

Prof. Dr.-Ing. J. Vollmer  
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Department für Informations- und Elektrotechnik  
Informationstechnik und Kommunikationstechnik

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: Simon

Matr.-Nr.: \_\_\_\_\_

Anzahl der abgegebenen Blätter: \_\_\_\_\_

Klausur: Grundlagen der Nachrichtentechnik (E4a)  
vom 31. Januar 2009

**Hinweis 1:** Formeln dürfen nur aus dem aktuellen Vorlesungsskript von Prof. Missun übernommen werden (mit Quellenangabe!). Die Verwendung von Formeln aus anderen Quellen ist nur zur Kontrolle erlaubt. Der Lösungsweg ist in diesem Fall anzugeben!

**Lösungen ohne Herleitungen und die korrekte Angabe der Einheiten erhalten nur eine verringerte Punktzahl.**

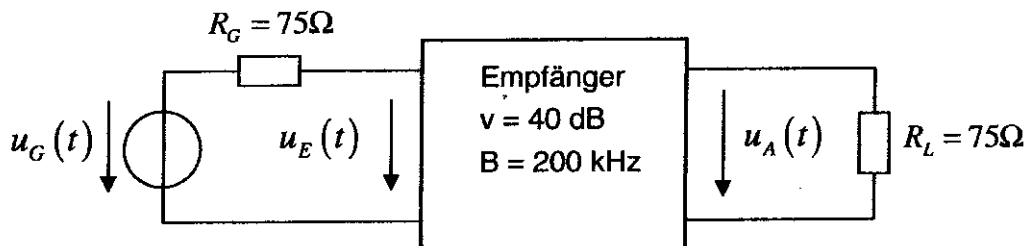
	bearbeitet (X = ja)	mögliche Punktzahl	erreichte Punktzahl
Aufgabe 1		15	15
Aufgabe 2		20	1
Aufgabe 3		25	19
Aufgabe 4		30	23
(Zusatzaufgabe)		(25)	—
Summe		90	58

Bewertung:

127

**Aufgabe 1** Empfangssystem (15 Punkte)

Bei einer effektiven Eingangsspannung von  $U_E = 18 \mu\text{V}$  und  $T = 290 \text{ K}$  wird am Ausgang ein SNR von 18dB gemessen. Ein- und Ausgangsimpedanz des Systems sind jeweils  $75 \Omega$ .

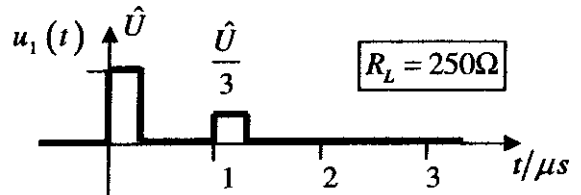
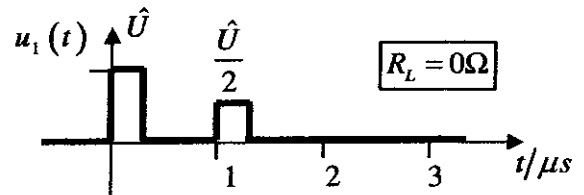
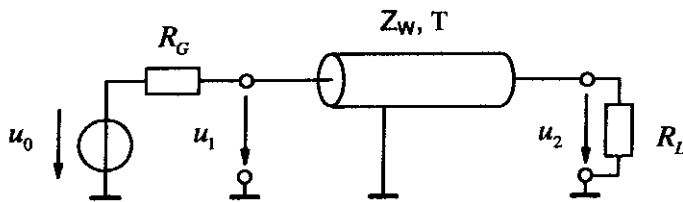


- Welche Rauchsahl muss der Empfänger haben?
- Bei welcher effektiven Generatorspannung  $U_G$  sinkt das SNR auf 6,02dB?

## Aufgabe 2 Leitung (20 Punkte)

01 WS	Semester E4	Fach GN	Dozent VIM
FSR - Klausurensammlung 7/10			

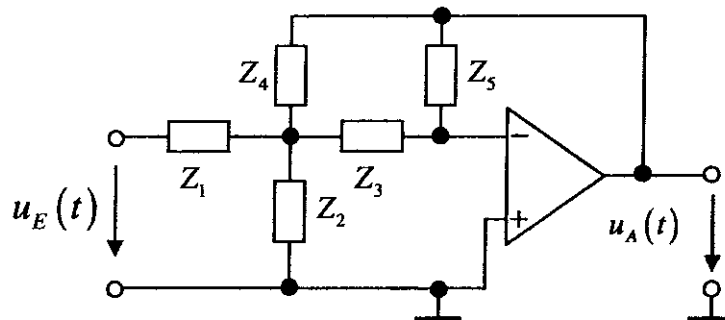
Auf eine schwach gedämpfte Leitung ( $G'=0$ ) von 100 Meter Länge wird ein Rechteckimpuls gegeben. Die Bilder zeigen die Eingangsspannung  $u_1(t)$  für die Fälle  $R_L=0\ \Omega$  und  $R_L=250\ \Omega$ . Nehmen Sie den Wellenwiderstand  $Z_W$  immer als rein reellwertig an.



- Wie ist das Verhältnis  $R_G / Z_W$ ? (Verständnisfrage ohne Rechnung.)
- Bestimmen Sie  $Z_W$ , die Leitungsbeläge  $L'$ ,  $R'$ ,  $C'$  und den Ausbreitungskoeffizienten  $\gamma$ .
- Wie würde  $u_1(t)$  für  $R_G = Z_W/2$  aussehen? (Prinzipielle Beschreibung, keine Rechnung nötig)

## Aufgabe 3 Filterentwurf (25 Punkte)

Mit der dargestellten Schaltung mit idealem Operationsverstärker soll ein Butterworthhochpassfilter zweiter Ordnung mit der 3dB Grenzfrequenz  $f_g = 1\text{ kHz}$  realisiert werden.



werden.

- Stellen Sie die Übertragungsfunktion  $U_A/U_E$  als Funktion der Impedanzen und  $j\omega$  in Normalform auf. Für einen Hochpass müssen  $Z_1, Z_3$  und  $Z_4$  Kapazitäten,  $Z_2$  und  $Z_5$  Widerstände sein. (Normalform: Nennerpolynom hat die Form  $1 + \alpha_1 \cdot (j\omega) + \alpha_2 \cdot (j\omega)^2 + \dots$ )
- Nun sein  $C_3 = 100\text{ nF}$ ,  $R_2 = 400\ \Omega$  und  $U_A/U_E \rightarrow -1$  für  $\omega \rightarrow \infty$ . Berechnen Sie die Werte der unbekannten Bauelemente.

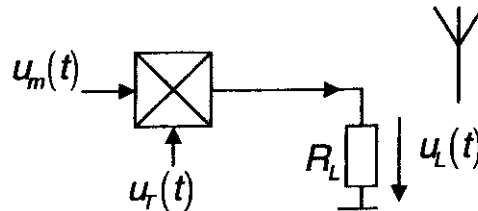
# Aufgabe 4 Amplitudenmodulation (30 Punkte)

08/17	Semester E4	Fach 6N	Dozent VIM
FSR - Klausurenensammlung 2/10			

Das Signal  $u_m(t)$  ist definiert als

$$u_m(t) = 1V \cdot [\cos(\Omega_m t) + 0,11 \cdot \cos(3\Omega_m t) + 0,04 \cdot \cos(5\Omega_m t)]$$

mit  $\Omega_m = 2\pi F_m$  und  $F_m = 1$  kHz. Der modulierende Träger ist  $u_T = 1V \cdot \cos(\Omega_T t)$  mit  $\Omega_T = 2\pi F_T$  und  $F_T = 1$  MHz gilt. Das Signal  $u_m(t)$  am Ausgang des Multiplizierers ist  $u_L(t) = K \cdot u_m(t) \cdot u_T(t)$  mit  $K = 0,5V^{-1}$ . Die Sendeantenne entspricht einem Lastwiderstand von  $R_L = 50 \Omega$ . gilt.



- Skizzieren Sie von  $u_m(t)$  eine halbe Periode ( $0 \leq t \leq T_m/2 = 1/(2F_m)$ ) indem Sie die ersten zwei Teilfunktionen grafisch addieren. Beschriften Sie die Zeichnung vollständig. (Tipp: Zeichnen Sie die zweite Teilfunktion zuerst und lassen Sie sich Platz.)
- Bestimmen Sie die maximalen und minimalen Wert von  $u_m(t)$  (Tipp: Eventuell hilft a)).
- Bestimmen Sie das Spektrum  $U_m(f) = \mathcal{F}\{u_m(t)\}$ .
- Geben Sie  $u_L(t)$  als einfache gewichtete Summe von Cosinusfunktionen an, d.h. es sollen keine Produkte von Sinus- oder Cosinusfunktionen auftreten.
- Berechnen Sie die mittleren Leistungen aller Spektrallinien des Sendesignals  $u_L(t)$  in dBm und tragen Sie diese mit den Frequenzen in eine Tabelle ein.
- Skizzieren das Betragsspektrum für  $|f - F_T| \leq 6F_m$  (Vollständige Beschriftung).
- Berechnen Sie die an  $R_L$  im Mittel insgesamt umgesetzte Leistung.

## Zusatzaufgabe: Verzerrungen (25 Punkte)

Vier Systeme sollen auf die Art der durch sie verursachten Verzerrungen hin untersucht werden. Dazu wird an den Eingang jeweils das Testsignal  $x(t) = 2V \cdot \cos(2\pi f t)$  angelegt mit den Signalfrequenzen  $|f| \leq 1$  MHz. Man beobachtet für die 4 Systeme folgende Ausgangssignale:

$y_1(t) = 1,5V \cdot \cos(2\pi f t + \pi f / 100\text{kHz})$	$y_2(t) = 1V + 1V \cdot \cos(4\pi f t)$
$y_3(t) = 1,5V \cdot \cos(2\pi f_x t + \Theta(f_x))$ mit $\Theta(f) = -\pi(f/1\text{MHz})^2$	$y_4(t) = \frac{1,5V}{\sqrt{1+(f/1\text{MHz})^2}} \cos(2\pi f t + \Theta(f))$ mit $\Theta(f) = -\arctan(f/1\text{MHz})$

Beantworten Sie für alle vier Systeme für das beobachtet Frequenzintervall folgende Fragen: (Ohne Begründung gibt es bei a)-c) keine Punkte! Schreiben Sie in ganzen Sätzen!)

- Ist das System „Verzerrungsfrei“?
- Ist das System „Linear“ oder „Nichtlinear“?
- Nennen Sie ein System aus der Nachrichtentechnik, welches sich so verhalten würde.
- Berechnen Sie für alle linearen Systeme die Signalverzögerungszeiten für  $f = 1$  MHz.

(Hinweis:  $\arctan(x)' = 1/(1+x^2)$ )

WS 08	Semester E4	Fach GN	Dozent VIM
FSR - Klausurensammlung 4/10			

in Aufg. 1.1 a)  $SNR_a = 18 \text{ dB}$

$$SNR_e = \frac{P_s}{P_r} = \frac{(U_e)^2 / R}{k \cdot B \cdot T} = \frac{\left(\frac{18 \mu\text{V}}{75 \Omega}\right)^2}{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 290 \text{ K}}$$

$$\Leftrightarrow SNR_e = \frac{4,32 \cdot 10^{-12} \text{ W}}{8,0 \cdot 10^{-16} \text{ W}} = 5397,3 \approx 37,32 \text{ dB}$$

10/10 Rechenwert:  $F = SNR_e - SNR_a = 37,32 \text{ dB} - 18 \text{ dB} = \underline{\underline{19,32 \text{ dB}}}$

nachrichtl.:  $\underline{\underline{F}} = 10^{F_{\text{dB}}/10} = \underline{\underline{85,54}}$  ✓

b)  $SNR_a = 6,02 \text{ dB}$

$$SNR_e = F_{\text{dB}} + SNR_a = 19,32 \text{ dB} + 6,02 \text{ dB} = 25,34 \text{ dB} \approx 341,98$$

$$SNR_e = \frac{P_s}{P_r} \Leftrightarrow P_s = SNR_e \cdot P_r$$

$$\Leftrightarrow \frac{(U_e)^2}{R} = SNR_e \cdot P_r$$

$$\Leftrightarrow U_e = \sqrt{SNR_e \cdot P_r \cdot R}$$

$$\Leftrightarrow \underline{\underline{U_e}} = \sqrt{341,98 \cdot 8,0 \cdot 10^{-16} \text{ W} \cdot 75 \Omega} = \underline{\underline{4,53 \mu\text{V}}} \quad \checkmark$$

aufgrund der gleichen Eingangs- und Ausgangsspannungen

folgt für den Spannungsteiler:  $\underline{\underline{U_G}} = 2 \cdot U_e = \underline{\underline{9,06 \mu\text{V}}}$  ✓

Blatt 2

GN

31.01.08

01/08	Semester	nach	Dozent
08	EV	GN	VIM
PSR - Klausurensammlung 9/10			

Aufg. 2.1 a)

$$r_2 = \frac{R_L - 2Z_W}{R_L + 2Z_W} \quad R_L = 0 \quad = -1$$

b)  $2Z_W =$ 

$$r_2 = \frac{1}{2}$$

bei  $R_L = 0$ 

$$r_2 = \frac{1}{3}$$

bei  $R_L = 250 \Omega$ mit dann  $2Z_W$  berechnen

1/13

m) Aufg. 3.) a)

08	Semester E4	Fach EN	Dozent VIM
FSR - Klausurensammlung 6/10			

$$\begin{aligned}
 \frac{u_2}{u_e} &= \frac{-\frac{1}{Z_1} \cdot \frac{1}{Z_3}}{\frac{1}{Z_5} \cdot \left( \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_4} \right) + \frac{1}{Z_3} \cdot \frac{1}{Z_4}} \\
 &= \frac{-Y_1 \cdot Y_3}{Y_5 \cdot (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) + Y_3 \cdot Y_4} \\
 &= \frac{-j\omega C_1 \cdot j\omega C_3}{\frac{1}{R_5} \cdot (j\omega C_1 + j\omega C_2 + j\omega C_3 + \frac{1}{R_2}) + j\omega C_3 \cdot j\omega C_4} \\
 &= \frac{-j\omega)^2 \cdot C_1 \cdot C_3}{j\omega)^2 \cdot C_3 C_4 + (j\omega) \cdot (C_1 + C_2 + C_3) \cdot \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_5 R_2}}
 \end{aligned}$$

10/10


$$\frac{u_2}{u_e} = \frac{-(j\omega)^2 C_1 \cdot C_3 \cdot R_5 \cdot R_2}{(j\omega)^2 \cdot C_3 C_4 \cdot R_2 \cdot R_5 + (j\omega) \cdot (C_1 + C_2 + C_3) R_2 + 1}$$

b)  $C_3 = 100 \text{ nF}; R_2 = 400 \Omega; \frac{u_2}{u_e} \rightarrow -1 \text{ für } \omega \rightarrow \infty$

S 1/15 I.)  $\frac{u_2}{u_e} (\omega \rightarrow \infty) = \frac{-C_1 \cdot C_3 \cdot R_5 \cdot R_2}{C_3 \cdot C_4 \cdot R_2 \cdot R_5} = -\frac{C_1}{C_4} = -1 \Rightarrow C_1 = C_4$

II.)  $\frac{C_3 \cdot C_4 \cdot R_2 \cdot R_5}{\omega_g^2} = 1 = \frac{b}{\omega_g^2}$  Koeffizient HP nicht TP  
[Einheit]

III.)  $\frac{(C_1 + C_2 + C_3) \cdot R_2}{\omega_g} = \sqrt{2} = a$

 01	Semester E4	Fach GN	Bezent V/M
FSR - Klausurensammlung 7/10			

Aufg. 3.1 b)

$$\frac{b}{2^2} = \frac{1}{2} = \frac{C_3 \cdot C_4 \cdot R_2 \cdot R_5}{\omega_g^2} \cdot \frac{\omega_g^2}{(C_1 + C_3 + C_4) \cdot R_2^2}$$

$$\Rightarrow \frac{C_3 \cdot C_4 \cdot R_5}{(C_1 + C_3 + C_4) \cdot R_2^2}$$

$$\stackrel{C_1 = C_4}{\Rightarrow} \frac{C_3 \cdot C_1 \cdot R_5}{(2C_1 + C_3) \cdot R_2^2}$$

$f_g$  ist gegeben, daher gilt entsprechend:

$$\omega_g^2 = C_3 \cdot C_4 \cdot R_2 \cdot R_5$$

$$\sqrt{2} \omega_g = (C_1 + C_3 + C_4) \cdot R_2 = (2C_1 + C_3) R_2$$

$$\Rightarrow C_1 = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\sqrt{2} \cdot \omega_g}{R_2} - C_3 \right)$$

$$\Rightarrow C_1 = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\sqrt{2} \cdot \omega_g}{R_2} - C_3 \right) = 11,1 \text{ F}$$

$$\Rightarrow C_1 = C_4 = 11,1 \text{ F}$$

$$\omega_g^2 = C_3 \cdot C_4 \cdot R_2 \cdot R_5$$

$$\Rightarrow R_5 = \frac{\omega_g^2}{C_3 \cdot C_4 \cdot R_2} = \frac{(\sqrt{2} R_2)^2}{C_3 \cdot C_4 \cdot R_2}$$

$$\Rightarrow R_5 = \dots$$

2.  
1.9 1f

Blatt 5

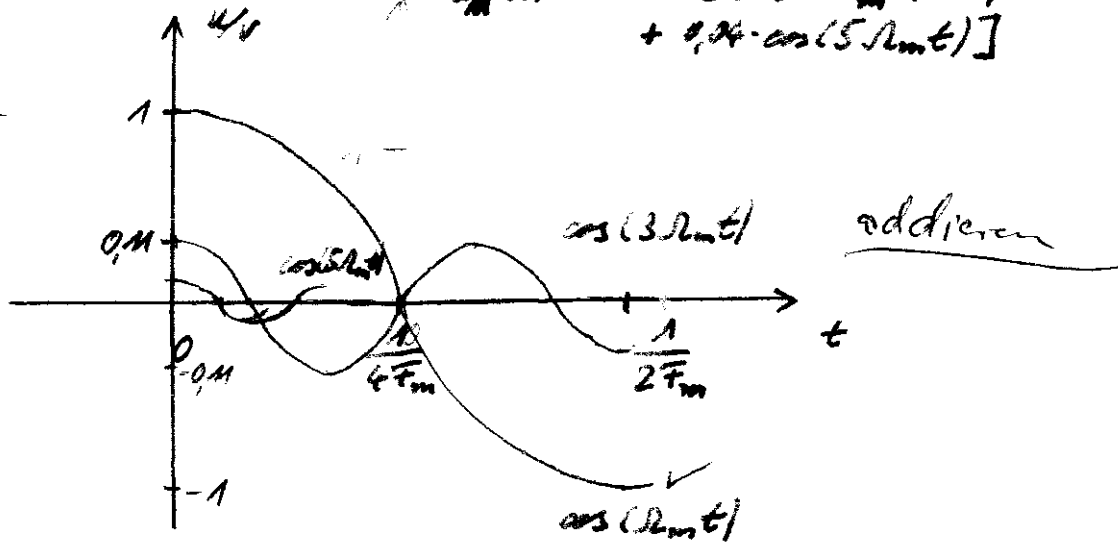
GN

31.01.08

Matr.Nr.	Semester	Fach	Dozent
08	EV	GN	VLM
FSR - Klausurensammlung 4/10			

Aufg. 4.1 a)

$$u_m(t) = 1V \left[ \cos(2\pi f_m t) + 0,11 \cdot \cos(3 \cdot 2\pi f_m t) + 0,04 \cdot \cos(5 \cdot 2\pi f_m t) \right]$$

noch  
3/4

2/4

$$b) \quad u_m(t)_{\max} = 1V + 0,11V + 0,04V = 1,15V \quad \checkmark \quad \text{Werte aus der Zeichnung}$$

$$u_m(t)_{\min} = -1V - 0,11V - 0,04V = -1,15V \quad \checkmark$$

Rechnen

$$c) \quad u_m(f) = \mathcal{F}\{u_m(t)\}$$

$$u_m(t) = 1V \cdot [\cos(2\pi f_m t) + 0,11 \cdot \cos(3 \cdot 2\pi f_m t) + 0,04 \cdot \cos(5 \cdot 2\pi f_m t)]$$

4/4

$$u_m(f) = 1V \cdot \left[ \frac{1}{2} \delta(f - f_m) + \delta(f + f_m) + \left( \frac{1}{2} \cdot 0,11 \cdot (\delta(f - 3f_m) + \delta(f + 3f_m)) + \frac{1}{2} \cdot 0,04 \cdot (\delta(f - 5f_m) + \delta(f + 5f_m)) \right) \right]$$

d)

$$u_e(t) = u_m(t) \cdot u_T(t) \cdot K$$

$$= 1V \cdot [\cos(2\pi f_m t) + 0,11 \cdot \cos(3 \cdot 2\pi f_m t) + 0,04 \cdot \cos(5 \cdot 2\pi f_m t)]$$

$$\cdot 1V \cdot \cos(2\pi f_T t) \cdot \frac{1}{2} V^{-1} \quad \checkmark$$



Q1 WS 07	Semester EV	Fach GN	Dozent VIM
FSR - Klausurenensammlung 9/10			

Aufg. 4.1 d)

$$u_2(t) = \left[ \frac{1}{2} V \cdot \cos(\Omega_m t) \cdot \cos(\Omega_T t) + 0,055 \cdot \cos(\Omega_m t) \cdot \cos(\Omega_T t) + 0,02 \cdot \cos(\Omega_m t) \cdot \cos(\Omega_T t) \right]$$

NR:

$$\begin{aligned} & \cos(\Omega_m t) \cdot \cos(\Omega_T t) \\ &= \frac{1}{2} (e^{j\Omega_m t} + e^{-j\Omega_m t}) \cdot \frac{1}{2} (e^{j\Omega_T t} + e^{-j\Omega_T t}) \\ &= \frac{1}{4} \cdot (e^{j(\Omega_m + \Omega_T)t} + e^{j(\Omega_m - \Omega_T)t} + e^{-j(\Omega_m + \Omega_T)t} + e^{-j(\Omega_m - \Omega_T)t}) \\ &= \frac{1}{4} \cdot (2 \cdot \cos((\Omega_T + \Omega_m) \cdot t) + 2 \cdot \cos(\Omega_m - \Omega_T) \cdot t) \\ &= \frac{1}{2} \cdot \cos((\Omega_T + \Omega_m) \cdot t) + \frac{1}{2} \cdot \cos(\Omega_m - \Omega_T) \cdot t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow u_2(t) &= \frac{1}{4} V \cdot \cos((\Omega_T + \Omega_m) \cdot t) + \frac{1}{4} V \cdot \cos((\Omega_m - \Omega_T) \cdot t) \\ &+ 0,0275 V \cdot \cos((\Omega_T + 3\Omega_m) \cdot t) + 0,0275 V \cdot \cos((2\Omega_m - \Omega_T) \cdot t) \\ &+ 0,01 V \cdot \cos((\Omega_T + 5\Omega_m) \cdot t) + 0,01 V \cdot \cos((5\Omega_m - \Omega_T) \cdot t) \end{aligned}$$

f	$\hat{u} \neq V_{eff}$	P	P/d0m
e) $\Omega_T + \Omega_m = 6,279 \text{ MHz}$	$\frac{1}{4}$	1,25 mW	0,969
$-\Omega_T + \Omega_m = 6,276 \text{ MHz}$	$\frac{1}{4}$	1,25 mW	0,969
$\Omega_T + 3\Omega_m = \text{new.}$	0,0275	15,125 $\mu$ W	-18,2
$-\Omega_T + 3\Omega_m =$	0,0275	15,125 $\mu$ W	-18,2
$\Omega_T + 5\Omega_m =$	0,01	2 $\mu$ W	-26,99
$-\Omega_T + 5\Omega_m =$	0,01	2 $\mu$ W	-26,99

Blatt 7

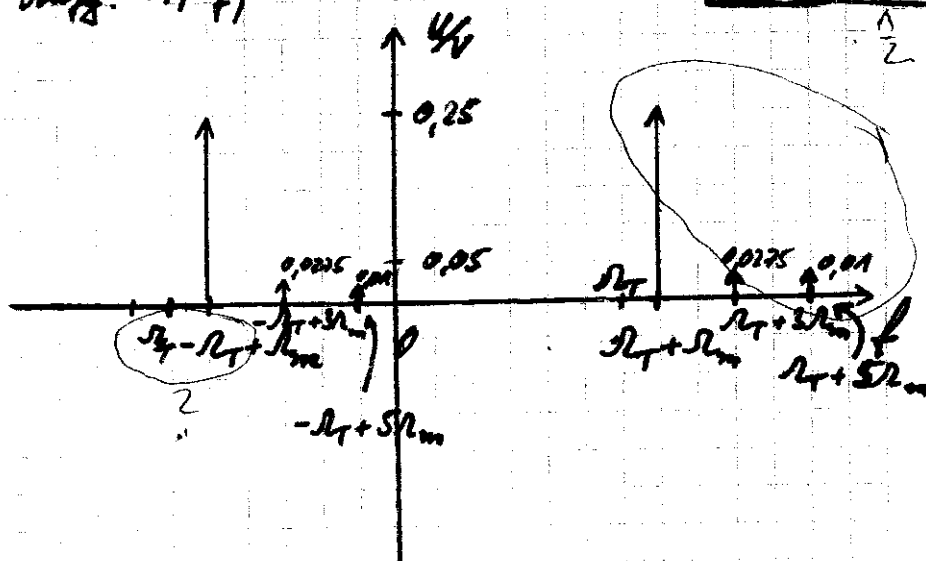
GN

31.01.08

Matr. Nr.	Semester	Fach	Dozent
08	EL	GN	VIM

FSR - Klausurensammlung 10/10

u) Aufg. 4.1 f)

noch  
2/4

$$g) \quad u_{ges} = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{0,0225}{\sqrt{2}}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{0,0225}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot 2}$$

$$u_{ges, eff} = 0,2512 V$$

$$P = \frac{u_{ges, eff}^2}{R} = \frac{0,2512 V^2}{50 \Omega} = 0,005 W = \underline{\underline{5,024 mW}}$$