LEHRSTUHL UND INSTITUT
FÜR ELEKTRISCHE UND OPTISCHE
NACHRICHTENTECHNIK
PROFESSOR DR.-ING. MANFRED BERROTH

Universität Stuttgart

Nachdruck verboten

Schriftliche Prüfung im Fach Schaltungstechnik I/II

am 22.02.2022

16:00 Uhr bis 19:00 Uhr

Es sind alle schriftlichen Hilfsmittel und ein Taschenrechner erlaubt!

Der Taschenrechner darf kein Computer-Algebra-System (CAS) oder eine drahtlose Kommunikationsschnittstelle beinhalten.

Name:	
Vorname:	
Matrikelnummer:	
Studienfach:	
Sitzplatz:	
Unterschrift:	

Das Ergebnis Ihrer Prüfung erfahren Sie über das CAMPUS Portal der Universität Stuttgart: https://campus.uni-stuttgart.de

---

Wird vom Institut ausgefüllt:

Aufgabe	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	Summe
1						-	-	-	
2								-	
3								-	
4								-	

Gesamtpunktzahl:	
Note:	

A u f g a b e 1: Nichtlineare Schaltung

Für einen Temperatursensor wird eine Messbrücke nach Abbildung 1 verwendet. Der Widerstand R_1 hat einen positiven Temperaturkoeffizienten. Die Widerstandswerte R_0, R_2, R_3 und R_4 sind temperaturunabhängig. Aufgrund des durch R_1 fließenden Stroms und der damit einhergehenden Verluste wärmt sich der Widerstand zusätzlich auf. Die Modellgleichung ist gegeben mit

$$R_1 = R_0 e^{b(T_{R1} - T_0)} \quad \text{wobei} \quad T_{R1} = T_{\text{amb}} + a \cdot U_1^2$$

T_{amb} beschreibt hierbei die Umgebungstemperatur des Widerstandes R_1. Folgende Bauteilwerte sind gegeben:

$R_0 = R_2 = R_3 = R_4 = 1\ \text{k}\Omega$ $\quad a = 0{,}5\ \text{K/V}^2$ $\quad b = 0{,}1\ \text{K}^{-1}$ $\quad T_0 = 300\ \text{K}$

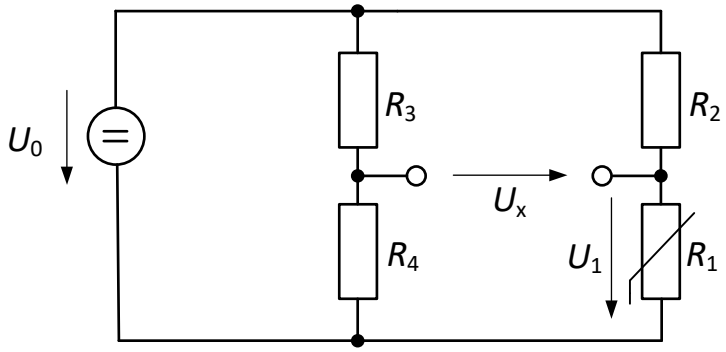


Abbildung 1: Messbrücke für Temperaturmessung

a) Bestimmen Sie allgemein $U_x(T_{\text{amb}}, U_1)$.

b) Bei einer Umgebungstemperatur von $T_{\text{amb}} = 280\ \text{K}$ wird $U_x = 0\ \text{V}$ gemessen. Berechnen Sie die Versorgungsspannung U_0. Welche Temperatur herrscht im Widerstand R_1?

c) Zur Bestimmung der Temperatur im Widerstand R_1 bei einer beliebigen Umgebungstemperatur eignet sich das Newton-Raphson-Verfahren. Geben Sie den Algorithmus für die Berechnung der Spannung U_1 in Abhängigkeit der Bauelementwerte und T_{amb} an.

An R_1 wird nun ein Kühlkörper angebracht, sodass der Selbsterwärmungseffekt vernachlässigt werden kann. Es gilt: $T_{R1} = T_{\text{amb}}$.

d) Geben Sie die an der Stelle $T_{\text{amb},1} = 310\ \text{K}$ linearisierte Funktion $U_{XL}(T_{\text{amb}})$ der Funktion $U_x(T_{\text{amb}})$ an.

e) Zur Messung von U_x wird nun ein Messgerät mit dem Messwiderstand $R_{\text{M}} = R_0$ an die Klemmen angeschlossen. Welches U_x stellt sich für $T_{\text{amb}} = 310\ \text{K}$ ein?

A u f g a b e 2: Vierpolschaltung

Die in Abbildung 2 dargestellte Vierpolschaltung soll zunächst durch zwei parallel geschaltete Teilvierpole betrieben werden.

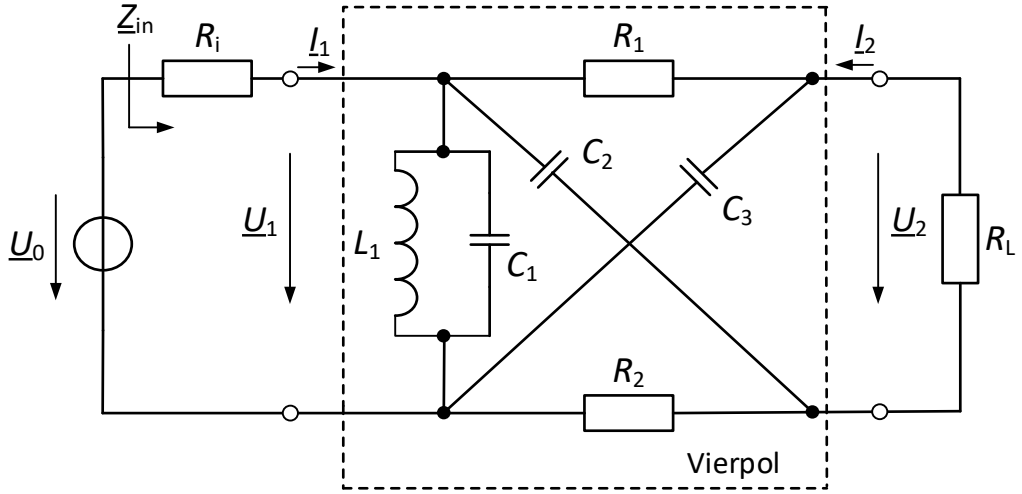


Abbildung 2: Vierpolschaltung

a) Bestimmen Sie für die Teilschaltung mit den Elementen L_1, C_1, R_1 und R_2 die Leitwertparameter anhand der Definitionsgleichungen.

b) Geben Sie die Teilschaltung mit den Elementen C_2 und C_3 in Leitwertform an.

Es gilt nun: $L_1 = L$, $C_1 = C_2 = C_3 = C$ und $R_1 = R_2 = R$.

c) Bestimmen Sie die Vierpolmatrix $[\underline{Y}_{\mathrm{ges}}]$ des Gesamtvierpols in Leitwertform in Abhängigkeit der Bauelementwerte.

d) Der Gesamtvierpol wird nun mit dem Widerstand R_L an Tor 2 beschaltet. Bestimmen Sie die Wirkungsfunktion $\underline{F}_A = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$ in Abhängigkeit der Leitwertparameter von $[\underline{Y}_{\mathrm{ges}}]$.

e) Nun wird am Eingang die sinusförmige Spannungsquelle $\underline{U}_0$ mit dem Innenwiderstand R_i ergänzt. Geben Sie die Wirkungsfunktion $\underline{F}_G = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_0}$ in Abhängigkeit der Leitwertparameter von $[\underline{Y}_{\mathrm{ges}}]$ an.

Das Tor 2 sei nun kurzgeschlossen, d. h. $\underline{U}_2 = 0\ \mathrm{V}$.

f) Skizzieren Sie schrittweise die Ortskurve von $\underline{Z}_{\mathrm{in}}$ und beschriften Sie diese. Bestimmen und kennzeichnen Sie die Frequenz ω_0 bei der Phasenresonanz vorliegt.

g) Welche Wirkleistung wird in R_1 bei der Frequenz ω_0 umgesetzt? Geben Sie diese in Abhängigkeit der Bauelemente und $\underline{U}_0$ an.

A u f g a b e 3: Fotoempfänger

Der optische Empfänger in Übertragungssystemen verwendet eine Fotodiode, deren Ersatzschaltbild in Abbildung 3 gegeben ist. Das einfallende Licht erzeugt einen Fotostrom $i_p(t)$, dessen Verlauf in Abbildung 4 gegeben ist.

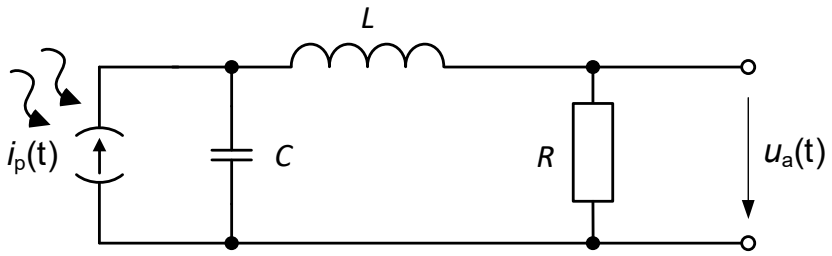


Abbildung 3: Ersatzschaltbild einer Fotodiode

a) Geben Sie allgemein die Wirkungsfunktion $\underline{Z}_T(j\omega) = \frac{\underline{U}_a(j\omega)}{\underline{I}_p(j\omega)}$ an, die eine Transimpedanz darstellt.

b) Gegeben sind, **nur** für diesen Aufgabenteil, die folgenden Zahlenwerte:

$$C = 1\ \text{pF} \qquad L = 500\ \text{pH} \qquad R = 1\ \text{k}\Omega$$

Skizzieren Sie den asymptotischen Betragsfrequenzgang und den asymptotischen Phasenverlauf der Transimpedanzfunktion $\underline{Z}_T(j\omega)$. Normieren Sie mit $R_0 = 1\ \Omega$.

c) Durch den Lichtimpuls wird ein gaußförmiger Stromimpuls generiert. Der Fotostrom $i_p(t)$ in Abbildung 4 ist gegeben mit:

$$i_p(t) = I_0\, e^{-\frac{t^2}{\gamma^2}}$$

Geben Sie die Spektraldichtefunktion $\underline{I}_p(f)$ des Stromimpulses an.

d) Bestimmen Sie die Fouriertransformierte des Ausgangssignals $\underline{U}_a(f)$.

Im Folgenden wird als Eingangssignal vereinfacht ein Rechteckimpuls mit $T_1 > 0\ s$ betrachtet:

$$i_{p,e}(t) = \frac{I_0}{\sqrt{2}}\big(s(t) - s(t - T_1)\big)$$

e) Geben Sie die Laplacetransformierte des neuen Eingangsimpulses $i_{p,e}(t)$ an.

f) Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf der Ausgangsspannung $u_a(t)$, wenn der vereinfachte Stromimpuls $i_{p,e}(t)$ an die Schaltung angelegt wird. Für die Wirkungsfunktion $\underline{Z}_T(j\omega)$ liege der Fall der starken Dämpfung vor.

g) Berechnen Sie allgemein den Wert von T_1, für den der Impuls $i_{p,e}(t)$ die gleiche Ladung an die Schaltung abgibt wie der Impuls $i_p(t)$ nach c).

Hinweis: Der Formelsammlung können Sie den folgenden Zusammenhang entnehmen:

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-a^2x^2}\,dx = \frac{\sqrt{\pi}}{a} \quad \text{für} \quad a > 0$$

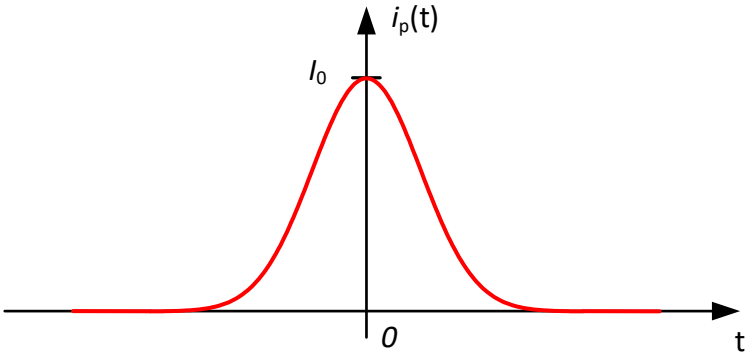


Abbildung 4: Gaußförmiger Fotostromverlauf

A u f g a b e 4: Laplace-Transformation

Es wird die Verstärkerschaltung nach Abbildung 5 betrachtet.

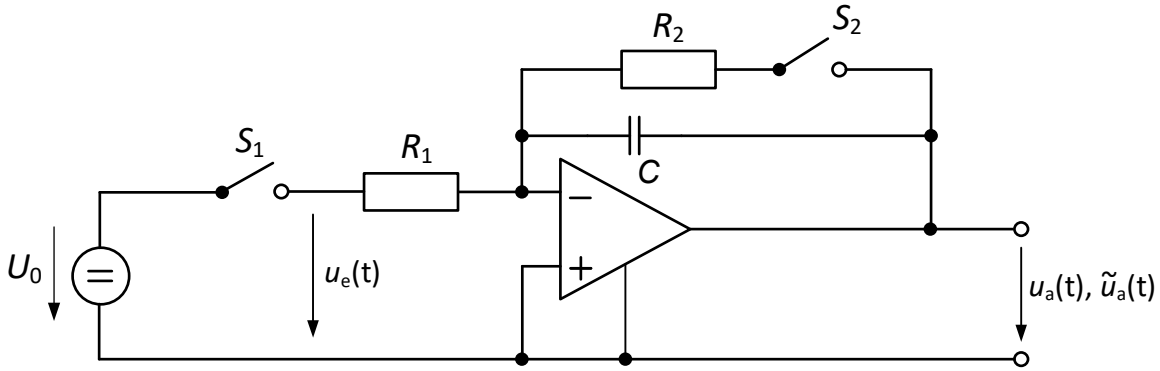


Abbildung 5: Operationsverstärkerschaltung

Zunächst sind die Schalter S_1 und S_2 geöffnet und der Verstärker kann als idealer Operationsverstärker betrachtet werden. Die Kapazität C sei für $t = 0\ \mathrm{s}$ entladen.

a) Bestimmen Sie die Wirkungsfunktion

$$\underline{F}(p) = \frac{\underline{U_a}(p)}{\underline{U_e}(p)}$$

b) Zum Zeitpunkt $t = 0\ \mathrm{s}$ wird der Schalter S_1 geschlossen. Bestimmen Sie $\underline{U_a}(p)$ und geben Sie den zeitlichen Verlauf $u_a(t)$ mithilfe der inversen Laplace-Transformation an.

c) Zum Zeitpunkt $t = t_1$, $t_1 > 0\ \mathrm{s}$ wird der Schalter S_1 geöffnet und der Schalter S_2 geschlossen. Welche Ausgangsspannung $U_{a1} = u_a(t_1)$ ergibt sich? Bestimmen Sie $u_a(t)$ für $t \geq t_1$ in Abhängigkeit von U_{a1}.

d) Skizzieren Sie den Verlauf von $u_a(t)$ im Bereich $0 \leq t \leq 2\ \mathrm{ns}$ für die folgenden Zahlenwerte:

$$t_1 = 1\ \mathrm{ns} \qquad R_1 = 1\ \mathrm{k\Omega} \qquad R_2 = 10\ \Omega \qquad C = 1\ \mathrm{pF} \qquad U_0 = 1\ \mathrm{V}$$

In den folgenden Aufgabenteilen weise der Operationsverstärker den Frequenzgang $\underline{V}(j\omega) = \frac{\omega_g}{j\omega}$ auf. Es wird erneut der Zeitraum $0 \leq t \leq t_1$ betrachtet. Die Schalter S_1 und S_2 sind zunächst geöffnet, die Kapazität C sei für $t = 0\ \mathrm{s}$ entladen.

e) Bestimmen Sie allgemein doppelbruchfrei die Wirkungsfunktion $\underline{\tilde{F}}(p) = \frac{\underline{\tilde{U}_a}(p)}{\underline{U_e}(p)}$ der Schaltung unter Berücksichtigung des Frequenzgangs $\underline{V}(j\omega)$ des Operationsverstärkers.

f) Zum Zeitpunkt $t = 0\ \mathrm{s}$ wird der Schalter S_1 geschlossen. Bestimmen Sie allgemein den Verlauf von $\tilde{u}_a(t)$ für die Wirkungsfunktion nach e).

g) Welche stationäre relative Abweichung $\lim\limits_{t\to\infty} \frac{\tilde{u}_a(t)}{u_a(t)}$ ergibt sich allgemein zwischen den Lösungen aus b) und f)? Berechnen Sie den Zahlenwert für $\omega_g = 200\ \mathrm{GHz}$ und die Zahlenwerte nach d). Gehen Sie davon aus, dass nur der Schaltvorgang bei $t = 0\ \mathrm{s}$ stattfindet.