

Laborator 6

2023/2024

Dispozitive și circuite de microunde pentru radiocomunicații

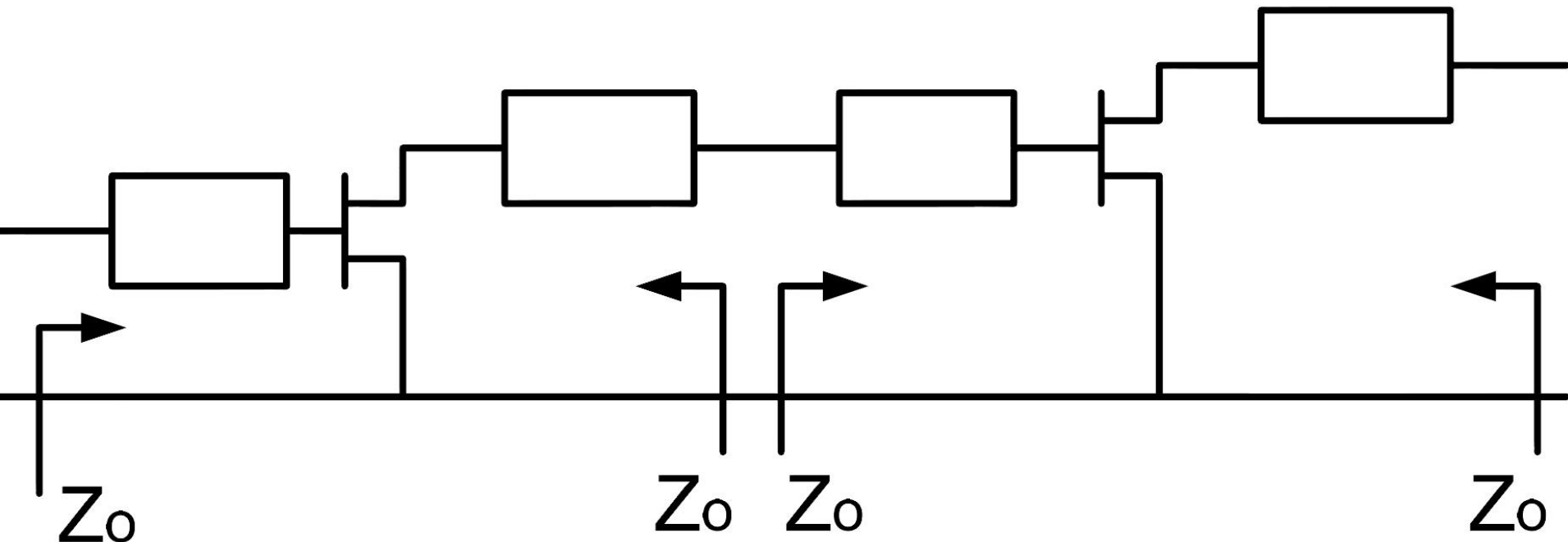
Mini proiect

Tema

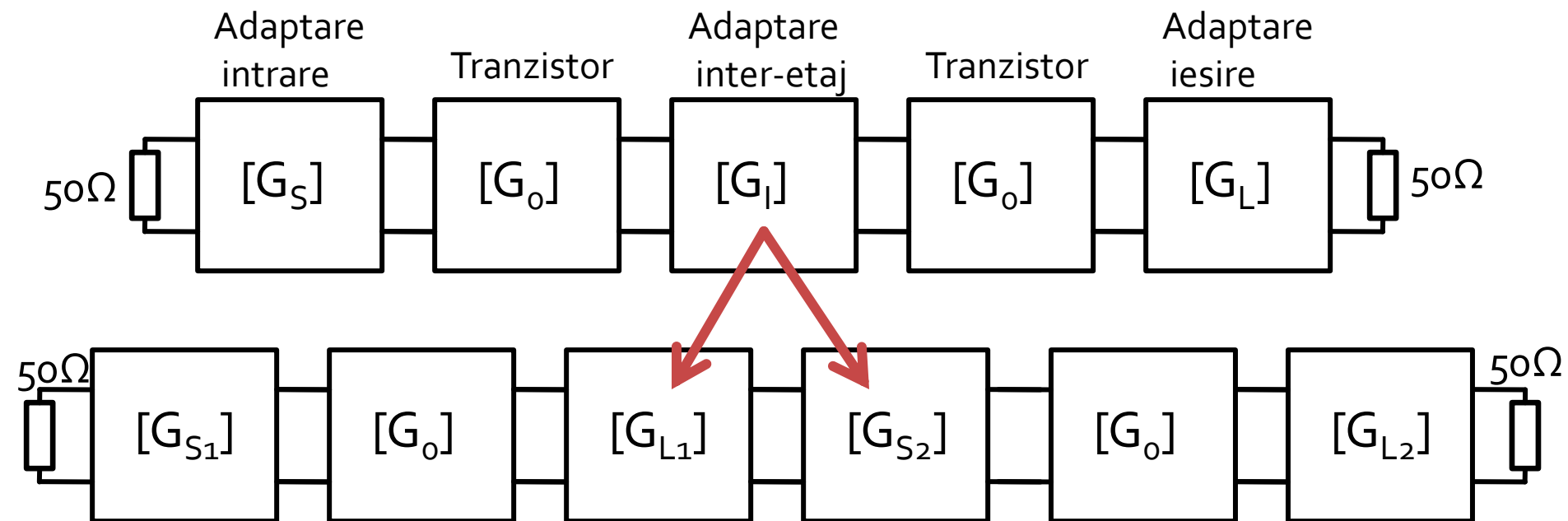
- Se realizează proiectarea unui amplificator multi-etaj de zgomot redus cu tranzistoare care să ofere un câştig de **G [dB]** şi un factor de zgomot de **F [dB]** la frecvenţa de **f [GHz]**. La ieşirea amplificatorului se introduce un filtru trece bandă de ordin **N** şi bandă procentuală **B [%]** în jurul frecvenţei de lucru.

Amplificatoare in cascada

- Adaptarea inter-etaje se poate proiecta in doua moduri:
 - adaptarea fiecarui etaj spre un $\Gamma = 0$ intermediar



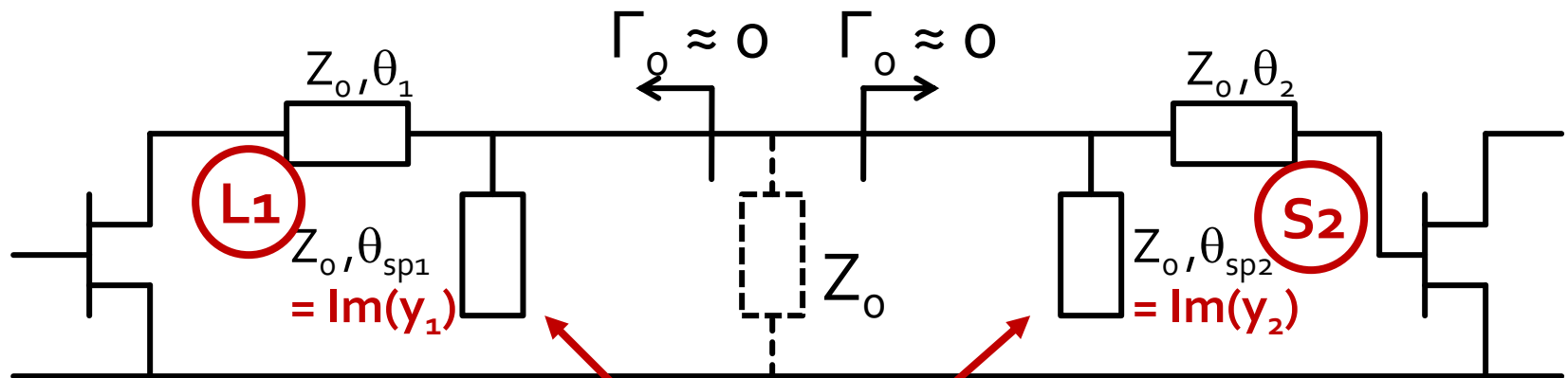
Proiectare etaje cascade



- Proiectarea pentru etajele de intrare si iesire e recomandabil sa se faca pe schema mai simpla cu un singur tranzistor

Adaptare inter-etaje 2

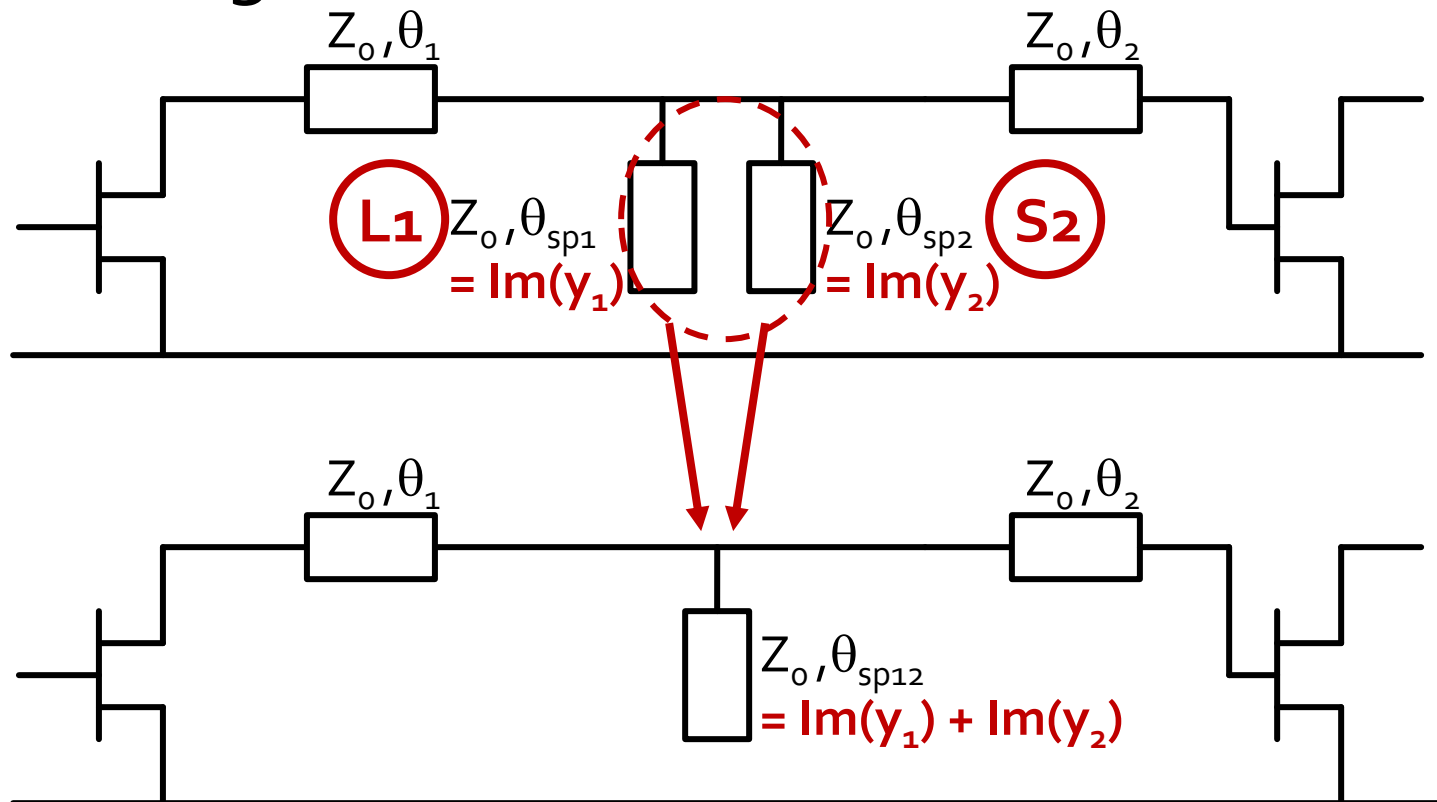
- Unul din etaje creaza prin reteaua sa de adaptare un coeficient de reflexie $\Gamma \approx 0$ la care apoi se adapteaza celalalt etaj



Cele doua stub-uri in paralel se combina intr-unul singur

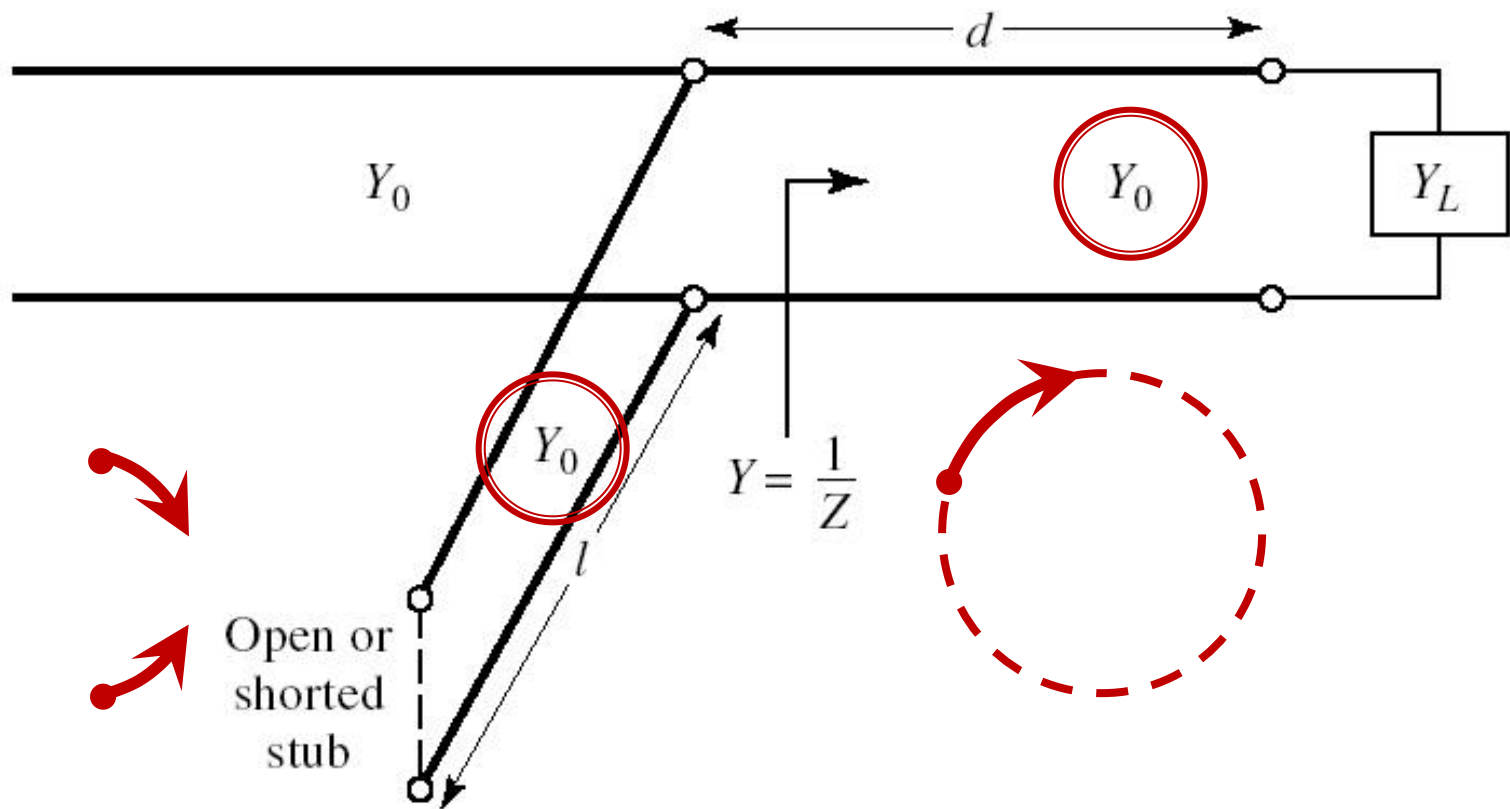
Adaptare inter-etaje 2

- Cele doua stub-uri in paralel se combina intr-unul singur

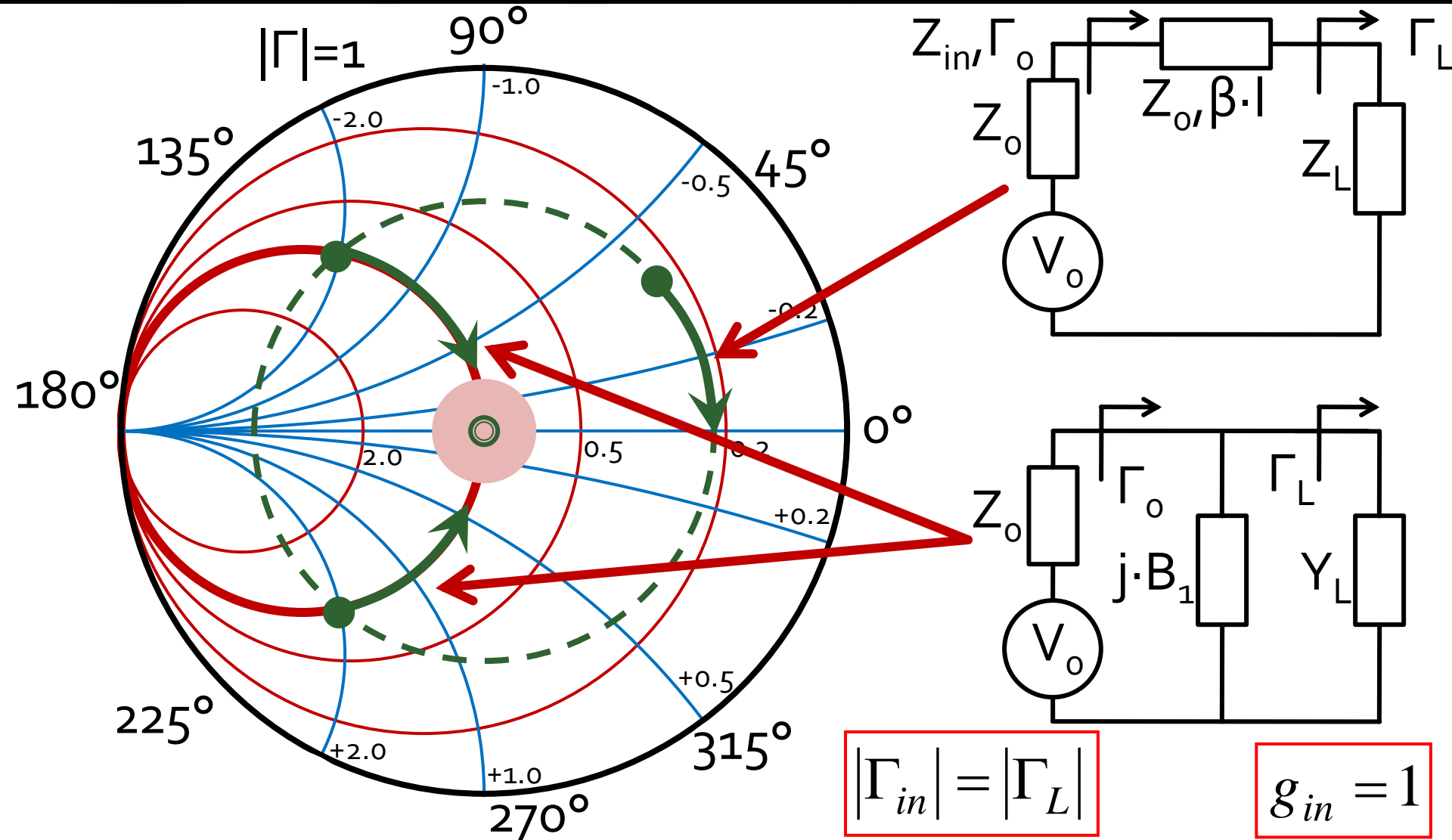


Caz 1, Shunt Stub

- Shunt Stub (sectiune de linie in paralel)



Adaptare, linie serie + susceptanta in paralel



Calcul analitic (calcul efectiv)

$$\cos(\varphi + 2\theta) = -|\Gamma_S|$$

$$\Gamma_S = 0.593 \angle 46.85^\circ$$

$$\theta_{sp} = \beta \cdot l = \tan^{-1} \frac{\mp 2 \cdot |\Gamma_S|}{\sqrt{1 - |\Gamma_S|^2}}$$

$$|\Gamma_S| = 0.593; \quad \varphi = 46.85^\circ \quad \cos(\varphi + 2\theta) = -0.593 \Rightarrow (\varphi + 2\theta) = \pm 126.35^\circ$$

- **Semnul** (+/-) solutiei alese la ecuatia **liniei serie** impune **semnul** solutiei utilizate la ecuatia **stub-ului paralel**

- **solutia "cu +"** ↓

$$(46.85^\circ + 2\theta) = +126.35^\circ \quad \theta = +39.7^\circ \quad \text{Im } y_s = \frac{-2 \cdot |\Gamma_S|}{\sqrt{1 - |\Gamma_S|^2}} = -1.472$$

$$\theta_{sp} = \tan^{-1}(\text{Im } y_s) = -55.8^\circ (+180^\circ) \rightarrow \theta_{sp} = 124.2^\circ$$

- **solutia "cu -"** ↓

$$(46.85^\circ + 2\theta) = -126.35^\circ \quad \theta = -86.6^\circ (+180^\circ) \rightarrow \theta = 93.4^\circ$$

$$\text{Im } y_s = \frac{+2 \cdot |\Gamma_S|}{\sqrt{1 - |\Gamma_S|^2}} = +1.472 \quad \theta_{sp} = \tan^{-1}(\text{Im } y_s) = 55.8^\circ$$

Calcul analitic (calcul efectiv)

$$(\varphi + 2\theta) = \begin{cases} +126.35^\circ \\ -126.35^\circ \end{cases} \quad \theta = \begin{cases} 39.7^\circ \\ 93.4^\circ \end{cases} \quad \text{Im}[y_s(\theta)] = \begin{cases} -1.472 \\ +1.472 \end{cases} \quad \theta_{sp} = \begin{cases} -55.8^\circ + 180^\circ = 124.2^\circ \\ +55.8^\circ \end{cases}$$

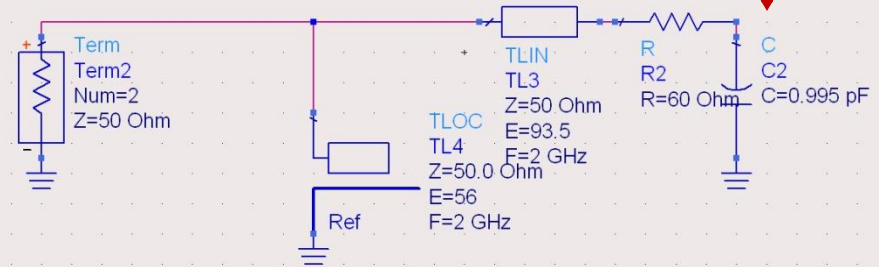
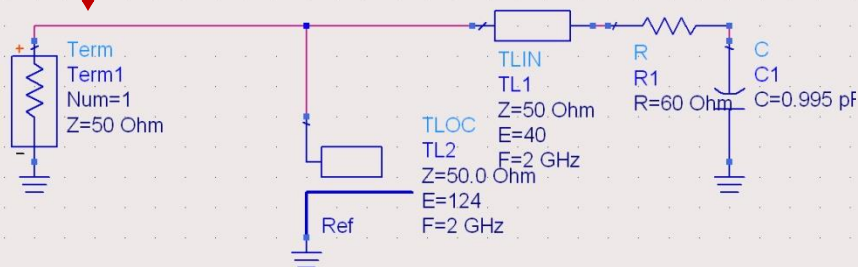
- Se alege **una** din cele doua solutii posibile
- **Semnul** (+/-) solutiei alese la **prima** ecuatie impune **semnul** solutiei utilizate la a **doua** ecuatie

$$l_1 = \frac{39.7^\circ}{360^\circ} \cdot \lambda = 0.110 \cdot \lambda$$

$$l_2 = \frac{124.2^\circ}{360^\circ} \cdot \lambda = 0.345 \cdot \lambda$$

$$l_1 = \frac{93.4^\circ}{360^\circ} \cdot \lambda = 0.259 \cdot \lambda$$

$$l_2 = \frac{55.8^\circ}{360^\circ} \cdot \lambda = 0.155 \cdot \lambda$$



Mod de lucru

Etape - 1

- Impartire pe cele 2 etaje a performantelor
 - G
 - F
- Se utilizeaza formula lui Friis
- Pct. 3 exemplu

$$G_{cas} = G_1 \cdot G_2$$

$$F_{cas} = F_1 + \frac{1}{G_1} (F_2 - 1)$$

- 2 ecuatii, 4 necunoscute, solutii multiple

Formula lui Friis (zgomot)

$$G_{cas} = G_1 \cdot G_2$$

$$F_{cas} = F_1 + \frac{1}{G_1} (F_2 - 1)$$

- Formula lui Friis

- primul etaj factor de zgomot mai mic, probabil insotit de un castig mai mic
- al doilea etaj castig mare, probabil insotit de un factor de zgomot mai mare

- Este esential sa se pastreze o rezerva

- $G = G_{tema} + \Delta G$
- $F = F_{tema} - \Delta F$

- Tema se interpreteaza

- $G > G_{tema}$, mai bine, fara a fi nevoie sa se sacrifice alti parametri pentru castiguri mult mai mari
- $F < F_{tema}$, mai bine, cu cat mai mic cu atat mai bine, e util sa se incerce obtinerea unui **zgomot cat mai mic, cu indeplinirea** celorlalte conditii

Formula lui Friis (zgomot)

■ Avago/Broadcom AppCAD

AppCAD - [NoiseCalc]

File Calculate Application Examples Options Help

NoiseCalc Set Number of Stages = 2 Calculate [F4]

Stage Data	Units	Stage 1	Stage 2
Stage Name:		Avago Duplexer	Avago ATF-36xxx
Noise Figure	dB	0.7	1.2
Gain	dB	9	13
Output IP3	dBm	100	14.5
dNF/dTemp	dB/°C	0	0
dG/dTemp	dB/°C	0	0
Stage Analysis:			
NF (Temp corr)	dB	0.70	1.20
Gain (Temp corr)	dB	9.00	13.00
Input Power	dBm	-50.00	-41.00
Output Power	dBm	-41.00	-28.00
d NF/d NF	dB/dB	0.97	0.15
d NF/d Gain	dB/dB	-0.03	0.00
d IP3/d IP3	dBm/dBm	0.00	1.00

Enter System Parameters:

Input Power	-50	dBm
Analysis Temperature	25	°C
Noise BW	1	MHz
Ref Temperature	25	°C
S/N (for sensitivity)	10	dB
Noise Source (Ref)	290	°K

System Analysis:

Gain	22.00	dB
Noise Figure	0.85	dB
Noise Temp	82.34	°K
SNR	63.13	dB
MDS	-113.13	dBm
Sensitivity	-103.13	dBm
Noise Floor	-173.13	dBm/Hz

Input IP3	-7.50	dBm
Output IP3	14.50	dBm
Input IM level	-135.00	dBm
Input IM level	-85.00	dBc
Output IM level	-113.00	dBm
Output IM level	-85.00	dBc
SFDR	70.42	dB

Etape - 1

- Rezultat:
 - primul tranzistor G_1/F_1
 - al doilea tranzistor G_2/F_2

Etape - 2

- Alegerea tranzistorului/tranzistoarelor (Gi/Fi)
- Consumatoare de timp
- In functie de frecventa bipolar/unipolar
- Recomandat sa se porneasca de la ghiduri de selectie
- Pct. 5 exemplu

Etape - 2

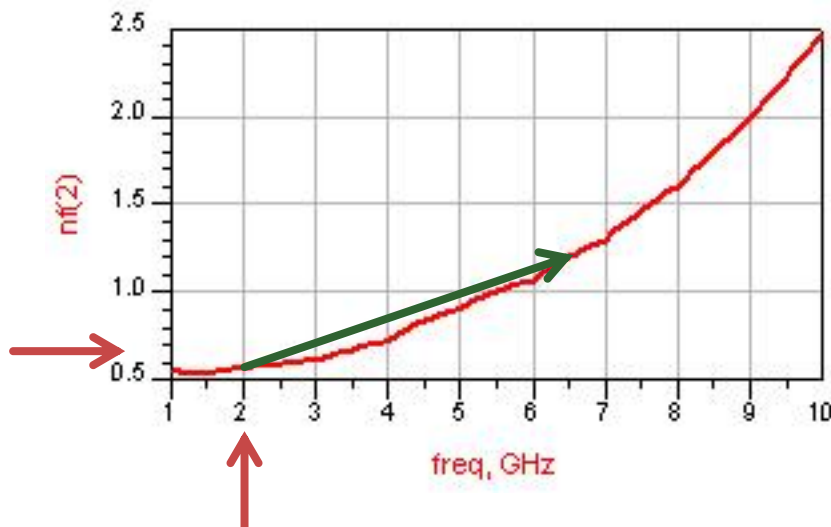
- Cateva ghiduri disponibile pe rf-opto
- -> Google: microwave/rf transistor, low noise, LNA

Low Noise pHEMTs (Typical Specifications @ 25°C Case Temperature)

Part Number	Gate Width (μm)	Frequency Range (GHz)	Test Freq. (GHz)	V _{dd} (V)	I _{dd} (mA)	NF _o (dB)	G _a (dB)	OIP3 (dBm)	P _{1dB} (dBm)	Package
ATF-33143	1600	0.45 - 6	2	4	80	0.5	15.0	33.5	+22	SOT-343 (SC-70)
ATF-331M4	1600	0.45 - 6	2	4	60	0.6	15.0	31	+19	MiniPak ^[2]
ATF-34143	800	0.45 - 6	2	4	60	0.5	17.5	31.5	+20	SOT-343 (SC-70)
ATF-35143	400	0.45 - 6	2	2	15	0.4	18.0	21	+10	SOT-343 (SC-70)
ATF-38143	800	0.45 - 6	2	2	10	0.4	16.0	22	+12	SOT-343 (SC-70)
ATF-36077	200	1.5 - 18	12	1.5	10	0.5	12.0	—	+5	70 mil SM
ATF-36163	200	1.5 - 18	12	1.5	15	1.2	10.0	—	+5	SOT-343 (SC-70)

Etape - 2

- Se tine cont de variatia tipica a parametrilor pentru a estima din performanta la frecventa de test performanta la frecventa proiectului
 - Factorul de zgomot **creste** cu frecventa
 - Castigul **scade** cu frecventa

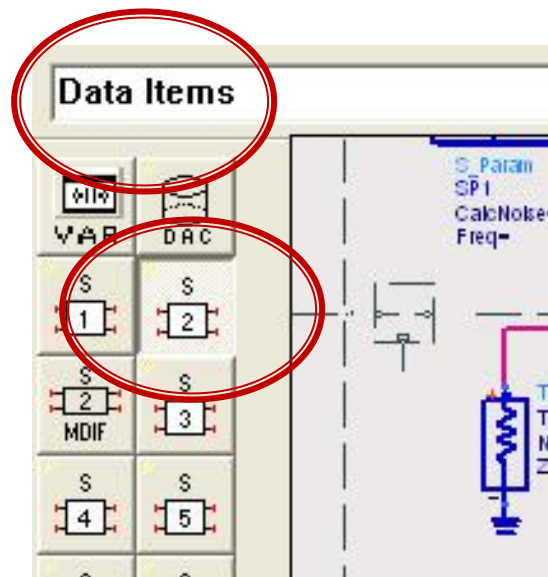


Etape - 2

- Rezultat
 - posibil T₁: **ATF34143**
 - posibil T₂: **NE71084**

Etape - 3

- Obținerea modelului pentru tranzistor
- Cel mai des fisierul cu parametri S
- Google, firma producătoare: S2p files, S parameters etc.

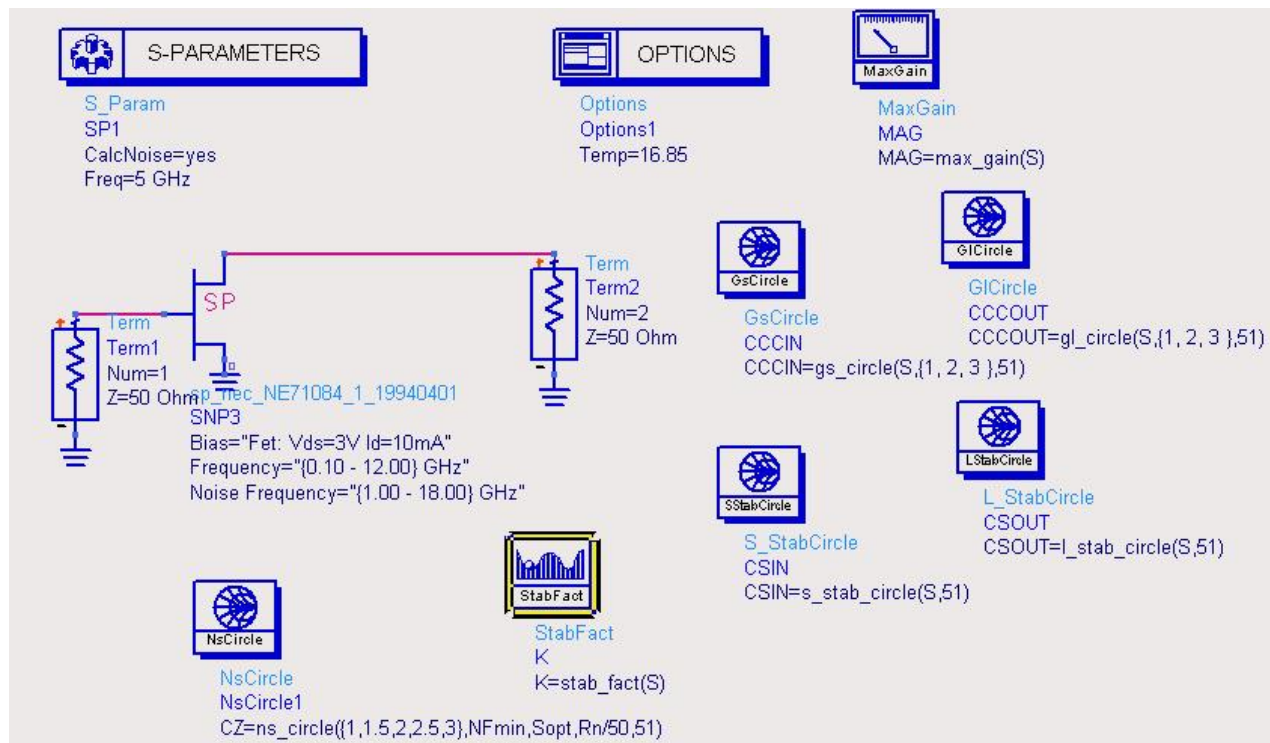


Etape - 4

- Investigarea tranzistorului
 - schema 1/lab 3-4
 - se calculeaza valori (se verifica G/F)
 - se calculeaza cercuri (pozitie, diametru)
 - se estimeaza/alege GS/GL
 - similar lab3-4
 - pentru fiecare tranzistor
- Pct. 7 exemplu

Etape - 4

- se introduce un fisier cu parametri S si se verifica rapid prin simulare (**repetata**)



Etape - 4

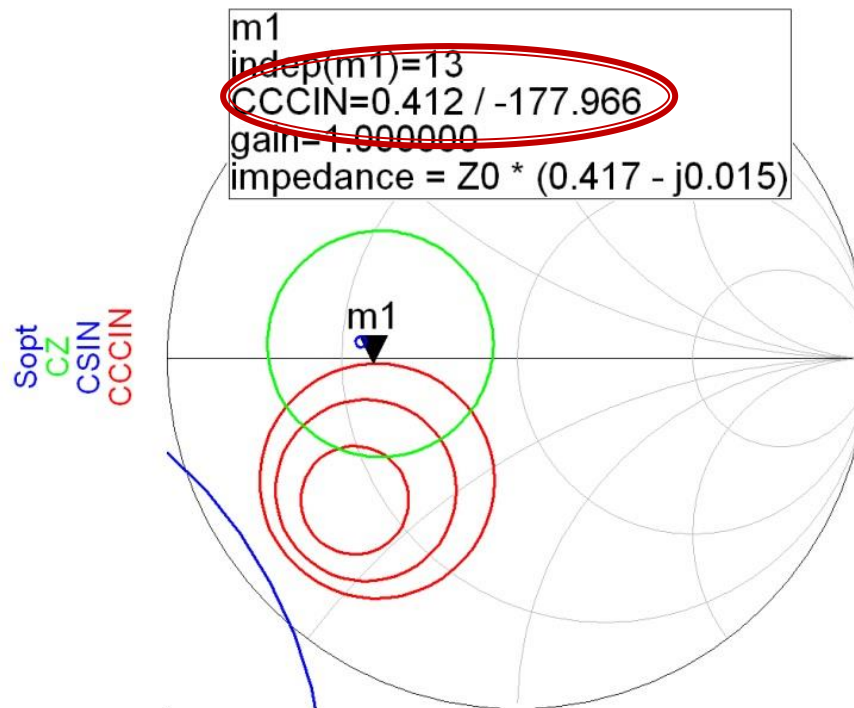
- **Rezultat**
 - potential T₁: **ATF34143 la 3V, 20mA, GS1 = ~ ... dB, GL1 = ~ ...dB**
 - potential T₂: **NE71084 la 3V, 1mA , GS2 = ~ ... dB, GL2 = ~ ...dB**

Etape - 5

- Pentru fiecare tranzistor:
- Se proiectează adaptarea la intrare
 - schema 1~2/lab 3-4
- cercuri desenate
 - cerc de stabilitate
 - cerc(uri) de zgomot ($\sim F$ ales)
 - cerc(uri) de castig ($\sim GS$ ales)
- Pct. 8-9 exemplu 2024

Etape - 5

- Se utilizeaza un marker pentru a obtine valoarea coeficientului de reflexie



Etape - 5

- Se calculeaza dupa exemplele din curs/proiect lungimile electrice ale celor doua linii serie/paralel

$$\cos(\varphi + 2\theta) = -|\Gamma_s|$$

$$\theta_{sp} = \beta \cdot l = \tan^{-1} \frac{\mp 2 \cdot |\Gamma_s|}{\sqrt{1 - |\Gamma_s|^2}}$$

Etape - 5

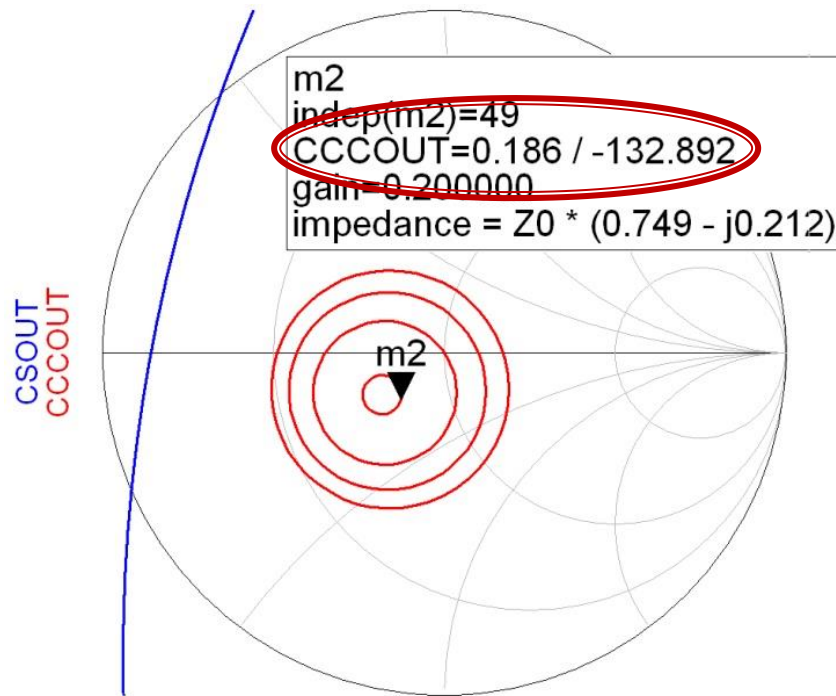
- Rezultat:
 - lungimi electrice **E_1 , E_2**
 - pentru fiecare tranzistor

Etape - 6

- Pentru fiecare tranzistor:
- Se proiectează adaptarea la ieșire
 - schema 1~2/lab 3-4
- cercuri desenate
 - cerc de stabilitate
 - ~~■ cerc(uri) de zgomot ($\sim F_{ales}$)~~
 - cerc(uri) de castig ($\sim GL_{ales}$)
- Pct. 8-9 exemplu 2024

Etape - 6

- Se utilizeaza un marker pentru a obtine valoarea coeficientului de reflexie



Etape - 6

- Se calculeaza dupa exemplele din curs/proiect lungimile electrice ale celor doua linii serie/paralel

$$\cos(\varphi + 2\theta) = -|\Gamma_L|$$

$$\theta_{sp} = \beta \cdot l = \tan^{-1} \frac{\mp 2 \cdot |\Gamma_L|}{\sqrt{1 - |\Gamma_L|^2}}$$

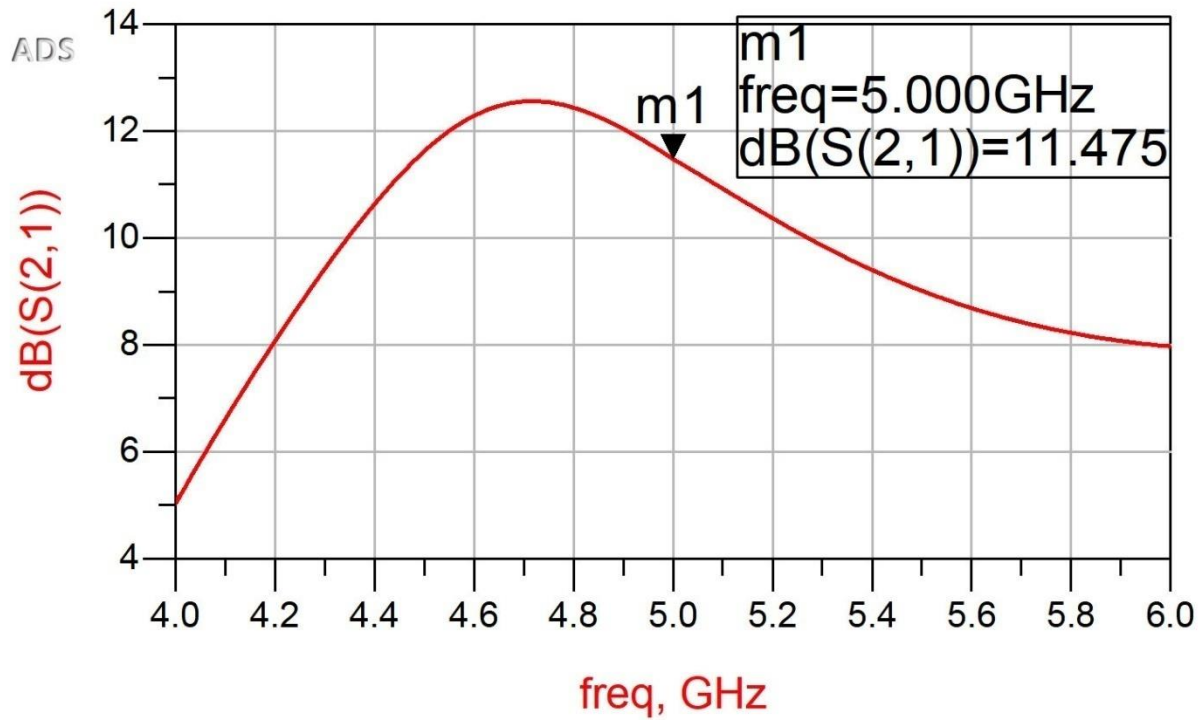
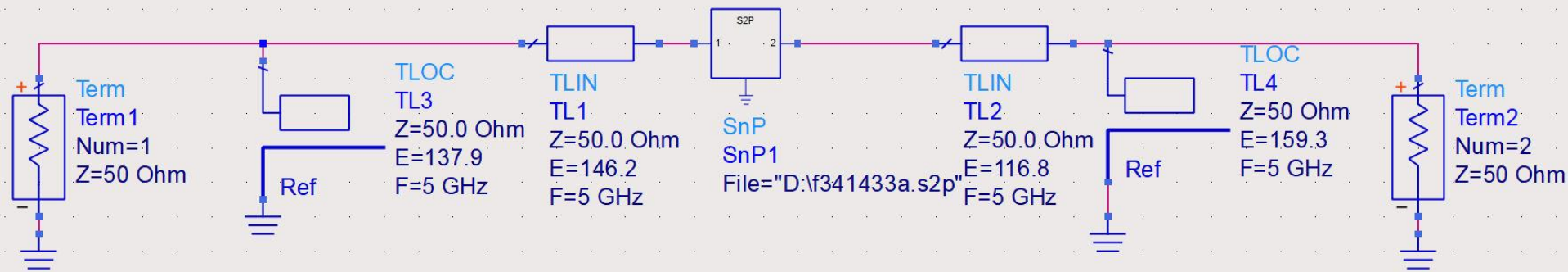
Etape - 6

- Rezultat:
 - lungimi electrice E_3, E_4
 - pentru fiecare tranzistor

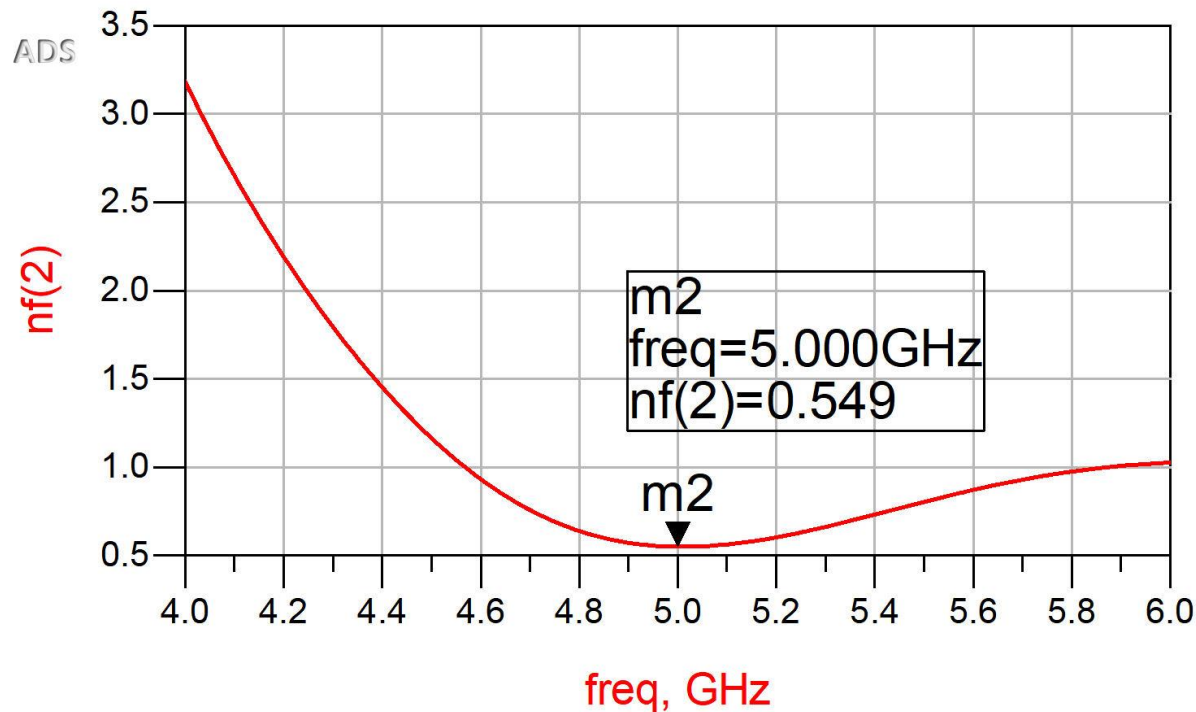
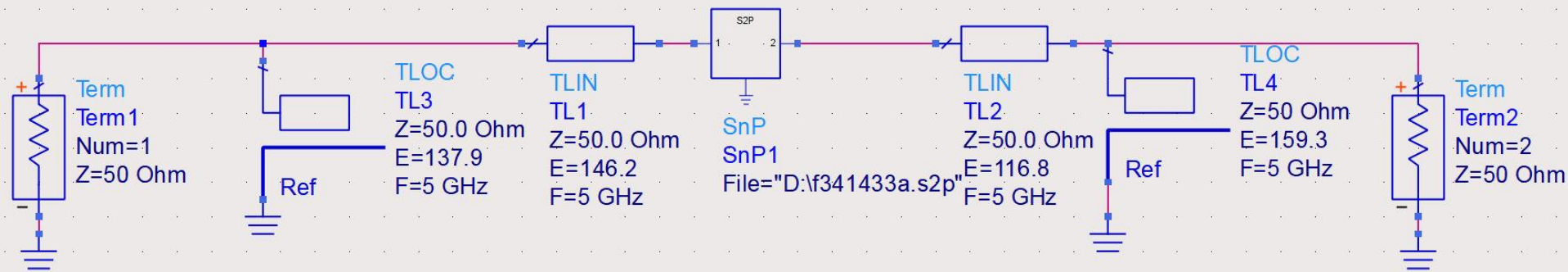
Etape - 7

- Pentru fiecare tranzistor
- Verificare
- Se introduc liniile E_1 , E_2 la intrarea tranzistorului si E_3 , E_4 la iesire si se verifica daca se obtin rezultatele G/F propuse
 - Se verifica calculele
- Pct. 8-9 exemplu 2024

Etape - 7



Etape - 7



Etape - 7

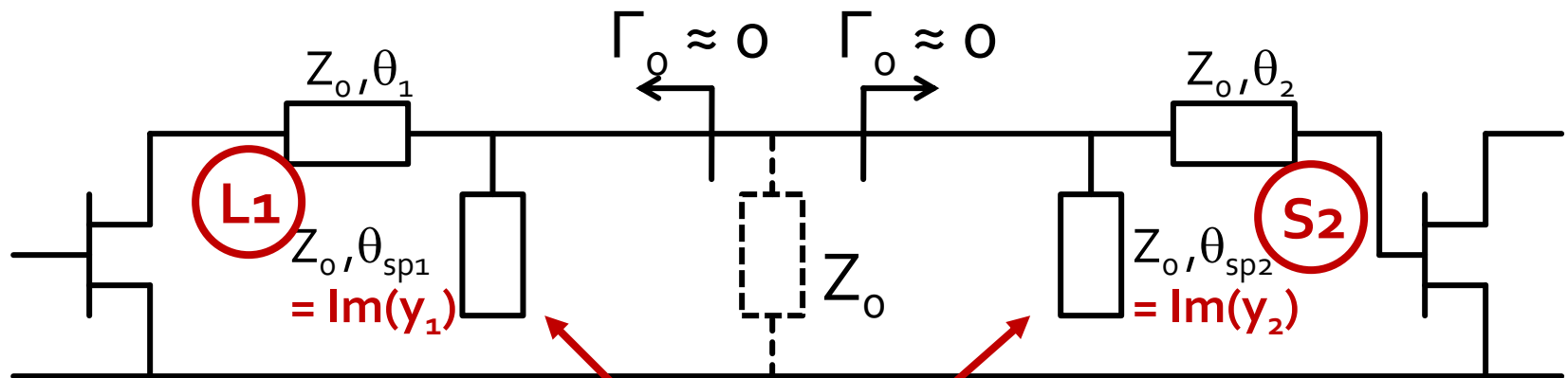
- **Rezultat**
 - acceptat T₁: **ATF34143** la 3V, 20mA, GS₁ = ... dB, GL₁ = ...dB
 - acceptat T₂: **NE71084** la 3V, 1mA , GS₂ = ... dB, GL₂ = ...dB

Etape - 8

- In urma punctelor 1-7 exista doua amplificatoare cu cate un tranzistor functionale care indeplinesc relatia lui Friis
 - G_1, G_2 $G_{cas} = G_1 \cdot G_2$ $G_{cas} [dB] = G_{tema} + \Delta G$
 - F_1, F_2 $F_{cas} = F_1 + \frac{1}{G_1} (F_2 - 1)$ $F_{cas} [dB] = F_{tema} - \Delta F$
- Se realizeaza conectarea in cascada a celor doua amplificatoare , pentru a obtine un singur amplificator cu doua etaje de amplificare
- Pct. 10 exemplu

Etape - 8

- In urma etapei 6 se cunosc lungimile electrice ale liniilor de la iesirea primului tranzistor si de la intrarea celui de-al doilea



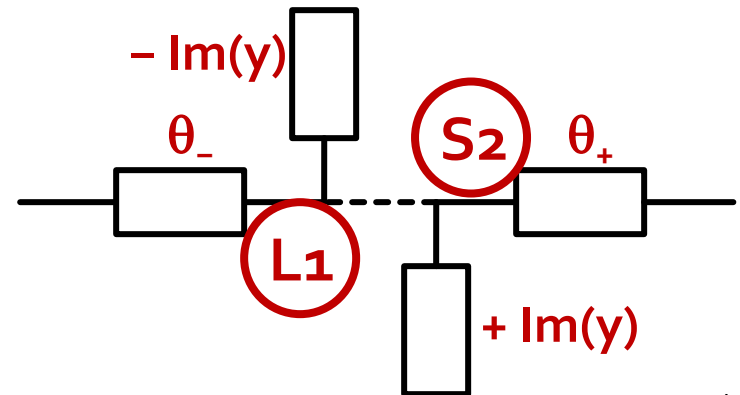
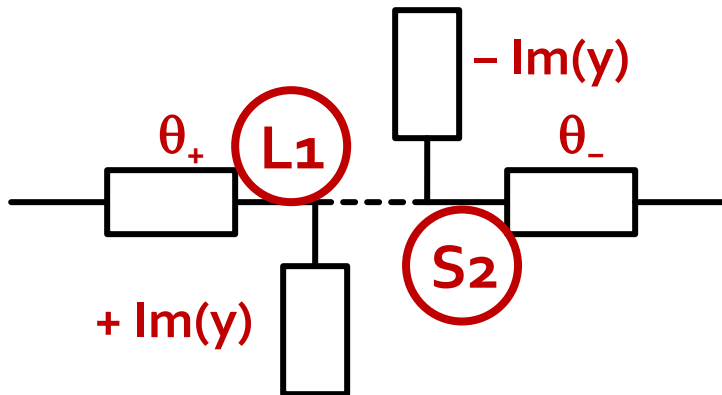
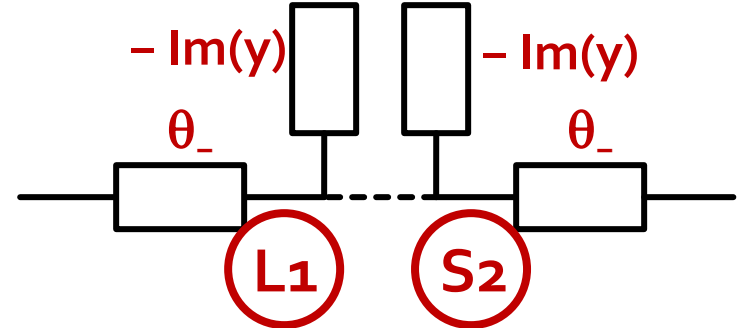
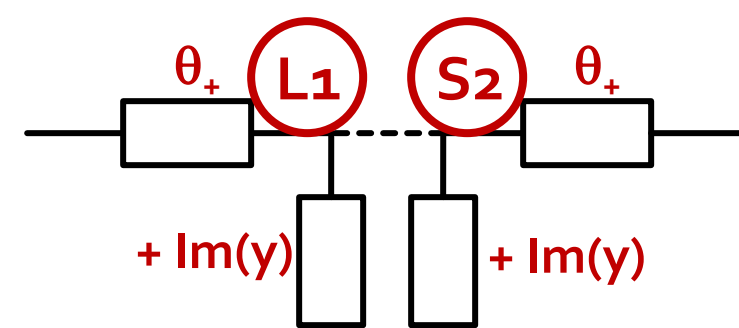
Cele doua stub-uri in paralel se combina intr-unul singur

Etape - 8

- Cele doua linii in serie se pastreaza cu valorile anterioare
 - **Atentie!** solutiile sunt duble +/- la ambele amplificatoare, pentru liniile in serie oricare din variante este posibila
- Cele doua linii in paralel se vor combina intr-o singura linie
 - **Atentie!** admitantele sunt in paralel si se aduna, nu lungimile electrice
 - E necesara recuperarea de la etapa 6 a pasului intermediar care consta in calcularea acestor admitante $\text{Im}(y_1)$, $\text{Im}(y_2)$
 - Solutiile pentru admitante sunt de asemenea duble, se aleg valorile (+/-) care corespund **solutiilor alese** pentru liniile serie

Etape - 8

- 4 combinatii posibile
 - admitantele** sunt in paralel si se **aduna**, nu lungimile electrice



$$\text{Im}[y_{sp}] = \text{Im}[y_{L1}(\theta)] + \text{Im}[y_{S2}(\theta)]$$

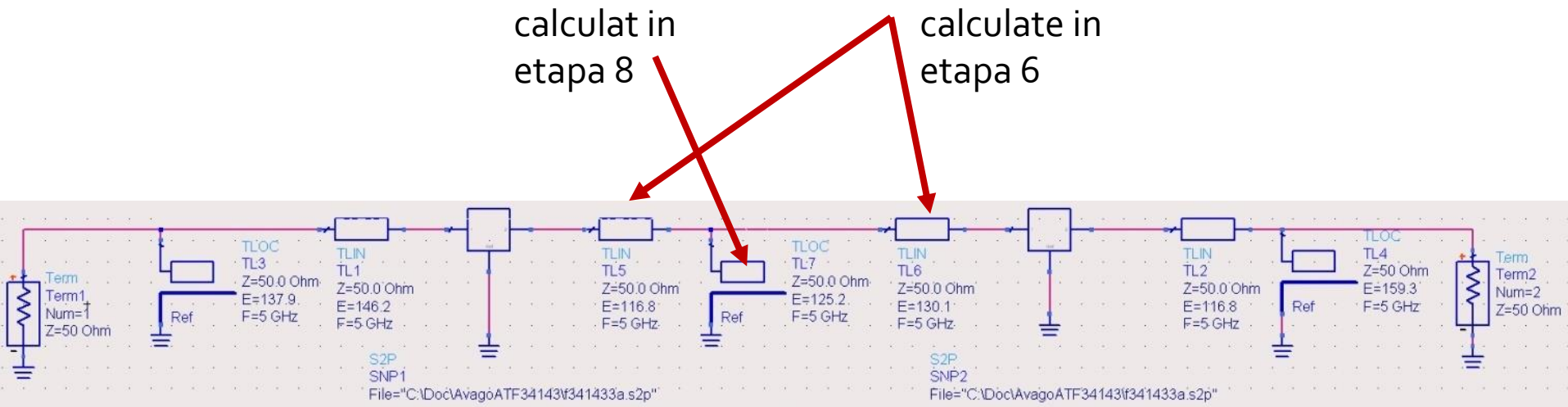
$$\theta_{sp} = \tan^{-1}(\text{Im}[y_{sp}])$$

Etape - 8

- Se calculeaza admitanta necesara de la stub-ul combinat
 - $\text{Im}(y) = \text{Im}(y_1) + \text{Im}(y_2)$
- Se calculeaza lungimea electrica a liniei care ofera aceasta admitanta
 - $E = \tan^{-1}(\text{Im}(y))$
- Se realizeaza unificarea celor doua amplificatoare, pastrand liniile serie dintre etaje si inlocuind cele doua stub-uri paralel cu stub-ul combinat

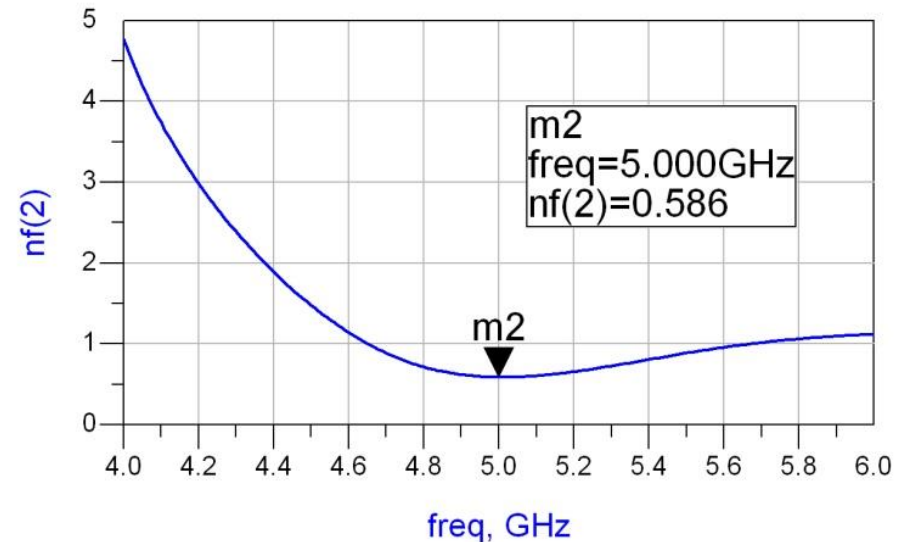
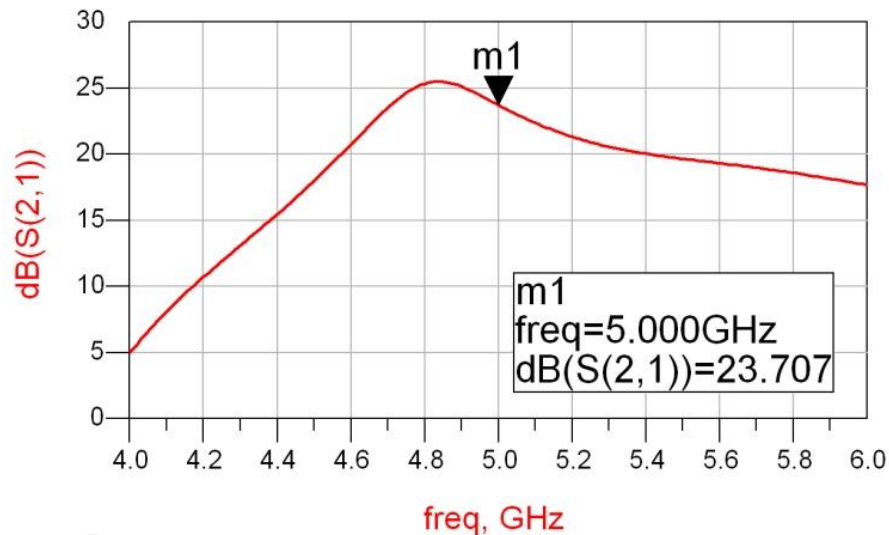
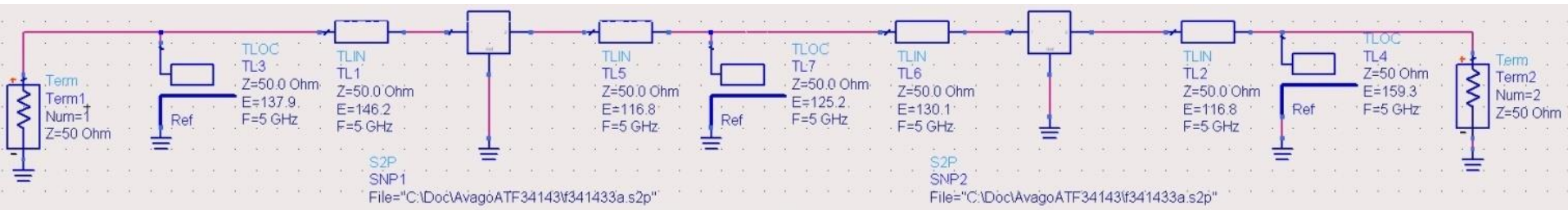
Etape - 8

- Rezultat
 - amplificator final
- Se poate simula pentru verificare
 - Pct. 11 exemplu



Etape - 8

- Se poate simula pentru verificare



Etapa 9

- Proiectarea si implementarea filtrului
- Pct. 13 exemplu
- In functie de tipul de filtru relatiile si schemele pot fi diferite
 - alt filtru decat linii cuplate ofera bonus

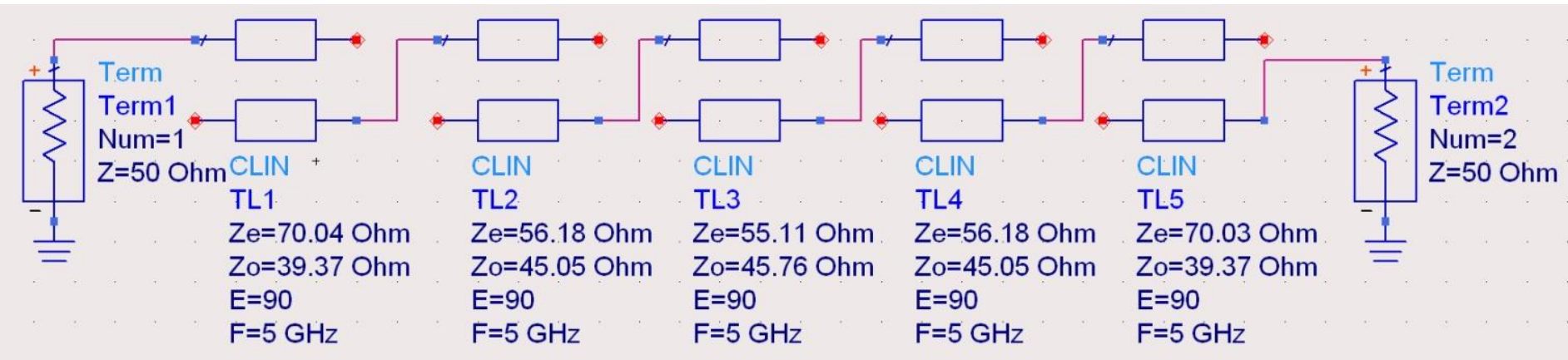
Etapa 9

- **Atentie!** Proiectarea filtrului se poate face numai prin calcul
 - datorita numarului mare de valori (ordin 5-6, 12-14 valori) **nu se poate** obtine prin reglaj un filtru potrivit

n	g_n	$Z_o J_n$	$Z_{oe} [\Omega]$	$Z_{oo} [\Omega]$
1	1.6703	0.306664	70.04	39.37
2	1.1926	0.111295	56.18	45.05
3	2.3661	0.09351	55.11	45.76
4	0.8419	0.111294	56.18	45.05
5	1.9841	0.306653	70.03	39.37

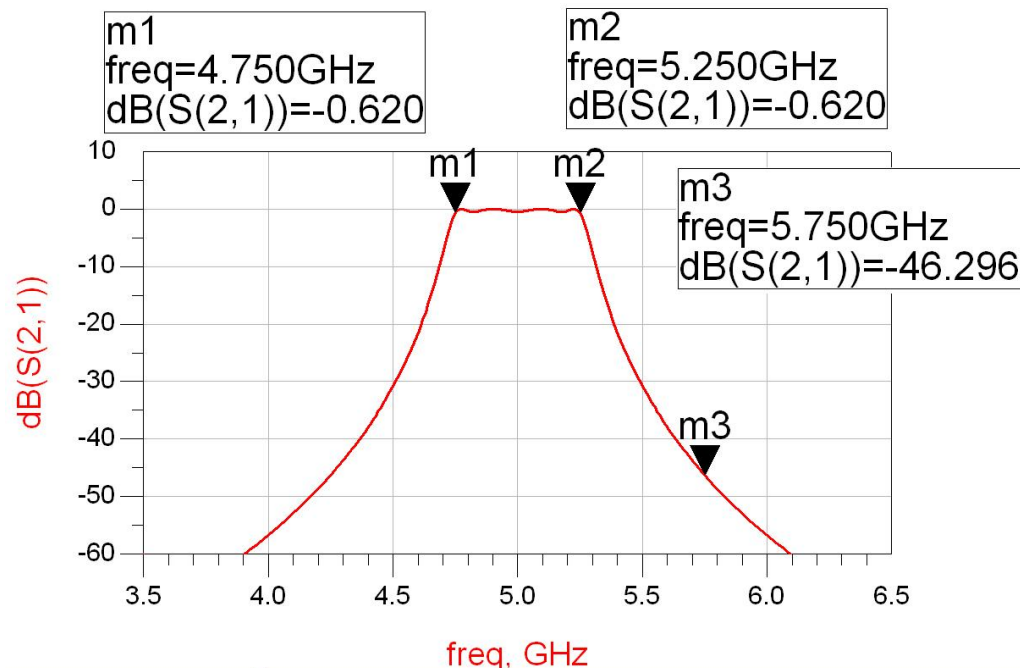
Etapa 9

- Se simuleaza si se verifica filtrul separat



Etapa 9

- Se verifica cu atentie banda obtinuta, si valoarea riplului/atenuarii maxime in banda
 - banda corecta intervine **semnificativ** la nota de proiect
 - eventualele atenuari se vor scadea din castigul amplificatorului si se poate ajunge la neindeplinirea cerintelor de castig din tema



Etapa 10

- Se realizeaza un reglaj final dupa principiile de la laboratorul 3
 - componentele de la intrare influenteaza preponderent zgomotul, cele de la iesire numai castigul
- Pct. 14 exemplu

Etapa 11

- Se realizeaza eventualele puncte suplimentare
 - pentru justificare in acest caz va fi necesara predarea proiectului ADS arhivat

Contact

- Laboratorul de microunde si optoelectronica
- <http://rf-opto.etti.tuiasi.ro>
- rdamian@etti.tuiasi.ro