



Nachdruck verboten

Schriftliche Prüfung im Fach Schaltungstechnik I/II

am 09. August 2022

14:00 Uhr bis 17:00 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:	

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)	Summe
1							-	
2								
3								
4								

Gesamtpunktzahl:	
Note:	

Aufgabe 1: Nichtlineare Schaltung

Zenerdioden werden als Schutzschaltung gegen Überspannung eingesetzt. Für Gleichspannungen kann eine Schaltung nach Abbildung 1 verwendet werden.

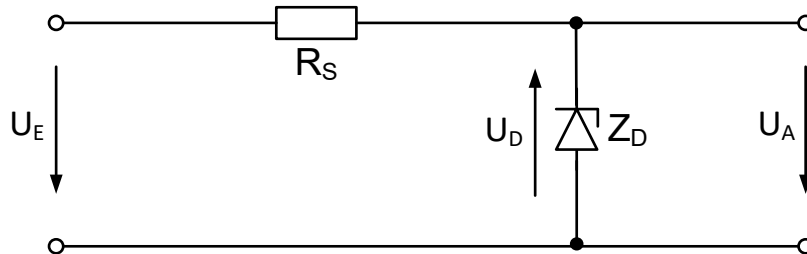


Abbildung 1: Schutzschaltung mit Zenerdiode.

Das Modell für die Zenerdiode setzt sich zusammen aus dem bekannten klassischen Diodenmodell sowie einem Modell für den Durchbruchstrom I_{DBD} in Sperrrichtung. Für den Diodenstrom I_{DZ} gilt somit:

$$I_{DZ} = I_D + I_{DBD} \quad \text{mit } I_D = I_S(e^{\frac{U_D}{nU_T}} - 1) \quad \text{und } I_{DBD} = \begin{cases} -I_{BD} \cdot e^{\frac{-U_D + U_{BD}}{n \cdot U_T}}, & U_D < 0 \text{ V} \\ 0, & U_D \geq 0 \text{ V} \end{cases}$$

Folgende Bauteilwerte sind gegeben:

$$I_S = 10^{-15} \text{ A} \quad U_T = 26 \text{ mV} \quad n = 1 \quad I_{BD} = 10^{-10} \text{ A} \quad U_{BD} = -5,5 \text{ V} \quad R_S = 10 \, \Omega$$

- Bestimmen Sie mit dem klassischen Diodenmodell den Sperrstrom für $U_D = -6 \text{ V}$.
- Bestimmen Sie nun ebenfalls für $U_D = -6 \text{ V}$ den Durchbruchstrom I_{DBD} .
- Vernachlässigen Sie nun den Sperrstrom des bekannten Diodenmodells und bestimmen Sie mit dem Newton-Raphson-Verfahren die Ausgangsspannung U_A für $U_E = 6 \text{ V}$.
Brechen Sie das Verfahren ab, sobald gilt: $|U_A^{(n+1)} - U_A^{(n)}| < 1 \text{ mV}$
- Welche Verlustleistung entsteht an der Zenerdiode und welche am Serienwiderstand R_S ?
- Bestimmen Sie, für welche positive Diodenspannung U_D der gleiche Strombetrag wie der nach Teilaufgabe c) auftritt.

- f) Die Schutzschaltung nach Abbildung 2 soll mit einem einfachen Knickkennlinienmodell untersucht werden. Nehmen Sie für die zwei Knickspannungen die Durchbruchspannung U_{BD} und eine Flussspannung U_F von 0,7 V an. Zeichnen Sie die Knickkennlinie der Zenerdiode. Bestimmen Sie die maximal auftretenden positiven und negativen Spannungen von $u_A(t)$ für eine sinusförmige Eingangsspannung mit der Spannungsamplitude $\hat{U}_E = 10\text{ V}$. Skizzieren Sie den Verlauf für eine Periodendauer T .

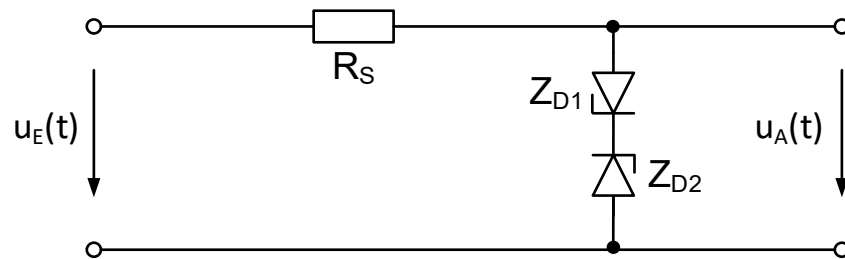


Abbildung 2: Schutzschaltung für Wechselspannungen.

Aufgabe 2: Vierpolschaltung

Eine Verstärkerschaltung verwendet einen festgekoppelten Transformator mit den Wicklungswiderständen R_2 und R_3 , um den Lastwiderstand R_L an den Ausgangswiderstand des Verstärkers anzupassen. Das Kleinsignalersatzschaltbild der zwei Teilvierpole ist in Abbildung 3 mit der Quellenspannung $\underline{U}_0$ am Eingang und dem Lastwiderstand R_L am Ausgang dargestellt.

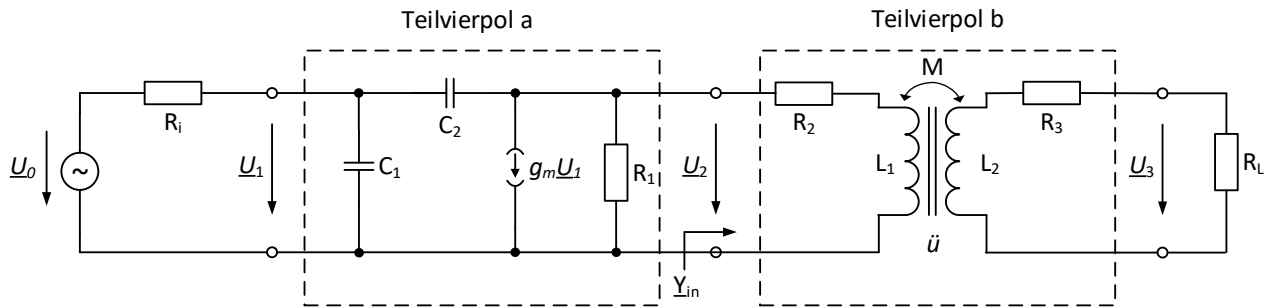


Abbildung 3: Verstärkerschaltung mit Transformator.

- Bestimmen Sie die Kettenparameter des Teilvierpols a in Abhängigkeit der Bauelemente.
- Bestimmen Sie die Kettenparameter des Teilvierpols b in Abhängigkeit der Bauelemente.
- Geben Sie den Betriebsübertragungsfaktor der Verstärkerschaltung nach Abbildung 3, in Abhängigkeit der Kettenparameter der Teilvierpole a und b, an.

Unter Vernachlässigung von C_2 , R_2 und R_3 sind für Teilvierpol a und b nun folgende Kettenparameter gegeben:

$$[\underline{A}_a] = \frac{1}{g_m} \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_1} & -1 \\ -\frac{j\omega C_1}{R_1} & -j\omega C_1 \end{bmatrix}, \quad [\underline{A}_b] = \frac{1}{j\omega M} \begin{bmatrix} j\omega L_1 & 0 \\ 1 & j\omega L_2 \end{bmatrix}$$

- Bestimmen Sie die Eingangsadmittanz $\underline{Y}_{in}$ am Eingang des Transformators bei Abschluss mit R_L am Ausgang in Abhängigkeit der Bauelemente.
- Bestimmen Sie die vereinfachte Ersatzquellenschaltung, mit $\underline{U}_{qers}$ und $\underline{Z}_{ers}$ für Teilvierpol a, die den Transformator speist, in Abhängigkeit der Bauelemente.
- Stellen Sie die Übertragungsfunktion $\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{U}_3 \cdot \ddot{u}}{\underline{U}_{qers}}$ unter Berücksichtigung von Teilaufgabe e) auf. Geben Sie die untere 3-dB Grenzfrequenz ω_u des in die Verstärkerschaltung eingebetteten Transformators bzw. von $\underline{F}(j\omega)$, in Abhängigkeit der Bauelemente an.

- g) An den Eingangsklemmen von Teilvierpol b wird nun zusätzlich eine Kapazität C_p parallel geschaltet. Geben Sie die Induktivität L_1 und Kapazität C_p an, damit für folgende Zahlenwerte Leistungsanpassung vorliegt. Berechnen Sie zuerst die neue Eingangsadmittanz $\underline{Y}_{\text{in,neu}}$.

$$R_i = 50 \, \Omega \quad R_L = 50 \, \Omega \quad R_1 = 1 \, \text{k}\Omega \quad C_1 = 20 \, \text{pF} \quad L_2 = 500 \, \text{nH} \quad g_m = 200 \, \text{mS} \quad f = 10 \, \text{kHz}$$

Aufgabe 3: Operationsverstärkerschaltung

Die Operationsverstärkerschaltung in Abbildung 4 wird am Eingang mit einem Impuls nach Abbildung 5 angesteuert.

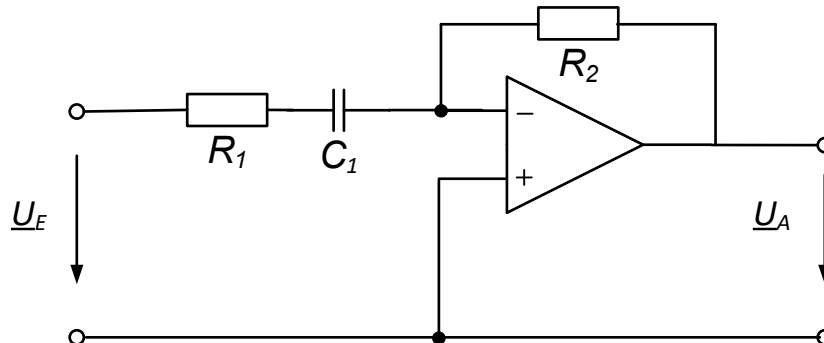


Abbildung 4: Operationsverstärkerschaltung.

- Bestimmen Sie allgemein die komplexe Wirkungsfunktion $\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{U}_A}{\underline{U}_E}$ für die Schaltung nach Abbildung 4 mit der Verstärkerfunktion $\underline{V}(j\omega) = \frac{V_0}{1+j\omega\frac{V_0}{\omega_g}}$ für den Operationsverstärker in doppelbruchfreier Form.
- Vereinfachen Sie die Wirkungsfunktion $\underline{F}(j\omega)$ aus a) mit der Annahme $V_0 \rightarrow \infty$.
- Welche Verstärkung hat die Schaltung nach Abbildung 4 für Gleichspannungssignale?
- Skizzieren Sie für die vereinfachte Wirkungsfunktion $\underline{F}(j\omega)$ nach b) den Amplitudengang sowie den Phasengang für folgende Zahlenwerte:
 $R_1 = 50 \text{ k}\Omega$ $C_1 = 100 \text{ nF}$ $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ $\omega_g = 1 \text{ GHz}$
- Bestimmen Sie die Fourier-Transformierte $\underline{V}_E(f)$ des Eingangsimpulses nach Abbildung 5 mit $u_E(t) = 0$ für $t > T_A$. Gehen Sie von einer starken Dämpfung aus.

Hinweis: $\int x e^{ax} dx = \frac{(ax-1)}{a^2} e^{ax} + c$

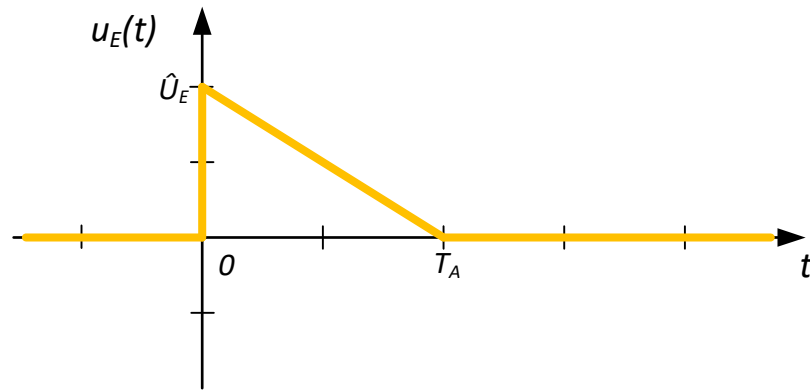


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf des Eingangsimpulses $u_E(t)$.

- f) Geben Sie die Fourier-Transformation des Ausgangssignals $\underline{V}_A(f)$ mit der vereinfachten Wirkungsfunktion $\underline{F}(j\omega)$ nach b) an.
- g) Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf des Ausgangssignals $u_A(t)$.

Aufgabe 4: Laplace-Transformation und DGL

Mit einem Schaltverstärker nach Abbildung 6 werden am Eingang unterschiedliche Spannungen angelegt. Der Schalter sei ideal und erzeugt daher Spannungssprünge am Eingang. Für $t < 0$ s sind die Energiespeicher leer.

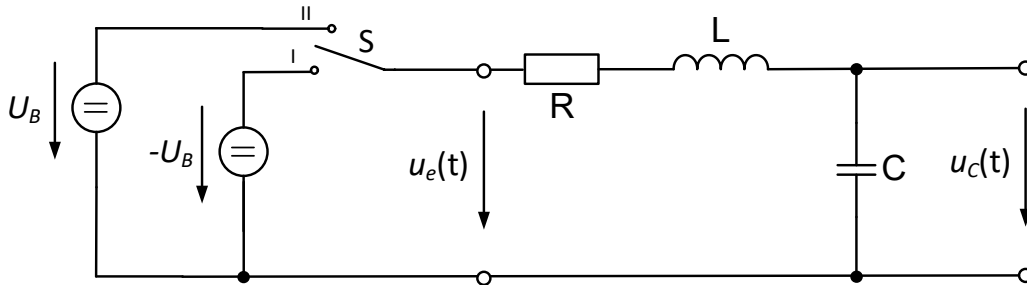


Abbildung 6: Schwingkreis mit geschalteter Eingangsspannung.

- Bestimmen Sie allgemein die Laplace-Transformierte $\underline{V}_C(p)$ des Ausgangssignals $u_C(t)$ für beliebige Laplace-Transformierte $\underline{V}_e(p)$ des Eingangssignals $u_e(t)$.
- Zum Zeitpunkt $t = 0$ s wird der Schalter S mit der Spannungsquelle $-U_B$ verbunden (Stellung I). Bestimmen Sie nun $\underline{V}_C(p)$. Berechnen Sie anschließend $u_C(t)$ durch Rücktransformation von $\underline{V}_C(p)$ in den Zeitbereich. Es gilt $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$.
- Zum Zeitpunkt $t = T_1$ wird der Schalter S in Stellung II gebracht. Welche Spannungen und Ströme existieren in den Bauelementen unmittelbar vor dem Umschaltzeitpunkt? Setzen Sie in dieser Teilaufgabe die folgenden Zahlenwerte ein:
 $U_B = 1 \text{ V} \quad R = 50 \text{ } \Omega \quad L = 500 \text{ pH} \quad C = 10 \text{ pF} \quad T_1 = 300 \text{ ps}$
- Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf für $u_C(t)$ für $t > T_1$ in Abhängigkeit der Spannung des geladenen Kondensators $u_C(T_1)$, deren Ableitung nach der Zeit $u'_C(T_1)$ und den Parametern der Schaltung.

Nun wird die Induktivität kurzgeschlossen und der vorherige Schaltvorgang periodisch wiederholt. Die Periodendauer sei $T = 2T_1$. Es wird der eingeschwungene Zustand für eine Periode von 0 bis T betrachtet.

- Welchen Gleichanteil hat $u_C(t)$?
- Berechnen Sie $u_{C1}(t)$ mit $u_{C1}(0) = U_{C10}$ für den Fall, dass für $t \geq 0$ $-U_B$ anliegt (Stellung I). Bestimmen Sie anschließend $u_{C2}(\tilde{t})$ mit $u_{C2}(0) = U_{C20}$ für den Fall, dass für $\tilde{t} \geq 0$ U_B anliegt (Stellung II).
- Berechnen Sie U_{C10} im eingeschwungenen Zustand. Setzen Sie hierfür die folgenden Zahlenwerte ein: $U_B = 1 \text{ V} \quad R = 50 \text{ } \Omega \quad C = 10 \text{ pF} \quad T_1 = 300 \text{ ps}$