{ ms}$  ( $2t_i$ ), aus.
- b) Ändern Sie die Impulsdauer bis ein Dachabfall von  $10\%$  auftritt. Welche Impulsdauer hat das Eingangssignal?

### 2.3.3 Schwingkreis

Bauen Sie ein rückgekoppeltes System nach Bild 4 auf.

Stellen Sie eine Rechteckimpulsfolge mit einer Frequenz von  $10 \text{ Hz}$  und einem Tastgrad  $k = \frac{1}{2}$  ein, um den Ausgleichsvorgang darzustellen.

Variieren Sie den Widerstand  $R_2$ , um aperiodische und abklingende periodische Vorgänge zu erzeugen.

- Drucken Sie von allen drei Fällen (Kriechfall, aper. Grenzfall, gedämpfte Schwingung) das Oszillogramm für mindestens eine Periode aus.
- Messen Sie  $R_2$  im aperiodischen Grenzfall.  
Stellen Sie  $R_2$  auf den in Ihrer Vorbereitung errechneten Wert für den aper. Grenzfall ein. Messen Sie die Anstiegszeit. Kann man am Oszilloskop den Übergang vom aperiodischen Grenzfall zum Kriechfall bzw. zum periodischen Vorgang genau ermitteln?
- Ändern Sie  $R_2$  bis ein Überschwingen von 20% des stationären Endwertes auftritt. Wie groß ist  $R_2$ ? Drucken Sie das Ausgangssignal.
- Für das Erzeugen von stationären Schwingungen ändern Sie die Schaltung in der in Bild 5 angegebenen Weise.

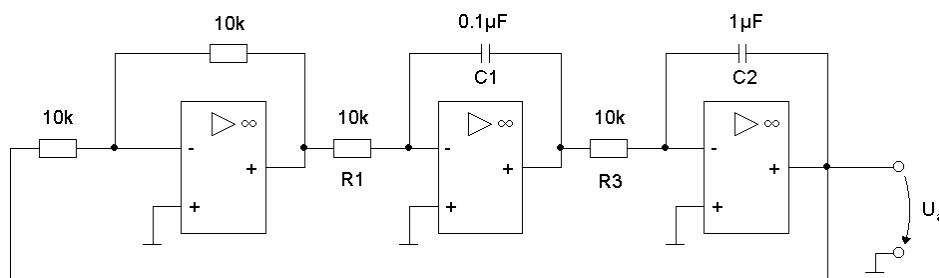


Bild 5: Schaltung des Oszillators

Legen Sie kein Eingangssignal an den Oszillator an. Unterbrechen Sie kurzzeitig den Massekontakt am positiven Eingang des Rückkopplungs – OPV. Das System sollte nun anschwingen. Gegebenenfalls müssen Sie die Unterbrechung wiederholen, um am Oszilloskop die maximale Schwingungsamplitude zu erkennen.

- Welche Periodendauer und Frequenz stellt sich ein?
- Drucken Sie das Ausgangssignal aus.
- Was beobachten Sie für den zeitlichen Verlauf der Amplitude?

### **3 Auswertung**

#### **3.1 Tiefpass (*proportionales System mit Verzögerung*)**

- a) Vergleichen Sie für beide Zeitkonstanten die Anstiegszeiten der Sprungantwort mit denen der Vorbereitung und werten Sie diese aus.
- b) Vergleichen Sie die Systemantworten mit denen der Vorbereitung.
- c) Welche Eigenschaft besitzt das Netzwerk bezüglich des Eingangssignals (2.3.1c)? Durch welche mathematische Funktion kann der Spannungsverlauf innerhalb der Impulsdauer  $T_i$  in guter Näherung angegeben werden? Geben Sie diese Funktion an und berechnen Sie damit den Maximalwert der Ausgangsspannung.

#### **3.2 Hochpass (*differenzierendes Übertragungsglied mit Verzögerung*)**

- a) Vergleichen Sie die Sprungantwort und die Messwerte mit der Vorbereitung und werten Sie diese aus.
- b) Berechnen Sie aus gemessener Impulsdauer und Systemzeitkonstante den Dachabfall (Aufg. 2.3.2 b). Welche Schlussfolgerungen ziehen Sie daraus für die Übertragung von Rechteckimpulsen ohne nennenswerte Verformung?

#### **3.3 Schwingkreis**

- a) Vergleichen Sie für den aperiodischen Grenzfall und die stationäre Schwingung Ihre Messergebnisse mit der Vorbereitung und werten Sie diese aus.
- b) Stellen Sie den P/N - Plan für den aperiodischen Grenzfall und die stationäre Schwingung dar und geben Sie Auskunft über das Stabilitätsverhalten.
- c) Welcher Zusammenhang besteht zwischen Polpaar und Periodendauer im Fall der stationären Schwingung?
- d) Erklären Sie, warum der zeitliche Verlauf der Amplitude nicht der Theorie entspricht.

# 1 Vorbereitung des Versuches

## 1.1 Ziel und Abgrenzung des Versuches

In diesem Versuch sollen die theoretischen Kenntnisse zu Ausgleichsvorgängen an einfachen Vierpolen vertieft werden. Es werden Sprung- und Rechteckimpulsantworten eines Tiefpasses, auch bezeichnet als proportionales System mit Verzögerung, eines Hochpasses, auch bezeichnet als differenzierenden System mit Verzögerung, und eines Schwingkreises untersucht.

## 1.2 Theoretische Voraussetzungen

Wiederholen Sie in Vorbereitung auf diesen Versuch die Beschreibung zeitkontinuierlicher Systeme im Zeit- und Bildbereich.

## 1.3 Vorbereitende Aufgaben

### 1.3.1 Begriffe

Wie sind die Signalgrößen Anstiegs- und Abfallzeit, Dachabfall, Impulsdauer und Überschwingen definiert?

Wie sind die Systemantworten Übergangsfunktion und Sprungantwort definiert?

### 1.3.2 Tiefpass (proportionales System mit Verzögerung)

Ein proportionales System mit Verzögerung 1. Ordnung ist in Bild 1 dargestellt.

- a) Geben Sie die Übertragungsfunktion  $G(p)$ , die Übertragungskonstante  $K_P$  und die Zeitkonstante  $T_1$  an.
- b) Ermitteln Sie die Sprung- und Impulsantwort. Skizzieren Sie deren qualitativen Verlauf und tragen Sie die Zeitkonstante  $T_1$  in  $h(t)$  ein.

- c) Wie lang sind die Anstiegszeiten für einen Sprung bei  $T_1 = 100\mu s$  und  $T1 = 1ms$ ?
- d) Berechnen Sie R2 für die beiden Zeitkonstanten.
- e) Welche Impulsfrequenz ist bei einem Tastgrad  $k = 0,2$  und einer Systemzeitkonstante  $T1 = 1ms$  zu wählen, um den Ausgleichsvorgang darzustellen

### 1.3.3 Hochpass (differenzierendes Übertragungsglied mit Verzögerung)

Ein differenzierendes Übertragungsglied mit Verzögerung 1. Ordnung ist in Bild 2 dargestellt.

Geben Sie die Übertragungsfunktion  $G(p)$ , die Übertragungskonstante KD und die Zeitkonstante  $T1$  an.

Ermitteln Sie die Sprungantwort und skizzieren Sie deren qualitativen Verlauf.

Wie lang ist die Abfallzeit der Sprungantwort bei einer Zeitkonstante  $T1 = 1ms$ ?

Nach welcher Zeit tritt ein Dachabfall von 10% auf ?

### 1.3.4 Schwingkreis

Eine mögliche Realisierungsform des Schwingkreises ist in Bild 3 dargestellt.

Die Berechnung der Gesamtübertragungsfunktion erfolgt formal nach folgender Gleichung:

$$\frac{U_a(p)}{U_e(p)} = \frac{G_1(p) * G_2(p)}{1 + G_1(p) * G_2(p)} \quad (1)$$

Elektronisch wird der Schwingkreis durch ein aktives RC-Filter mit einstellbarer Zeitkonstante und Proportionalitätsfaktor sowie einem Integrierer realisiert.

Geben Sie die Gesamtübertragungsfunktion an, und berechnen Sie die Konstanten KP, KI und T1. Wandeln Sie die Gesamtübertragungsfunktion in die Form  $G(p) = \frac{1}{p^2T^2 + p^2DT + 1}$  um, und geben Sie T und D allgemein an. Wie groß muss R2 sein, sodass bei diesem Schwingkreis der Kriechfall, der aperiodische Grenzfall oder ein abklingender periodischer Vorgang auftritt?

Ermitteln Sie mittels Übergangsfunktion die Anstiegszeit im aperiodischen Grenzfall.

Überlegen Sie, welches Rechtecksignal man am Eingang des Systems anlegen muss, um die Ausgleichsvorgänge anschaulich darzustellen zu können. Welchen Tastgrad muss man einstellen?

Sollte die Impulsfrequenz größer oder kleiner als die Eigenfrequenz des Systems

mit periodischem Vorgang sein?

Wie ist  $R_2$  festzulegen, um eine stationäre Schwingung zu erhalten?

Wie ändert sich durch Variation von  $R_2$  das Systemverhalten dieses Übertragungsgliedes?

Welche Eigenfrequenz und Periodendauer hat dieser Schwingkreis?

## 2 Durchführung des Versuchs

### 2.1 Versuchseinrichtung

Analog – Board hps 3220

Pulsgenerator PM5715

Zweikanaloszilloskop PM3370B

Drucker Epson SQ2550

### 2.2 Methodische Hinweise

Lesen Sie zunächst die am Versuchsplatz ausliegende Kurzanleitung zur Einstellung des Pulsgenerators.

Beachten Sie, dass in Aufgabe 2.3 durch die OPV - Beschaltung eine Invertierung stattfindet. Berücksichtigen Sie dies bei der Einstellung des Oszilloskopes. Zur sicheren Abbildung ist das Oszilloskop extern aus dem Pulsgenerator zu triggern. Arbeiten Sie im Digital - Modus, um die Ergebnisse auch ausdrucken zu können. Drucken Sie das Ausgangssignal immer gemeinsam mit dem Eingangssignal des Systems in einem Bild aus. Koppeln Sie die Signale direkt mit dem Oszilloskop (DC – Modus).

### 2.3 Aufgabenstellung

#### 2.3.1 Tiefpass (proportionales System mit Verzögerung)

Stellen Sie am Pulsgenerator eine Rechteckimpulsfolge mit einer Frequenz  $f = 40\text{Hz}$ , einem Tastgrad  $k = 0,2$  und positiven Impulsen von 1V Maximalspannung ein.

- a) Stecken Sie einen Tiefpass mit einer Zeitkonstante  $T_1 = 1\text{ms}$ .
  - Messen Sie die Zeitkonstante, Anstiegszeit und Impulsdauer.
  - Drucken Sie das Ein- und Ausgangssignal aus.

- b) Verändern Sie die Zeitkonstante auf  $100\mu s$ , indem Sie den Widerstand  $R2$  im Rückkoppelzweig mit einen  $1k\Omega$  Widerstand ersetzen.
  - Messen Sie die Zeitkonstante, Anstiegszeit und Impulsdauer.
  - Drucken Sie das Ein- und Ausgangssignal aus.
  - Warum ändert sich der stationäre Endwert?
- c) Verringern Sie die Impulsdauer des Eingangssignals auf  $200\mu s$ . Die Zeitkonstante wird wieder auf  $1ms$  erhöht.
  - Wie groß ist die maximale Spannung des Ausgangssignals?
  - Stellen Sie das Signal über zwei Perioden dar, und drucken Sie das Oszillogramm aus.

### 2.3.2 Hochpass (differenzierendes Übertragungsglied mit Verzögerung)

Stecken Sie einen Hochpass mit einer Zeitkonstante von 1 ms.

- a) Stellen Sie eine Impulsdauer von 5 ms ein. Behalten sie die Frequenz  $f = 40Hz$  bei.
  - Ermitteln Sie durch geeignete Messung aus dem Oszillogramm die Zeitkonstante des Systems, sowie die Abfallzeit  $t_f$  der Sprungantwort.
  - Drucken Sie die Sprungantwort, dargestellt über 10 ms ( $2t_i$ ), aus.
- b) Ändern Sie die Impulsdauer bis ein Dachabfall von 10% auftritt.
  - Welche Impulsdauer hat das Eingangssignal?

### 2.3.3 Schwingkreis

Bauen Sie ein rückgekoppeltes System nach Bild 4 auf.

Stellen Sie eine Rechteckimpulsfolge mit einer Frequenz von 10 Hz und einem Tastgrad  $k = 0,5$  ein, um den Ausgleichsvorgang darzustellen.

Variieren Sie den Widerstand  $R2$ , um aperiodische und abklingende periodische Vorgänge zu erzeugen.

- a) Drucken Sie von allen drei Fällen (Kriechfall, aper. Grenzfall, gedämpfte Schwingung) das Oszillogramm für mindestens eine Periode aus.
- b) Messen Sie  $R2$  im aperiodischen Grenzfall. Stellen Sie  $R2$  auf den in Ihrer Vorbereitung errechneten Wert für den aper. Grenzfall ein. Messen Sie die Anstiegszeit. Kann man am Oszilloskop den Übergang vom aperi-odischen Grenzfall zum Kriechfall bzw. zum periodischen Vorgang genau ermitteln?

- c) Ändern Sie R2 bis ein Überschwingen von 20% des stationären Endwertes auftritt. Wie groß ist R2? Drucken Sie das Ausgangssignal.
- d) Für das Erzeugen von stationären Schwingungen ändern Sie die Schaltung in der in Bild 5 angegebenen Weise.

## 3 Auswertung

### 3.1 Tiefpass (proportionales System mit Verzögerung)

- a) Vergleichen Sie für beide Zeitkonstanten die Anstiegszeiten der Sprungantwort mit denen der Vorbereitung und werten Sie diese aus.
- b) Vergleichen Sie die Systemantworten mit denen der Vorbereitung.
- c) Welche Eigenschaft besitzt das Netzwerk bezüglich des Eingangssignals (2.3.1c)? Durch welche mathematische Funktion kann der Spannungsverlauf innerhalb der Impulsdauer  $T_i$  in guter Näherung angegeben werden? Geben Sie diese Funktion an und berechnen Sie damit den Maximalwert der Ausgangsspannung.

### 3.2 Hochpass (differenzierendes Übertragungsglied mit Verzögerung)

- a) Vergleichen Sie die Sprungantwort und die Messwerte mit der Vorbereitung und werten Sie diese aus.
- b) Berechnen Sie aus gemessener Impulsdauer und Systemzeitkonstante den Dachabfall (Aufg. 2.3.2 b). Welche Schlussfolgerungen ziehen Sie daraus für die Übertragung von Rechteckimpulsen ohne nennenswerte Verformung?

### 3.3 Schwingkreis

- a) Vergleichen Sie für den aperiodischen Grenzfall und die stationäre Schwingung Ihre Messergebnisse mit der Vorbereitung und werten Sie diese aus.
- b) Stellen Sie den P/N - Plan für den aperiodischen Grenzfall und die stationäre Schwingung dar und geben Sie Auskunft über das Stabilitätsverhalten.
- c) Welcher Zusammenhang besteht zwischen Polpaar und Periodendauer im Fall der stationären Schwingung?
- d) Erklären Sie, warum der zeitliche Verlauf der Amplitude nicht der Theorie entspricht.