

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.

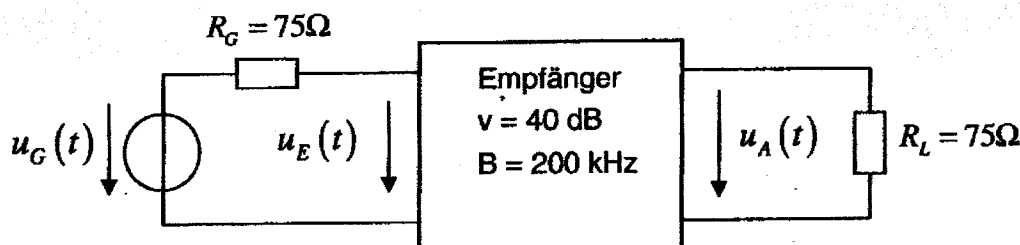
	bearbeitet (X = ja)	mögliche Punktzahl	erreichte Punktzahl
Aufgabe 1		15	15
Aufgabe 2		20	1
Aufgabe 3		25	19
Aufgabe 4		30	23
(Zusatzaufgabe)		(25)	—
Summe		90	58

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 75Ω .

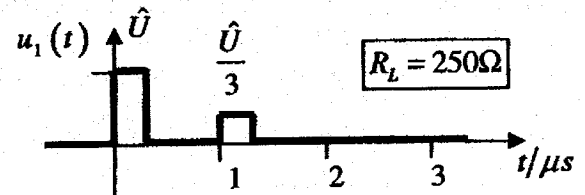
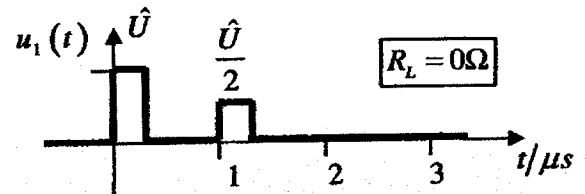
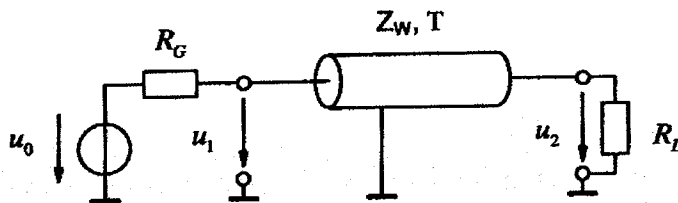


- Welche Rauchzahl muss der Empfänger haben?
- Bei welcher effektiven Generatorspannung U_G sinkt das SNR auf 6,02dB?

Aufgabe 2 Leitung (20 Punkte)

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

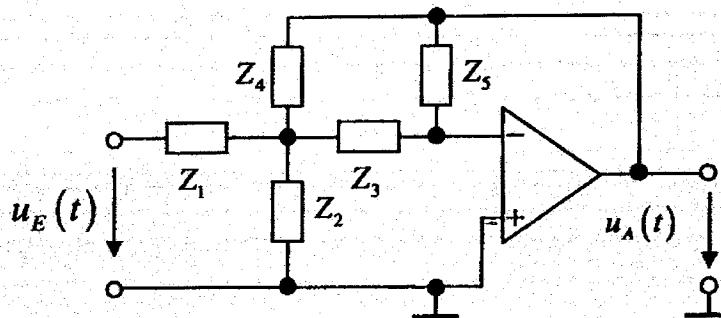
Auf eine schwach gedämpfte Leitung ($G'=0$) von 100 Meter Länge wird ein Rechteckimpuls gegeben. Die Bilder zeigen die Eingangsspannung $u_1(t)$ für die Fälle $R_L=0\ \Omega$ und $R_L=250\ \Omega$. Nehmen Sie den Wellenwiderstand Z_W immer als rein reellwertig an.



- Wie ist das Verhältnis R_G / Z_W ? (Verständnisfrage ohne Rechnung.)
- Bestimmen Sie Z_W , die Leitungsbeläge L' , R' , C' und den Ausbreitungskoeffizienten γ .
- 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.

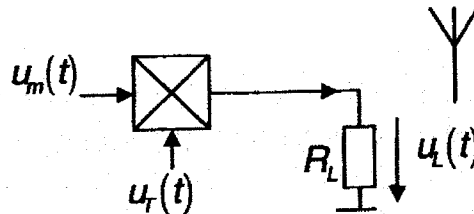
Aufgabe 4 Amplitudenmodulation (30 Punkte)

1. WS 08	Semester E4	Fach 61	Dozent VIM
FSR - Klausurenseminar 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 54	Fach GN	Dozent VIM
FSR - Klausurensammlung 4/10			

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

$$SNR_e = \frac{P_s}{P_r} = \frac{(U_e)^2 / R}{A \cdot B \cdot T} = \frac{\frac{(18 \mu V)^2}{25 \Omega}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \text{ K} \cdot 290 \text{ K}}$$

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

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

Rechenwert: $F = 10^{F_{dB}/10} = \underline{\underline{85,54}}$

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

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

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

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

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

$$\Leftrightarrow \underline{U_e} = \sqrt{341,98 \cdot 8,0 \cdot 10^{-16} \text{ W} \cdot 25 \Omega} = \underline{\underline{4,53 \mu V}}$$

helfend der gleichen Eingangs- und Ausgangsspannungen

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

Matr. Nr.	Semester	nach	Dozent
08	E4	GN	VIM
PSR - Klausurensammlung 5/10			

Aufg. 2.1 a)

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

b) $Z_W =$

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

bei $R_L = 0$

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

bei $R_L = 250 \Omega$ und dann Z_W berechnen

1/13

m) Aufg. 3.) a)

WS	Semester	Fach	Punkt
08	E4	GN	11/11
FSR - Klausurensamml. a 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

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

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

S

$$\text{I.) } \frac{u_2}{u_e} (\omega \rightarrow \infty) = \frac{-C_1 \cdot C_3 \cdot R_5 \cdot R_2}{C_3 \cdot C_4 \cdot R_2 \cdot R_5} = -\frac{C_1}{C_4} = -1 \quad \checkmark$$

II.)

$$\frac{C_3 \cdot C_4 \cdot R_2 \cdot R_5}{\omega_g^2} = 1 = \frac{b}{\omega_g^2} \quad \checkmark \quad \text{HP nicht ATP} \quad \text{[Einheit]}$$

III.)

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

Prüfung	Semester	Fach	Bezent
01	E4	GN	V11
FSR - Klausurensammlung 7/10			

Aufg. 3.1 b)

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

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

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

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

ω_g ist gegeben, daher gilt vereinfachen:

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

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

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

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

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

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

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

$$\Rightarrow R_5 = \dots$$

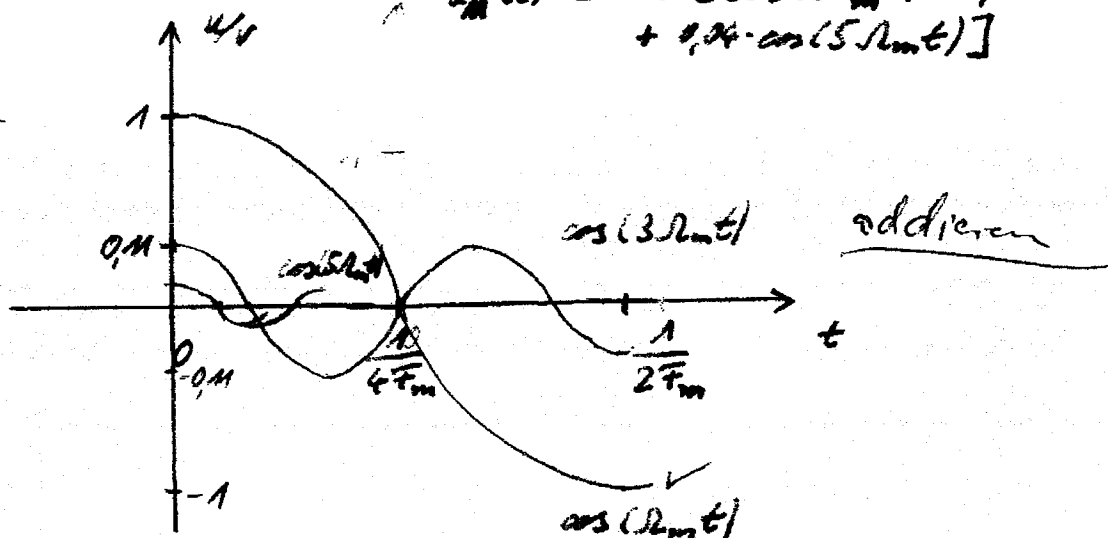
2

19.16

Matr. Nr.	Semester	Fach	Dozent
08	EL	GN	VIM
FSR - Klausurensammlung 4/10			

Aufg. 4.1 a)

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

noch
3/4

2/4

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

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

Berechnen

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

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

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

d)

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

$$= 1V \cdot [\cos(\Omega_m t) + 0,11 \cdot \cos(3\Omega_m t) + 0,04 \cdot \cos(5\Omega_m t)] \\ \cdot 1V \cdot \cos(\Omega_T t) \cdot \frac{1}{2} V^{-1}$$

WS 07	Semester EU	Fach GN	Dozent VIM
FSR - Klausurenansammlung 2/10			

Aufg. 4.1 d) $u_2(t) = \left[\frac{1}{2} V \cdot \cos(\Omega_m t) \cdot \cos(\Omega_T t) \right.$
 $+ 0,055 \cdot \cos(\Omega_m t) \cdot \cos(\Omega_T t)$
 $\left. + 0,02 \cdot \cos(\Omega_m t) \cdot \cos(\Omega_T t) \right]$

NR:

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

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

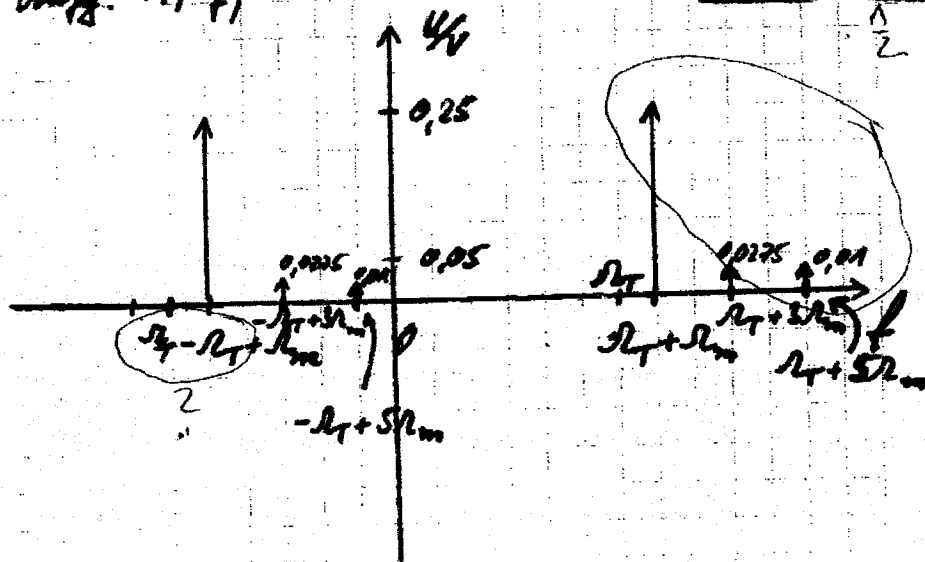
4/4

f	$\hat{u} \neq U_{eff}$ V	P	P/dBm
e) $\Omega_T + \Omega_m = 6,229 \text{ MHz}$	$\frac{1}{4}$	1,25 mW	0,969
$-\Omega_T + \Omega_m = 6,226 \text{ MHz}$	$\frac{1}{4}$	1,25 mW	0,969
$\Omega_T + 3\Omega_m = \text{null}$	0,0275	15,125 μ W	-18,2
$-\Omega_T + 3\Omega_m =$	0,0275	15,125 μ W	-18,2
$\Omega_T + 5\Omega_m =$	0,01	2 μ W	-26,99
$-\Omega_T + 5\Omega_m =$	0,01	2 μ W	-26,99

6/8

1. SS	Semester	Fach	Dozent
08	EL	GN	VIM
FSR - Klausurensemlung 10/10			

u) Aufg. 4.1 f)

noch
2/4

$$g) u_{\text{ges}} = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{0,01V}{\sqrt{2}}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{0,0275V}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0,01V}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot 2}$$

2/2

$$c) u_{\text{ges, eff}} = 0,2512V$$

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