Ho Chi Minh City University of Technology | Faculty of Electrical and Electronics Engineering
Department of Telecommunications Engineering | June 3, 2025, Ho Chi Minh city

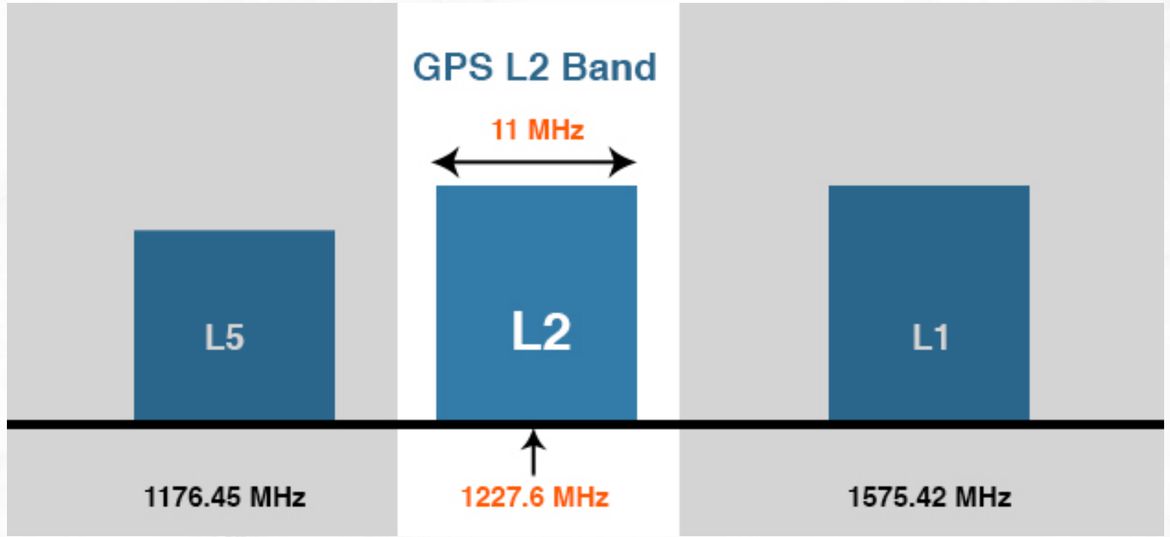
ĐỒ ÁN 1

THIẾT KẾ TẦNG RF TRONG MẠCH THU TÍN HIỆU GPS Ở BĂNG TẦN L2 1227.6 MHZ

GVHD: Tiến sĩ Hoàng Mạnh Hà

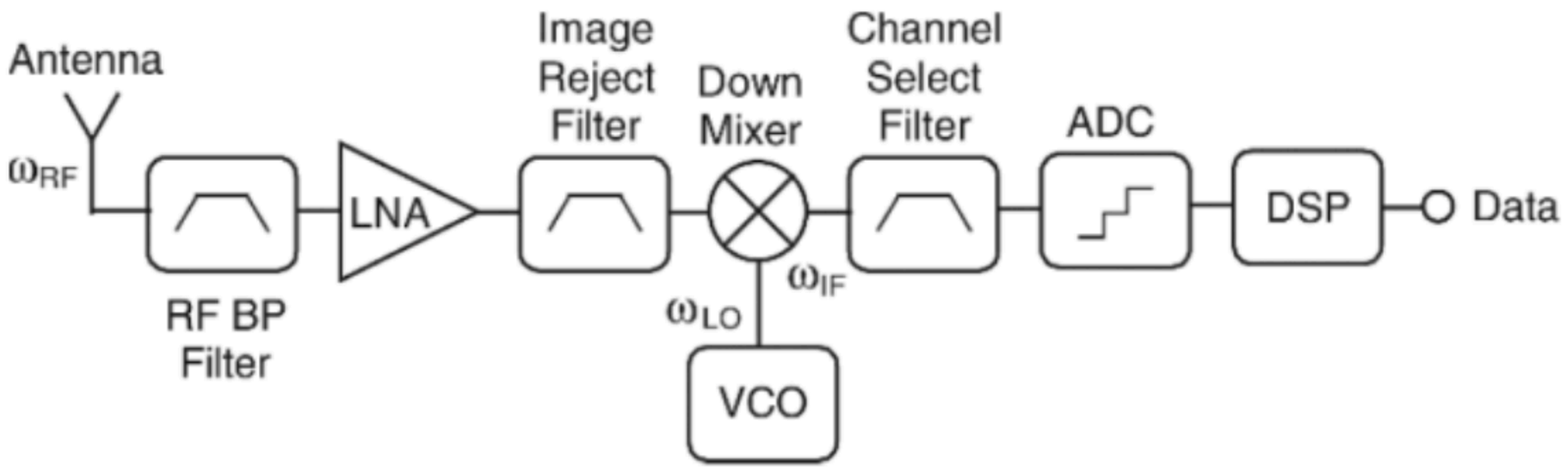
Student: Nguyễn Quang Huy **MSSV: 2211205**

TỔNG QUAN ĐỒ ÁN



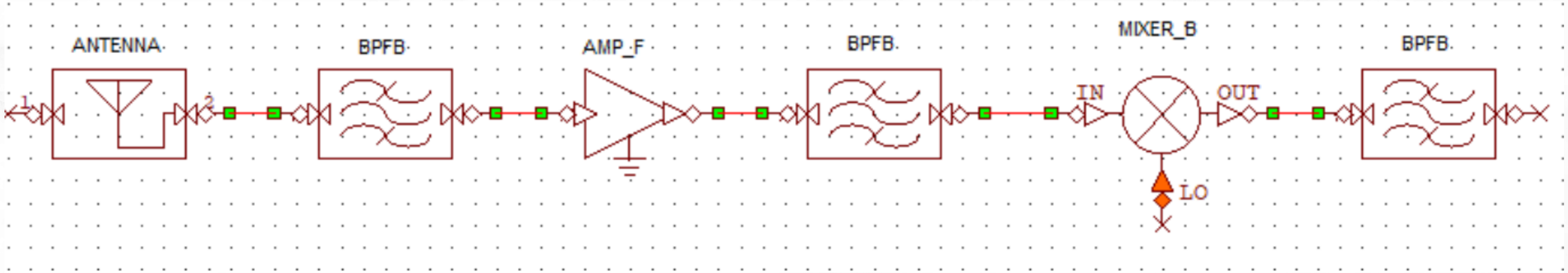
Mục đích của đề tài là thiết kế và mô phỏng tầng thu RF cho hệ thống GPS hoạt động ở băng tần L2 (1227.6 MHz) nhằm hiểu rõ nguyên lý hoạt động và cấu trúc của một mạch thu tín hiệu vệ tinh. Đề tài tập trung vào việc xây dựng các khối chức năng chính như bộ lọc thông dải (BPF), khuếch đại nhiễu thấp (LNA), bộ trộn tần (Mixer) và đánh giá đáp ứng tần số của từng khối thông qua mô phỏng trên phần mềm AWR. Qua đó có thể nắm vững các kiến thức nền tảng về thiết kế mạch cao tần, và rèn luyện kỹ năng thực hành mô phỏng trong môi trường thiết kế chuyên dụng.

SƠ ĐỒ KHỐI MÁY THU



Heterodyne Architecture

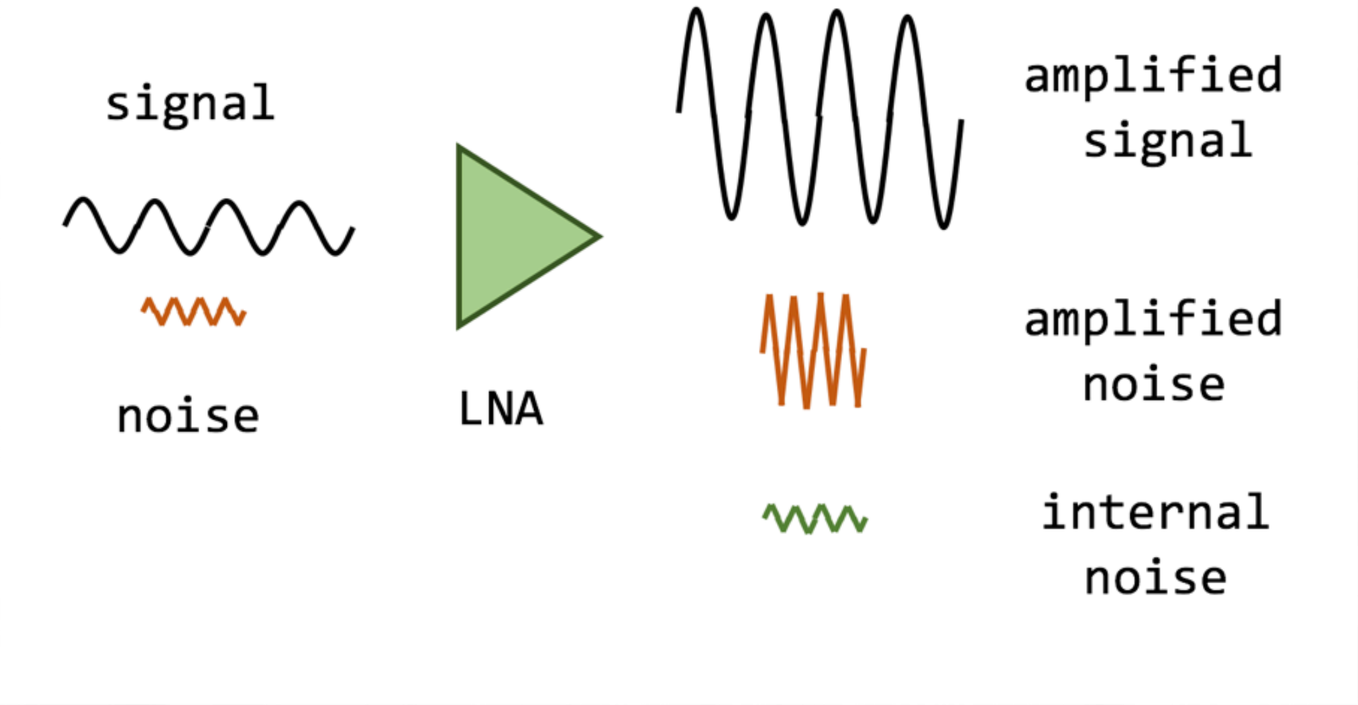
KHỐI FRONT-END



RF stage Block Diagram

LOW NOISE AMPLIFIER

Tín hiệu được antenna thu được có công suất rất nhỏ (cỡ micro volt), có thể so sánh được với nhiễu nội tại. Do đó ta cần thiết kế một bộ khuếch đại tín hiệu nhưng phải đảm bảo hạn chế tối đa hệ số nhiễu, và đồng thời phải đánh đổi về độ lợi.



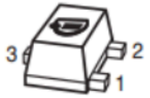
LOW NOISE AMPLIFIER

Lựa chọn transistor để tối ưu hệ số nhiễu.

BFR193F

Low Noise Silicon Bipolar RF Transistor

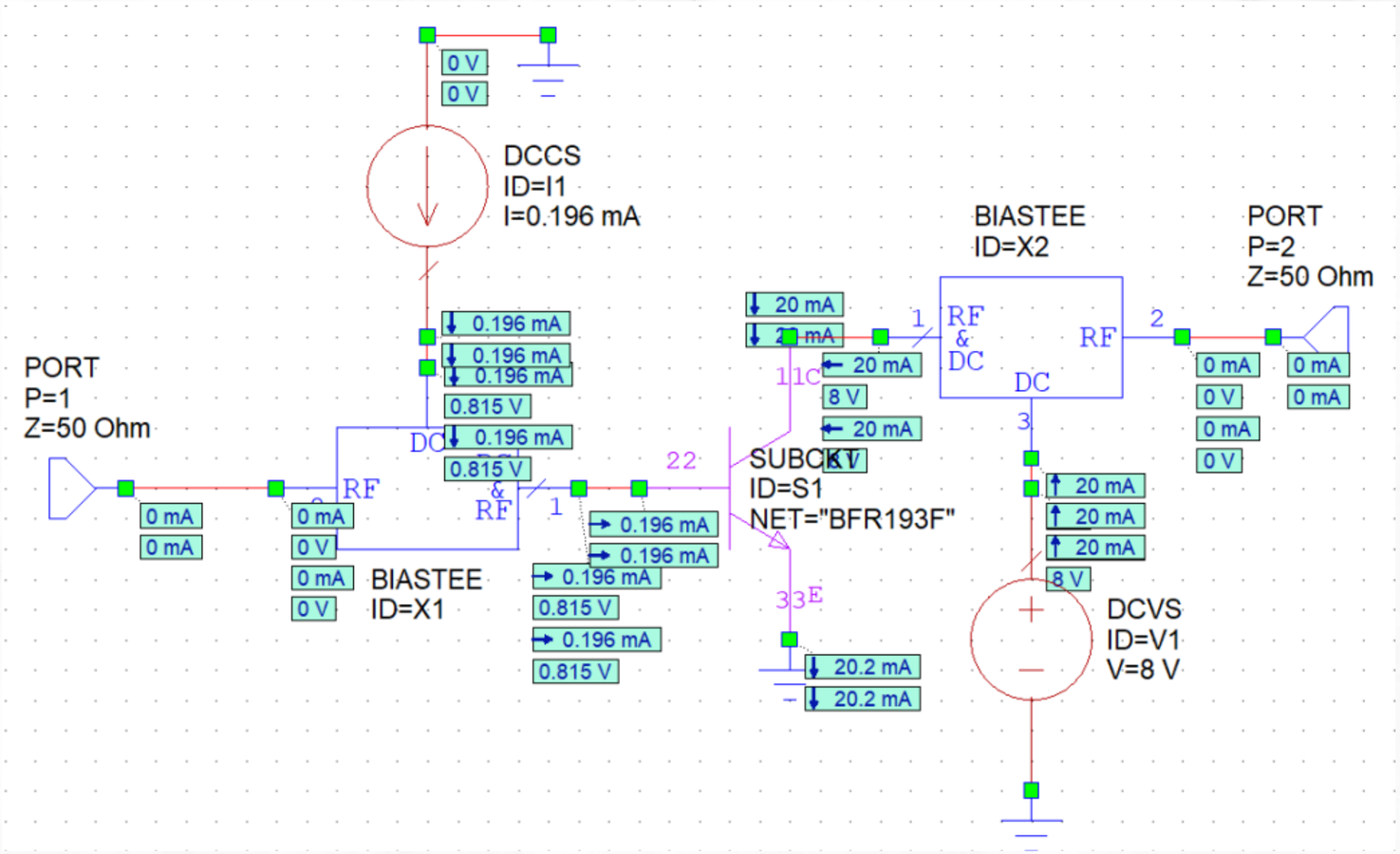
- For low noise, high-gain amplifiers up to 2 GHz
- For linear broadband amplifiers
- f_T = 8 GHz, NF_{min} = 1 dB at 900 MHz
- Pb-free (RoHS compliant) and halogen-free product
- Qualification report according to AEC-Q101 available



Minimum noise figure I_C = 10 mA, V_{CE} = 8 V, $Z_S = Z_{Sopt}$,	NF_{min}				dB
f = 900 MHz		-	1	-	
f = 1.8 GHz		-	1.6	-	

LOW NOISE AMPLIFIER

Lựa chọn điều kiện phân cực theo datasheet.



LOW NOISE AMPLIFIER

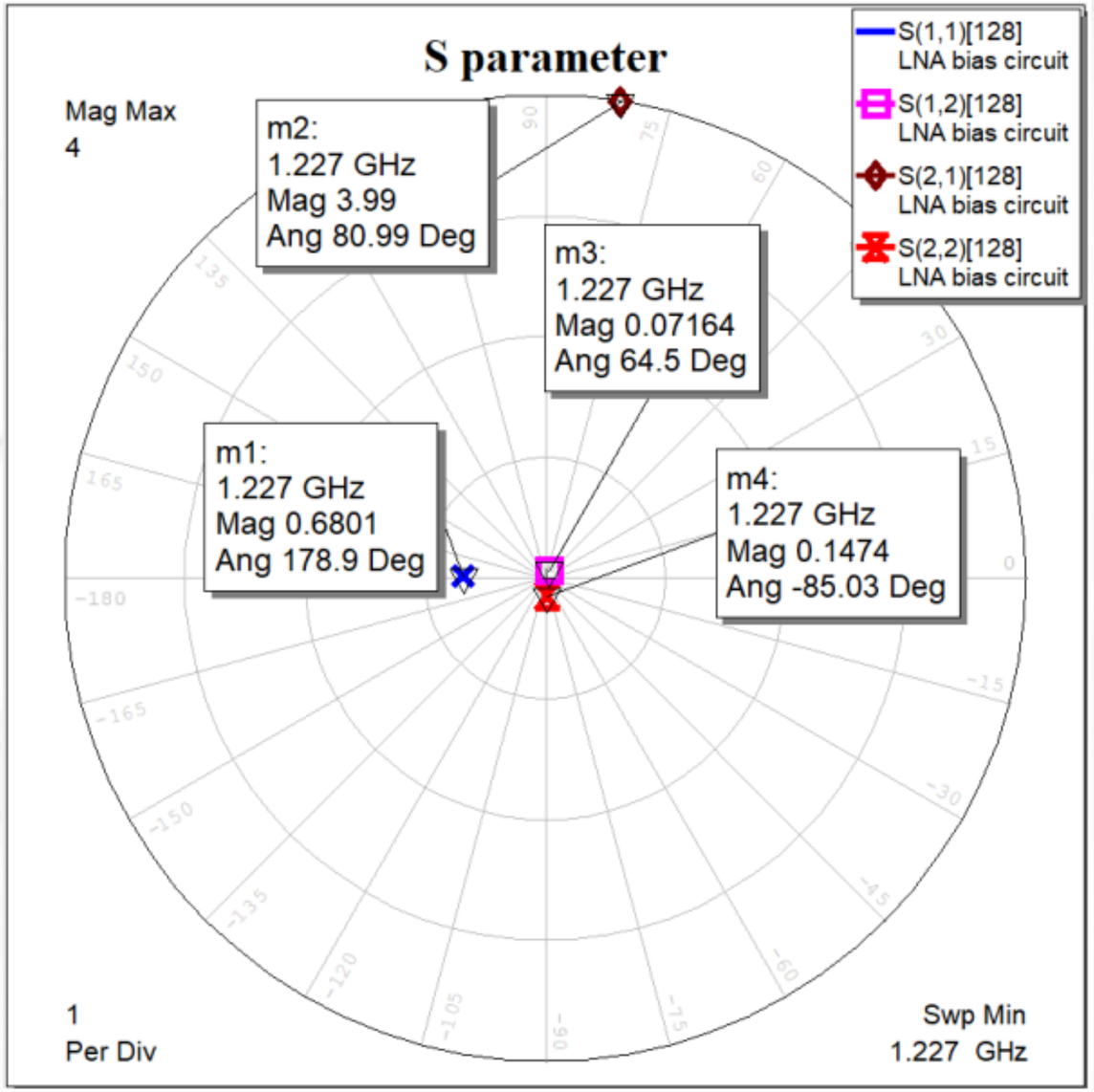
Bộ thông số S parameter.

$$S_{11} = 0.6801\angle 178.9$$

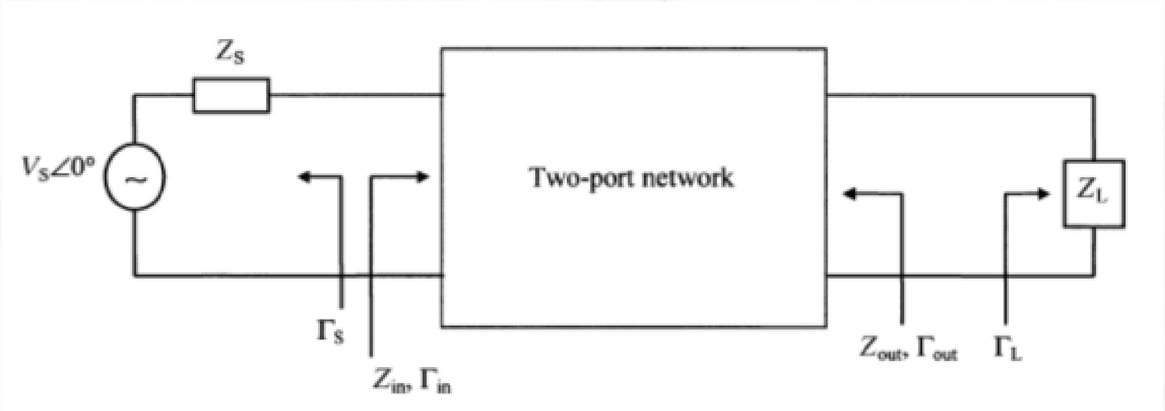
$$S_{12} = 0.07164\angle 64.5$$

$$S_{21} = 3.99\angle 80.99$$

$$S_{22} = 0.1474\angle -85.03$$



LOW NOISE AMPLIFIER

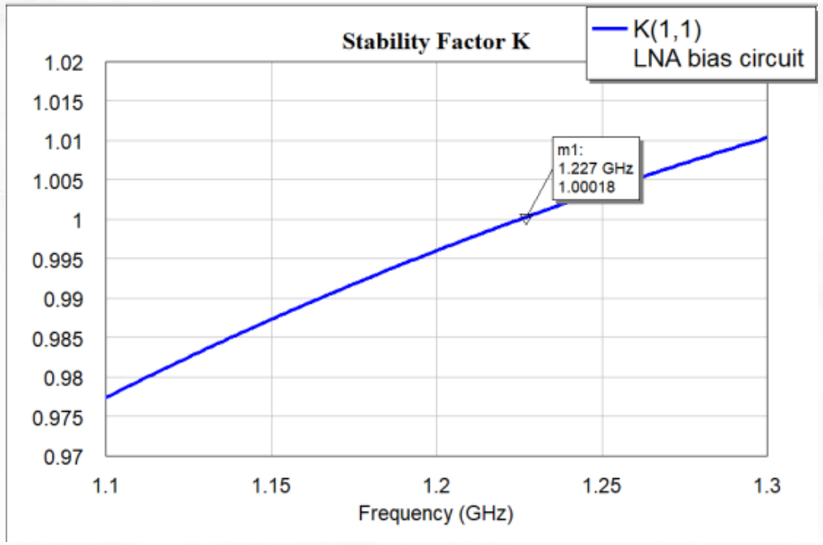


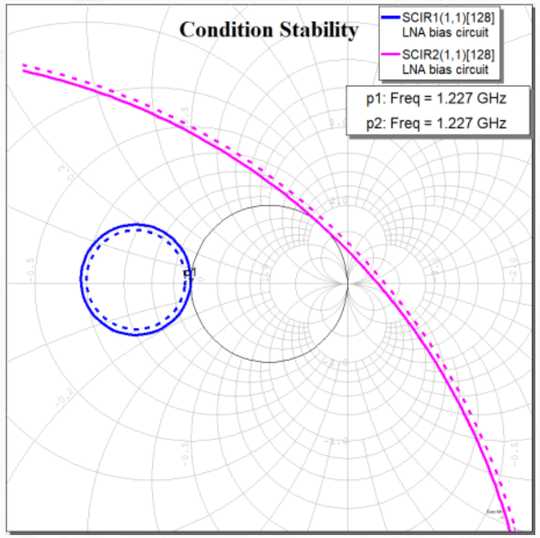
Điều kiện ổn định:

$$\left|\Gamma_{in}\right| < 1 \text{ và } \left|\Gamma_{out}\right| < 1$$

$$|\Delta| = \left|S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}\right| \approx 0.237 < 1$$

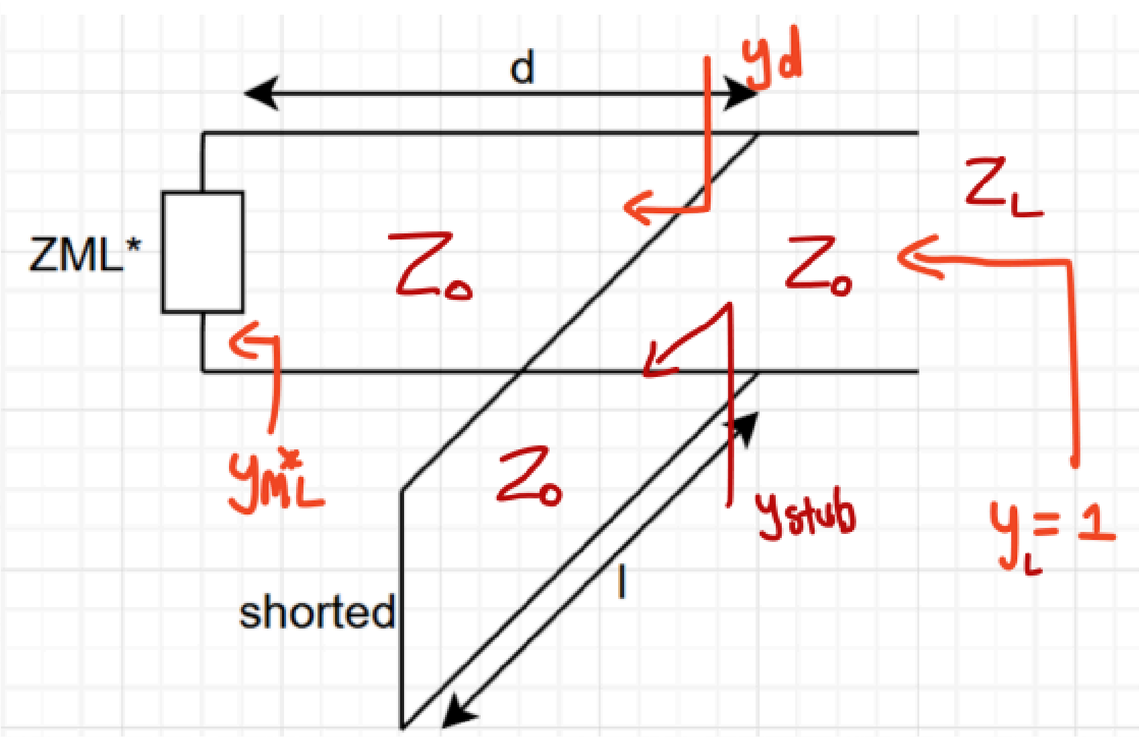
$$K = \frac{1-|S_{11}|^2-|S_{22}|^2+|\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} \approx 1.00039 > 1$$



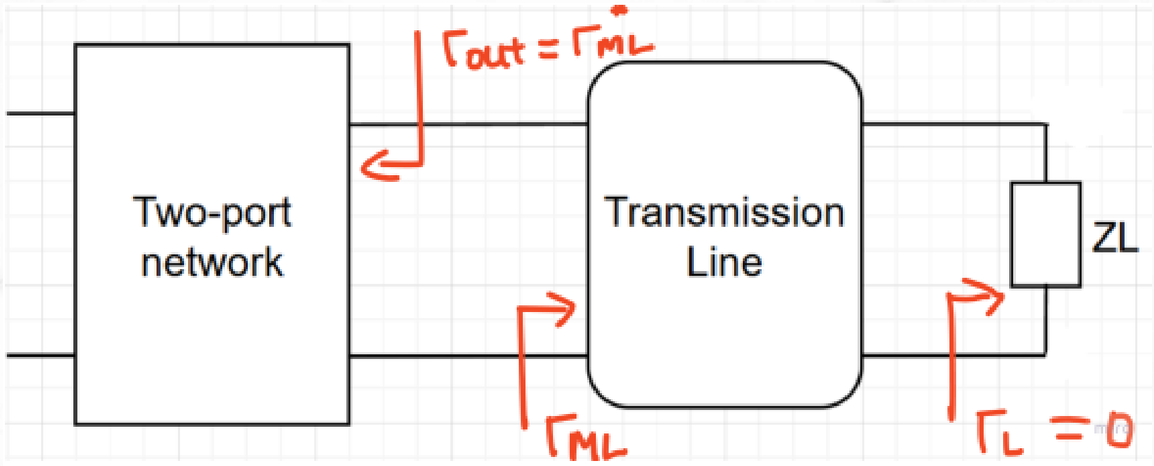


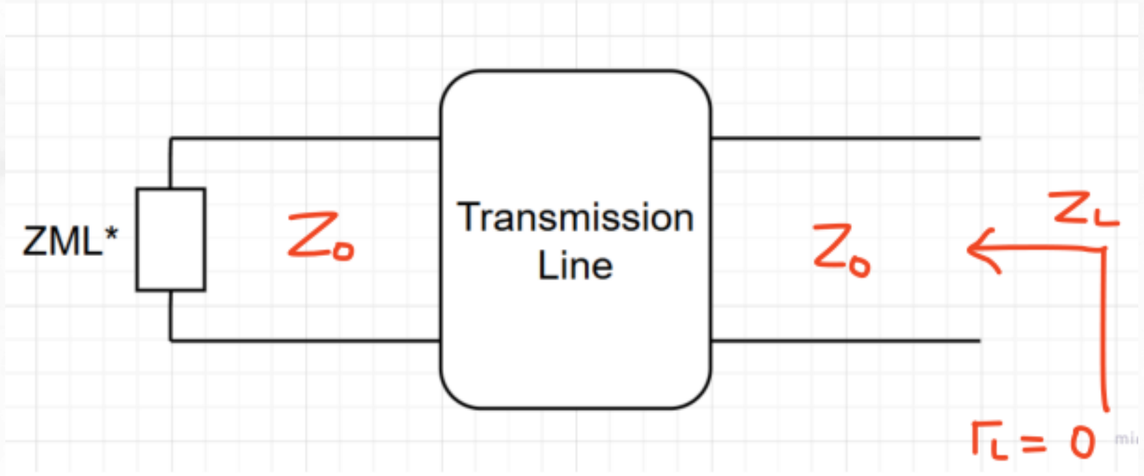
LOW NOISE AMPLIFIER

Output matching network:



$$Z^*_{ML} \approx 4.8535 - j112.8889\ (\Omega)$$





LOW NOISE AMPLIFIER

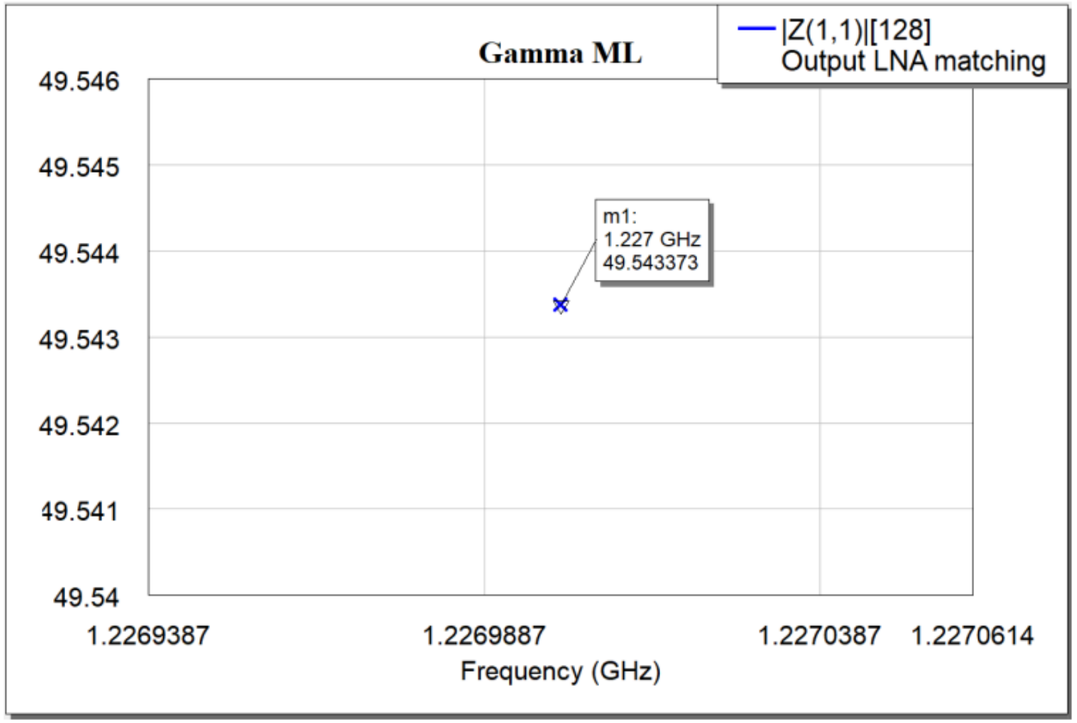
$$d = 0.23\lambda - 0.067\lambda = 0.163\lambda.$$

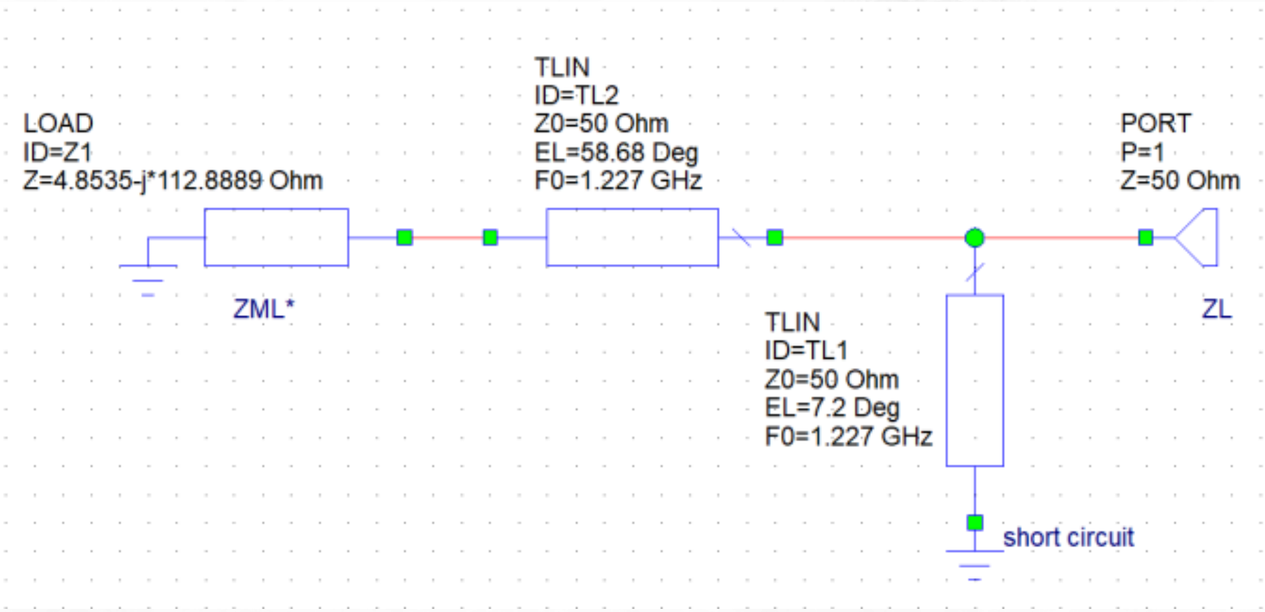
$$l = 0.27\lambda - 0.25\lambda = 0.02\lambda$$

$$EL_d = 0.163 * 360 = 58.68\ Deg$$

$$EL_l = 0.02 * 360 = 7.2\ Deg$$

Output matching network:





LOW NOISE AMPLIFIER

Input matching network:

$$F_{min\,(dB)} \approx 1.442252\ dB$$

$$\Gamma_{opt} \approx 0.66800829\angle 179.92897^{o}$$

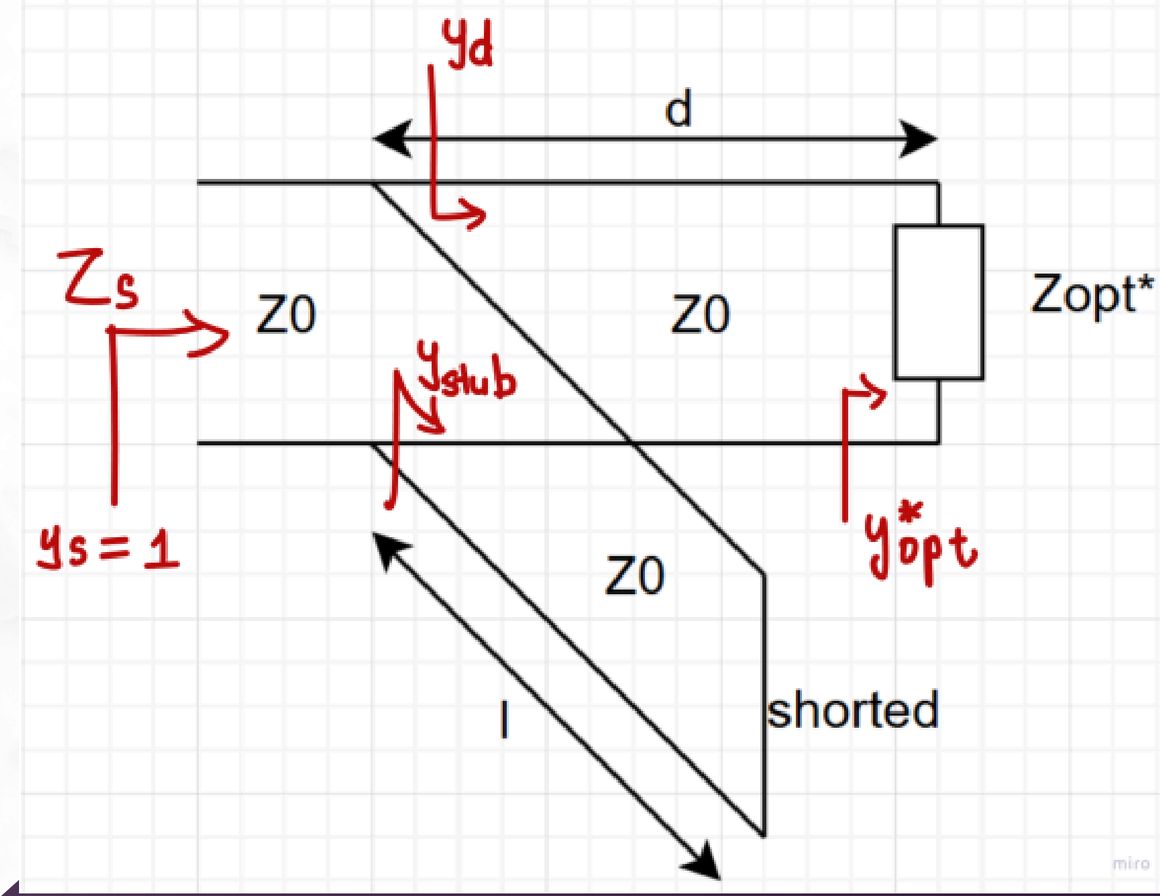
$$r_{n\,(normalized)} = \frac{R_N}{50} \approx 0.033485713$$

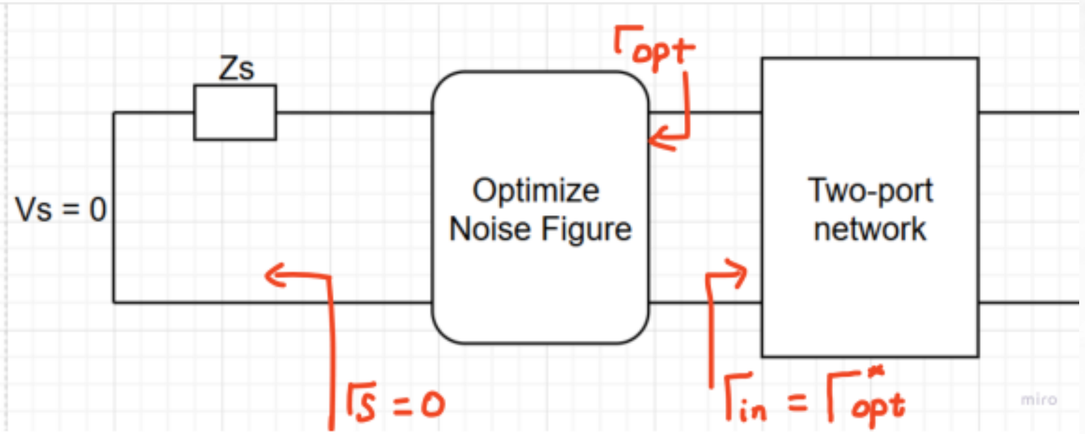
```
!Noise Parameters
!Freq   NFmin(dB)   Mag(GammaOpt)   Ang(GammaOpt)(deg)   rn(normalized)

1.223   1.4393118   0.66727584      179.85421            0.033502851
1.224   1.4400467   0.66745923      179.8729             0.033498492
1.225   1.4407816   0.66764244      179.8916             0.033494182
1.226   1.4415167   0.66782546      179.91029            0.033489923
1.227   1.442252    0.66800829      179.92897            0.033485713
1.228   1.4429873   0.66819093      179.94766            0.033481554
1.229   1.4437228   0.66837338      179.96634            0.033477446
1.23    1.4444583   0.66855565      179.98501            0.033473388
```

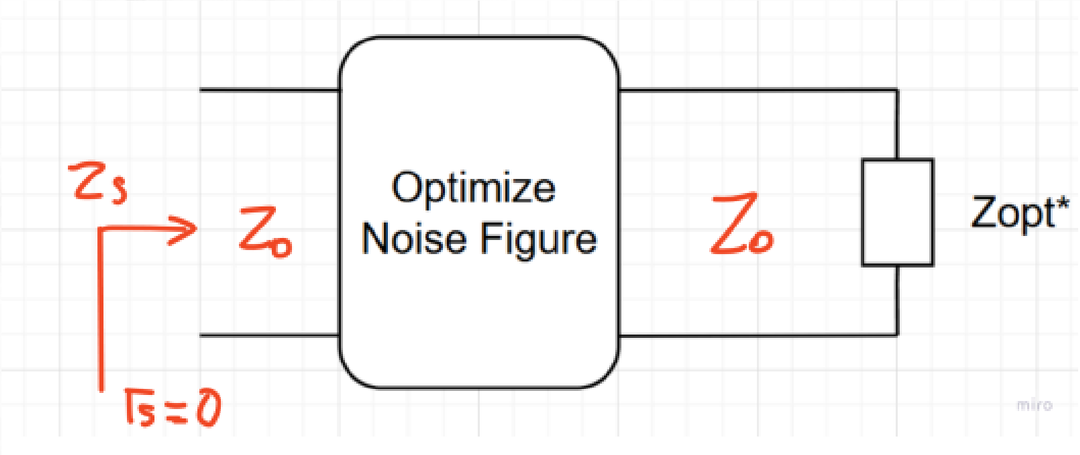
Noise parameter in ***Output files***

LOW NOISE AMPLIFIER

Input matching network:







LOW NOISE AMPLIFIER

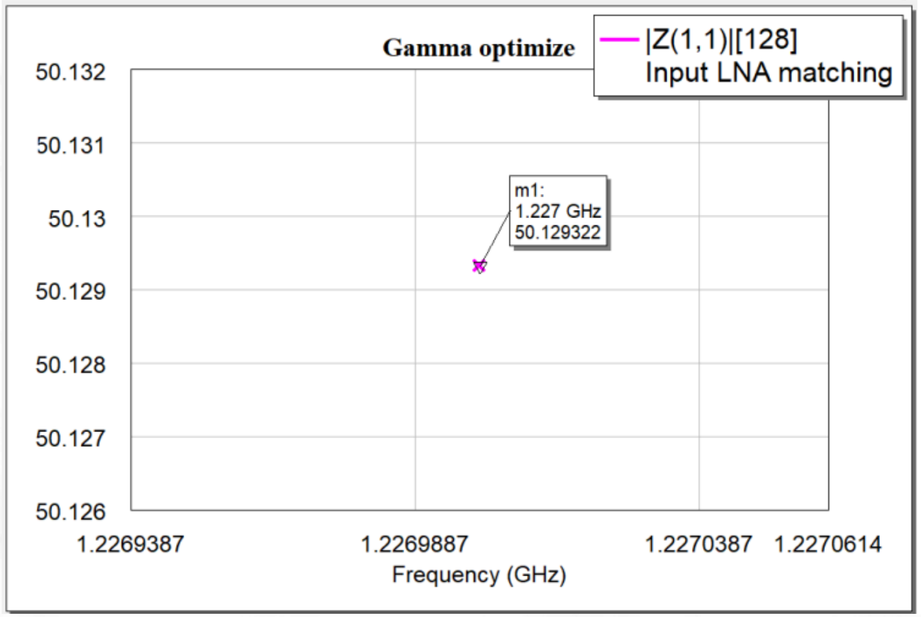
$$d = 0.316\lambda - 0.249\lambda = 0.067\lambda.$$

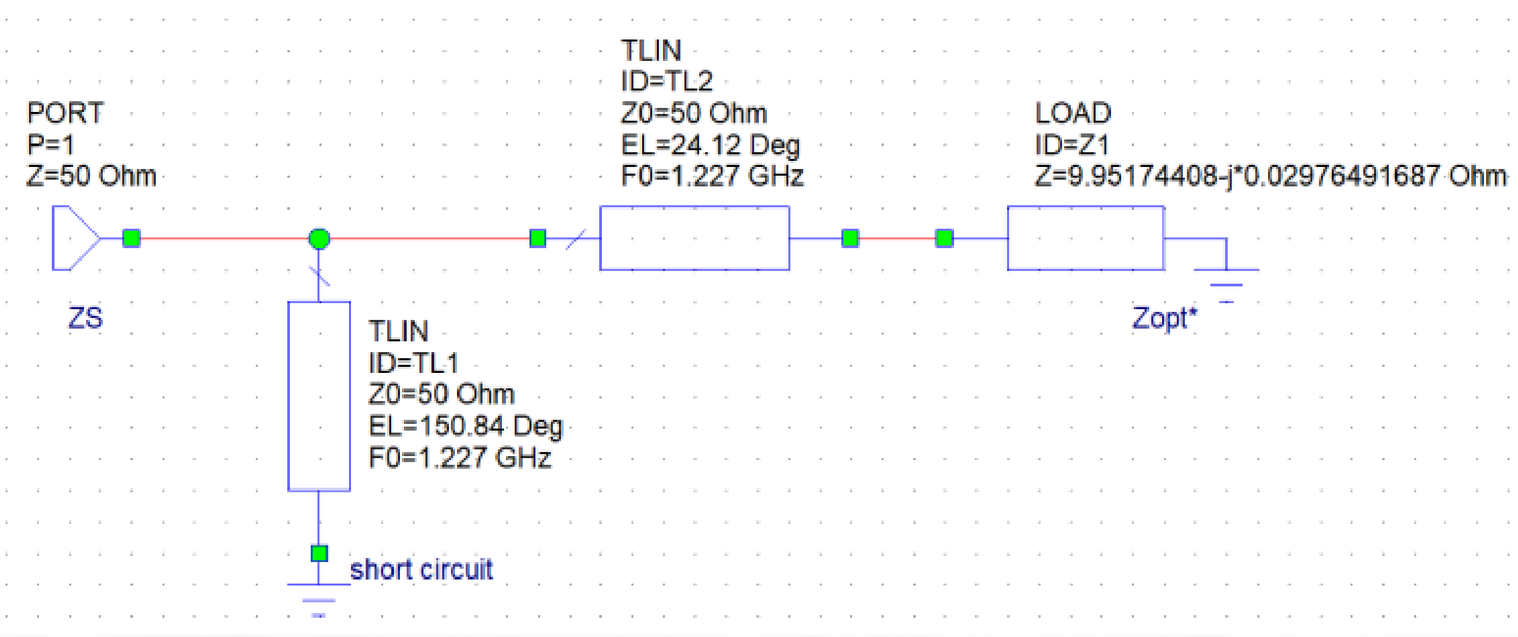
$$l = 0.25\lambda + 0.169\lambda = 0.419\lambda$$

$$EL_d = 0.067 * 360 = 24.12\ Deg$$

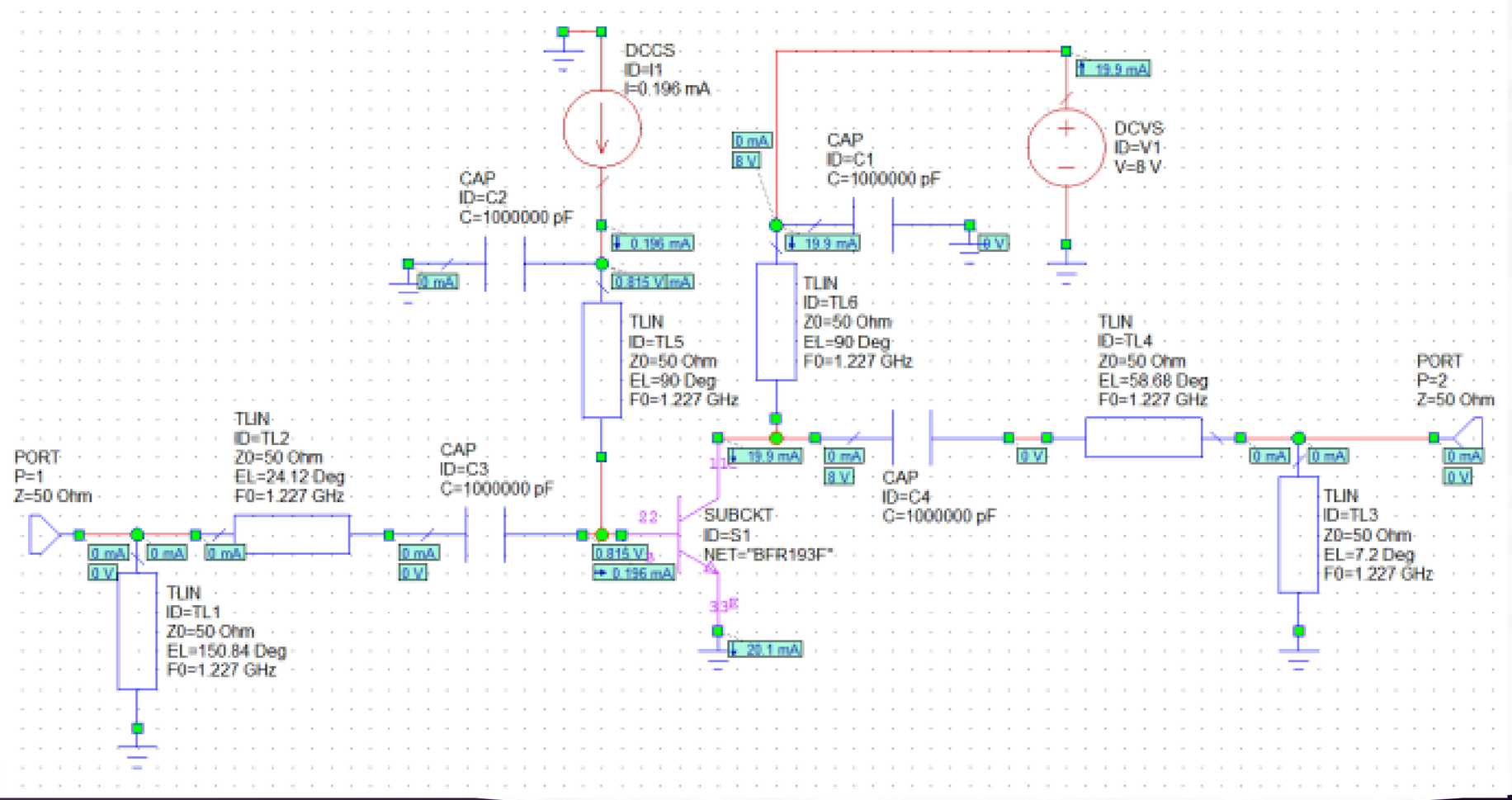
$$EL_l = 0.419 * 360 = 150.84\ Deg$$

Input matching network:



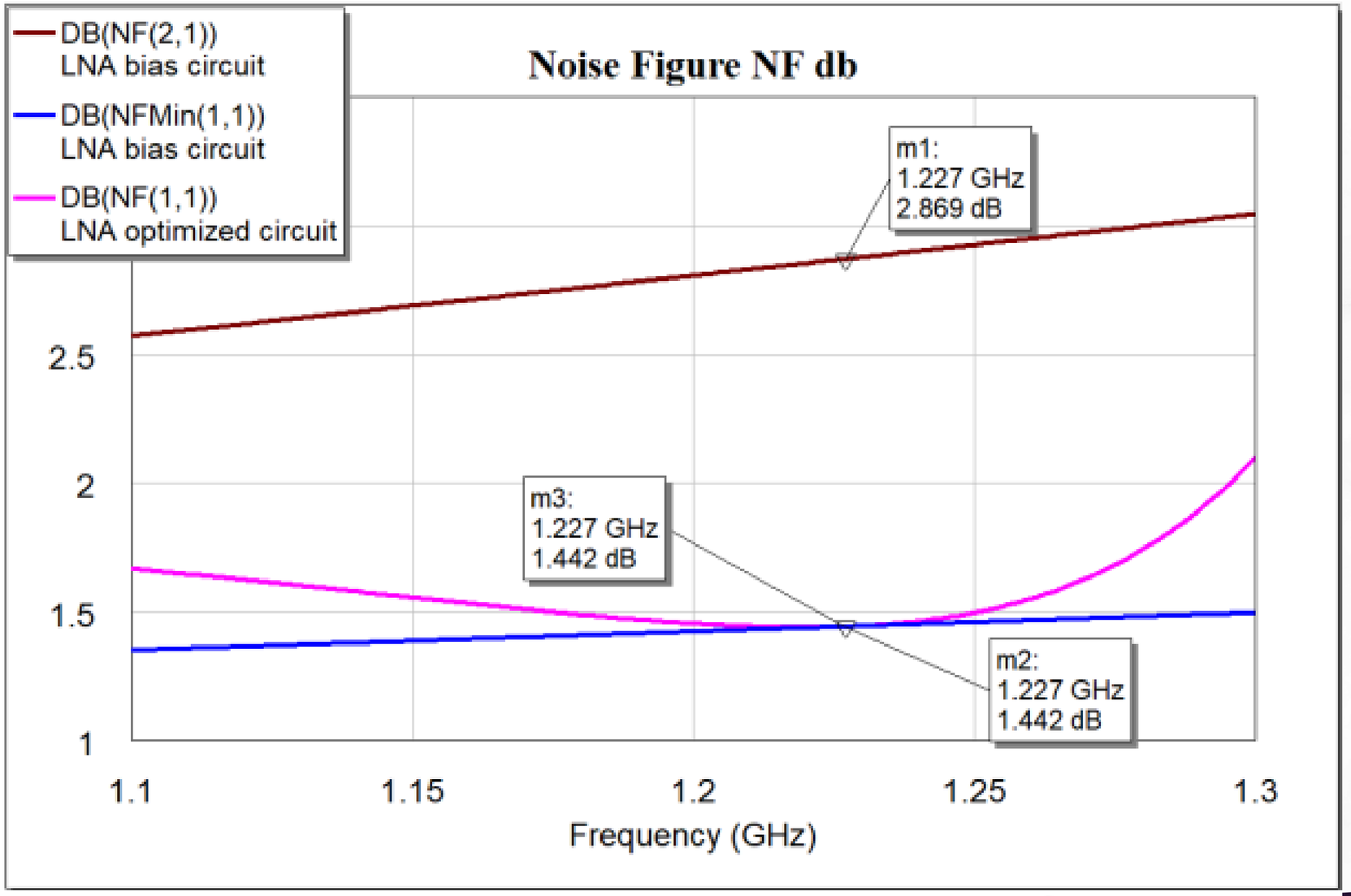


LOW NOISE AMPLIFIER



LOW NOISE AMPLIFIER

→ Mạch đã thiết kế có hệ số nhiễu $NF_{dB} = 1.442\ dB$.

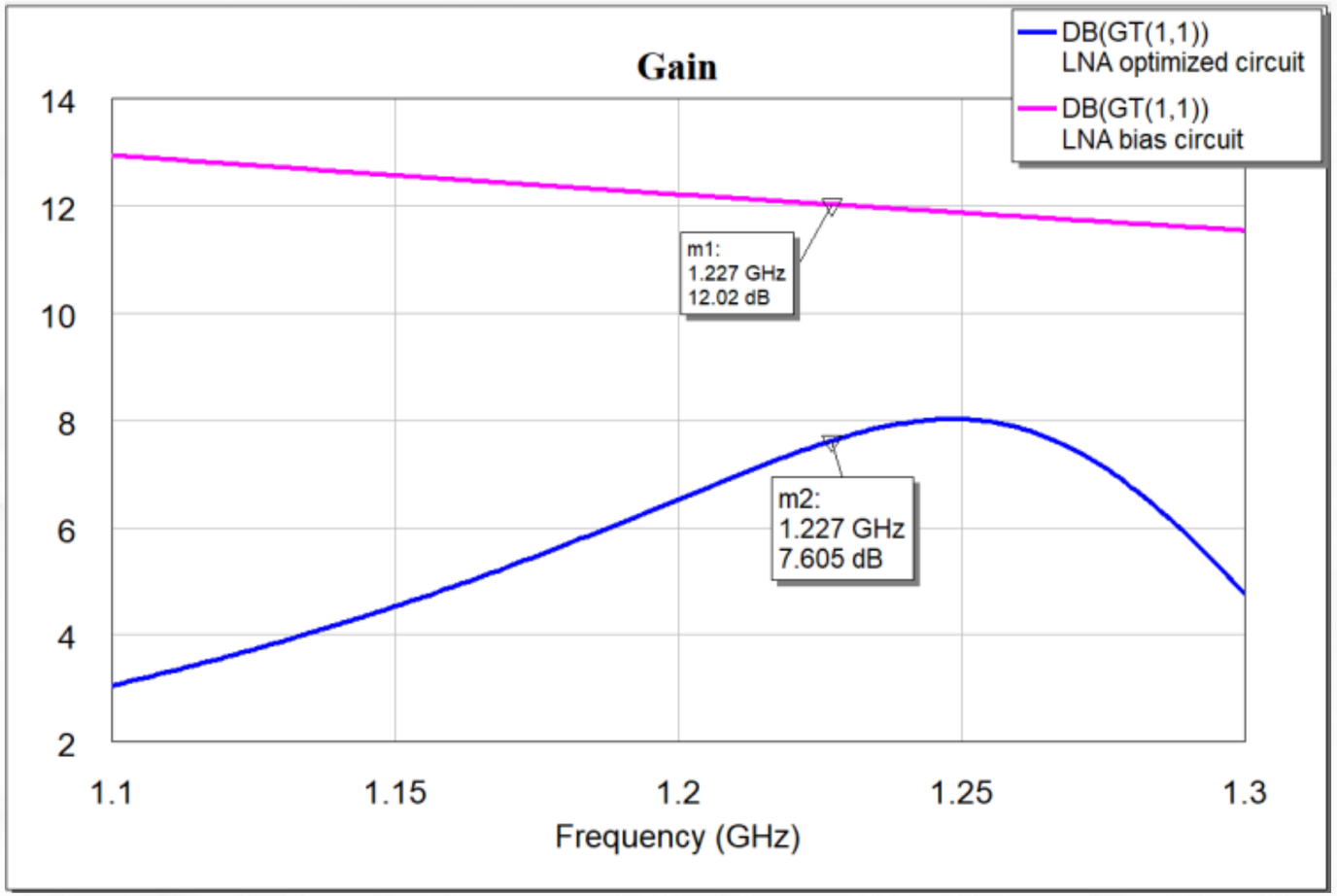



```
!Noise Parameters
!Freq   NFmin(dB)

1.223   1.4393118
1.224   1.4400467
1.225   1.4407816
1.226   1.4415167
1.227   1.442252
1.228   1.4429873
1.229   1.4437228
1.23    1.4444583
```

LOW NOISE AMPLIFIER

$$G_T = \frac{P_L}{P_{avs}} = \frac{(1-|\Gamma_{ML}|^2)|S_{21}|^2(1-|\Gamma_{opt}|^2)}{|(1-S_{11}\Gamma_{opt})(1-S_{22}\Gamma_{ML})-S_{21}S_{12}\Gamma_{ML}\Gamma_{opt}|^2} \approx 5.9106 \text{ lần}$$

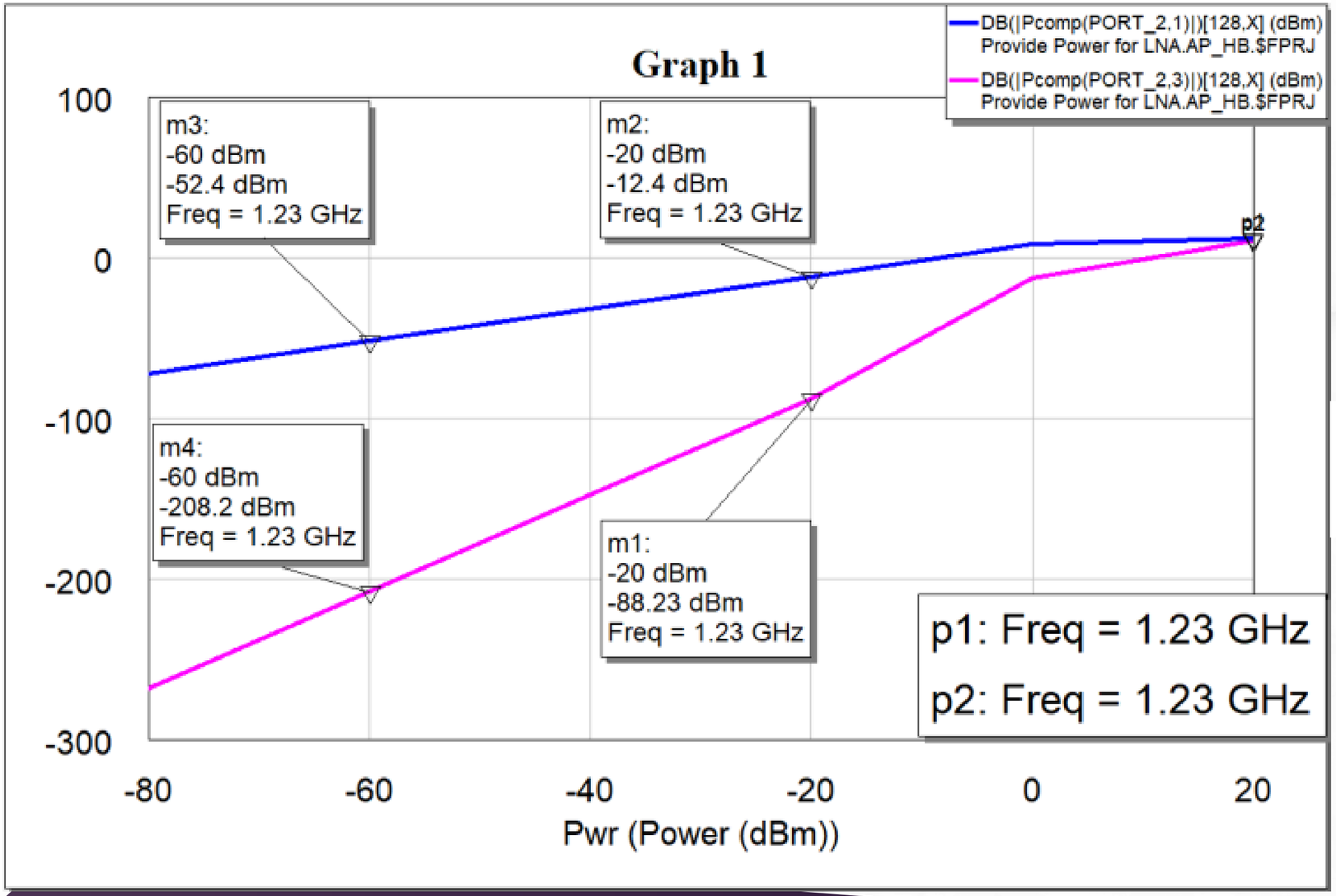
$$G_{TdB} = 10log(G_T) \approx 7.7163\ dB$$



→ Mạch đã thiết kế có độ lợi công suất $G_{TdB} \approx 7.7163\ dB$

LOW NOISE AMPLIFIER

$$IIP3 = P_1 + \frac{1}{2}[P_1 - P_3] - Gain = P_i + \frac{1}{2}[P_1 - P_3] \qquad \text{(dB scale)}$$



$$P_i = -20\ dBm$$

$$P_1 = -12.4\ dBm$$

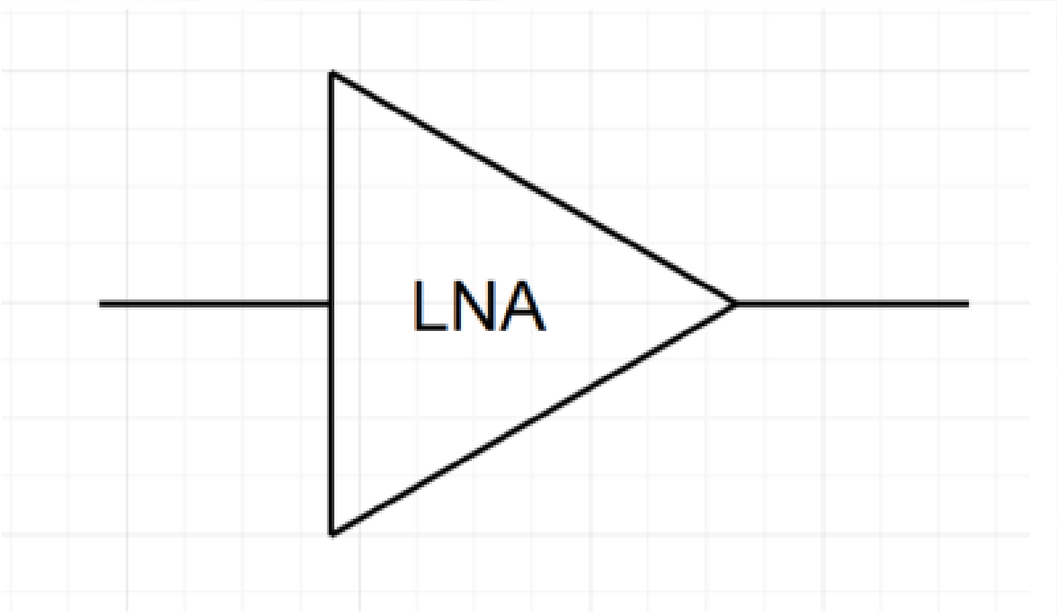
$$P_3 = -88.23\ dBm$$

$$IIP3 = 17.915\ dBm$$

$$P_{1-dB} \approx 2.915\ dBm$$

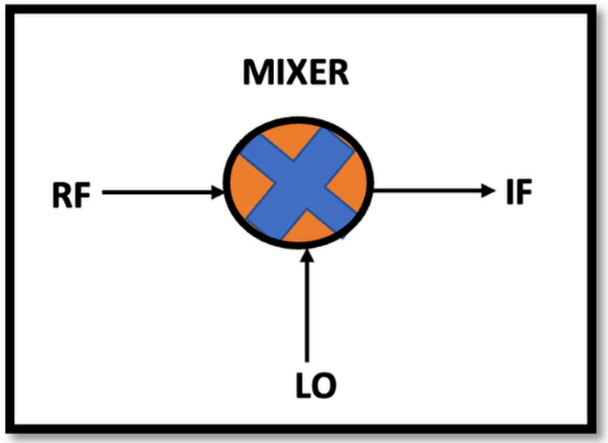
LOW NOISE AMPLIFIER

Mạch đã thiết kế gồm các thông số:

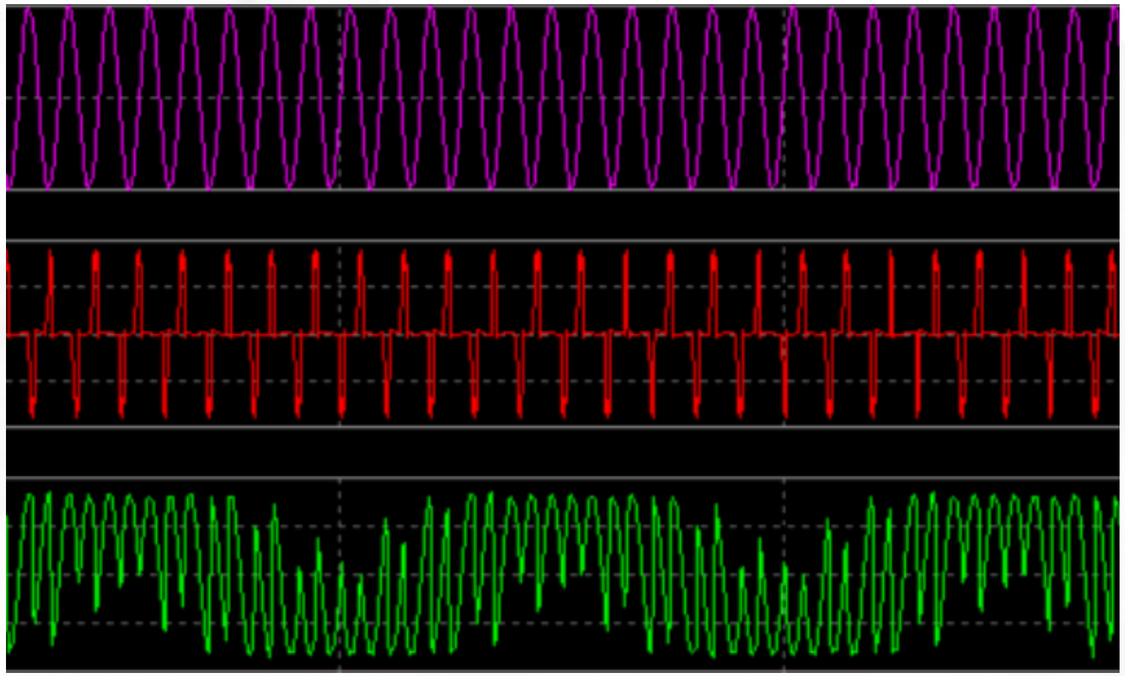


$Noise\ figure$	$1.442\ dB$
$Gain$	$7.7163\ dB$
$IIP3$	$17.915\ dBm$
P_{1-dB}	$2.915\ dBm$

MIXER

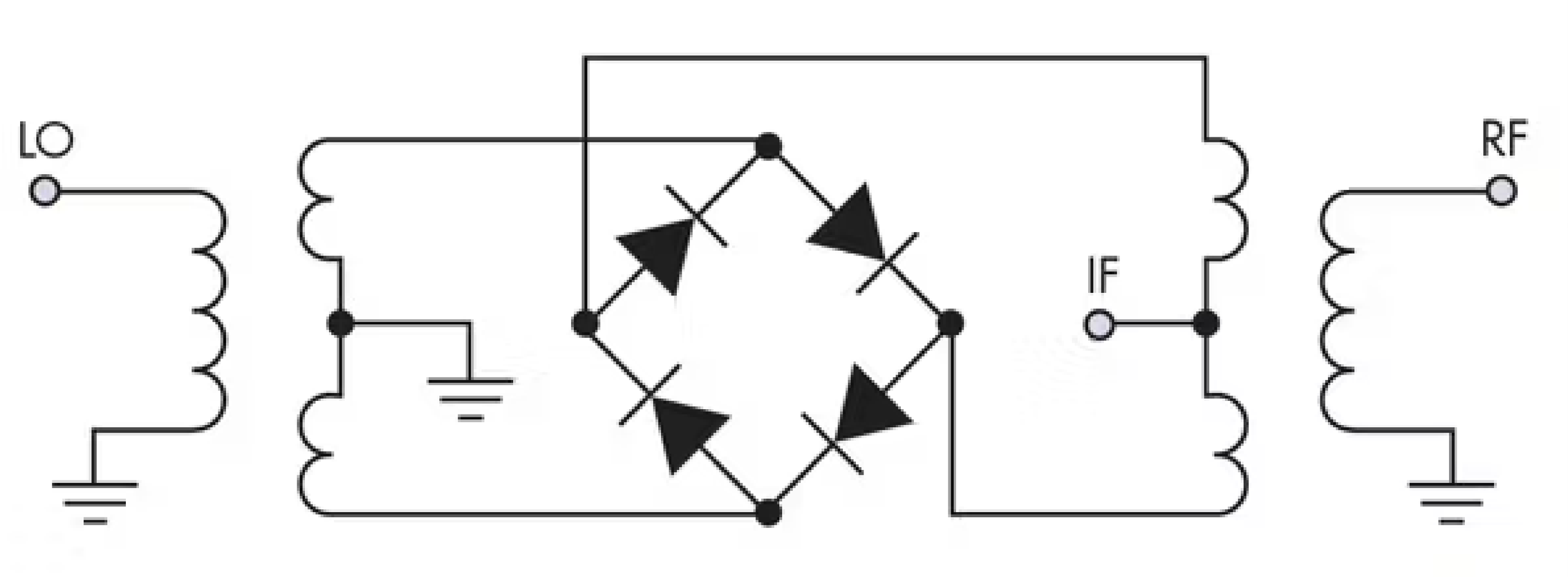


Đối với máy thu, bộ trộn tần có nhiệm vụ trộn tần xuống, tức là đưa tần số RF thu được về tần số IF mong muốn cho việc điều chế phía sau. Nếu không làm vậy, phần cứng phía sau sẽ phải xử lý tín hiệu RF nên yêu cầu kĩ thuật cao và tốn kém.



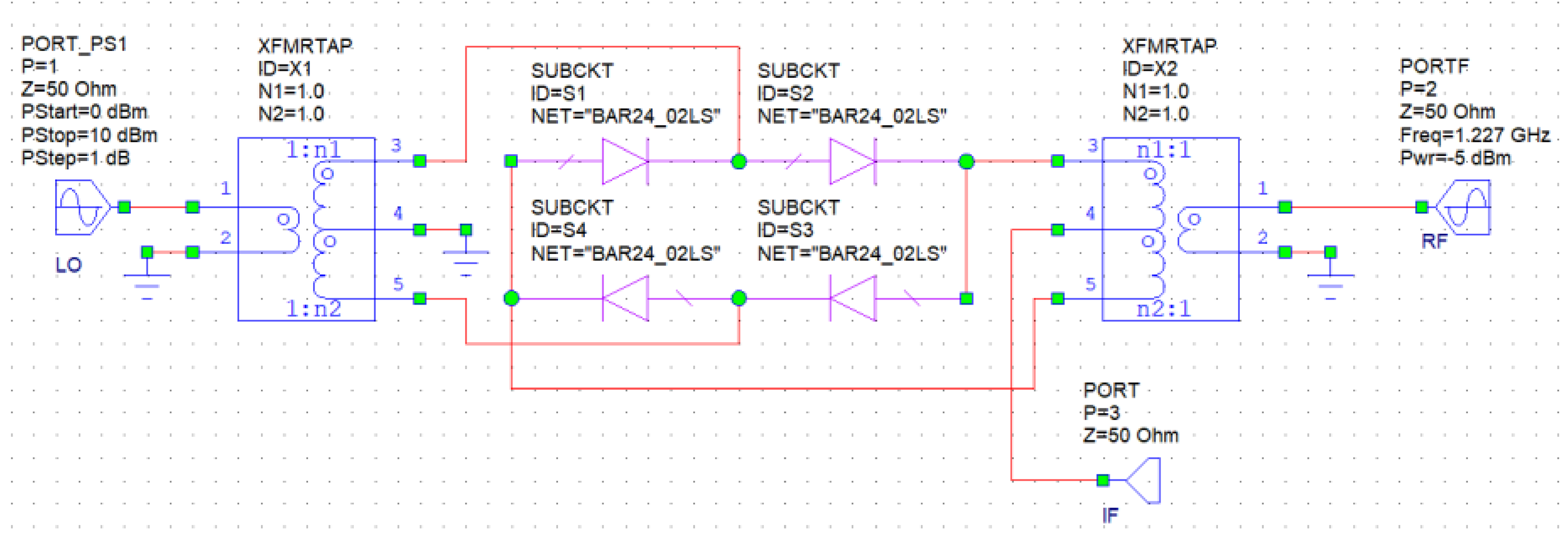
MIXER

Double-Balanced Mixer Architecture

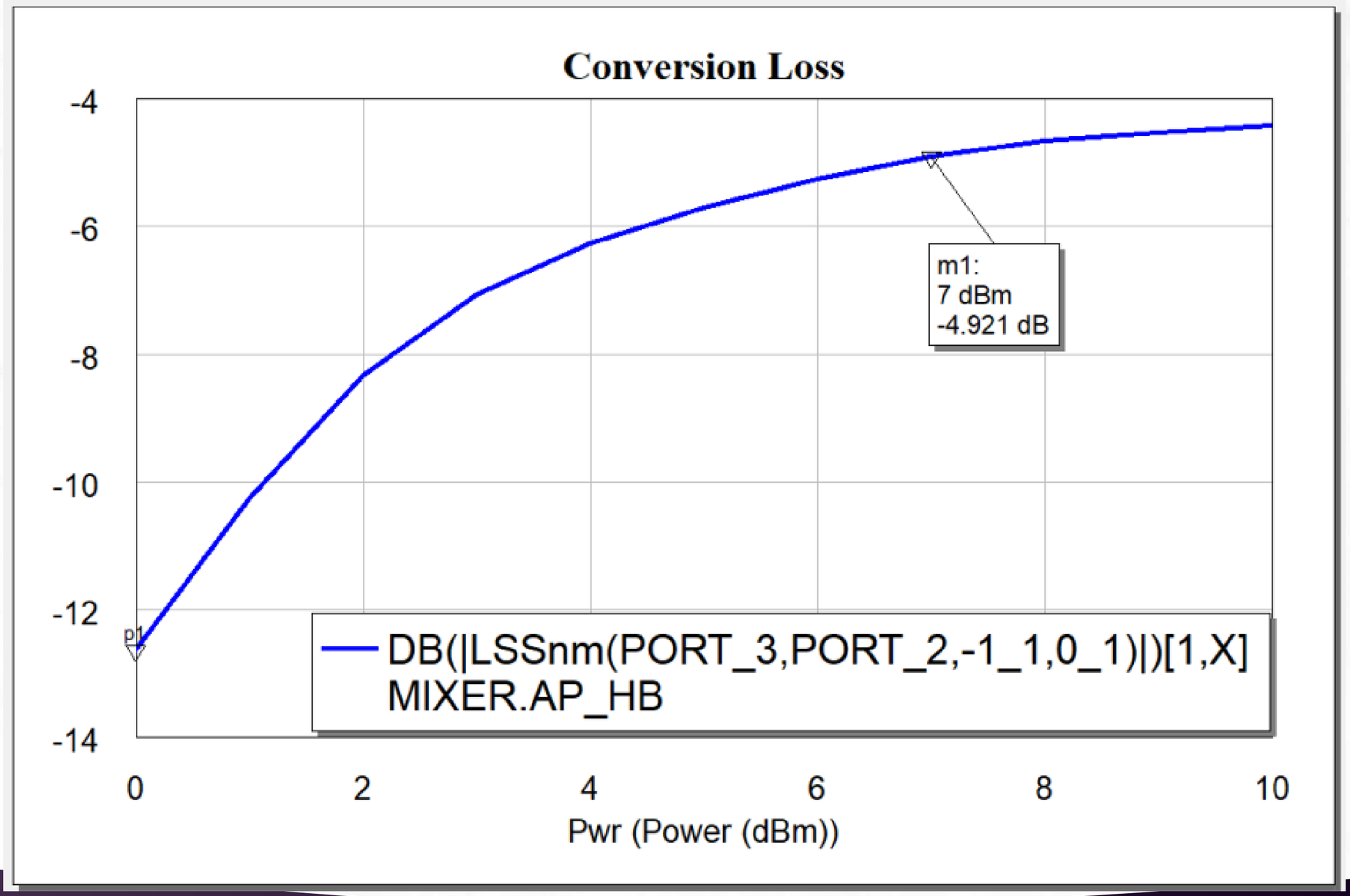


MIXER

Schematic



MIXER

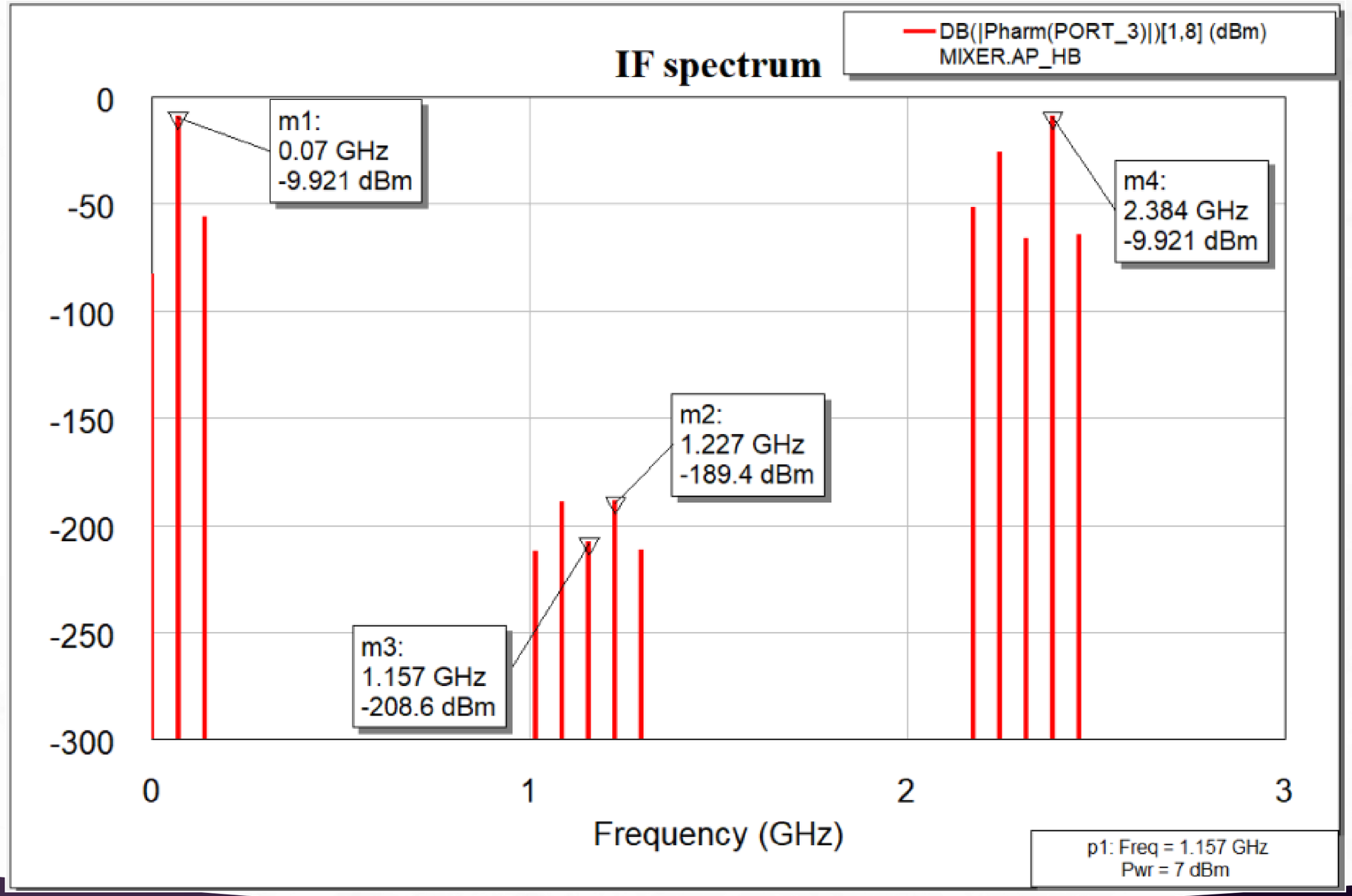

Conversion Loss
-4
-6
-8
-10
-12
-14
0
2
4
6
8
10
Pwr (Power (dBm))
m1:
7 dBm
-4.921 dB
p1
DB(|LSSnm(PORT_3,PORT_2,-1_1,0_1)|)[1,X]
MIXER.AP_HB

MIXER

$$f_{LO} = 1.157\ Ghz$$

$$f_{RF} = 1.227\ Ghz$$

$$f_{IF} = 70\ Mhz$$

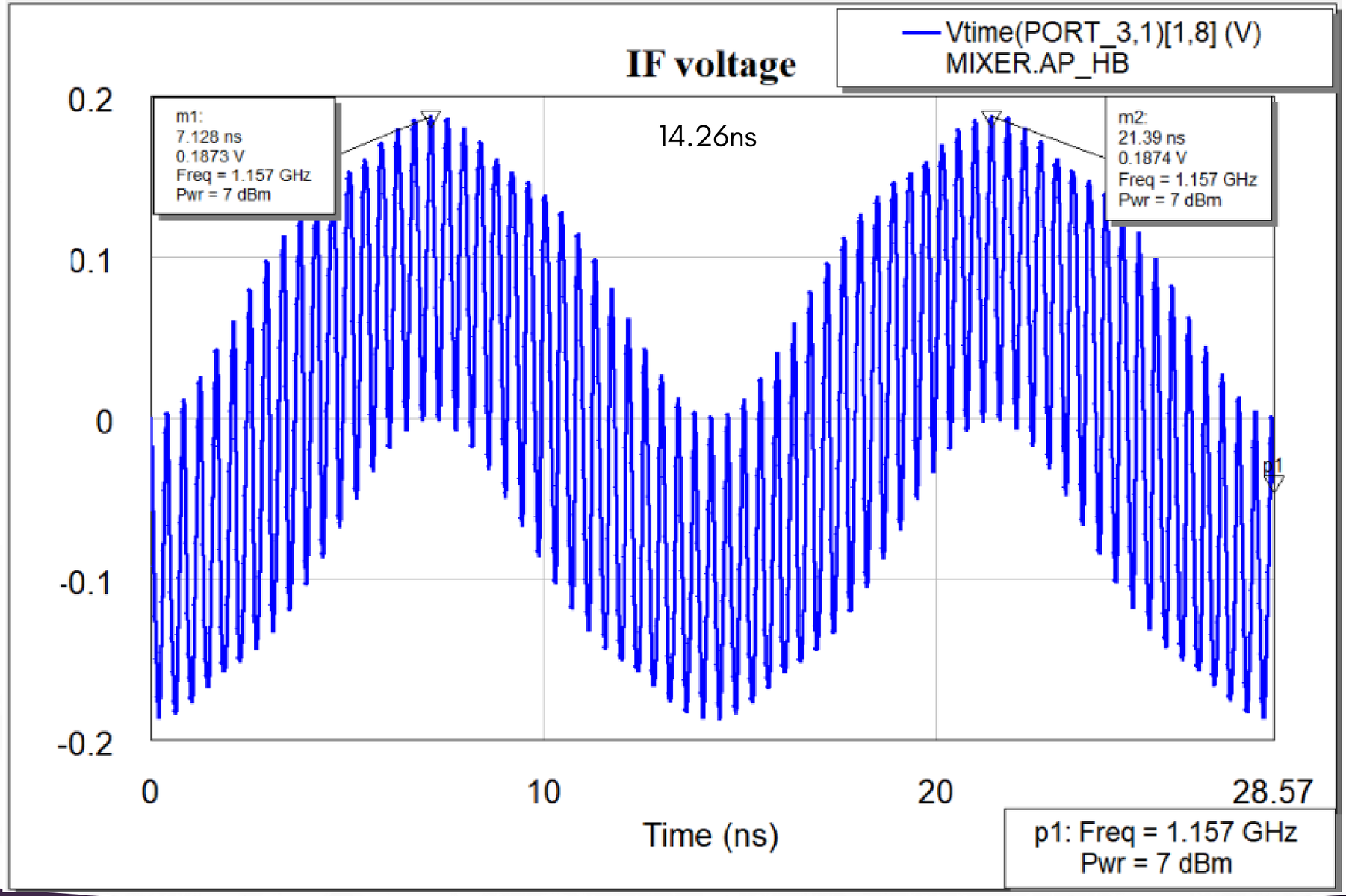


MIXER

$$f_{LO} = 1.157\ Ghz$$

$$f_{RF} = 1.227\ Ghz$$

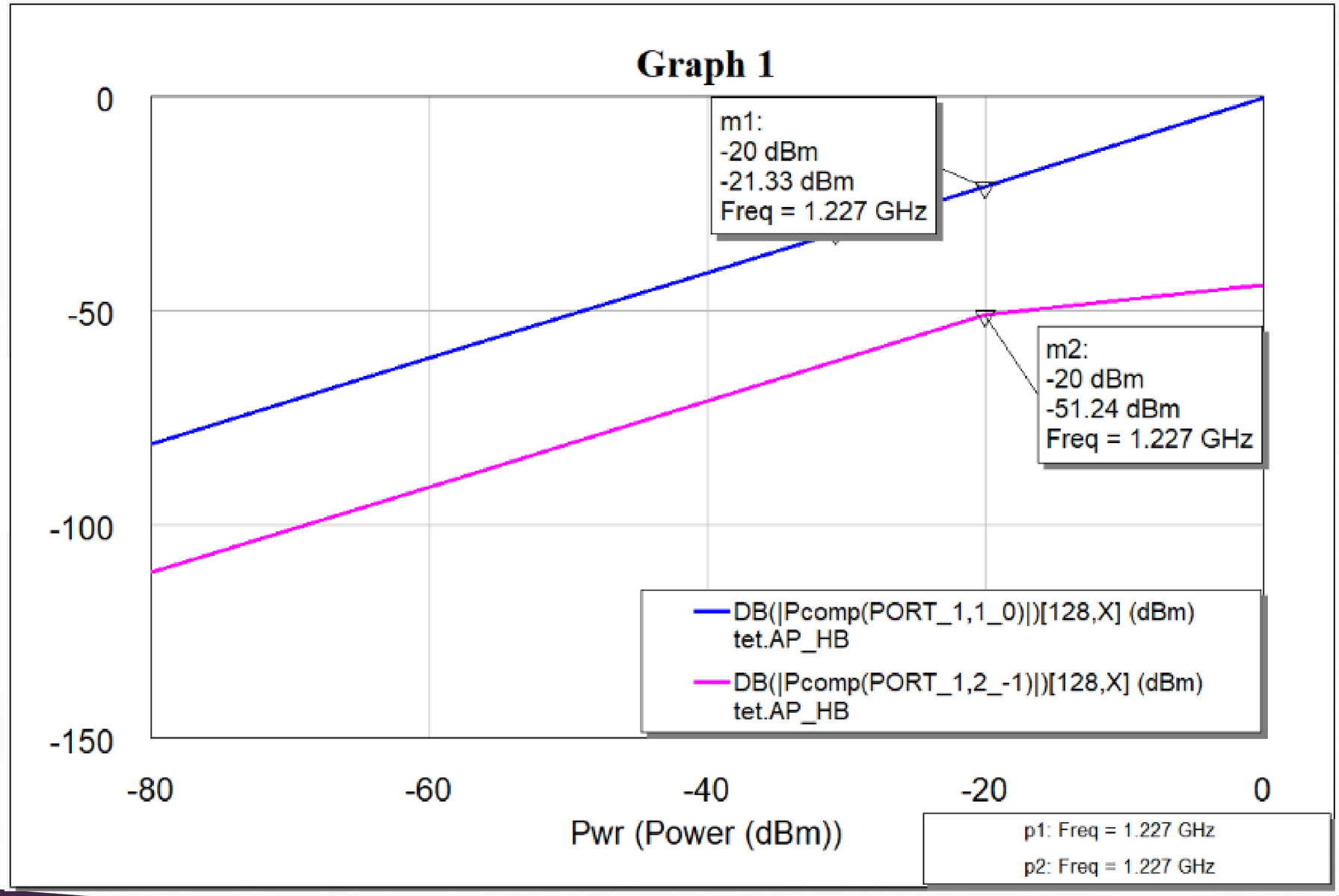
$$f_{IF} = 70\ Mhz$$



MIXER

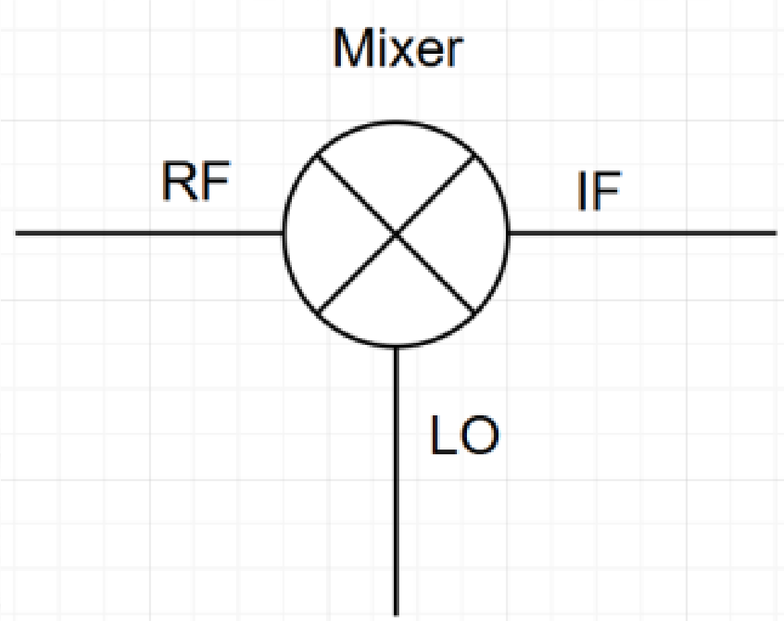
$$IIP3 = -5.045\ dBm$$

$$P_{1-dB} \approx -20.045\ dBm$$



MIXER

Mạch đã thiết kế gồm các thông số:



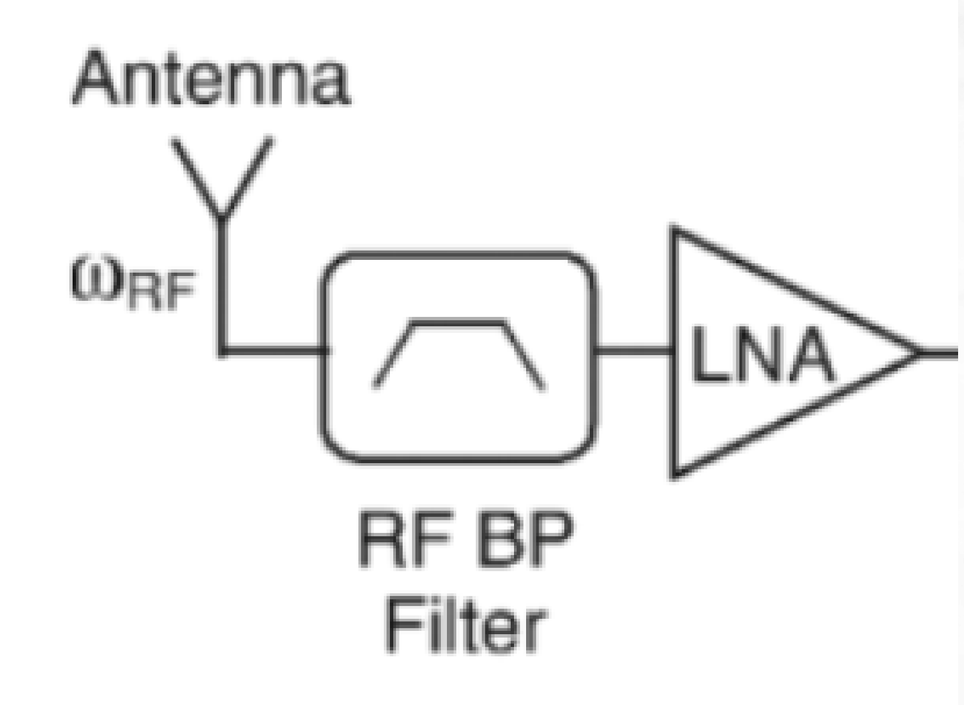
Passive

Loss ≈ Noise figure

$Conversion\ Loss$	$4.921\ dB$
$IIP3$	$-\ 5.045\ dBm$
P_{1-dB}	$-\ 20.045\ dBm$
$Noise\ Figure$	$4.921\ dB$

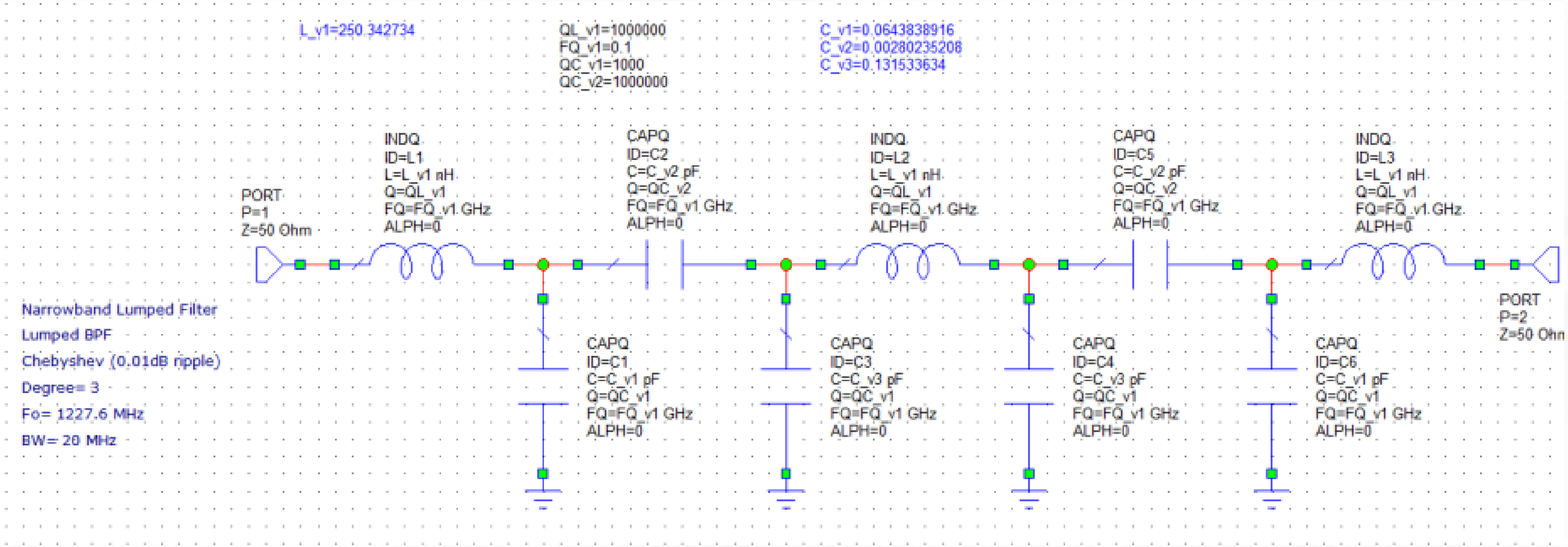
RF BP FILTER

Đây là bộ lọc quyết định dải tần số tín hiệu mà mạch sẽ nhận, đồng thời loại bỏ nhiễu và bảo vệ LNA tránh quá tải (LNA thiết kế cho tín hiệu rất yếu).



RF BP FILTER

BW = 20MHz và Fo = 1.227 Ghz



Bộ lọc Chebyshev bậc 3

RF BP FILTER

Band Pass Filter

BW = 20MHz
Fo = 1.227 Ghz

Đáp ứng tần số

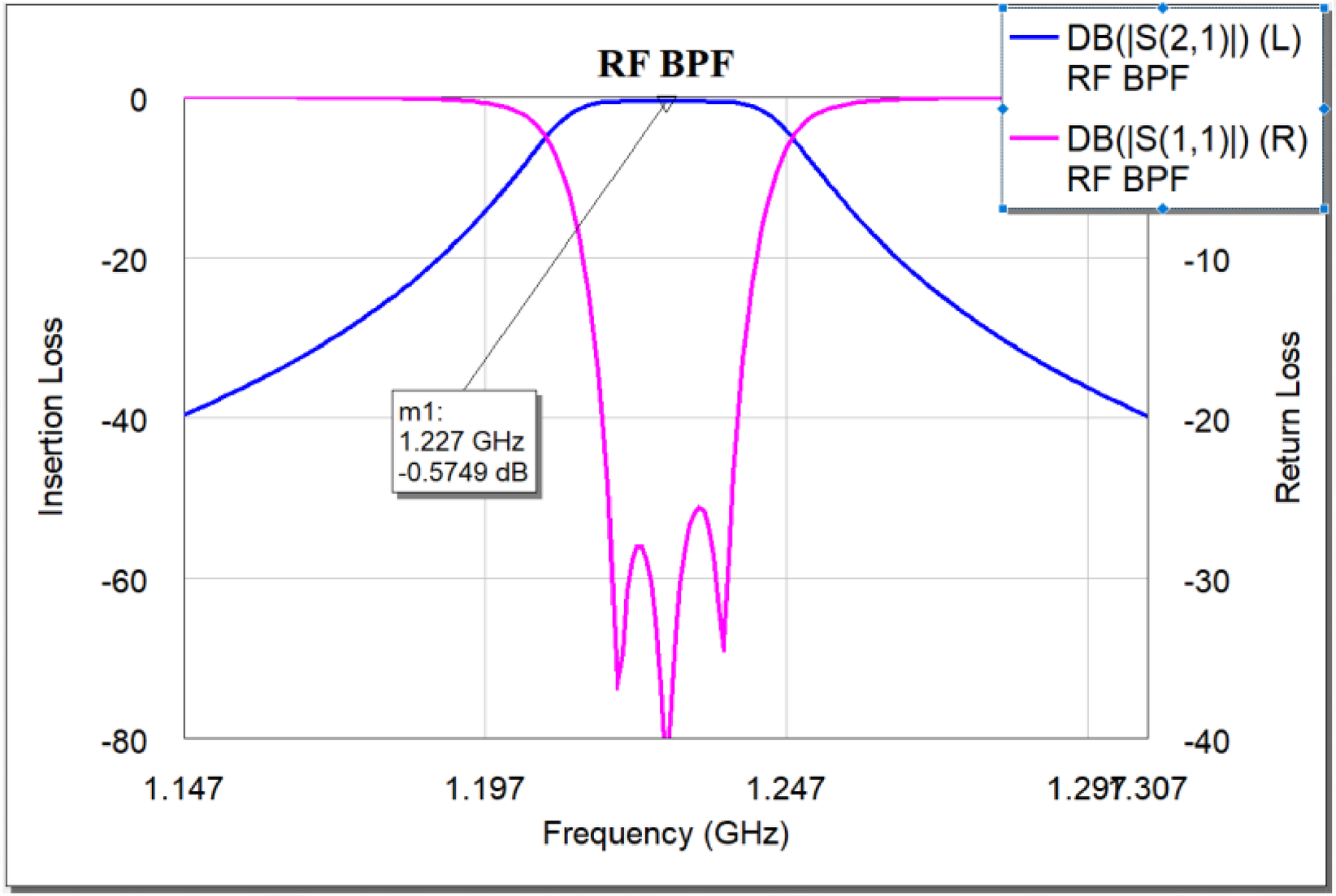
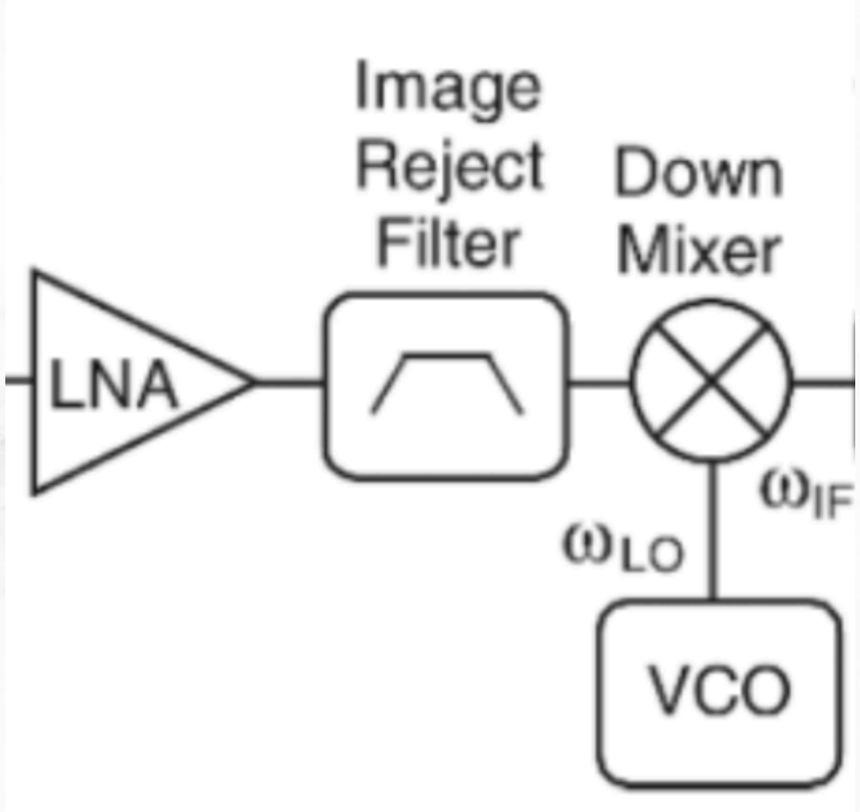


IMAGE REJECT FILTER

Tồn tại một tần số ảnh khi đi qua bộ Mixer vẫn tạo ra tần số IF mong muốn, khiến chồng lấn tín hiệu IF tại ngõ ra. Điều này làm sai lệch tín hiệu nghiêm trọng. Bộ lọc tần số ảnh giúp giữ lại dải tần RF và LO, đồng thời loại bỏ tần số ảnh không mong muốn.



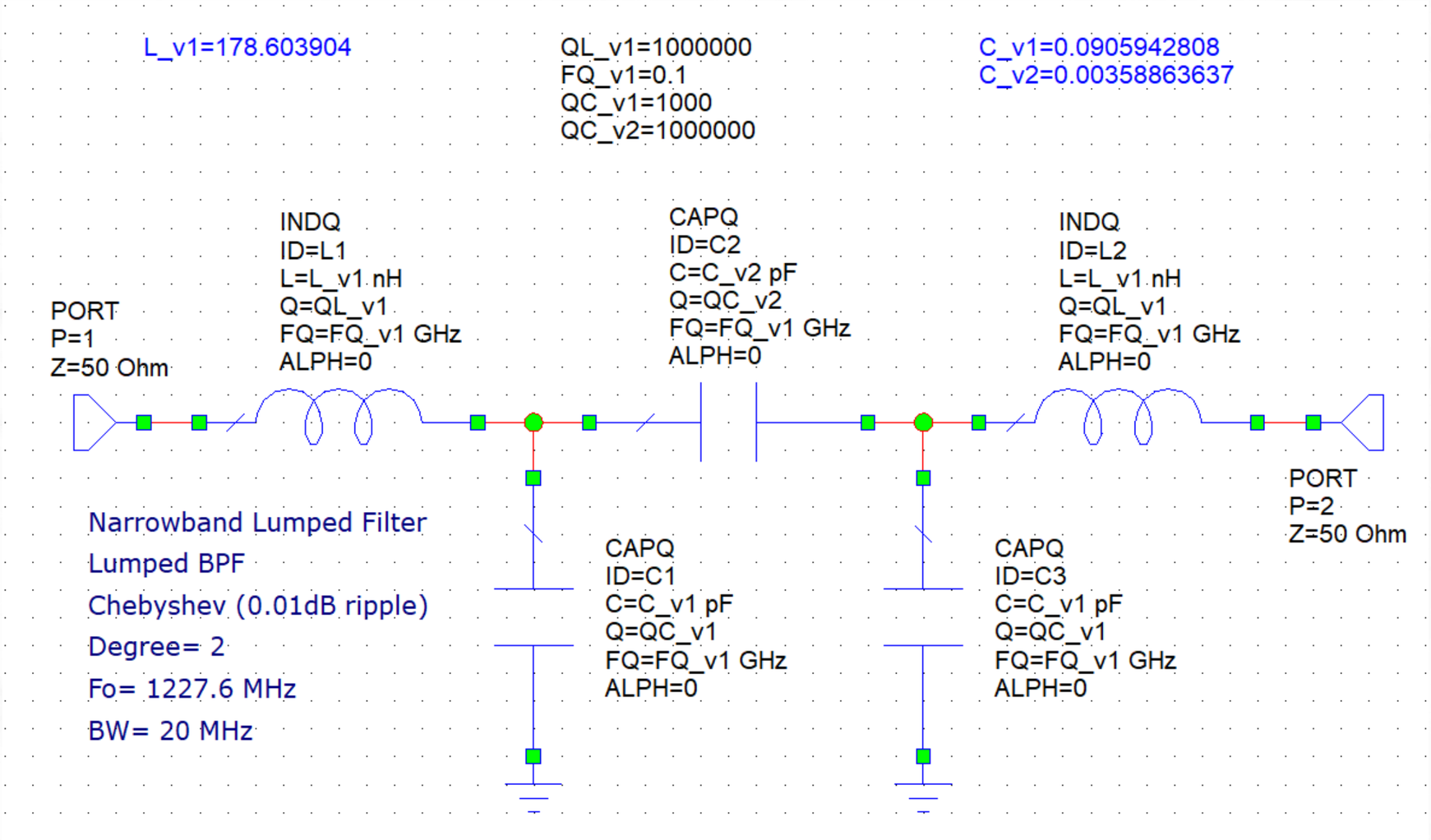
$$f_{image} = f_{LO} - f_{IF} = 1.157 - 0.07 = 1.087\ Ghz$$

REJECT IMAGE FILTER

Band Pass Filter

BW = 20MHz

Fo = 1.227 Ghz

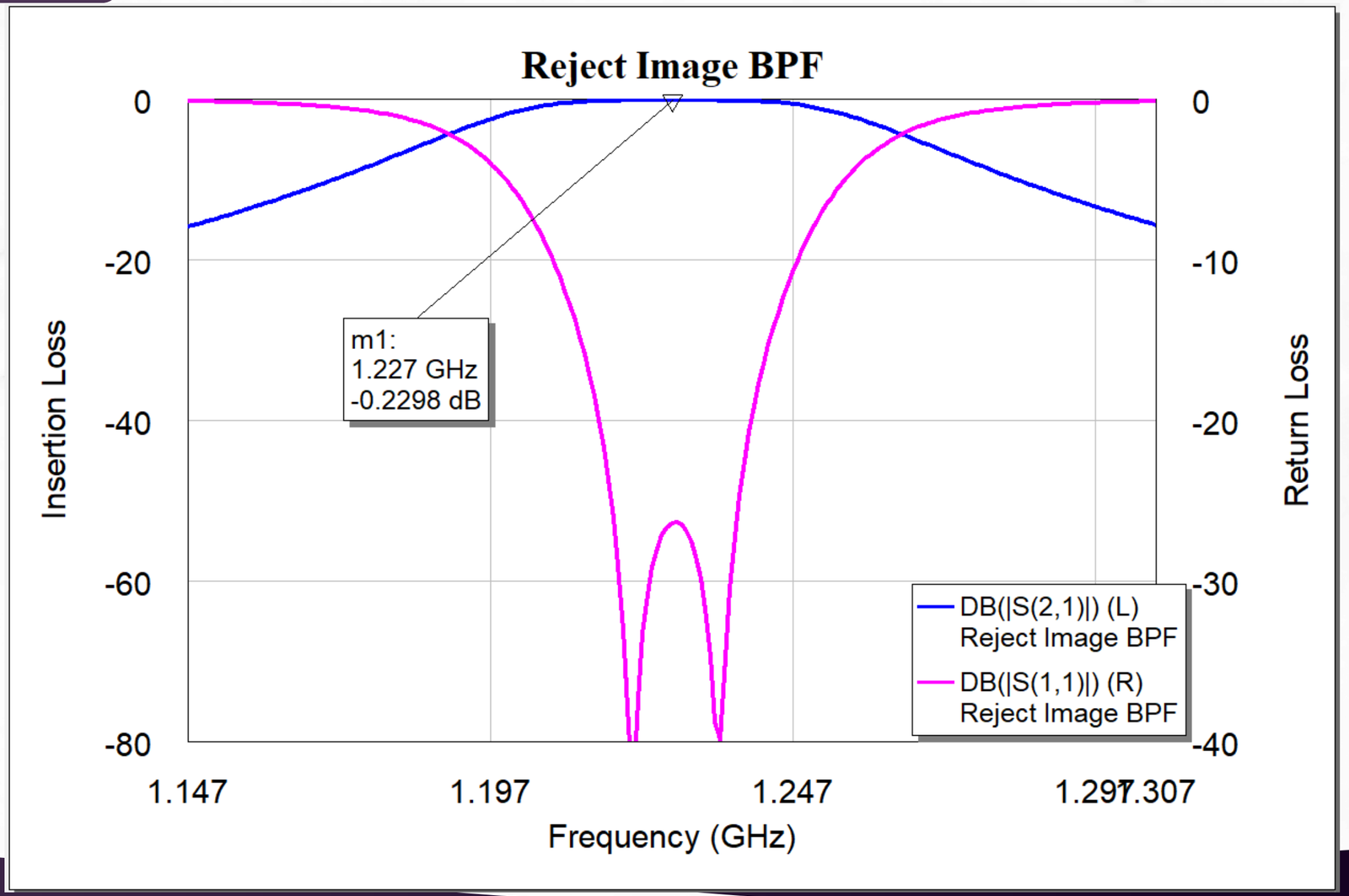


Bộ lọc Chebyshev bậc 2

IMAGE REJECT FILTER

BW = 20MHz và Fo = 1.227 Ghz

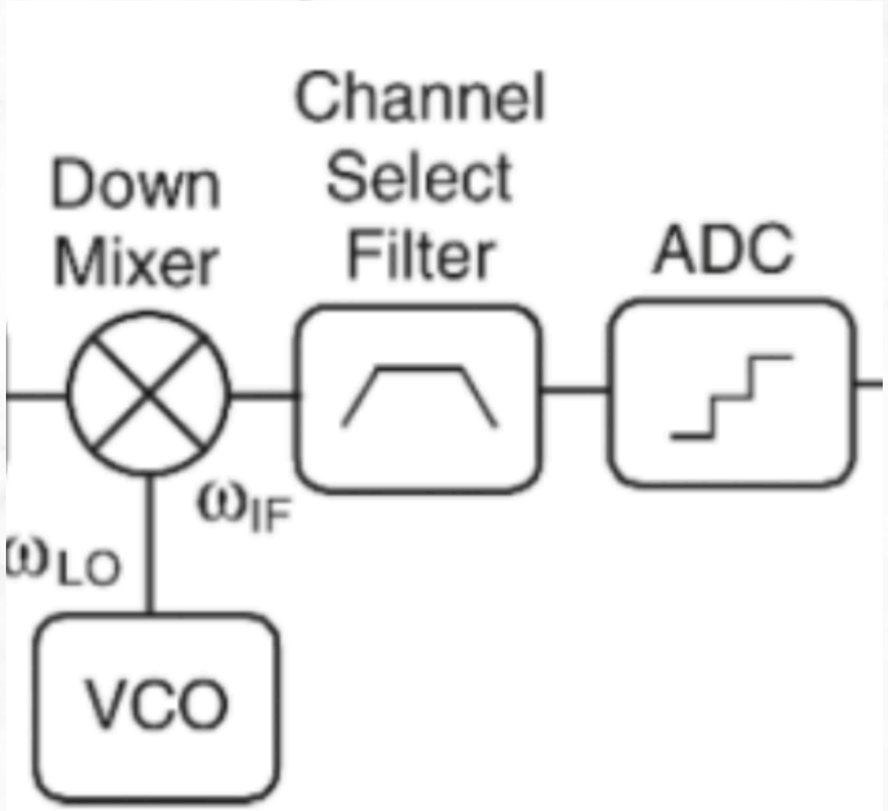
Đáp ứng tần số



IF FILTER

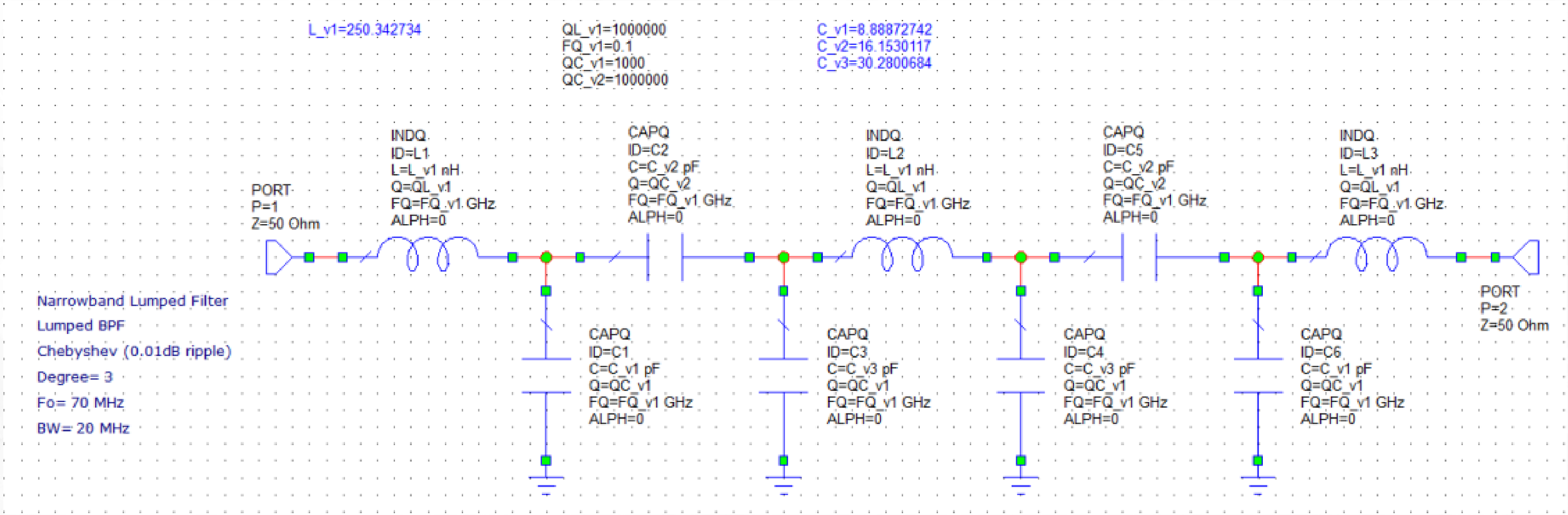
Tín hiệu sau bộ trộn tần tồn tại 2 thành phần tần số là $f_{RF} + f_{LO}$ và $f_{IF} = f_{RF} - f_{LO}$.

Cần một bộ lọc thông dải giúp loại bỏ thành phần tần số cộng, giữ lại thành phần IF để tiếp tục xử lí.



IF FILTER

BW = 20MHz và Fo = 70 Mhz



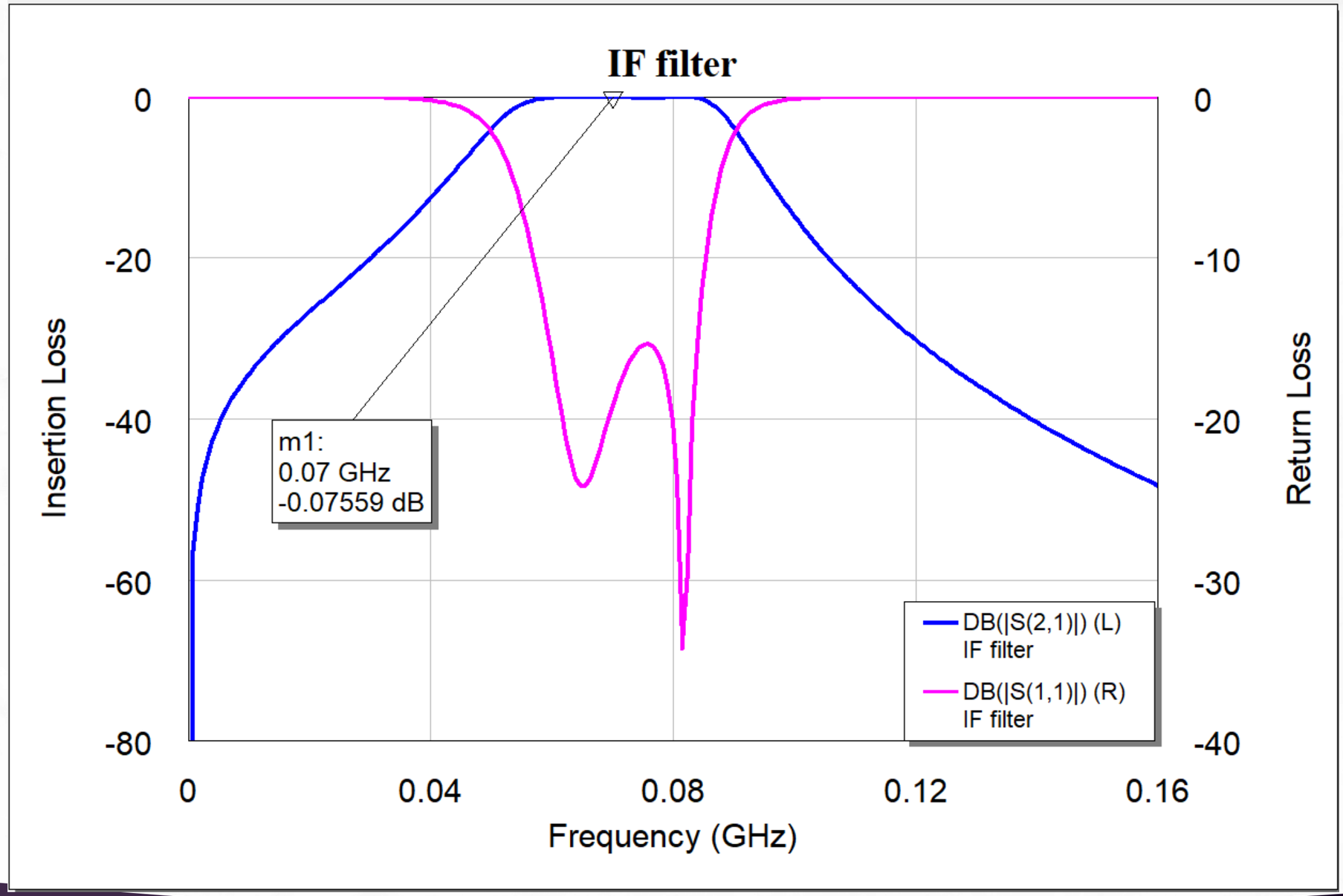
Bộ lọc Chebyshev bậc 3

IF FILTER

Band Pass Filter

BW = 20MHz
Fo = 70 Mhz

Đáp ứng tần số

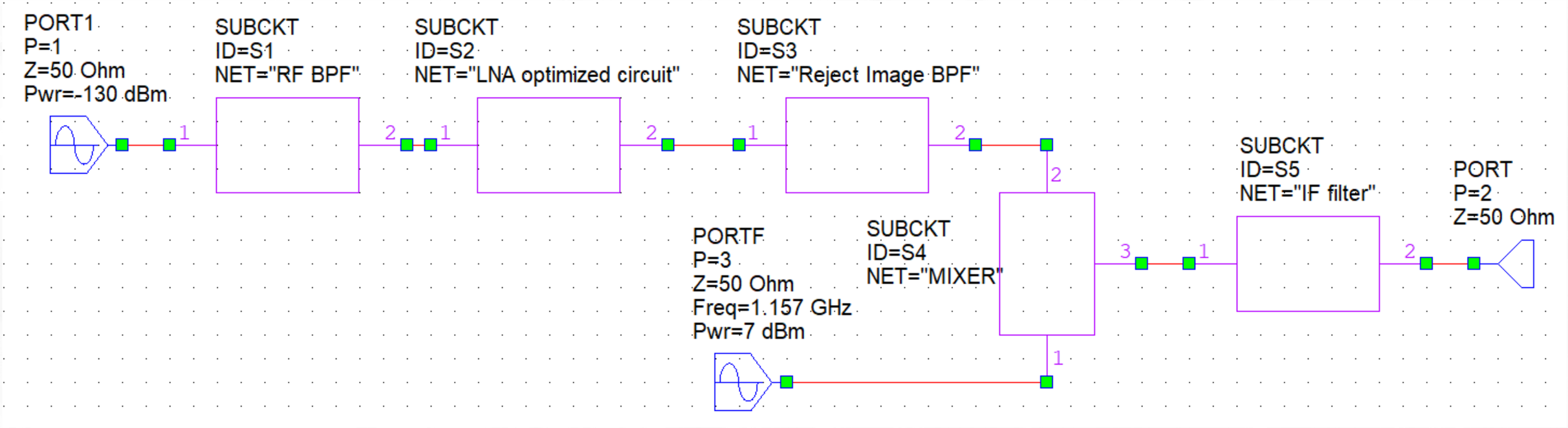


MẠCH ĐẦY ĐỦ

$$P_{LO} = 7\ dBm \qquad @\ f_{LO} = 1.157\ Ghz$$

$$P_{RF} = -\ 130\ dBm\ @\ f_{RF} = 1.227\ Ghz$$

Block Diagram

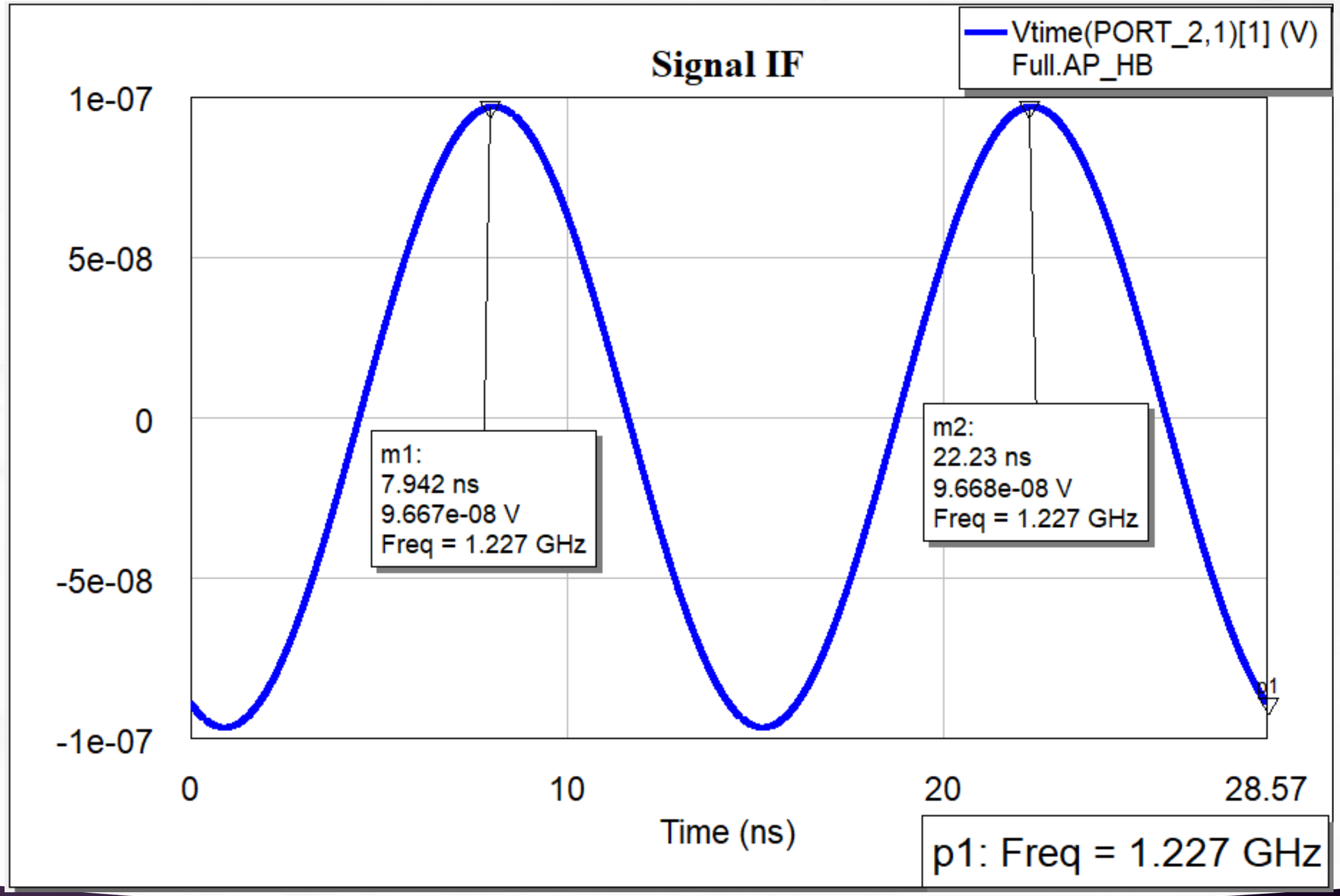


MẠCH ĐẦY ĐỦ

Tín hiệu miền thời gian vẫn đảm bảo tần số 70Mhz.

$$T_{IF} \approx 14.3ns$$

Phải cần một bộ khuếch đại phía sau để tăng biên độ tín hiệu này, đảm bảo đủ lớn để điều chế DSP.

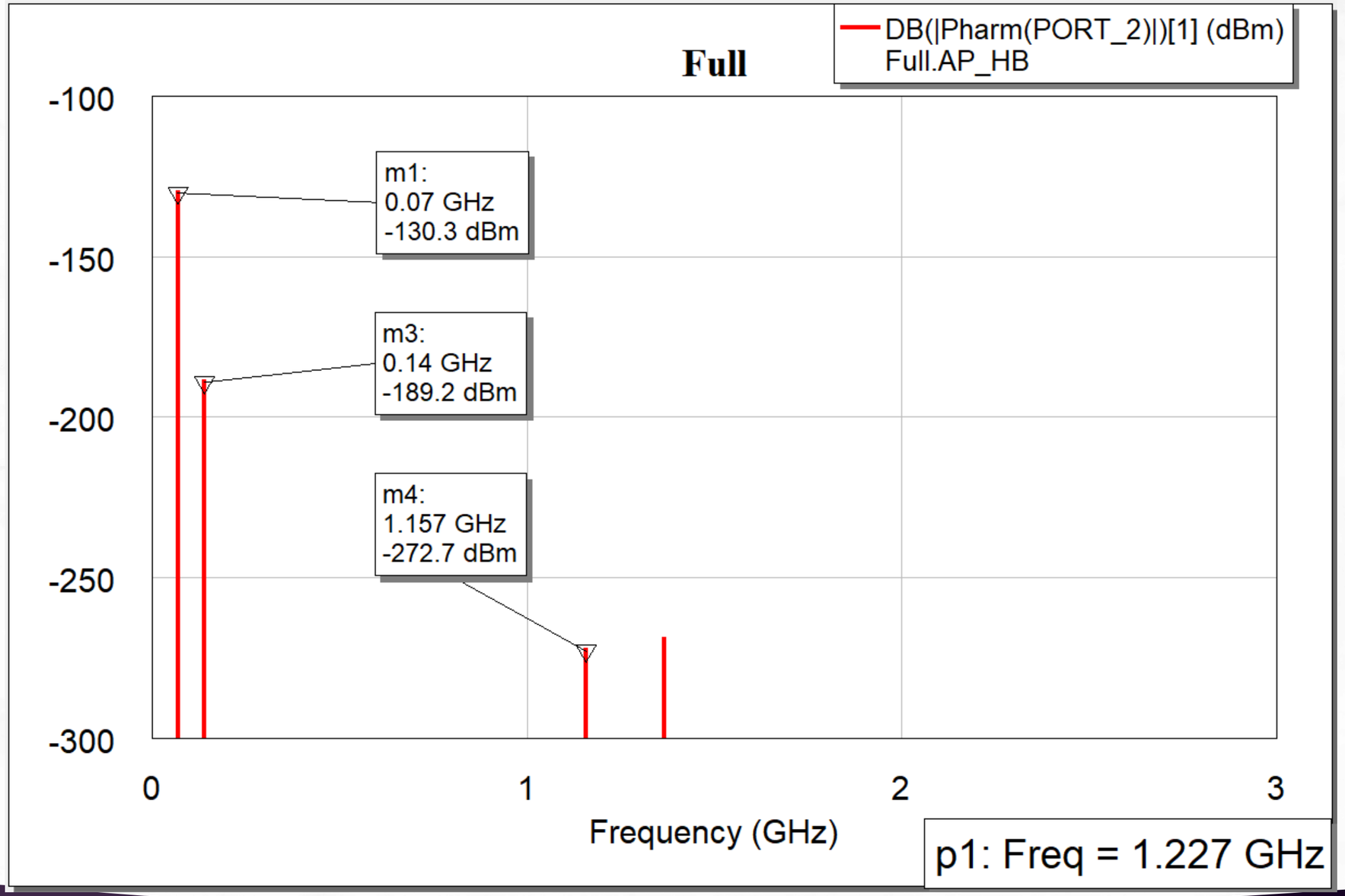


MẠCH ĐẦY ĐỦ

Phổ tín hiệu IF:

Thành phần 0.14Ghz do hài bậc 3 gây ra quá nhỏ so với tín hiệu IF. (2RF - LO)

$$60\ dB \approx 1\ triệu\ lần$$



KẾT LUẬN

Việc đã làm được:

Cơ bản các khối đã được thiết kế và mô phỏng đảm bảo tín hiệu GPS thu được và xử lí hiệu quả:

- Đảm bảo nhiễu thấp nhất ở LNA.
- Mixer cho ra được tín hiệu IF mong muốn.
- Các bộ lọc có độ chọn lọc tần số tốt, sắc cạnh, băng hẹp.
- Phổ tín hiệu ngõ ra IF nhìn chung đúng theo lý thuyết.

KẾT LUẬN

Việc chưa làm được:

Bên cạnh một số kết quả tích cực, đề tài vẫn còn một số hạn chế nhất định:

- Chưa có mạch phân cực cụ thể ở LNA.
- Chưa xác định rõ độ nhạy máy thu (receiver sensitivity).
- Một số thông số MIXER chưa được đo đạc.
- Các bộ lọc chỉ ở lý thuyết mô phỏng, hầu như không có suy hao .
- Chưa có các specs về khoảng cách truyền, nhiệt độ, NF toàn mạch, Gain tổng thể, SNR, BER.

HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Trong các hướng phát triển tiếp theo, đề tài sẽ tập trung vào:

- Đặt ra các specs cụ thể hơn.
- Mở rộng thiết kế các khối xử lí phía sau tín hiệu IF (ADC/DSP).
- Nghiên cứu một số phương pháp tối ưu diện tích và hiệu năng khi layout mạch.
- Thiết kế PCB kèm với đo đạc thực nghiệm để đối chiếu giữa mô phỏng phần mềm với thực tế làm được.

CẢM ƠN THẦY VÀ MỌI NGƯỜI ĐÃ CHÚ Ý LẮNG NGHE