

Fachhochschule Regensburg

Fachbereich Elektrotechnik

Prüfungsfach: Schaltungstechnik (SC), SS 95
 Prüfungstermin: 15.07.1995
 Prüfungsdauer: 90 Minuten (Planmäßig: 10.15 - 11.45 Uhr)
 Zugelassene Hilfsmittel: Persönliche Formelsammlung
 Aufgabensteller: Prof. Schubert
 Prüfungsteilnehmer/in: (Bitte leserlich in Druckbuchstaben)

Name: _____

Vorname: _____

Semester: _____

>>>>> **Alle Angabenblätter sind als Bestandteil der Lösung mit abzugeben !** <<<<<

Alle zusätzlichen Blätter können nur dann gewertet werden, wenn Sie durch Angabe des Namens, Datum und der bearbeiteten Aufgabeeindeutig zuzuordnen sind !

Maximal erreichbare Punktzahl: 108.

Zum Aufbau der Aufgaben:

Viele Zeilen sind in der Art

$r_{m1} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \Omega$ (2P)

aufgebaut. Tragen Sie nach dem ersten Gleichheitszeichen die Formel ein und schreiben Sie nach dem zweiten Gleichheitszeichen das numerische Ergebnis. Falls Platz vorhanden ist, können Sie auch kleinere Zwischenrechnungen unterbringen.

Beispiel:

$r_m = \dots\dots\dots 1 / g_m = u_T / I_C = 26 \text{ mV} / 1 \text{ mA} \dots\dots\dots = \dots\dots\dots 26 \dots\dots \Omega$ (2P)

Formel und Ergebnis werden im Verhältnis 1 : 1 gewertet. Das gibt Ihnen die Möglichkeit, auch mit falschen Zwischenergebnissen durch Angabe richtiger Formeln Punkte zu machen.

1 HF - Verstärker mit Bipolar-Transistor

Sie sehen in Abbildung 1 eine Empfängerschaltung. Die Antenne ist als Generator mit Innenwiderstand R_G dargestellt, gefolgt von einer Leitung mit $50 \, \Omega$ Wellenwiderstand. Um Reflexionen auf der Leitung zu vermeiden, muß diese mit einer Last von $50 \, \Omega$ abgeschlossen werden.

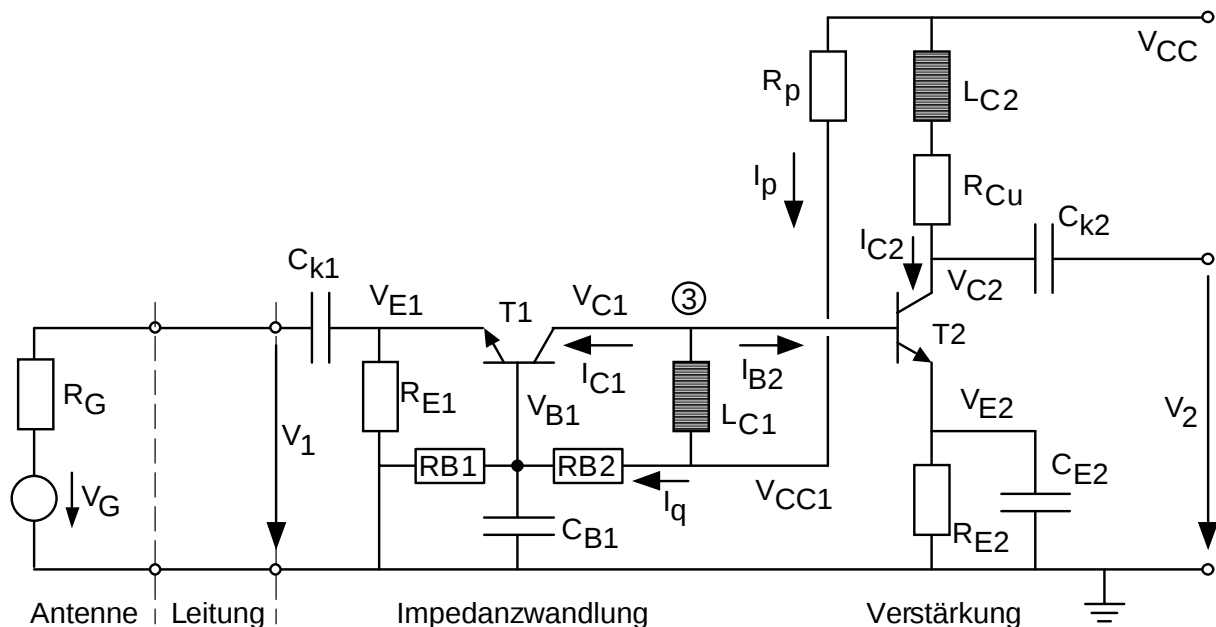


Abbildung 1 : HF - Verstärker mit 50 Ω Eingangswiderstand

Gegeben:

Genauigkeit: Runden Sie generell auf zwei geltende Ziffern.

Temperatur : $T = 300 \text{ K}$, $\rightarrow$ Temperaturspannung : $u_T = 26 \text{ mV}$,

Spannungen + Ströme: $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $V_{CC1} = 2,2 \text{ V}$, $I_{C2a} = 1 \text{ mA}$

Transistor T1 : $V_{A1} = 52 \text{ V}$ (Early-Voltage), $V_{BE1} = 0,67 \text{ V}$, $\beta_1 = 130$, $V_{CE,sat,1} = 0,3 \text{ V}$

Transistor T2 : $V_{A2} = 52 \text{ V}$ (Early-Voltage), $V_{BE2} = 0,70 \text{ V}$, $\beta_2 = 100$, $V_{CE,sat,2} = 0,3 \text{ V}$

Widerstände : $R_{E1} = 100 \, \Omega$, $R_{Cu} = 100 \, \Omega$ (= Kupferwiderstand der Induktivität L_{C2})

Kapazitäten : C_B, C_{k1}, C_{k2} : für die interessierenden AC-Signale ist $X_C = 0 \, \Omega$

Induktivitäten : L_{C1}, L_{C2} : für die interessierenden AC-Signale ist $X_L \rightarrow \infty$.

- a) Stellen Sie den Strom durch T_1 so ein, daß die Antennenleitung mit einem Lastwiderstand von $50 \, \Omega$ abgeschlossen wird. Der zusätzliche Index 'a' steht für 'im Arbeitspunkt'. (Machen Sie die Näherung $I_{C1} = I_{E1} \gg I_{B1}$).

$$Z_{in,T1} = \dots \Omega, \text{ weil } \dots \quad (2P)$$

$$I_{C1a} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \mu A \quad (2P)$$

$$V_{E1a} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ mV} \quad \textbf{(2P)}$$

- b) Der Querstrom I_q durch die Widerstände R_{B1} , R_{B2} wird auf $I_q = 50 \mu A$ festgelegt. Ist die Faustregel $I_q \geq 10 I_B$ damit erfüllt ? O ja O nein

$$I_{B1} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \mu A \quad (2P)$$

- c) Berechnen Sie die Widerstände R_{B1} und R_{B2} . Der Einfluß von I_{B1} ist zu vernachlässigen.

$$V_{B1} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots V \quad (2P)$$

$$R_{B1} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots K\Omega \quad (2P)$$

$$R_{B2} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots K\Omega \quad (2P)$$

- d) Wo liegt der Arbeitspunkt V_{C1a} des Kollektors der ersten Stufe ?

$$V_{C1a} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots V \quad (2P)$$

- e) Wie groß ist V_{E2} ?

$$V_{E2} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots V \quad (2P)$$

- f) Stellen Sie $I_{C2a} = 1 \text{ mA}$ ein !

$$= \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ ———} \quad (2P)$$

- g) Wie groß ist der Basisstrom I_{B2} der zweiten Stufe im Arbeitspunkt ?

$$I_{B2a} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \mu A \quad (2P)$$

- h) Bemessen Sie den Widerstand R_p so, daß $V_{CC1} = 2,2 \text{ V}$ wird.

$$I_p = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \mu A \quad (2P)$$

$$R_p = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots K\Omega \quad (2P)$$

- i) Wo liegt der Arbeitspunkt V_{C2a} des Kollektors der zweiten Stufe ?

$$V_{C2a} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots V \quad (2P)$$

- j) Bei welcher Spannung $V_{C2,min}$ geht der Kollektor der zweiten Stufe in Sättigung ?

$$V_{C2,min} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots V \quad (2P)$$

- k) Wie groß ist die maximale Ausgangs-Amplitude $|v_{2,max}|$ der zweiten Stufe ?

$$|V_{C2,max}| = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots V \quad (2P)$$

l) Wie groß ist die AC - Eingangsimpedanz der 2. Stufe ?

$$Z_{in,2} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ K}\Omega \quad (2P)$$

m) Wie groß ist die AC - Ausgangsimpedanz der zweiten Stufe ?

$$Z_{out,2} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ K}\Omega \quad (2P)$$

n) Wie groß ist der Übertragungsleitwert g_{m2} des Transistors T_2 ?

$$g_{m2} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots 1/\Omega \quad (2P)$$

o) Wie groß ist die Spannungsverstärkung der zweiten Stufe für $R_L \rightarrow \infty$?

$$A_{V2} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \quad (2P)$$

p) Welchen gesamten Emitterwiderstand $R_{E,T1}$ 'sieht' der Emitter von T_1 ?

$$R_{E,T1} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \Omega \quad (2P)$$

q) Wie groß ist der Kleinsignalparameter r_{CE1} des Transistors T_1 ?

$$r_{CE1} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ K}\Omega \quad (2P)$$

r) Welche Ausgangsimpedanz $Z_{out,T1}$ gegen Masse 'sieht' man, wenn man in den Kollektor des Transistors T_1 schaut ?

$$Z_{out,T1} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ K}\Omega \quad (2P)$$

s) Wie groß ist die Impedanz des Knotens 3 gegen Masse ?

$$Z(3) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ K}\Omega \quad (2P)$$

t) Der Eingangsleitwert der ersten Stufe ist bekannt. Er kann auch als i_{E1}/v_{E1} ausgedrückt werden. Wie groß ist der Übertragungsleitwert i_{C1}/v_{E1} ? (Bedenken Sie: $A_I = i_E/i_C = I_E/I_C$.)

$$= \dots\dots\dots = \dots\dots\dots 1/\Omega \quad (2P)$$

u) Was folgt daraus für die Spannungsverstärkung der 1. Stufe ?

$$A_{V1} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \quad (2P)$$

v) Wie groß ist die AC - Spannungsverstärkung $A_{V_\infty} = v_2/v_1$ der Schaltung für $R_L \rightarrow \infty$?

$$A_{V_\infty} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \quad (2P)$$

w) Wie groß ist die Kleinsignal-Ausgangs impedanz der gesamten Schaltung ?

$$Z_{\text{out}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ K}\Omega \quad (2\text{P})$$

x) Wie groß ist die Spannungsverstärkung der gesamten Schaltung für $R_L = 52 \text{ K}\Omega$?

$$A_v(R_L=52\text{K}\Omega) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \quad (2\text{P})$$

y) Wie groß ist die Stromverstärkung der gesamten Schaltung für $R_L = 52 \text{ K}\Omega$?

$$A_i(R_L=52\text{K}\Omega) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \quad (2\text{P})$$

z) Wie groß ist die Leistungsverstärkung der gesamten Schaltung für $R_L = 52 \text{ K}\Omega$?

$$A_p(R_L=52\text{K}\Omega) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \quad (2\text{P})$$

2 Grundsaltungen eines Kleinsignalverstärkers mit JFET

Abbildung 2 zeigt zwei Grundsaltungen einer Verstärkerstufe mit JFET, die sich nur in der Wahl des Drain-Widerstandes unterscheiden: Im Bildteil (a) ist es der Drain-Widerstand R_D , im Bildteil (b) wird R_D durch die Induktivität L_D ersetzt.

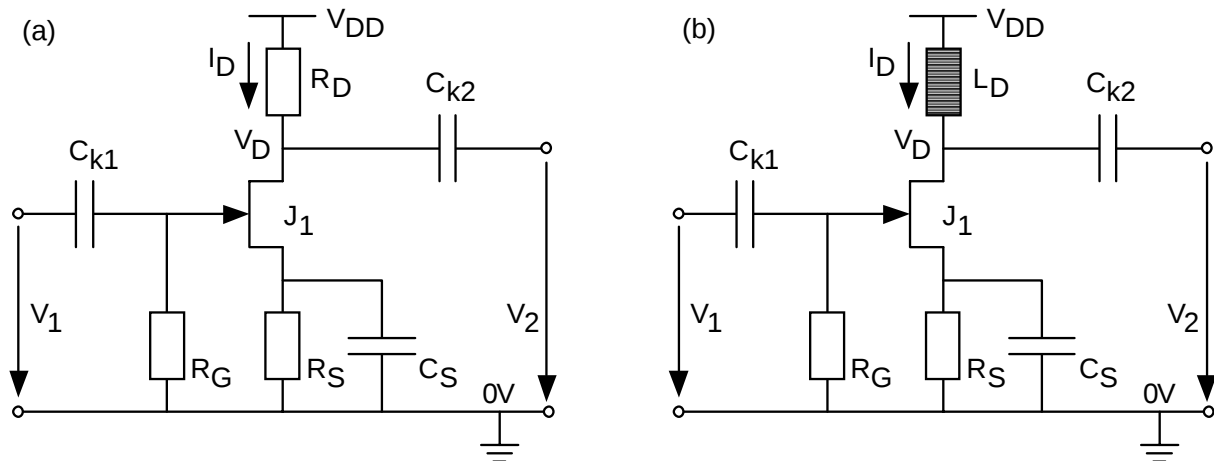


Abbildung 2 : JFET - Verstärker: (a) mit Drain-Widerstand und (b) mit Induktivität

Gegeben: $V_T = -2\text{V}$, $I_{DSS} = 10\text{ mA}$, $\lambda = 0,02\text{ V}^{-1}$, $V_{DD} = 5\text{ V}$, $I_D = I_{Da} = 2,5\text{ mA}$

2.1 JFET - Verstärkerstufe mit Drain-Widerstand

Drücken Sie im Folgenden alle Formeln als Funktion des gegebenen Argumentes aus.

a) Wie groß ist die Gate-Source-Spannung V_{GS} des JFETs ?

$$V_{GS}(I_D) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ V} \quad (2\text{P})$$

b) Wie groß ist der Source-Widerstand R_S ?

$$R_S(V_{GS}) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \Omega \quad (2\text{P})$$

c) Wie groß ist der Übertragungsleitwert g_m des JFETs ?

$$g_m(I_D) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ mS} \quad (2\text{P})$$

d) Es sei der Arbeitspunkt $V_{Da} = \frac{1}{2}(V_{DD} + |V_T|)$. Wie groß ist der Drain-Widerstand R_D ?

$$V_{Da} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ V}$$

$$R_D(I_D) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ K}\Omega \quad (2\text{P})$$

e) Wie groß ist die Ausgangsimpedanz Z_{out} der Schaltung ? (Es sei $r_{\text{DS}} \gg R_{\text{D}}$.)

$$Z_{\text{out}}(R_{\text{D}}) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ K}\Omega \quad (2\text{P})$$

f) Wie groß ist die Spannungsverstärkung $A_{V\infty}$ dieser Stufe für $R_{\text{L}} \rightarrow \infty$?

$$A_{V\infty}(g_{\text{m}}, Z_{\text{out}}) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \quad (2\text{P})$$

g) Drücken Sie die Spannungsverstärkung $A_{V\infty}$ dieser Stufe für $R_{\text{L}} \rightarrow \infty$ als Funktion des Drain-Stromes aus (nur Formel).

$$A_{V\infty}(I_{\text{D}}) = \dots\dots\dots \quad (2\text{P})$$

h) Folgerung: Wenn wir $A_{V\infty}$ darstellen als $A_{V\infty} = \text{const} * (I_{\text{D}})^x$, dann ist $x = \dots\dots\dots$ (1P)

2.2 JFET - Verstärkerstufe mit Drain-Induktivität

Wir ersetzen nun den Widerstand R_{D} durch die Induktivität L_{D} . Es gelte $X_{\text{L}} = \omega L_{\text{D}} \rightarrow \infty$. Neu berechnet werden nur die Größen, die sich ändern.

a) Wo liegt nun der Arbeitspunkt V_{Da} der Schaltung ?

$$V_{\text{Da}}(I_{\text{D}}) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ V} \quad (2\text{P})$$

b) Wie groß ist der Drain-Source-Widerstand r_{DS} ?

$$r_{\text{DS}}(I_{\text{D}}) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ K}\Omega \quad (2\text{P})$$

c) Wie groß ist der Kleinsignal-Ausgangsimpedanz der Schaltung ?

$$Z_{\text{out}}(r_{\text{DS}}) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ K}\Omega \quad (2\text{P})$$

d) Wie groß ist die Spannungsverstärkung $A_{V\infty}$ dieser Stufe für $R_{\text{L}} \rightarrow \infty$?

$$A_{V\infty}(g_{\text{m}}, Z_{\text{out}}) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \quad (2\text{P})$$

e) Drücken Sie die Spannungsverstärkung $A_{V\infty}$ dieser Stufe für $R_{\text{L}} \rightarrow \infty$ als Funktion des Drain-Stromes aus (nur Formel).

$$A_{V\infty}(I_{\text{D}}) = \dots\dots\dots \quad (2\text{P})$$

Folgerung: Wenn wir $A_{V\infty}$ darstellen als $A_{V\infty} = \text{const} * (I_{\text{D}})^x$, dann ist $x = \dots\dots\dots$ (1P)

3 Rückgekoppelte Systeme

Abbildung 3 zeigt ein rückgekoppeltes System mit je einer Störgröße am Eingang (x_{err}) und am Ausgang (y_{err}).

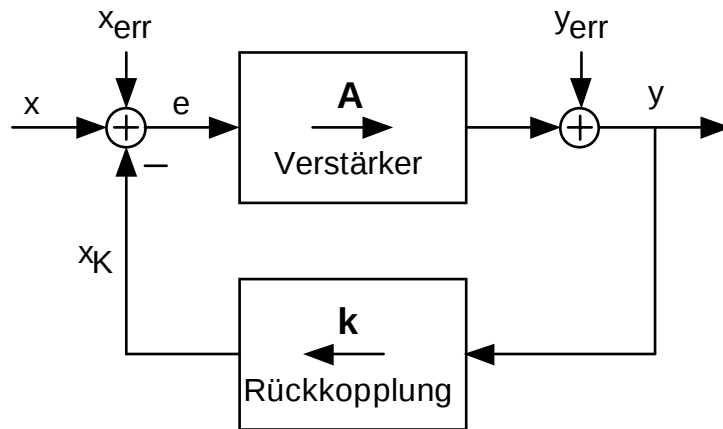


Abbildung 3 : Rückgekoppeltes System

- a) Zeigen Sie, daß sich das Verhalten dieser Schaltung mit der Gleichung $y = A' (x + x'_{\text{err}})$ modellieren läßt. Geben Sie A' und x'_{err} als Funktion von x_{err} , y_{err} und A an. **(10P)**

(Führen Sie den Beweis auf einem gesonderten Blatt. Vergessen Sie nicht Ihren Namen, das Datum und die Nummer der Aufgabe!)

- b) Wogegen streben A' und x'_{err} für $A \rightarrow \infty$?

$A' \rightarrow \dots\dots\dots$ **(2P)**

$x'_{\text{err}} \rightarrow \dots\dots\dots$ **(2P)**

- c) Es sei $A \rightarrow \infty$. Das Rückkopplungsnetzwerk k habe ebenfalls eine Ungenauigkeit. Wir modellieren sie, indem wir k durch $k^* = k(1+\varepsilon)$ ersetzen. Es sei $\varepsilon \ll 1$, so daß $1/(1+\varepsilon) \approx 1-\varepsilon$ gilt. Wie wirkt sich die Ungenauigkeit des Rückkopplungsnetzwerkes auf die Ausgangsgröße y aus? Ersetzt man k durch $k^* = k(1+\varepsilon)$, dann muß man y ersetzen durch

$y^* = \dots\dots\dots$ **(4P)**

- d) Hinsichtlich der drei untersuchten Fehlergrößen x_{err} , y_{err} und ε läßt sich sagen:

Durch Rückkopplung unterdrückbar ist / sind: $\dots\dots\dots$ **(1P)**

Durch Rückkopplung nicht unterdrückbar ist / sind: $\dots\dots\dots$ **(1P)**

4 Belastetes Regelsystem

Man betrachte das Regelsystem in Abbildung 4.

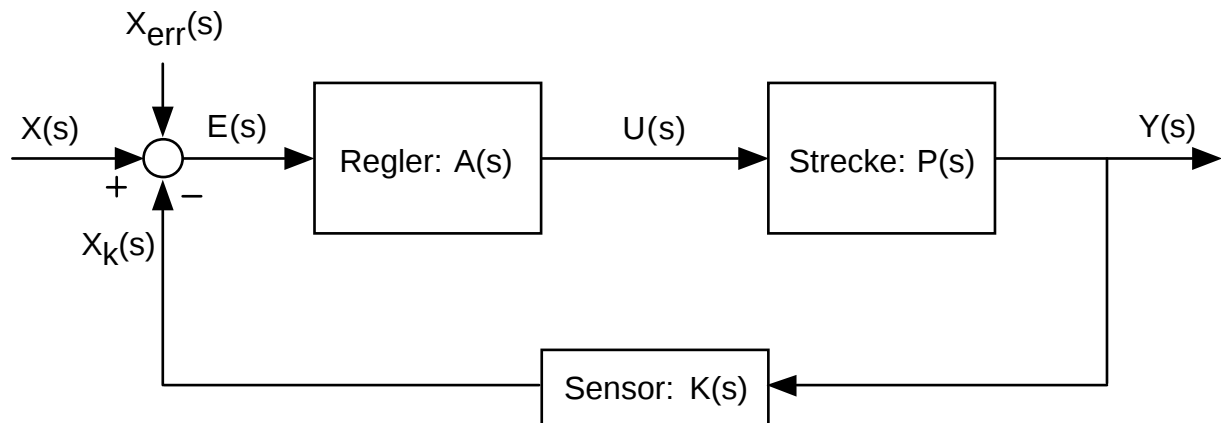


Abbildung 4 : Regelschleife

- a) Modellieren Sie das Verhalten des Regelsystems als Funktion von $A'(s)$, $X(s)$, $X'_{err}(s)$.

$$Y(s) = \dots\dots\dots (2P)$$

- b) Modellieren Sie $A'(s)$ und $X'_{err}(s)$ als Funktion von $A(s)$, $X_{err}(s)$ und $P(s)$.

$$A'(s) = \dots\dots\dots (2P)$$

$$X'_{err}(s) = \dots\dots\dots (2P)$$

Modellieren Sie $A'(s)$ und $X'_{err}(s)$ als Funktion von $X_{err}(s)$, $P(s)$ und $A(s)$. (2P)