

SEMINAR IM FACH SCHALTUNGSTECHNIK I, WS 2021/22

Blatt 8

Aufgaben 17–18; 6 Seiten

Abgabe: Dienstag 21.12.2021, 23:00 Uhr, PDF-Dokument auf ILIAS hochladen

Ansprechpartner: M. Sc. Raphael Nägele, raphael.naegele@int.uni-stuttgart.de, 2.408 ETI II

Sprechzeiten: Nach Vereinbarung, Fragen auch über ILIAS-Diskussionsforum

Hinweise: Es sind alle Aufgaben auf diesem Arbeitsblatt zu bearbeiten. Vergessen Sie nicht, auf jedes Blatt Ihren Namen, Vornamen und Matrikelnummer zu schreiben. Auf der ersten Seite bitte zusätzlich den Anfangsbuchstaben Ihres Nachnamens markieren und die Blätter mit dem Tacker geheftet abgeben.

Bei allen Berechnungen sind Zwischenschritte anzugeben. Geben Sie ausschließlich das richtige Endergebnis an, bringt dies keine Punkte.

Auf der Ilias-Plattform, in der Vorlesung und im Seminar werden Fehler oder weitere Hinweise bekannt gegeben. Haben Sie einen Fehler gefunden, bitten wir Sie um Rückmeldung. Viel Erfolg bei der Bearbeitung.

<i>Name:</i>	<i>Vorname:</i>	<i>Anfangsbuchstabe:</i>	<i>Nummer:</i>
<i>Matrikelnummer:</i>			

Bewertung – wird vom Institut ausgefüllt

(3)	(2)	(3)	(3)	(2)	(3)	(2)
(2)	(8)	(6)	(4)	(3)		
(6)	(7)	(9)	(4)			
(67)				+/0/-		

Aufgabe 17

Messsystem für Hochfrequenz-Leistungsverstärker

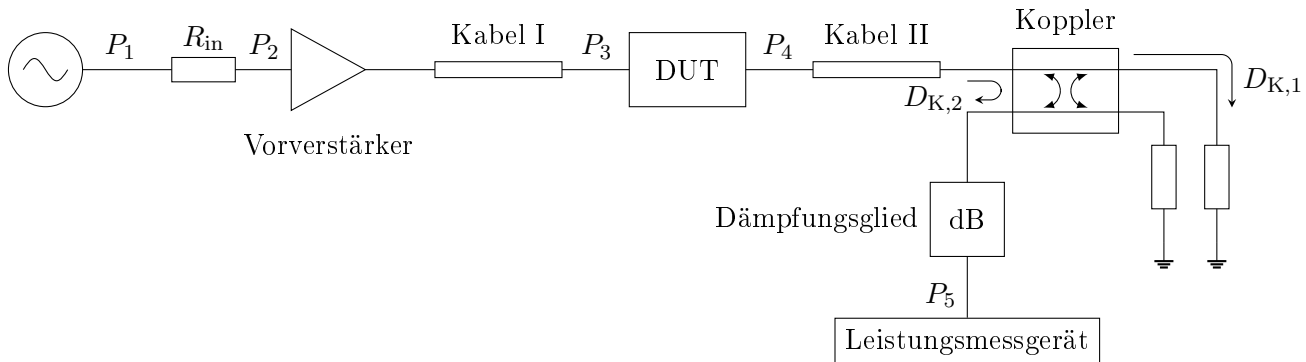


Abbildung 1: Blockschaltbild des Messsystems

Für die Vermessung von Hochfrequenz-Leistungsverstärkern wird ein Messplatz nach Abbildung 1 verwendet. Ein Signalgenerator als Quelle, gefolgt von einem Vorverstärker, liegt am Eingang des zu untersuchenden Verstärkers (Device Under Test, DUT) an.

Das HF-Signal am Ausgang des DUTs wird über einen Koppler ausgekoppelt und über ein Dämpfungsglied einem Leistungsmessgerät zugeführt.

Tabelle 1 liefert die wichtigsten Kenngrößen des Messsystems.

Tabelle 1: Kenngrößen des Messsystems

max. Leistung des Signalgenerators	$P_{1,\max} = 20 \text{ mW}$
Verstärkung des Vorverstärkers	$G_{VV} = 400$
max. Eingangsleistung des Vorverstärkers	$P_{2,\max} = 16 \text{ mW}$
Vorwärtsdämpfung des Kopplers	$D_{K,1} = 1 \text{ dB}$
Koppeldämpfung des Kopplers	$D_{K,2} = 20 \text{ dB}$
Dämpfung des Dämpfungsglieds	$D_{DG} = 22 \text{ dB}$
max. Leistung am Leistungsmessgerät	$P_{5,\max} = 45 \text{ mW}$
Verstärkung des DUTs	$G = 10 \dots 40$

- Rechnen Sie alle Leistungsangaben aus der Tabelle 1 in dBm und alle Verstärkungen bzw. Dämpfungen in dB um.
- Der Signalgenerator besitze einen Innenwiderstand von R_{in} . Wie muss die Eingangsimpedanz Z'_{in} des Vorverstärkers gewählt werden, damit die in Z'_{in} umgesetzte Leistung maximal ist? Welche Dämpfung in dB ruft für diesen Fall R_{in} hervor?

Im Messsystem treten weitere unerwünschte Dämpfungen durch Kabel und Steckverbinder auf. Für eine genaue Messung müssen diese bestimmt werden. Diesen Vorgang nennt man Kalibration.

Sie erfolgt in zwei Schritten: In einem ersten Schritt wird bei einer definierten Leistung P_1 mit einem Leistungsmessgerät die Leistung P_3 am Eingang des DUTs gemessen (Messung 1). Danach werden die beiden Anschlüsse des DUTs direkt verbunden (d. h. $P_3 = P_4$) und eine weitere Messung bei der gleichen Leistung P_1 durchgeführt (Messung 2).

- c) Messung 1: Am Signalgenerator wird eine Leistung von $P_1 = 10 \mu\text{W}$ eingestellt. Für P_3 werden $1,8 \text{ mW}$ gemessen. Geben Sie die Kabeldämpfung D_I des Kabels I in dB an.
- d) Messung 2: Die Messung liefert die Leistung $P_5 = 100 \text{ nW}$. Geben Sie die Kabeldämpfung D_{II} des Kabels II in dB an.

Nun wird das DUT nach Abbildung 1 vermessen.

- e) Die Eingangsleistung am DUT soll $P_3 = 1 \text{ W}$ betragen. Welche Leistung (in dBm und mW) muss am Signalgenerator unter Berücksichtigung der vorherigen Kalibration eingestellt werden?
- f) Am Leistungsmessgerät wird der Pegel $P_5 = 0,8 \text{ dBm}$ gemessen. Welche Leistung P_4 liegt am Ausgang des DUTs an? Geben Sie die Verstärkung G des DUTs in dB an. Um welchen Faktor wird das Eingangssignal P_3 im DUT verstärkt?
- g) Warum wird das Leistungsmessgerät am Ausgang nicht direkt mit dem DUT verbunden? Warum ist ein Vorverstärker notwendig?

Aufgabe 18

Analyse eines Verstärkers

Hinweis: Die folgenden beiden Aufgabenteile können unabhängig voneinander bearbeitet werden.

Teil A – Nichtlineares Verhalten

Abbildung 2 zeigt die Schaltung eines Transistor-Verstärkers, wie er beispielsweise in Audio-Endstufen oder Mobilfunkbasisstationen eingesetzt wird.

Durch den Feldeffekttransistor fließt in Abhängigkeit der Gate-Source- und Drain-Source-Spannung der Strom

$$i(u_{\text{GS}}, u_{\text{DS}}) = \begin{cases} 0, & u_{\text{GS}} < U_{\text{th}} & \text{(Sperrbetrieb),} \\ \beta \left((u_{\text{GS}} - U_{\text{th}})u_{\text{DS}} - \frac{1}{2}u_{\text{DS}}^2 \right), & u_{\text{GS}} - U_{\text{th}} > u_{\text{DS}} & \text{(linearer Betrieb),} \\ \frac{\beta}{2}(u_{\text{GS}} - U_{\text{th}})^2, & u_{\text{GS}} - U_{\text{th}} \leq u_{\text{DS}} & \text{(Sättigungsbetrieb).} \end{cases}$$

Die Schaltung ist wie folgt dimensioniert:

$$U_{\text{DD}} = 7 \text{ V}, \quad \beta = 50 \text{ mA/V}^2, \quad U_{\text{th}} = 0,5 \text{ V}, \quad R_1 = 50 \Omega, \quad R_2 = 40 \Omega.$$

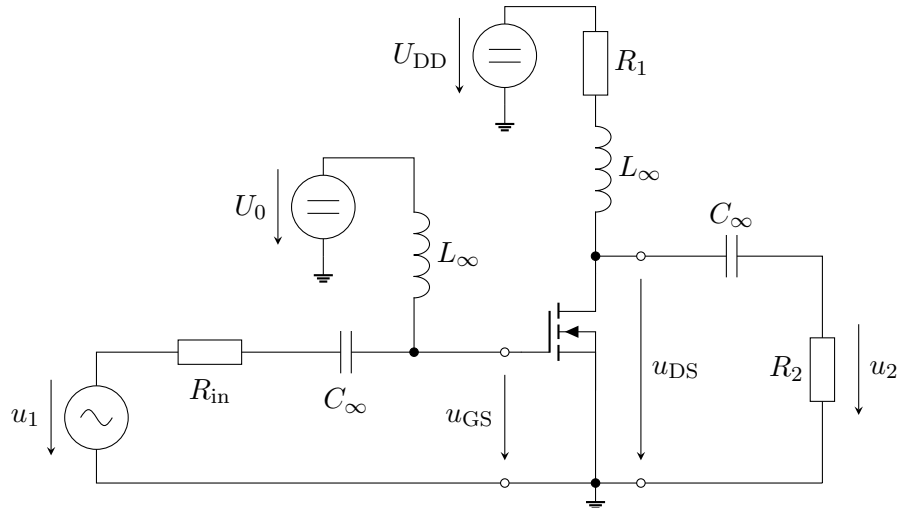


Abbildung 2: Schaltung eines Transistor-Verstärkers

In der folgenden Aufgabe soll das nichtlineare Verhalten der Verstärkerschaltung näher untersucht werden. Dafür können die Kondensatoren C_∞ als ideale Blockkondensatoren angenommen werden, d. h. sie stellen für Gleichstrom einen Leerlauf und für alle auftretenden Wechselanteile einen Kurzschluss dar. Analog dazu sollen die Spulen L_∞ als ideale Wechselstrom-Entkopplung behandelt werden, d. h. bei Gleichstrom wirken sie als Kurzschluss und für alle Wechselanteile als Leerlauf. Der Innenwiderstand R_{in} der Quelle u_1 darf im ersten Teil vernachlässigt werden. Führen Sie die folgenden Rechnungen zunächst allgemein durch und setzen Sie erst im Anschluss die Bauteilwerte ein.

- Skizzieren Sie das Gleichstromersatzschaltbild.
- Berechnen Sie für die drei Betriebsmodi jeweils die Gleichspannungsübertragung $U_{DS}(U_{GS})$.
Hinweis: Bestimmen Sie dazu die beiden Spannungen $U_{0,1}$ und $U_{0,2}$, bei denen der Sperr- in den Sättigungsbereich und der Sättigungs- in den linearen Bereich übergeht.

Betrachtet werde zunächst der Arbeitspunkt, der sich für $U_0 = 2,2 \text{ V}$ einstellt.

Falls Sie Teilaufgabe b) nicht lösen konnten, so nehmen Sie im Folgenden an, dass die Übertragungsfunktion in einem hinreichend großen Bereich um $U_{GS} = 2,2 \text{ V}$ beschrieben wird durch

$$U_{DS}(U_{GS}) = U_{DD} - \frac{\beta R_1}{2} (U_{GS} - U_{th})^2.$$

- Entwickeln Sie $u_{DS}(u_{GS})$ in eine Taylorreihe $u_{DS,T}(u_{GS})$ um den Arbeitspunkt U_0 .
- Berechnen Sie das Ausgangssignal $u_2(t)$, wenn die Quelle das sinusförmige Signal $u_1(t) = \hat{U}_1 \cos(\omega_1 t)$ mit $\hat{U}_1 = 200 \text{ mV}$ ausgibt. Stellen Sie $u_2(t)$ mit Hilfe der entwickelten Taylorreihe aus c) als Summe der Funktionen $\cos(\nu \omega_1 t)$ für $\nu \in \mathbb{N}$ dar.
Hinweis: Welche Spannungen überlagern sich am Gate des FETs?
- Berechnen Sie das Amplitudenverhältnis zwischen den auftretenden Harmonischen $\nu \omega_1$ und der Grundfrequenz ω_1 . Geben Sie dieses zusätzlich in dBc an.

Teil B – Kleinsignalanalyse

Signale mit niedriger Amplitude $\hat{U}_1$ werden vom Transistor nahezu unverzerrt verstärkt. Der Einfluss der Schaltung auf die frequenzabhängigen Anteile des Eingangssignals $u_1(t)$ lässt sich durch eine Kleinsignalanalyse bestimmen. Dazu wird die Ersatzschaltung nach Abbildung 3 verwendet. Die Blockkondensatoren C_∞ seien im Folgenden nicht mehr ideal, sondern besitzen die endlichen Kapazitäten $C_\infty = 1 \mu\text{F}$. Auch der Innenwiderstand der Spannungsquelle von $R_{\text{in}} = 40 \Omega$ dürfe nicht mehr vernachlässigt werden. Die internen Gate-Drain- bzw. Gate-Source-Kapazitäten lassen sich näherungsweise in einer Querkapazität $C_{\text{eq}} = 2,5 \text{ pF}$ zusammenfassen.

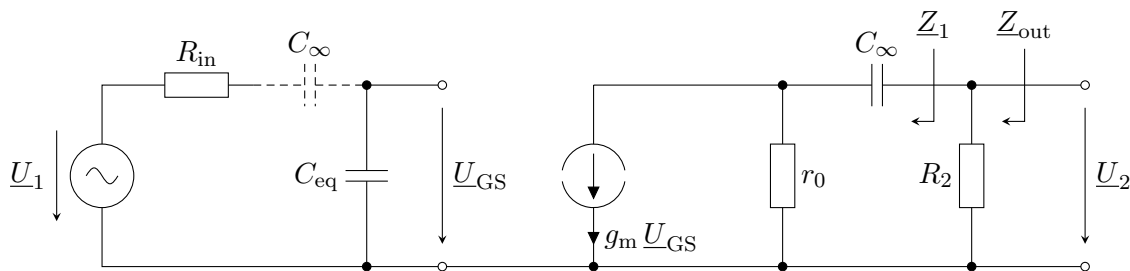


Abbildung 3: Kleinsignalersatzschaltbild der Verstärkerschaltung

- f) Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion $\underline{F}(j\omega) = \underline{U}_2/\underline{U}_1$ der Schaltung. Die gestrichelt eingezeichnete Kapazität C_∞ am Eingang kann wegen $C_{\text{eq}} \ll C_\infty$ gegenüber C_{eq} vernachlässigt werden. Begründen Sie, warum diese dann durch einen *Kurzschluss* ersetzt werden darf.

Hinweis: Versuchen Sie $\underline{F}(j\omega)$ ohne die Knotenpotentialanalyse aufzustellen, dann vereinfacht sich die Erstellung des Bodediagramms

- g) Geben Sie die Ausgangsimpedanz $\underline{Z}_{\text{out}}$ der Schaltung an. Zeichnen Sie *schrittweise* die Ortskurve von $\underline{Z}_{\text{out}}$ (Den Anfang bildet $\underline{Z}_1$, insgesamt sind es vier Schritte.). Markieren Sie dabei jeweils die Impedanzen/Admittanzen für $\omega \rightarrow 0$ und $\omega \rightarrow \infty$ sowie den Laufsinn von ω .

Der Transistor werde nun so angesteuert, dass $g_m = 79 \text{ mA/V}$ und $r_o = 10 \text{ k}\Omega$ gilt.

- h) Zeichnen Sie den Betragsverlauf von $\underline{F}(j\omega)$ im doppellogarithmischen Maßstab über der Frequenz ω in Abbildung 4 ein. Machen Sie dabei den asymptotischen Verlauf kenntlich. Welche Filtercharakteristik weist die Schaltung auf?
- i) Zeichnen Sie den Phasenverlauf von $\underline{F}(j\omega)$ im halblogarithmischen Maßstab über der Frequenz ω in Abbildung 4 ein. Machen Sie dabei den asymptotischen Verlauf kenntlich.

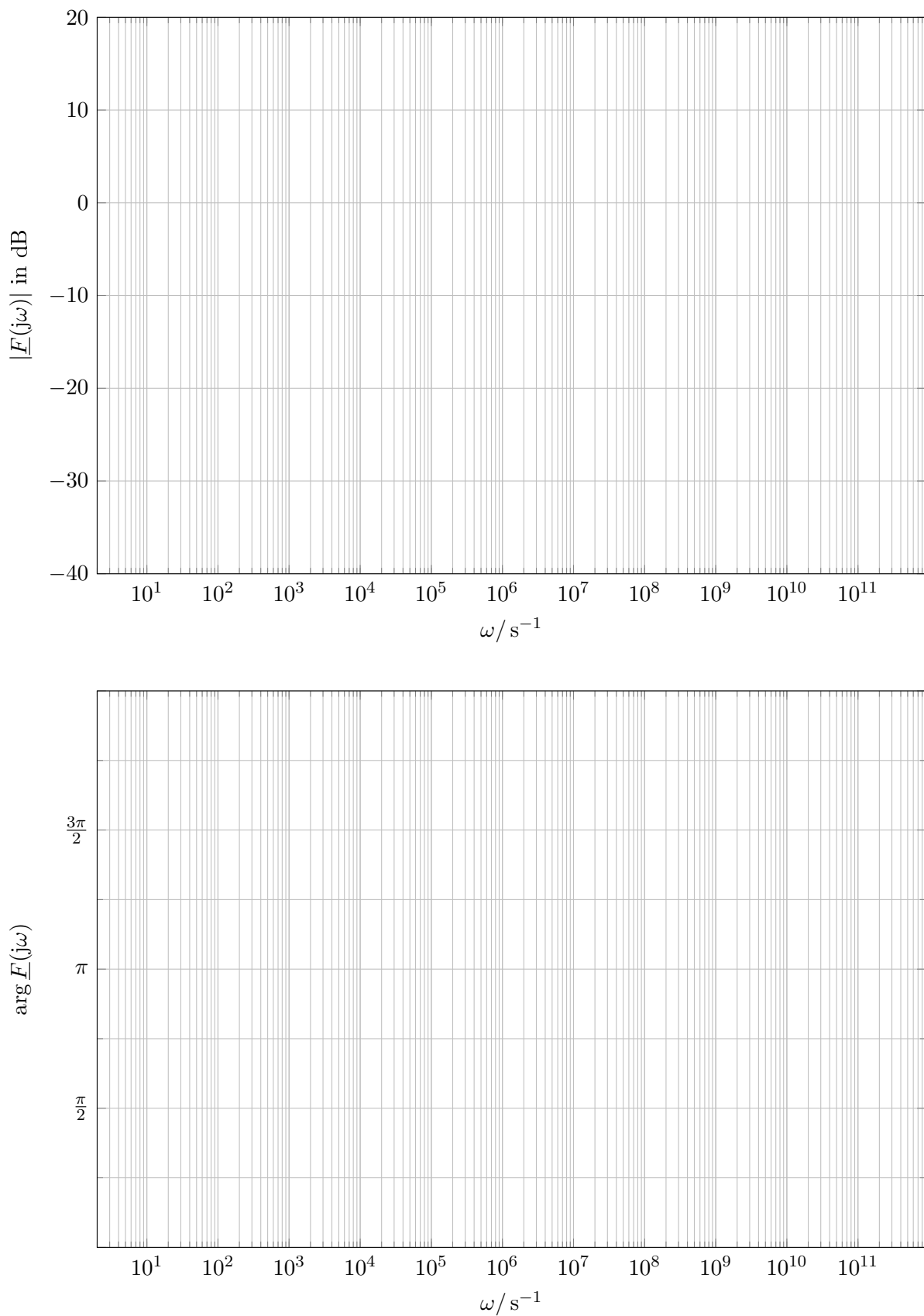


Abbildung 4: Bode-Diagramme – Betrags- und Phasengang der Übertragungsfunktion $\underline{F}(j\omega)$