

Es werden insgesamt 107 Punkte vergeben. Die Fallstellung umfasst vier Aufgaben, wobei die Teilnehmer 3 Aufgaben ihrer Wahl bearbeiten können. Das Lösen einer vierten Aufgabe wird nicht mit Bonuspunkten belohnt.

Präsentationen

Bitte tragen Sie während dessen die erzielten Punkte in die dafür vorgesehenen Felder direkt unter der Aufgabe ein und übertragen diese im Abschluss in die Übersicht.

Für die Präsentation hat jedes Team 15 Minuten Zeit. Bei Zeitüberzug wird nicht abgebrochen. Pro überzogene Minute werden im Teil 2, 0,5 Punkte abgezogen.

Die Präsentation kann in PowerPoint oder auf Flipchart/Pinnwand erfolgen. Dafür steht ausreichend Material den Gruppen zur Verfügung (u. a. Papier, Moderationskoffer).

Wir wünschen Ihnen viele positive Eindrücke, gute Gespräche und viel Spaß bei Ihren Beobachtungen!

Ihr 4PM-Team

Bepunktungsschema:

Teil 1 – Fachliche Aufgaben

Aufgabe I.A.1	4 Punkte	} 25 Punkte
Aufgabe I.A.2	7 Punkte	
Aufgabe I.A.3	2 Punkte	
Aufgabe I.B.1	9 Punkte	
Aufgabe I.B.2	3 Punkte	

Aufgabe II.A.1	3 Punkte	} 25 Punkte
Aufgabe II.A.2	5 Punkte	
Aufgabe II.A.3	2 Punkte	
Aufgabe II.A.4	5 Punkte	
Aufgabe II.B.1	7 Punkte	
Aufgabe II.B.2	3 Punkte	

Aufgabe III.A	5 Punkte	} 25 Punkte
Aufgabe III.B	10 Punkte	
Aufgabe III.C.1	7 Punkte	
Aufgabe III.C.2	3 Punkte	

Aufgabe IV.A.1 – IV.A.7	10 Punkte	} 25 Punkte
Aufgabe IV.B.1 – IV.B.6	15 Punkte	

Gesamt (3 Aufgaben): 75 Punkte

Teil 2 – Soft Skills

- Teamarbeit und Präsentation	32 Punkte
--------------------------------------	------------------

Gesamt: 107 Punkte

Teil 1 – Fachliche Aufgaben

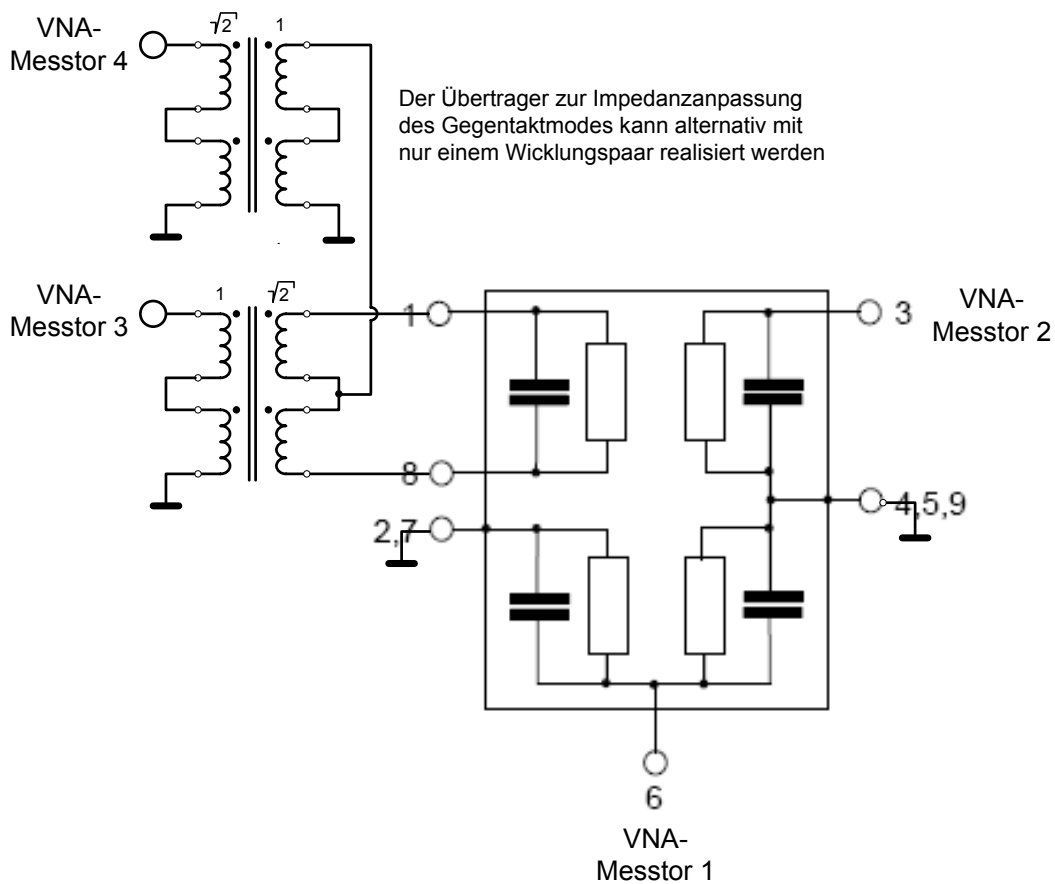
Aufgabenteil I: Duplexfilter und Antenne

Aufgabe I.A.1

- Auf einer symmetrischen Leitung sind Gegentakt- (Differential) und Gleichtakt- (Common) Mode ausbreitungsfähig.
- Zur Übertragung des Nutzsignals verwendet man den Gegentaktmode.
- Vorteilhaft sind die geringe Störaussendung und Stöempfindlichkeit (wegen der Trennung von der Gerätemasse) sowie die geringere Signalleistung bei gleicher Signalspannung (wegen der höheren Bezugsimpedanz des Gegentaktmodes)

Aufgabe I.A.1				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
4				

Aufgabe I.A.2



Aufgabe I.A.2				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
7				

Aufgabe I.A.3

Die Messdynamik muss um 6 dB größer sein als die zu messende Sperrdämpfung. Nimmt man an, dass die Dynamik mit der Messbandbreite BW_{alt} (= 1 MHz) 43 dB beträgt, so muss die Bandbreite um $50 \text{ dB} + 6 \text{ dB} - 43 \text{ dB} = 13 \text{ dB}$ erhöht werden. Da das Eigenrauschen des Empfängers weiß und die Rauschleistung daher proportional zur Messbandbreite ist, gilt für die neue Bandbreite BW_{neu} :

$$10 \cdot \log \left(\frac{BW_{\text{alt}}}{BW_{\text{neu}}} \right) = 13$$

Nach BW_{neu} aufgelöst

$$BW_{\text{neu}} = \frac{BW_{\text{alt}}}{10^{1.3}}$$

Mit $BW_{\text{alt}} = 1 \text{ MHz}$ ergibt sich $BW_{\text{neu}} = 50.12 \text{ kHz}$

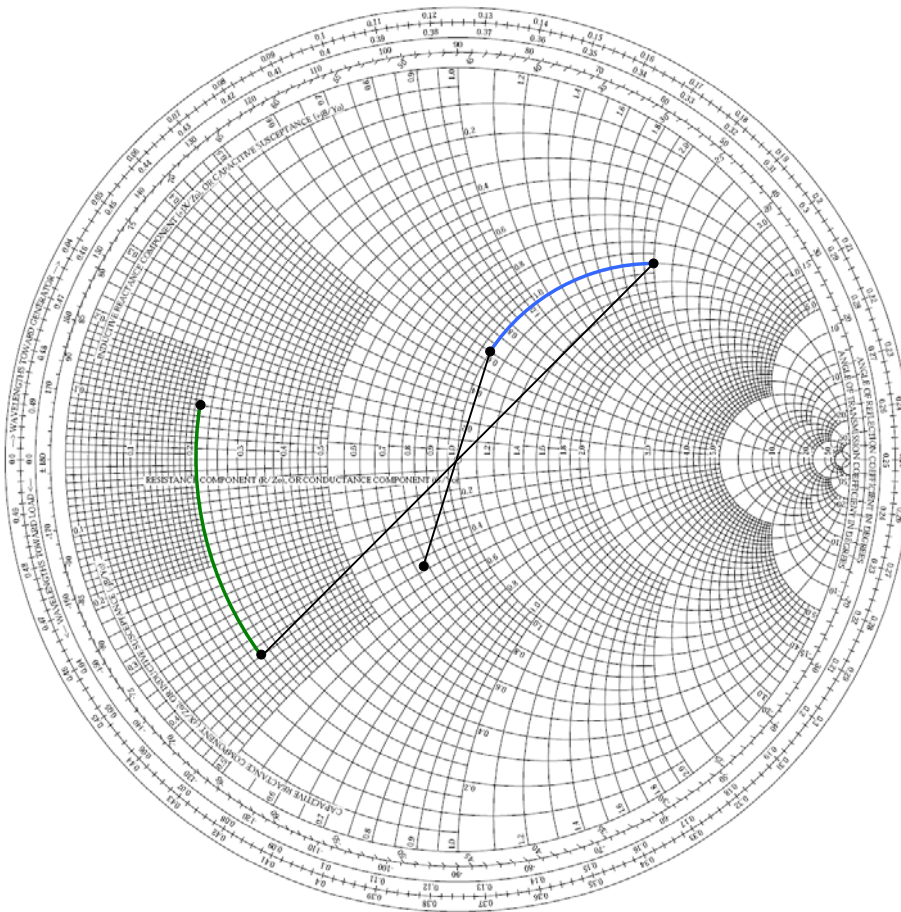
Der nächst kleinere einstellbare Wert ist 50 kHz. Alternativ dazu kann man auch die Generatorleistung um 13 dB erhöhen.

Aufgabe I.A.3				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
2				

Aufgabe I.B.1

Grafischer Lösungsweg:

1. ρ_D eintragen (Punkt 1)
2. Punktspiegelung am Ursprung, um in die Y-Ebene zu gelangen (Punkt 1')
3. Kreis $R = \text{const}$ kennzeichnen, auf dem der Blindleitwert B_C der Parallelkapazität C transformiert
4. Für Z_A oder Z_A^* (Punkt 3) Kreis $R = \text{const}$ kennzeichnen, auf dem der Blindwiderstand X_L der Serieninduktivität L transformiert
5. Die Punkte 2 und 2' sind punktsymmetrisch zum Ursprung, wobei 2 auf dem blauen und 2' auf dem grünen Kreis liegt. Diese Punkte lassen sich z.B. mit Hilfe eines Lineals finden



6. normierten Blindleitwert B_C aus dem Diagramm ablesen: $B_C = 2 - 0,6 = 1,4$
7. Mit Bezugsleitwert $Y_0 = 20 \text{ mS}$: Parallelkapazität $C = \frac{B_C \cdot Y_0}{2\pi f} = 2,29 \text{ pF}$
8. normierte Blindimpedanz X_L aus dem Diagramm ablesen: $X_L = 0,1 - (-0,4) = 0,5$
9. Mit Bezugsimpedanz $Z_0 = 50 \text{ }\Omega$: Serieninduktivität $L = \frac{X_L \cdot Z_0}{2\pi f} = 2,04 \text{ nH}$

Rechnerischer Lösungsweg:

Vorgaben:

Frequenz

$$f = 1950 \text{ MHz}$$

Eingangsreflexionsfaktor des Duplexfilters konvertiert in Impedanz

$$\rho_D = -0.083 - 0.275j \quad Z_D := 50 \cdot \frac{1 + \rho_D}{1 - \rho_D} \quad Z_D = 36.743 - 22.026j \quad \Omega$$

$$R_D := \operatorname{Re}(Z_D) \quad X_D := \operatorname{Im}(Z_D)$$

Ausgangsimpedanz der Senderendstufe

$$Z_A = 10 - 5j \quad \Omega$$

$$R_A := \operatorname{Re}(Z_A) \quad X_A := \operatorname{Im}(Z_A)$$

Lösung:

Bei Anpassung muss die Impedanz des Duplexfilter mit parallelgeschalteter Kapazität und in Serie geschalteter Induktivität gleich der konjugiert komplexen Ausgangsimpedanz der Senderendstufe sein

$$\frac{(R_D + j \cdot X_D) \cdot j \cdot X_C}{(R_D + j \cdot X_D) + j \cdot X_C} + j \cdot X_L = R_A - j \cdot X_A$$

Nenner reell gemacht

$$\frac{(-X_D \cdot X_C + j \cdot R_D \cdot X_C) \cdot [R_D - j \cdot (X_D + X_C)]}{R_D^2 + (X_D + X_C)^2} + j \cdot X_L = R_A - j \cdot X_A$$

Zähler und Nenner ausmultipliziert, Real- und Imaginärteil der linken Seite getrennt

$$\frac{R_D \cdot X_D \cdot X_C + R_D \cdot X_C^2 - R_D \cdot X_D \cdot X_C}{R_D^2 + X_D^2 + 2 \cdot X_D \cdot X_C + X_C^2} + j \cdot \left[\frac{R_D^2 \cdot X_C + X_D \cdot X_C \cdot (X_D + X_C)}{R_D^2 + (X_D + X_C)^2} + X_L \right] = R_A - j \cdot X_A$$

Diese komplexe Gleichung mit zwei Unbekannten (X_C und X_L) kann in zwei reelle Gleichungen für Real- und Imaginärteil zerlegt werden

Betrachtung der Gleichung für den Realteil

$$R_D \cdot X_C^2 = R_A \cdot (R_D^2 + X_D^2 + 2 \cdot X_D \cdot X_C + X_C^2)$$

Terme nach Potenzen von X_C gesammelt

$$(R_D - R_A) \cdot X_C^2 - 2 \cdot R_D \cdot R_A \cdot X_C - (R_D^2 + X_D^2) \cdot R_A = 0$$

Lösungsformel für quadratische Gleichungen, zwei Lösungen

$$X_{C1} := \frac{X_D \cdot R_A + \sqrt{X_D^2 \cdot R_A^2 + (R_D - R_A) \cdot (R_D^2 + X_D^2) \cdot R_A}}{(R_D - R_A)}$$

$$X_{C2} := \frac{X_D \cdot R_A - \sqrt{X_D^2 \cdot R_A^2 + (R_D - R_A) \cdot (R_D^2 + X_D^2) \cdot R_A}}{(R_D - R_A)}$$

$$X_{C1} = 19.224 \, \Omega \quad X_{C2} = -35.697 \, \Omega$$

Kapazität hat negative Reaktanz, daher

$$X_C := X_{C2}$$

Berechnung der Kapazität

$$-\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = X_C$$

Nach C aufgelöst

$$C := -\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot X_C \cdot f} \quad C = 2.29 \, \mu\text{F}$$

Betrachtung der Gleichung für den Imaginärteil

$$\frac{R_D^2 \cdot X_C + X_D \cdot X_C \cdot (X_D + X_C)}{R_D^2 + (X_D + X_C)^2} + X_L = -X_A$$

Nach X_L aufgelöst

$$X_L := - \left[X_A + \frac{R_D^2 \cdot X_C + X_D \cdot X_C \cdot (X_D + X_C)}{R_D^2 + (X_D + X_C)^2} \right] \quad X_L = 24.987 \, \Omega$$

Berechnung der Induktivität

$$2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = X_L$$

Nach L aufgelöst

$$L := \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad L = 2.04 \text{ nH}$$

Kontrolle (optional): Impedanz des Filtereingangs mit parallel geschalteter Kapazität C und in Serie geschalteter Induktivität L

$$Z_M := \frac{-j \cdot Z_D \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}}{Z_D - j \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}} + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad Z_M = 10 + 5j \Omega$$

Aufgabe I.B.1				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
9				

Aufgabe I.B.2

Realisierung mit einer Leitungsstruktur: Die Parallelkapazität kann durch eine leerlaufende oder kurz geschlossene Stichleitung realisiert werden. Da eine negative Reaktanz erzeugt werden soll, ist dabei die leer laufende Leitung kürzer. Die Parallelschaltung von Filtereingang und Stichleitung weist einen Reflexionsfaktor auf, dessen Betrag gleich dem der Zielimpedanz $(10 + 5j) \Omega$ ist. Dieser Reflexionsfaktor muss dann nur noch mit Hilfe eines in Serie geschalteten Leitungsstücks auf die endgültige Phase gedreht werden.

Aufgabe I.B.1				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
3				

Aufgabe II: Synthesizerkern

Aufgabe II.A.1

$R = \text{reference frequency} / \text{channel spacing} = 20\text{MHz} / 100\text{kHz} = 200$ (1 Punkt)

$N(\text{min}) = F_{\text{out}(\text{min})} / \text{channel spacing} = 698\text{MHz} / 100\text{kHz} = 6980$ (1 Punkt)

$N(\text{max}) = F_{\text{out}(\text{max})} / \text{channel spacing} = 2690\text{MHz} / 100\text{kHz} = 26900$ (1 Punkt)

Aufgabe II.A.1				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
3				

Aufgabe II.A.2

The advantage of using a fractional-N-divider is that the reference frequency can be chosen higher, e.g.

Desired output frequency = 699.8MHz

$R = 20 \rightarrow \text{reference frequency} = 20\text{MHz} / 20 = 1\text{MHz}$

$N(699.8\text{MHz}) = 699.8\text{MHz} / 1\text{MHz} = 699.8$

Because of the 10 times higher reference frequency the loop bandwidth can also be higher, therefore a faster settling can be achieved. A good concept is to use during settling of the loop a fractional-n-pll and after the final frequency is reached switch back to an integer-n-pll. The loop bandwidths of both modes are different. Backdrafts: a fractional-n-pll is built up using two different integer dividers in the feedback path. It has to be toggled between the two dividers according to a certain algorithm. This causes some discontinuities at the VCO's control voltage, which one will detect as discrete spurs in the output spectrum as well. Secondly the circuit is more complex and therefore more expensive. (3 Punkte)

Necessary changes in the synthesizer core: (2 Punkte)

- 1.) Fractional-N-divider instead of integer-n-divider
- 2.) Loopfilter with selectable bandwidth

Further possibilities to reduce the switching time:

Possibility 2: during settling of the loop the bandwidth can be increased, afterwards it is reset to the narrower bandwidth. 10kHz loop bandwidth is already 10% of the comparison frequency, therefore it will be tough to design a stable loop with even higher loop bandwidth.

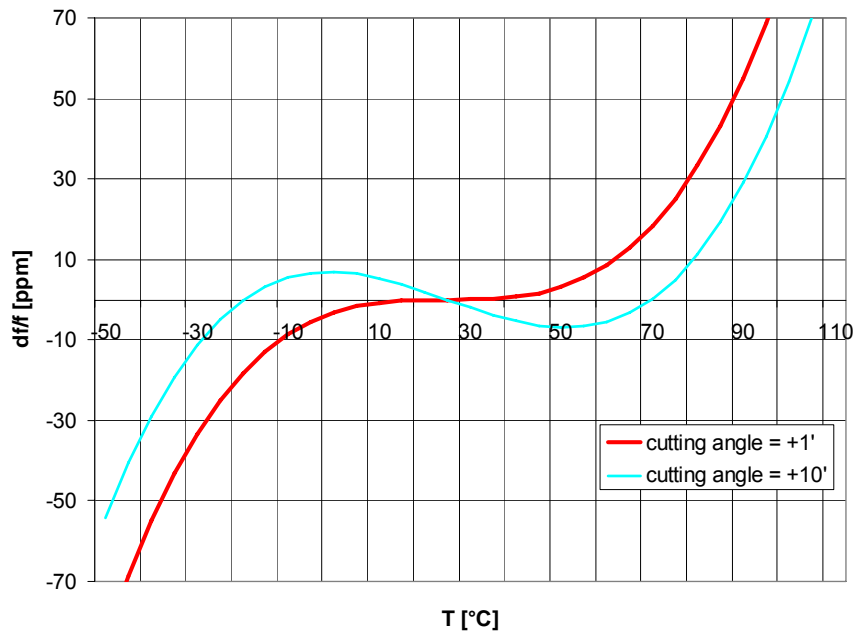
Possibility 3: use pretuning. In this case during settling the expected VCO's tune voltage is fed into the loop, the control loop is overdriven. After this the external source is removed again and the loop keeps locked on the correct value.

Aufgabe II.A.2				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
5				

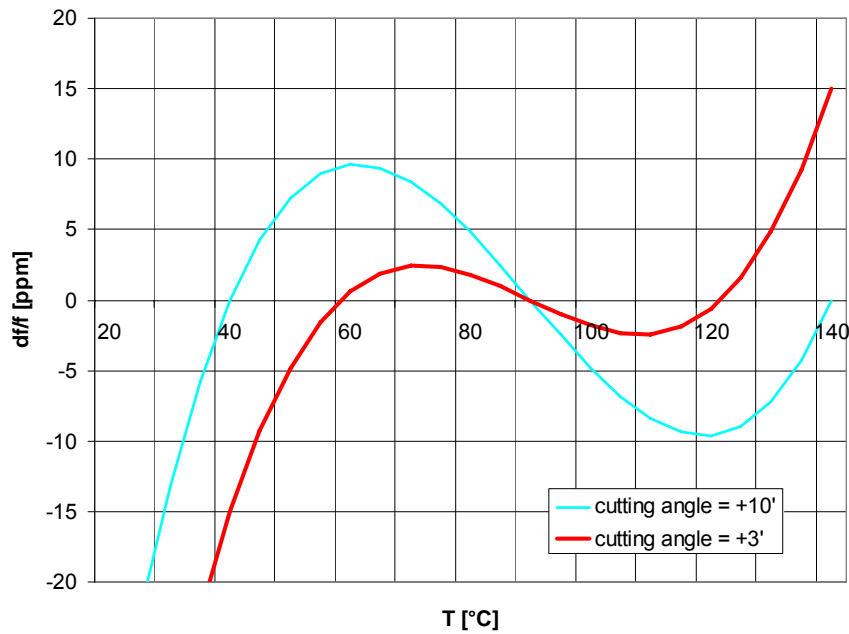
Aufgabe II.A.3

The temperature behaviour of a quartz crystal depends very much on the cutting angle. The following graph shows typical dependencies:

AT-CUT-Crystal



SC-CUT-Crystal



Your job is to design an oscillator that does not drift more than 0.2ppm (temperature change day/night) within a temperature range -35°C bis +75°C. There is no crystal available that provides such a superior performance without additional measures. (2 Punkte)

Aufgabe II.A.3				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
2				

Aufgabe II.A.4

In order to cover the required temperature range, you can build an OCXO (Oven controlled crystal oscillator) and keep the quartz crystal, being the frequency determining part, above the ambient temperature (e.g. +90°C). (3 Punkte)

In this range the crystal should behave very constant. This is the case with a SC-Cut-Crystal in the region of the inversion temperature (+92°C). (2 Punkte)

An AT-Cut-Quarz is less suitable, because its oscillation frequency is changing at temperatures > 75°C quite heavily. Due to this it would be necessary to keep the temperature within very tight tolerance.

Electronic tuning depending on the ambient temperature (Tuning) is not possible, because the tuning range (adjustment tol.) is not as big as necessary to cover the whole temperature range (1 and 3ppm).

Aufgabe II.A.4				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
5				

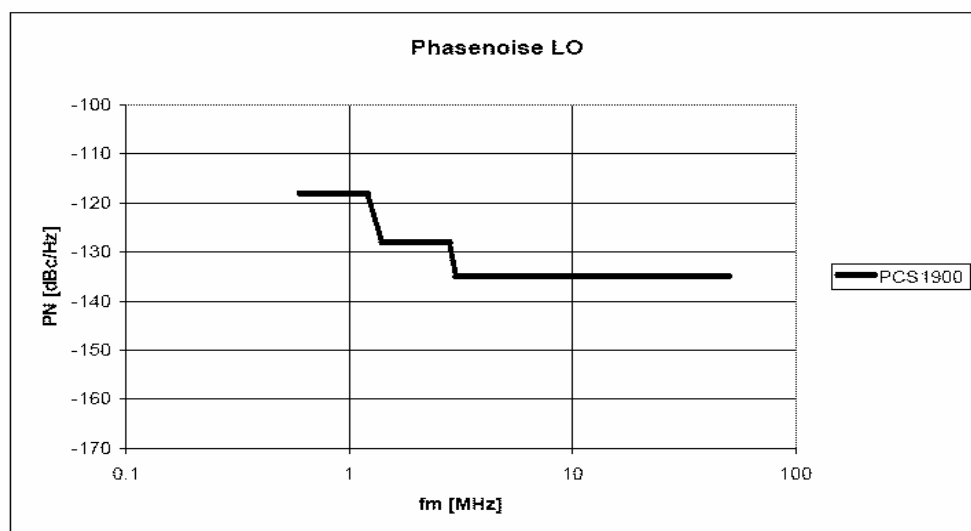
Aufgabe II.B.1

From the Drawing one can derive following formula:

$$PN = L(\text{desired channel}) - S/N(\text{min}) - L(\text{interferer}) - 10\log(\text{channel BW}) \quad (5 \text{ Punkte})$$

Feeding the values from Picture1 into above formula leads to the table:

Frequency	Interfering Signal	Wanted Signal	S/N	Offset	Bandwidth	required PN	
1930 - 1990 MHz	-43 dBm	-99 dBm	9 dB	0.6 MHz	0.2 MHz	-118.0103 dBc/Hz	inband
1930 - 1990 MHz	-43 dBm	-99 dBm	9 dB	1.2 MHz	0.2 MHz	-118.0103 dBc/Hz	
1930 - 1990 MHz	-33 dBm	-99 dBm	9 dB	1.4 MHz	0.2 MHz	-128.0103 dBc/Hz	
1930 - 1990 MHz	-33 dBm	-99 dBm	9 dB	2.8 MHz	0.2 MHz	-128.0103 dBc/Hz	
1930 - 1990 MHz	-26 dBm	-99 dBm	9 dB	3 MHz	0.2 MHz	-135.0103 dBc/Hz	
1930 - 1990 MHz	-26 dBm	-99 dBm	9 dB	49.8 MHz	0.2 MHz	-135.0103 dBc/Hz	



(2 Punkte für die Tabelle oder das Diagramm)

Aufgabe II.B.1				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
7				

Aufgabe II.B.2

The phasenoise of the reference crystal is amplified with $20\log(f_{out}/f_{ref})$, in our case depending on the selected frequency with:

$$20\log(2690\text{MHz} / 20\text{MHz}) = 42.6\text{dB} \text{ and}$$

$$20\log(698\text{MHz} / 20\text{MHz}) = 30.86\text{dB} \text{ (2 Punkte)}$$

The phasenoise contribution of the reference crystal is only transferred to the output within the loop bandwidth, so close to the carrier. (1 Punkt)

Aufgabe II.B.2				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
3				

Aufgabe III: Produktionstest Leistungsverstärker

Aufgabe III.A

- Durch die Leistungsteilung mittels eines Power-Splitters (2x500hm) misst der Leistungssensor R die Leistung der auf den Verstärkereingang einfallenden Welle.
- Leistungssensor A misst die vom Verstärkereingang reflektierte Leistungswelle.
- Leistungssensor B misst die Leistung der aus dem Verstärker austretenden Welle.
- Da S-Parameter spannungsproportionale Größen sind, müssen für die Berechnung von $|S_{11}|$ und $|S_{21}|$ die Quadratwurzeln der Leistungsverhältnisse herangezogen werden.

$$|S_{11}| = \sqrt{\frac{P_A}{P_R} \cdot \frac{1}{|c_1|}} \quad |S_{21}| = \sqrt{\frac{P_B}{P_R} \cdot \frac{1}{|c_2|}} \quad P = \frac{P_B}{|c_2|^2}$$

(2 Punkte)

(2 Punkte)

(1 Punkt)

c_1 ... Koppelfaktor von Richtkoppler 1 (Betrag < 1)

c_2 ... Koppelfaktor von Richtkoppler 2 (Betrag < 1)

P_R ... Messwert von Leistungssensor R

P_A ... Messwert von Leistungssensor A

P_B ... Messwert von Leistungssensor B

P ... die vom Verstärker an 50 Ohm abgegebene Leistung

$|S_{11}|$... Betrag des Eingangsreflexionsfaktors bei Anpassung am Ausgang des Verstärkers

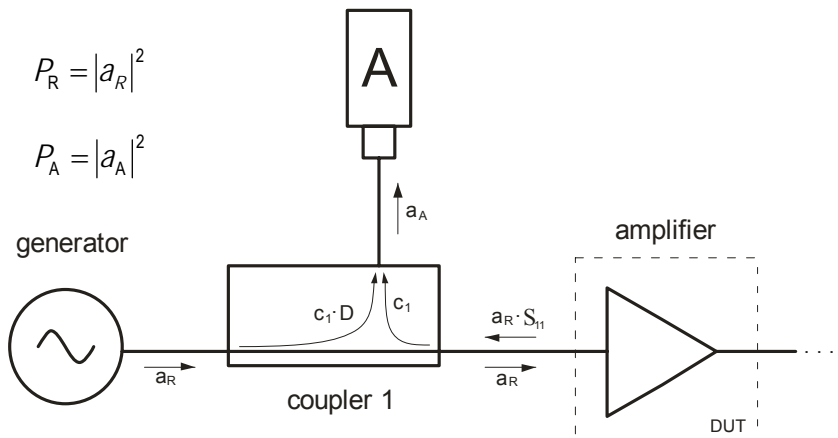
$|S_{21}|$... Betrag des Transmissionskoeffizienten (Verstärkung) bei Anpassung am Ausgang des Verstärkers

Aufgabe III.A				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
5				

Aufgabe III.B

- Die Kombination von Signalgenerator, Power Splitter und Leistungssensor R kann als ideal angepasste Quelle mit der Ausgangsleistung P_R aufgefasst werden (Welle a_R).
- Wird als parasitäre Größe die Direktivität von Koppler 1 berücksichtigt, misst Leistungssensor A nicht nur die vom Verstärkereingang reflektierte, sondern auch einen Teil der vorlaufenden Welle.

Das folgende Bild veranschaulicht diesen Sachverhalt:



$$P_R = |a_R|^2$$

$$P_A = |a_A|^2$$

generator



coupler 1

amplifier

DUT

$$a_A = a_R \cdot s_{11} \cdot c_1 + a_R \cdot c_1 \cdot D_1$$

$$s_{11} = \frac{a_A - a_R \cdot c_1 \cdot D_1}{a_R \cdot c_1}$$

$$s_{11} = s_{11,m} - D_1 \text{ mit } s_{11,m} = \frac{a_A}{a_R \cdot c_1} \quad (4 \text{ Punkte})$$

$$|s_{11,m}| - |D_1| \leq |s_{11}| \leq |s_{11,m}| + |D_1| \quad (1 \text{ Punkte})$$

a_A ... auf den Leistungssensor A einfallende Welle

a_R ... auf den Verstärkereingang einfallende Welle

c_1 ... Koppelfaktor des Richtkopplers 1

D_1 ... Direktivität des Richtkopplers 1

s_{11} ... Eingang-Reflexionskoeffizient des Verstärkers

$s_{11,m}$.. Messwert für s_{11}

Zur Auswertung dieser Ungleichung werden zunächst die VSWR-Grenzwerte lt.

Aufgabenstellung in entsprechende Beträge von Reflexionskoeffizienten umgewandelt:

$$|s_{11}|_{\text{pass}} = \frac{\text{VSWR}_{\text{pass}} - 1}{\text{VSWR}_{\text{pass}} + 1} = \frac{1.7 - 1}{1.7 + 1} = 0.259 \quad |s_{11}|_{\text{fail}} = \frac{\text{VSWR}_{\text{fail}} - 1}{\text{VSWR}_{\text{fail}} + 1} = \frac{2 - 1}{2 + 1} = 0.333$$

Um die fehlerhaften Exemplare auszusortieren, müssen alle Verstärker die folgende Bedingung erfüllen:

$$|s_{11,m}| \leq |s_{11}|_{\text{fail}} - |D_1|$$

Für einen datenhaltigen Verstärker ergibt sich andererseits als größter Messwert

$$|s_{11,m}| = |s_{11}|_{\text{pass}} + |D_1|$$

Durch Einsetzen dieses Werts in die Selektionsbedingung erhält man für den Richtfaktor D_1

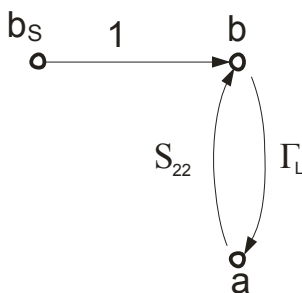
$$|D_1| \leq \frac{|s_{11}|_{\text{fail}} - |s_{11}|_{\text{pass}}}{2} = \frac{0.333 - 0.259}{2} = 0.037 \quad (4 \text{ Punkte})$$

Für das logarithmische Direktivitätsmaß a_{D1} folgt daraus $\frac{a_{D1}}{\text{dB}} = -20 \cdot \log(|D_1|) \geq 28.6$ (1

Punkt)

Aufgabe III.B				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
10				

Aufgabe III.C.1



b aus dem Verstärker austretende Welle

b_s aus dem Verstärker bei Anpassung (50Ω) austretende Welle

a am Richtkopplereingang reflektierte Welle

$|s_{22}|$... Ausgang – Reflexionskoeffizient des Verstärkers

$|\Gamma_L|$... Reflexionskoeffizient am Richtkoppler - Eingang
(bei angeschlossener künstlicher Last)

P die vom Verstärker an 50 Ohm abgegebene Leistung

Durch Auflösen des Signalfussgraphen erhält man die Leistung der aus dem Verstärker austretenden Welle:

$$b = b_s + b \cdot s_{22} \cdot \Gamma_L$$

$$b = \frac{b_s}{1 - s_{22} \cdot \Gamma_L}$$

$$|b|^2 = \frac{|b_s|^2}{|1 - s_{22} \cdot \Gamma_L|^2} \quad P = |b_s|^2$$

Das Verhältnis $|b/b_s|^2$ wird auch als Wechselwirkungsfaktor M bezeichnet, weil es die durch Fehlanpassung hervorgerufene Rückwirkung der Last auf eine fehlangepasste Quelle beschreibt:

$$M = \left| \frac{b}{b_s} \right|^2 = \frac{1}{|1 - s_{22} \cdot \Gamma_L|^2}$$

Damit gilt für die erweiterte Systemgleichung

$$P = \frac{P_B}{|c_2|^2 \cdot M} \quad (4 \text{ Punkte})$$

Wenn – wie in diesem Fall - die Phasenwinkel von s_{22} und Γ_L unbekannt sind, können nur die Extremwerte des Verhältnisses $|b/b_s|^2$ bestimmt werden:

$$\frac{1}{(1 + |s_{22}| |\Gamma_L|)^2} \leq M \leq \frac{1}{(1 - |s_{22}| |\Gamma_L|)^2} \quad (1 \text{ Punkt})$$

Aus der Aufgabenstellung sind folgende Werte bekannt:

$$|S_{22}| = \frac{VSWR_{\text{out}} - 1}{VSWR_{\text{out}} + 1} = \frac{1.6 - 1}{1.6 + 1} = 0.231 \quad |r_L| = 0.051$$

Durch Einsetzen folgt:

$$0.9768 \leq \left| \frac{b}{b_s} \right|^2 \leq 1.02396 \quad -0.102 \leq 10 \cdot \log \left| \frac{b}{b_s} \right|^2 \leq 0.103$$

Die Leistung der aus dem Verstärker austretenden Welle kann daher um -2.3 % / +2.4 % bzw. +/-0.10 dB von der Leistung bei Nennbelastung abweichen. **(2 Punkte)**

Aufgabe III.C.1				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
7				

Aufgabe III.C.2

Zur Aufstellung eines Messunsicherheitsbudgets wird im Allgemeinen von einer Systemgleichung ausgegangen, welche die gesuchte Größe als Funktion von Mess- und Einflussgrößen beschreibt. Diese Gleichung wurde für Aufgabe C1 bereits abgeleitet und wird hier noch einmal wiederholt:

$$P = \frac{P_B}{|c_2|^2 \cdot M}$$

In logarithmierter Form lautet sie:

$$10 \log P = 10 \log P_B - 20 \log |c_2| - 10 \log M$$

Da der Wechselwirkungsfaktor M wegen der unbekanntem Phasenwinkel nicht berechnet werden kann, muss für die Auswertung der Messung folgende vereinfachte Form verwendet werden (der Index m bezeichnet die Messwerte)

$$10 \log P_m = 10 \log P_{B,m} - 20 \log |c_{2,m}|$$

Durch Subtraktion beider Gleichungen und Anwendung einer Rechenregel für Logarithmen erhält man:

$$10 \log \frac{P_m}{P} = 10 \log \frac{P_{B,m}}{P_B} - 20 \log \frac{|c_{2,m}|}{|c_2|} + 10 \log M \quad (2 \text{ Punkte})$$

$$10 \log \frac{P_{B,m}}{P_B} \quad \text{Messabweichung des Leistungssensors (in dB)}$$

$$20 \log \frac{|c_{2,m}|}{|c_2|} \quad \text{Messabweichung für die Koppeldämpfung (in dB)}$$

$$10 \log M \quad \text{Wechselwirkungsfaktor (in dB)}$$

Ausgehend von den in der Aufgabenstellung genannten bzw. in Aufgabenteil C1 berechneten Maximalwerten kann der Messwert für die Verstärkerleistung um maximal $\pm(0,081 + 0,07 + 0,10)$ dB = $\pm 0,251$ dB vom gesuchten Wert abweichen. (1 Punkt)

Aufgabe III.C.2				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
3				

Aufgabe IV: MIMO LTE Baseband coding

Aufgabe IV.A.1 – IV.A.7

Aufgabe	Lösung
IV.A.1	4.983 bit/Hz (1 point)
IV.A.2	8.968 bit/Hz (1 point)
IV.A.3	2 (2 points)
IV.A.4	15.94 bit/Hz - asymptotic gain factor: 4 (1 point)
IV.A.5	286.92 Mbit/s (2 points)
IV.A.6	QPSK, 16QAM, (64QAM also possible) (1 point)
IV.A.7	The achievable data rate will be lower. (2 points)

Aufgabe IV.A.1 – IV.A.7				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
1				
1				
2				
1				
2				
1				
1				

Aufgabe IV.B.1

$$\text{Final result: } SVD(\mathbf{H}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.4 & 0 \\ 0 & 0.8 \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H}^H \mathbf{H} = \mathbf{V} \mathbf{D}^2 \mathbf{V}^H$$

$$\det(\mathbf{H}^H \mathbf{H} - \lambda \mathbf{I}) = 0 \rightarrow \lambda_1, \lambda_2$$

$$\mathbf{H}^H \mathbf{H} \mathbf{v} = \lambda \mathbf{v}$$

$$\mathbf{H} \mathbf{H}^H = \mathbf{U} \mathbf{D}^2 \mathbf{U}^H$$

$$\mathbf{H} \mathbf{H}^H \mathbf{u} = \lambda \mathbf{u}$$

Calculation:

$$\mathbf{H}^H \mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1.3 & 0.66 \\ 0.66 & 1.3 \end{bmatrix}$$

$$\det(\mathbf{H}^H \mathbf{H} - \lambda \mathbf{I}) = (1.3 - \lambda)(1.3 - \lambda) - 0.66^2 \rightarrow \lambda_1 = 1.96, \lambda_2 = 0.64$$

$$\begin{bmatrix} 1.3 & 0.66 \\ 0.66 & 1.3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = 1.96 \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \rightarrow a = 1; b = 1$$

$$\begin{bmatrix} 1.3 & 0.66 \\ 0.66 & 1.3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} = 0.64 \begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} \rightarrow c = 1; d = -1$$

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} a & c \\ b & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \text{ normalized: } \mathbf{V} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H}\mathbf{H}^H = \begin{bmatrix} 1.96 & 0 \\ 0 & 0.64 \end{bmatrix} \rightarrow \mathbf{U} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ (2 Punkte)}$$

Aufgabe IV.B.1				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
5				

Aufgabe IV.B.2

$$\lambda_1 = 1.96$$

$$\lambda_2 = 0.64$$

Aufgabe IV.B.2				
Max. Points	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
1				

Aufgabe IV.B.3 (1 Punkt)

$$P_1 = P_T (0.5 + 5.26 * 10^{-4})$$

$$P_2 = P_T (0.5 - 5.26 * 10^{-4})$$

Aufgabe IV.B.3				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
1				

Aufgabe IV.B.4 (1 Punkt)

Equal power allocation

Aufgabe IV.B.4				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
1				

Aufgabe IV.B.5 (1 Punkt)

9.13 bit/Hz

Aufgabe IV.B.5				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
1				

Aufgabe IV.B.6 (2 Punkte)

$$T = \frac{\sqrt{P_T}}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Aufgabe IV.B.6				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
2				

Aufgabe IV.B.7 (4 Punkte)

1

Aufgabe IV.B.7				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
2				

Aufgabe IV.B.8 (3 Punkte)

Advantage: low uplink data rate required for updating transmit matrices

Disadvantage: sub-optimal channel diagonalization

Aufgabe IV.B.8				
Max. Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
3				

Teil 2 – Soft Skills

Anforderung	Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
Teamarbeit:					
• gehen spielerisch und wendig mit dem Gestaltungsspielraum der Aufgabe um	2				
• erkennen schnell und sicher die richtigen Ansatzpunkte, um das Thema anzugehen	2				
• greifen Impulse der Gruppenmitglieder auf und denken diese weiter	2				
• behindern kreative Prozesse nicht durch vorschnelle Bedenken oder Skepsis	2				
• sorgen für ein positives Klima in der Gruppe, das einen offenen, kreativen Gedankenaustausch fördert	2				
• setzen sinnvolle Prioritäten bei der Bearbeitung des Materials	2				
• forcieren Entscheidungsfindungsprozess in unproduktiven Diskussionsphasen	2				
Präsentation:					
Persönliche Wirkung:					
• lebendige Körpersprache	2				
• spontan sympathisch/gewinnend	2				
• überzeugende sprachliche Ausdrucksweise	2				
• halten Blickkontakt	2				
Fachkompetenz:					
• behalten den Blick für das Machbare	2				
• arbeiten die Kernthemen treffend heraus	2				
• entwickeln eine weitsichtige Lösung	2				
• reagiert kompetent auf Fragen	2				
• Gestaltung der Pinnwände/Präsentationen übersichtlich und sauber	2				
Summe:	32				
Abzug pro überzogene Minute:	0,5				
Ergebnis:					

Ihre Bemerkungen, Beobachtungen:

Auswertung Gesamtübersicht

Aufgabe	Punkte	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4
Aufgabe I.A.1	4 Punkte				
Aufgabe I.A.2	7 Punkte				
Aufgabe I.A.3	2 Punkte				
Aufgabe I.B.1	9 Punkte				
Aufgabe I.B.2	3 Punkte				
Summe Teil I:	25 Punkte				
Aufgabe II.A.1	3 Punkte				
Aufgabe II.A.2	5 Punkte				
Aufgabe II.A.3	2 Punkte				
Aufgabe II.A.4	5 Punkte				
Aufgabe II.B.1	7 Punkte				
Aufgabe II.B.2	3 Punkte				
Summe Teil II:	25 Punkte				
Aufgabe III.A	5 Punkte				
Aufgabe III.B	10 Punkte				
Aufgabe III.C.1	7 Punkte				
Aufgabe III.C.2	3 Punkte				
Summe Teil III:	25 Punkte				
Aufgabe IV.A.1	1 Punkte				
Aufgabe IV.A.2	1 Punkte				
Aufgabe IV.A.3	2 Punkte				
Aufgabe IV.A.4	1 Punkte				
Aufgabe IV.A.5	2 Punkte				
Aufgabe IV.A.6	1 Punkte				
Aufgabe IV.A.7	1 Punkte				
Aufgabe IV.B.1	5 Punkte				
Aufgabe IV.B.2	1 Punkte				
Aufgabe IV.B.3	1 Punkte				
Aufgabe IV.B.4	1 Punkte				
Aufgabe IV.B.5	1 Punkte				
Aufgabe IV.B.6	2 Punkte				
Aufgabe IV.B.7	2 Punkte				
Aufgabe IV.B.8	3 Punkte				
Summe Teil IV:	25 Punkte				
Teamarbeit, Präsentation	32 Punkte				
Gesamtsumme:	107 Punkte				