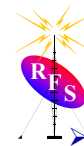


Radiofrekvencijski sustavi 2012./13.

Auditorne vježbe – 2. dio

Davor Bonefačić, Branimir Ivšić



TERMIČKI ŠUM (Nyquistov, bijeli, Gaussov)

N1

- Posljedica nasumičnog toplinskog gibanja nosioca naboja; ili kao atmosfersko i kozmičko zračenje
- Opisuje se statističkim metodama (T -temperatura, B -širina pojasa, R -otpor)

⇒ Napon šuma (Srednja kvadratna vrijednost) : $V_s = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot B \cdot R}$

⇒ Snaga šuma (\propto Varijanca): $P_s = \frac{V_s^2}{4R} = k \cdot T \cdot B$

⇒ Spektralna gustoća (Fourierova transformacija AKF): $S_s(\omega) = \frac{P_s}{2B} = \frac{k \cdot T}{2}$

➤ Ekvivalentna temperatura dodanog šuma sustava: $T_e = \frac{P_{s,dodani}}{k \cdot B} = \frac{P_{s,iz}}{G \cdot k \cdot B} \Big|_{P_{s,ul}=0}$

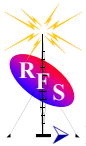
➔ $P_{s,iz} = k \cdot G \cdot B \cdot (T_a + T_e) = G \cdot (P_{s,ul} + P_{s,dodani})$

Prijenosna funkcija
sustava (pojačanje)

Ekvivalentna temp.
šuma na ulazu sustava

Boltzmannova konstanta
 $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

2



TERMIČKI ŠUM (Nyquistov, bijeli, Gaussov)

N2

➤ Faktor šuma – pogoršanje odnosa signal-šum na izlazu iz sustava

$$F = \frac{SNR_{ul}}{SNR_{iz}} = \frac{\frac{P_{s,ul}}{G \cdot (P_{s,ul} + P_{s,dodani})}}{\frac{P_{s,ul}}{G \cdot B \cdot k \cdot T_0}} = 1 + \frac{k \cdot T_e \cdot B}{k \cdot T_0 \cdot B}$$

Napomena: Po konvenciji je ovdje ulazni šum zadan na temperaturi $T_0 = 290 \text{ K}$.

$$F = 1 + \frac{T_e}{T_0}$$

$$F [\text{dB}] = 10 \log F$$

$$T_e = (F - 1) T_0$$

➤ Dvoprolazna pasivna mreža

$$P_{s,iz} = k \cdot G \cdot B \cdot (T + T_e)$$

$$T_e = \frac{1-G}{G} \cdot T = (L-1) \cdot T$$

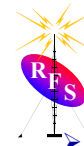
$$F = 1 + (L-1) \cdot \frac{T}{T_0}$$

$$L = \frac{1}{G}$$

$$L [\text{dB}] = -G [\text{dB}]$$

T -fizička temp.

➔ **Uočiti:** Ako je $T=T_0$,
tada je $F=L$.



TERMIČKI ŠUM (Nyquistov, bijeli, Gaussov)

N3

➤ Kaskade:

$$G = G_1 \cdot G_2 \cdot \dots$$

$$T_e = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_1} + \frac{T_{e3}}{G_1 G_2} + \dots$$

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots$$

➤ Mjera šuma

$$M_s = \frac{F-1}{1-\frac{1}{G}}$$

➔ Na prvo mjesto u kaskadi treba ići komponenta s najmanjom mjerom šuma.

$$P_{s,iz}' = P_{s,iz} + SNR_{min} [\text{dB}]$$

➤ Kompresija pojačanja (P_1) i presjecišna točka 3. reda (P_3)

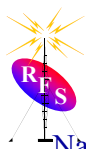
⇒ Linearno dinamičko područje: $DP_{lin} = \frac{P_1}{P_{s,iz}'} \rightarrow P_1 [\text{dB}] - P_{s,iz}' [\text{dB}]$

⇒ Dinamičko područje bez intermodulacije: $DP_{int} = \frac{P_{\omega_1}}{P_{2\omega_1-2\omega_2}} \rightarrow \frac{2}{3} (P_3 [\text{dB}] - P_{s,iz}' [\text{dB}])$

⇒ Kaskada: $P_3 = \left(\frac{1}{G_2 P_3'} + \frac{1}{P_3''} \right)^{-1}$

4

3



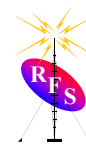
ZADATAK

Na slici je prikazana shema digitalnog mobilnog prijemnika. Frekvencijsko područje rada je $1805 \div 1880$ MHz (GSM 1800 pojas), a fizička temperatura sustava iznosi 300 K. Na ulaz sustava doveden je šum snage $P_{\text{š,ul}} = -95$ dBm.

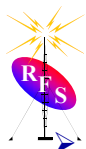
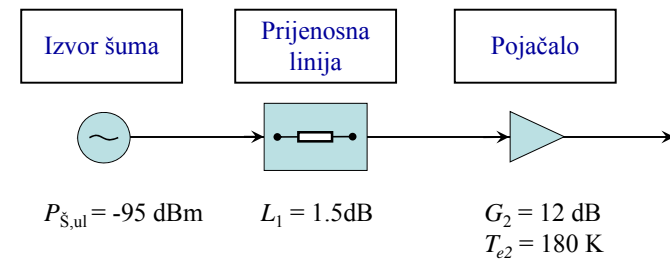
Odrediti ekvivalentnu temperaturu izvora šuma.

Odrediti faktor šuma pojačala te faktor šuma kaskade prijenosne linije i pojačala.

Odrediti izlaznu snagu šuma duž promatranog frekvencijskog područja.



ZADATAK - skica



RJEŠENJE

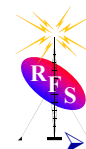
➤ Određivanje ekvivalentne temperature šuma na ulazu:

$$P_{\text{š,ul}} = 10^{\frac{-95}{10}} = 3.16 \cdot 10^{-10} \text{ mW} = 0.316 \text{ pW}$$

$$T_a = \frac{P_{\text{š,ul}}}{kB} = \frac{0.316 \cdot 10^{-12}}{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 75 \cdot 10^6} = 305.5 \text{ K}$$

➤ Određivanje faktora šuma pojačala:

$$F_2 = 1 + \frac{T_{e2}}{T_0} = 1 + \frac{180}{290} = 1.62$$



RJEŠENJE

➤ Faktor šuma kaskade:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} = F_1 + L_1 (F_2 - 1) \quad L_1 = 10^{\frac{1.5}{10}} = 1.413$$

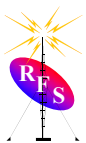
Faktor šuma linije: $F_1 = 1 + (L_1 - 1) \frac{T}{T_0} = 1 + (1.413 - 1) \frac{300}{290} = 1.43$

$$\Rightarrow F = 1.43 + 1.413 \cdot (1.62 - 1) = 2.3$$

$$F [\text{dB}] = 10 \log F = 10 \log 2.3 = 3.6 \text{ dB}$$

➤ Temperatura unesenog šuma kaskade:

$$T_e = (F - 1)T_0 = (2.3 - 1) \cdot 290 = 377 \text{ K}$$



RJEŠENJE

A55-Z7R3

➤ Određivanje izlazne snage šuma:

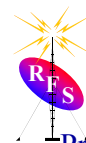
$$P_{\text{š,iz}} = k \cdot (T_a + T_e) \cdot B \cdot G = 1.38 \cdot 10^{-23} (305.5 + 377) \cdot 75 \cdot 10^6 \cdot 11.18 = 7.9 \cdot 10^{-12} \text{ W}$$

$$B = 1880 - 1805 = 75 \text{ MHz}$$

$$G = G_1 G_2 = \frac{G_2}{L_1} = \frac{15.8}{1.413} = 11.18$$

$$\Rightarrow P_{\text{š,iz}} [\text{dBm}] = 10 \log \frac{P_{\text{š,iz}}}{1 \cdot 10^{-3}} = 10 \log \frac{7.9 \cdot 10^{-12} \text{ W}}{1 \cdot 10^{-3}} = -81 \text{ dBm}$$

9



ZADATAK

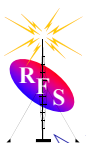
A55-Z8

Prijemnik ima faktor šuma 7 dB, točku kompresije 1 dB pri izlaznoj snazi od 25 dBm, pojačanje 40 dB, te presjecišnu točku 3. reda pri 35 dBm izlazne snage.

Ako je na ulazu prijemnika antena s ekvivalentnom temperaturom šuma $T_A = 150 \text{ K}$, a željeni izlazni odnos signal-šum 10 dB, odrediti linearno dinamičko područje te dinamičko područje bez intermodulacije.

Širina pojasa prijemnika je 100 MHz.

10



RJEŠENJE

A55-Z8R1

➤ Računamo snagu šuma na izlazu:

$$P_{\text{š,iz}} = k \cdot (T_a + T_e) \cdot B \cdot G = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot (150 + 1162) \cdot 100 \cdot 10^6 \cdot 10^4 = 1.81 \cdot 10^{-8} \text{ W}$$

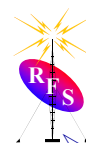
$$T_e = (F - 1) \cdot T_0 = (5.01 - 1) \cdot 290 = 1162.9 \text{ K}$$

$$F = 10^{\frac{7}{10}} = 5.01$$

$$G = 10^{\frac{40}{10}} = 10^4$$

$$\Rightarrow P_{\text{š,iz}} [\text{dBm}] = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{š,iz}}}{1 \cdot 10^{-3}} = 10 \cdot \log \frac{1.81 \cdot 10^{-8} \text{ W}}{1 \cdot 10^{-3}} = -47.4 \text{ dBm}$$

11



RJEŠENJE

A55-Z8R2

➤ Određivanje linearnog dinamičkog područja:

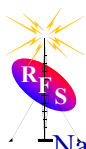
$$DP_{lin} = P_1 - (P_{\text{š,iz}} + SNR) = 25 \text{ dBm} - (-47.4 + 10) \text{ dBm} = 62.4 \text{ dB}$$

➤ Određivanje dinamičkog područja bez intermodulacije:

$$DP_{INT} = \frac{2}{3} (P_3 - (P_{\text{š,iz}} + SNR)) = \frac{2}{3} (35 - (-47.4 + 10)) = 48.3 \text{ dB}$$

Uočiti: Pri određivanju dinamičkog područja minimalna razina signala mora biti iznad šuma za zadani minimalni SNR → “margina” sustava.

12

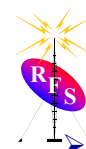
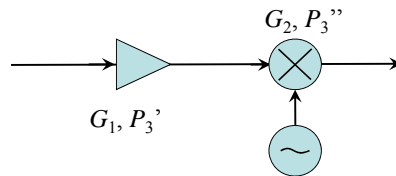


ZADATAK

Na slici je prikazana kaskada niskošumnog pojačala i mješala frekvencija. Pojačanje pojačala iznosi 20 dB a presjecišna točka 3. reda se nalazi pri 22 dBm izlazne snage.

Mješalo unosi gubitke miješanja od 6 dB, a presjecišna točka 3. reda se nalazi pri 13 dBm ulazne snage.

Odrediti presjecišnu točku 3. reda cijelog sustava.



RJEŠENJE

➤ Odredimo izlaznu snagu presjecišne točke 3. reda:

$$P_3'' = P_3''[\text{ul}] + G_2 = 13 \text{ dBm} - 6 \text{ dB} = 7 \text{ dBm}$$

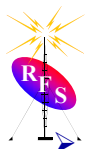
➤ Pretvorimo izraze u decibelima u numeričke vrijednosti:

$$P_3' = 10^{10} = 158 \text{ mW} \quad P_3'' = 10^{7/10} = 5 \text{ mW} \quad G_2 = 10^{-6/10} = 0.25$$

➤ Naposljetku računamo presjecišnu točku 3. reda za cijeli sustav:

$$P_3 = \left(\frac{1}{G_2 P_3'} + \frac{1}{P_3''} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{0.25 \cdot 158 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{5 \cdot 10^{-3}} \right)^{-1} = 4.4 \text{ mW}$$

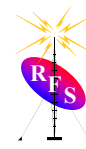
$$P_3 [\text{dBm}] = 10 \log \frac{P_3}{10^{-3}} = 10 \log \frac{4.4 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} = 6.4 \text{ dBm}$$



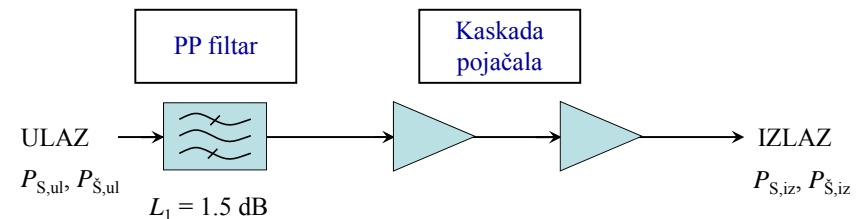
ZADATAK

Zadan je podsustav prijemnika koji se sastoji od pojasno-propusnog filtra širine 150 MHz i kaskade dvaju pojačala. Snaga signala na ulazu je -85 dBm, šuma -105 dBm, a parametri pojačala dani su u tablici. Projektirati sustav na minimalni faktor šuma (tj. odrediti najpovoljniji redoslijed pojačala u kaskadi). Fizička temperatura sustava neka iznosi 290 K. Za tako projektirani sustav odrediti:

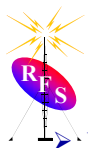
- odnos signal-šum na izlazu
- presjecišnu točku 3. reda cijelog sustava (filtrar kao pasivni sklop nema utjecaj na P_3)
- dinamičko područje bez intermodulacije (uz minimalni odnos signal-šum na izlazu od 3 dB)



ZADATAK - skica



Pojačalo	Pojačanje [dB]	Faktor šuma [dB]	P_3 [dBm, izlazno]
A	3	2.5	17
B	13	3.5	7



RJEŠENJE

A55-2M-R1

➤ Na prvo mjesto u kaskadi pojačala treba ići pojačalo s najmanjom mjerom šuma koja je funkcija faktora šuma i pojačanja:

$$M_s = \frac{F-1}{1-\frac{1}{G}}$$

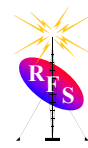
➤ Računamo mjeru šuma svakog pojačala:

$$\left. \begin{array}{l} G_A = 10^{\frac{3}{10}} = 2 \\ F_A = 10^{\frac{2.5}{10}} = 1.78 \end{array} \right\} M_{s,A} = \frac{1.78-1}{1-\frac{1}{2}} = 1.56$$

$$\left. \begin{array}{l} G_B = 10^{\frac{13}{10}} = 20 \\ F_B = 10^{\frac{3.5}{10}} = 2.24 \end{array} \right\} M_{s,B} = \frac{2.24-1}{1-\frac{1}{20}} = 1.3 \quad \checkmark$$

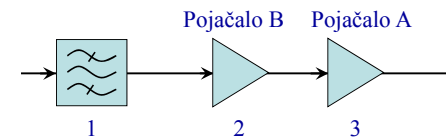
⇒ Pojačalo B ima manju mjeru šuma te ga je stoga povoljnije staviti na prvo mjesto.

17



RJEŠENJE

A55-2M-R2



➤ Računanje ukupnog faktora šuma sustava:

$$F = F_1 + \frac{F_2-1}{G_1} + \frac{F_3-1}{G_1 G_2} = 1.41 + \frac{2.24-1}{\frac{1}{1.41}} + \frac{1.78-1}{\frac{1}{1.41} \cdot 20} = 3.22 = 5.08 \text{ dB}$$

➤ Ekvivalentna temperatura šuma sustava:

$$T_e = (F-1) \cdot T_0 = (3.22-1) \cdot 290 = 643.8 \text{ K}$$

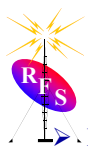
Napomena

$$F_1 = L_1 = 1.5 \text{ dB} = 1.41 \quad (\text{pasivna dvoprolazna mreža})$$

$$G_1 = -L_1 = -1.5 \text{ dB} = \frac{1}{1.41}$$

$$G_2 = G_B = 13 \text{ dB} = 20$$

18



RJEŠENJE

A55-2M-R3

➤ Računanje odnosa signal-šum na izlazu:

$$\left(\frac{S}{N} \right)_{iz} = \frac{P_{s,iz}}{P_{s,iz}} = \frac{P_{s,ul} \cdot \mathcal{G}}{kGB(T_a + T_e)} = \frac{3.16 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-3}}{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 150 \cdot 10^6 \cdot (15.27 + 643.8)} = 2.32 = 3.64 \text{ dB}$$

$$S_{ul} = 10^{-8.5} = 3.16 \cdot 10^{-9} \text{ mW}$$

$$T_a = \frac{P_{s,ul}}{kB} = \frac{10^{-10.5} \cdot 10^{-3}}{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 150 \cdot 10^6} = 15.27 \text{ K}$$

➤ Presjecišna točka 3. reda za kaskadu pojačala:

$$P_3 = \left(\frac{1}{G''P_3'} + \frac{1}{P_3''} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{2.5} + \frac{1}{50} \right)^{-1} = 8.33 \text{ mW}$$

$$P_3 [\text{dBm}] = 10 \log \frac{P_3}{10^{-3}} = 9.2 \text{ dBm} \quad \text{gledano na izlazu}$$

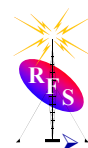
Napomena

$$P_3' = P_{3,B} = 7 \text{ dBm} = 5 \text{ mW}$$

$$P_3'' = P_{3,A} = 17 \text{ dBm} = 50 \text{ mW}$$

$$G'' = G_A = 3 \text{ dB} = 2$$

19



RJEŠENJE

A55-2M-R4

➤ Naposljetku računamo dinamičko područje bez intermodulacije:

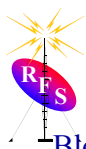
$$DP_{INT} = \frac{2}{3} (P_3 - (P_{s,iz} + SNR)) = \frac{2}{3} (9.2 - (-74.15 + 3)) = 53.56 \text{ dB}$$

Uočiti: U ovaj izraz izravno uvrštavamo vrijednosti u dB.

$$\begin{aligned} P_{s,iz} &= k \cdot G \cdot B \cdot (T_a + T_e) = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 28.18 \cdot 150 \cdot 10^6 \cdot (15.27 + 643.8) = \\ &= 3.84 \cdot 10^{-11} \text{ W} = -74.15 \text{ dBm} \\ G &= G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 = \frac{1}{L_1} \cdot G_B \cdot G_A = \frac{1}{1.41} \cdot 20 \cdot 2 = 28.18 \\ G [\text{dB}] &= 10 \log G = 14.5 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$SNR_{min} = 3 \text{ dB} \quad \rightarrow \text{Uvjet zadatka}$$

20



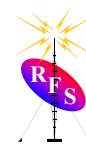
ZADATAK

Blok dijagram bežičnog prijemnika zajedno s potrebnim parametrima dan je na slici. Izračunati ukupni faktor šuma prijemnika.

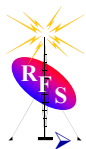
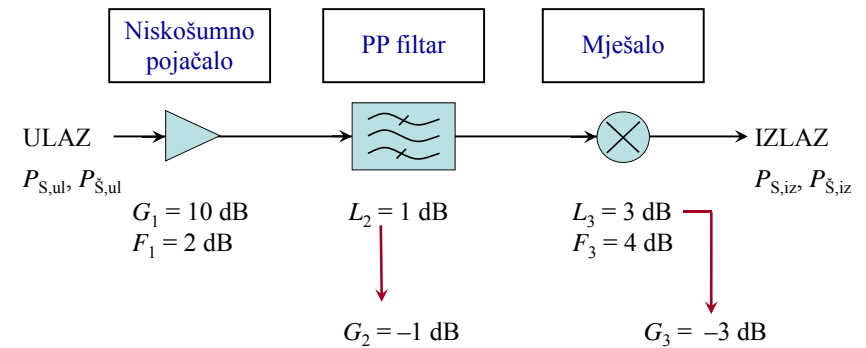
Ukoliko je na ulaz priključena antena s ekvivalentnom temperaturom šuma $T_a = 15$ K, odrediti izlaznu snagu šuma u dBm. Kolika je spektralna gustoća snage izlaznog šuma?

Ukoliko se zahtijeva minimalni odnos signal-šum od 20 dB na izlazu iz prijemnika, odrediti minimalni napon dozvoljen na ulazu prijemnika (tj. naponsku osjetljivost prijemnika).

Pretpostaviti da sustav radi na sobnoj temperaturi ($T_0 = 290$ K), uz karakterističnu impedanciju 50Ω i širinu međufrekvencijskog područja od 10 MHz.



ZADATAK - skica



RJEŠENJE

Primijenimo izraz za ukupni faktor šuma kaskade:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2}$$

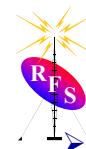
Pretvorimo parametre zadane u decibelima u linearne vrijednosti:

$$G_1 = 10^{\frac{10}{10}} = 10 \quad G_2 = 10^{\frac{-1}{10}} = 0.79 \quad G_3 = 10^{\frac{-3}{10}} = 0.5$$

$$F_1 = 10^{\frac{2}{10}} = 1.58 \quad F_2 = L_2 = \frac{1}{G_2} = 1.26 \quad F_3 = 10^{\frac{4}{10}} = 2.51$$

Proizlazi iz uvjeta zadatka $T=T_0$, a prema izrazu za faktor šuma pasivne dvoprolazne mreže:

$$F = 1 + (L - 1) \cdot \frac{T}{T_0}$$



RJEŠENJE

Uvrštavanjem dobivamo ukupni faktor šuma:

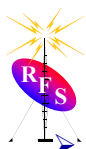
$$F = 1.58 + \frac{1.26 - 1}{10} + \frac{2.51 - 1}{10 \cdot 0.79} = 1.8$$

$$F [\text{dB}] = 10 \log F = 10 \log 1.8 = 2.55 \text{ dB}$$

Računamo ekvivalentnu temperaturu šuma i prijenosnu funkciju cijelog sustava kako bismo dobili izlaznu snagu šuma:

$$T_e = (F - 1) \cdot T_0 = (1.8 - 1) \cdot 290 = 232 \text{ K}$$

$$G = G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 = 10 \cdot 0.79 \cdot 0.5 = 3.95$$



RJEŠENJE

A55-Z6R3

- Izlazna snaga šuma ovisi o snazi ulaznog šuma i šuma koji je dodao sustav, te o prijenosnoj funkciji G :

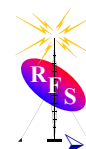
$$P_{s,iz} = k \cdot G \cdot B \cdot (T_a + T_e) = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 3.95 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot (15 + 232)$$

$$P_{s,iz} = 1.35 \cdot 10^{-13} \text{ W} = -98.7 \text{ dBm}$$

- Spektralna gustoća snage šuma:

$$S_s(\omega) = \frac{P_{s,iz}}{2B} = \frac{1.35 \cdot 10^{-13}}{2 \cdot 10 \cdot 10^6} = 6.8 \cdot 10^{-21} \frac{\text{W}}{\text{Hz}}$$

25



RJEŠENJE

A55-Z6R4

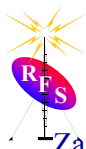
- Ukoliko se na izlazu iz prijemnika zahtijeva minimalan odnos signal-šum od 20 dB (tj. $(S/N)_{iz} = 100$), tada minimalnu ulaznu snagu određujemo na slijedeći način:

$$P_{s,ul} = \frac{P_{s,iz}}{G} = \frac{P_{s,iz}}{P_{s,iz}} \cdot \frac{P_{s,iz}}{G} = 100 \cdot \frac{1.35 \cdot 10^{-13}}{3.95} = 3.42 \cdot 10^{-12} \text{ W} = -84.7 \text{ dBm}$$

- Dobivena snaga na ulazu odgovara slijedećem naponu (vršna vrijednost):

$$V_{ul} = \sqrt{2 \cdot P_{s,ul} \cdot Z_0} = \sqrt{2 \cdot 3.42 \cdot 10^{-12} \cdot 50} = 1.85 \cdot 10^{-5} \text{ V} = 18.5 \mu\text{V}$$

26



ZADATAK

A55-Z10

Zadan je GaAs FET sa slijedećim parametrima na frekvenciji 4 GHz:

$$S_{11} = 0.6 \angle -60^\circ; S_{12} = 0.05 \angle 26^\circ;$$

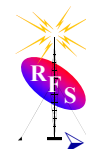
$$S_{21} = 1.9 \angle 81^\circ; S_{22} = 0.5 \angle -60^\circ;$$

$$F_{min} = 1.445; \Gamma_{opt} = 0.62 \angle 100^\circ; R_N = 20 \Omega$$

Pretpostaviti (radi jednostavnosti) da je pojačalo unilateralno te izračunati pogrešku u proračunu prijenosnog pojačanja snage.

Projektirati pojačalo za faktor šuma 2 dB uz maksimalno moguće pojačanje pri navedenom faktoru šuma. Karakteristična impedancija sustava iznosi 50 Ω .

27



RJEŠENJE

A55-Z10R1

- Računamo mjeru unilateralnosti:

$$U = \frac{|S_{11}| |S_{12}| |S_{21}| |S_{22}|}{(1 - |S_{11}|^2)(1 - |S_{22}|^2)} = 0.059$$

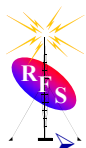
- Omjer stvarnog i unilateralnog prijenosnog pojačanja G_T/G_{TU} nalazi se u rasponu:

$$\frac{1}{(1+U)^2} < \frac{G_T}{G_{TU}} < \frac{1}{(1-U)^2} \quad 0.891 < \frac{G_T}{G_{TU}} < 1.13$$

- U decibelima navedeni omjer iznosi:

$$-0.5 \text{ dB} < G_T - G_{TU} < 0.53 \text{ dB} \quad \rightarrow \text{Zbog pretpostavke unilateralnosti očekujemo pogrešku od } \pm 0.5 \text{ dB.}$$

28



RJEŠENJE

A55-Z10R2

➤ Korištenjem slijedećih izraza dobivamo centar i radijus kružnice konstantnog faktora šuma 2 dB:

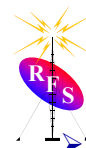
$$F = 10^{\frac{2}{10}} = 1.58 \rightarrow \text{Pretvorba iz dB u numeričku vrijednost}$$

$$N = \frac{F - F_{\min}}{4 \frac{R_N}{Z_0}} \cdot |1 + \Gamma_{opt}|^2 = \frac{1.58 - 1.445}{4 \frac{20}{50}} \cdot |1 + 0.62 \angle 100^\circ|^2 = 0.0986$$

$$C_F = \frac{\Gamma_{opt}}{N + 1} = 0.56 \angle 100^\circ \rightarrow \text{Centar kružnice}$$

$$R_F = \frac{\sqrt{N(N + 1 - \Gamma_{opt}^2)}}{N + 1} = 0.24 \rightarrow \text{Radijus kružnice}$$

29



RJEŠENJE

A55-Z10R3

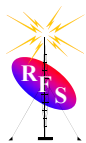
➤ Odredimo centar i radijus kružnice konstantnog dobitka prilagodne mreže ulaznog kruga:

$$C_G = \frac{d_G S_{11}^*}{1 - (1 - d_G) |S_{11}|^2} \quad R_G = \frac{\sqrt{1 - d_G} (1 - |S_{11}|^2)}{1 - (1 - d_G) |S_{11}|^2}$$

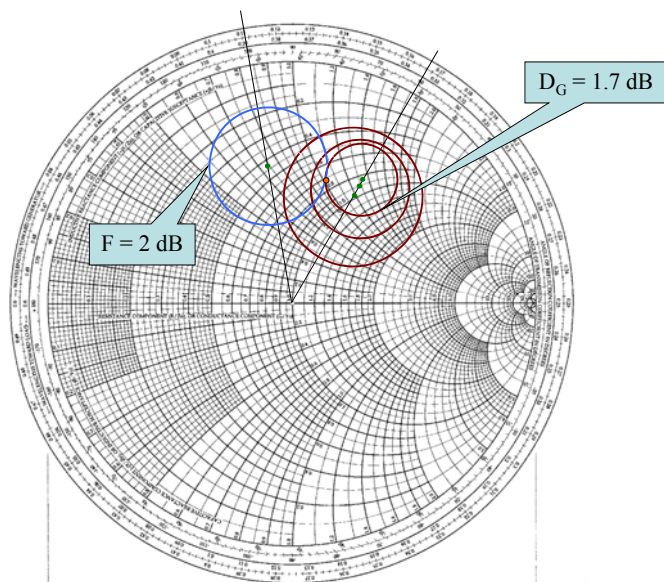
➤ Računamo centar i radijus za nekoliko proizvoljno odabranih vrijednosti D_G – tražimo najpovoljniju vrijednost uz zadani uvjet $F=2\text{dB}$:

D_G (dB)	d_G	C_G	R_G
1	0.805	$0.52 \angle 60^\circ$	0.3
1.5	0.904	$0.56 \angle 60^\circ$	0.205
1.7	0.946	$0.58 \angle 60^\circ$	0.15

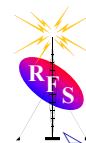
30



A55-Z10R4



31



RJEŠENJE

A55-Z10R5

➤ Iz Smithovog dijagrama uočimo kako je maksimalno moguće pojačanje ulazne prilagodne mreže (uz faktor šuma 2 dB) jednako 1.7 dB.

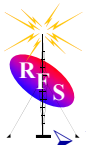
➤ Iz presjecišta dviju kružnica očitamo potrebni koeficijent refleksije generatora:

$$\Gamma_G = 0.53 \angle 75^\circ$$

➤ Izlazna prilagodna mreža – radi maksimalnog pojačanja izaberemo slijedeći koeficijent refleksije tereta:

$$\Gamma_T = S_{22}^* = 0.5 \angle 60^\circ$$

32



RJEŠENJE

- Računamo dobitak izlaznog kruga (uz konjugirano – kompleksnu prilagodbu):

$$D_T = \frac{1}{1 - |S_{22}|^2} = 1.33 = 1.25 \text{ dB}$$

- Intrinzično pojačanje tranzistora:

$$G_0 = |S_{21}|^2 = 3.61 = 5.58 \text{ dB}$$

- Ukupno pojačanje pojačala (u dB):

$$G_{TU} = D_G + G_0 + D_T = 1.7 \text{ dB} + 5.58 \text{ dB} + 1.25 \text{ dB} = 8.53 \text{ dB}$$

- Prilagođenje impedancije možemo postići upotrebom stabova ili $\lambda/4$ transformatora...