

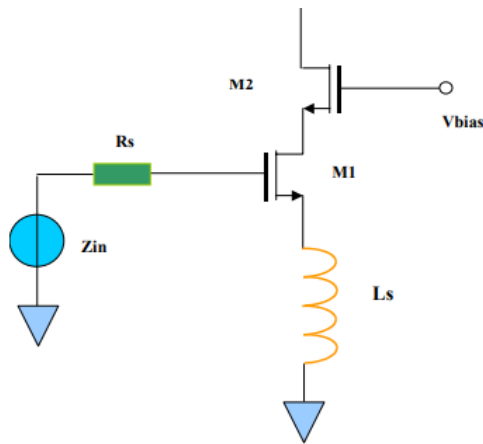
Kriteria Design

- 1-stage LNA, topologi bebas
- Target frekuensi 5.0-5.2 GHz
- Design meliputi skematik dan layout

Target Desain

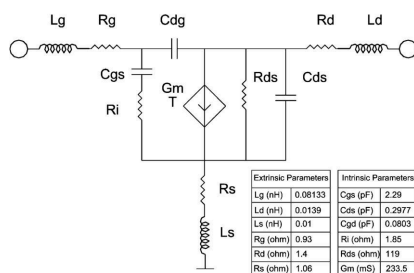
- S21 > 10dB
- S11 < -10dB
- S22 < -10dB
- NF < 3.0dB
- Pdc < 20 mW

I. LNA Common Source Inductive Degeneration



Low Noise Amplifier (LNA) merupakan komponen dalam sistem penerima RF yang berfungsi memperkuat sinyal lemah dengan menambahkan noise seminimal mungkin. Common Source dengan Inductive Degeneration digunakan pada proyek ini karena menawarkan keseimbangan antara gain tinggi, noise figure rendah, dan kemudahan matching impedansi. Dalam konfigurasi common source kelompok kami menggunakan transistor pHEMT. Sebuah induktor (L_s) ditempatkan sebagai *degeneration inductor*. Gunanya L_s adalah meningkatkan linearitas dan mempermudah *Impedance matching* karena menambahkan komponen reaktif pada input impedansi.

2. PHEMT



PHEMT adalah jenis transistor dari keluarga HEMT (High Electron Mobility Transistor) yang menggunakan heterostruktur untuk menghasilkan mobilitas elektron yang sangat tinggi di kanal, sehingga cocok untuk aplikasi frekuensi tinggi seperti LNA, RF amplifier, dan komunikasi satelit. PHEMT efektif digunakan sebagai elemen aktif dalam topologi LNA Common Source dengan Inductive Degeneration karena memiliki mobilitas elektron yang tinggi dan noise rendah berkat struktur kanal 2-DEG-nya. Karakteristik ini memungkinkan pencapaian gain yang tinggi dan noise figure yang rendah, dua parameter utama dalam desain LNA. Kemampuan operasi PHEMT di frekuensi tinggi seperti 5 GHz memastikan bahwa performa amplifier tetap stabil, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan sistem RF modern.

II. Analisis Matematis

1. Noise Figure (NF < 3dB)

$$NF = \frac{V_{n,out}^2}{A_v^2} \cdot \frac{1}{4kTR_s}$$

$$= 1 + \frac{V_{n,in}^2}{4kTR_s}$$

$$NF = 1 + \frac{\frac{4kT\gamma}{gm}}{4kTR_s}$$

$$NF = 1 + \frac{\gamma}{gm \cdot R_s}$$

$$\gamma = 1$$

$$R_s = 50 \Omega$$

$$gm = 11450 \text{ mS} = 11.45 \text{ S}$$

$$NF = 1 + \frac{1}{1.145 \cdot 50}$$

$$NF = 1 + \frac{1}{11.45 \cdot 50}$$

$$NF (\text{dB}) = 10 \log (1.00179)$$

$$NF (\text{dB}) = 0.0077 \text{ dB} \approx 0 \text{ dB (ideal)}$$

$$V_{in} = i_n [sL_g + \frac{1}{sC_{gs}} + sL_s + g_m \frac{L_s}{C_{gs}}]$$

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{i_n} = s(L_s + L_g) + \frac{1}{sC_{gs}} + \frac{g_m L_s}{C_{gs}}$$

2. Determine L_s

Dik : $C_{gs} = 2.29 \text{ pF}$; $gm = 11.45 \text{ S}$

$$Z_{in}\{Re\} = 50 \Omega = \frac{g_m L_s}{C_{gs}}$$

$$L_s = \frac{50 \Omega \cdot C_{gs}}{g_m}$$

$$L_s = \frac{50 \cdot 2.29 \cdot 10^{-12}}{11.45} = 0.01 \text{ nH}$$

3. Determine L_g

$$Z_{in}\{Im\} = 0 = s(L_s + L_g) + \frac{1}{sC_{gs}}$$

$$j^2 \cdot \omega^2 (0.01 \text{ nH} + L_g) = \frac{1}{-2.29 \cdot 10^{-12} \text{ F}}$$

$$(2 \cdot 3.14 \cdot 5.1 \cdot \text{GHz})^2 (0.01 \text{ nH} + L_g) = \frac{1}{2.29 \cdot 10^{-12} \text{ F}}$$

$$L_g = \frac{1}{(2\pi \times 5.1 \text{ GHz})^2 \times 2.29 \text{ pF}} - 0.01 \text{ nH} \approx 0.41527 \text{ nH}$$

4. Disipasi

$$P_{dc} = V_{DD} * I_D$$

$$P_{dc} = 1.39439 * 78.1 \text{ mA}$$

$$P_{dc} = 108.9 \text{ mW} \approx 109 \text{ mW}$$

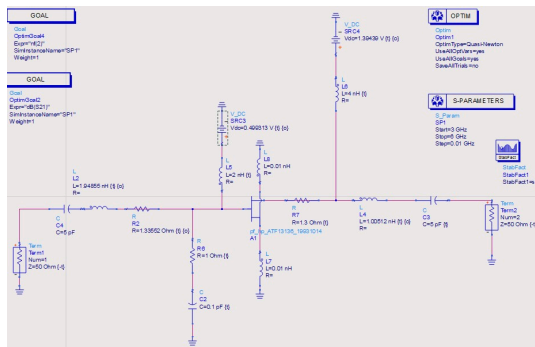
5. Coupling Capacitor (cc)

$$f = \frac{1}{2\pi * R_s * C_c}$$

$$5.1 * 10^9 = \frac{1}{2\pi * 50 * C_c}$$

$C_c = 0.624137 * 10^{-12} \text{ F}$ (tidak sesuai ama simulation) pada simulation 5 pF

III. Analisis Hasil Simulasi

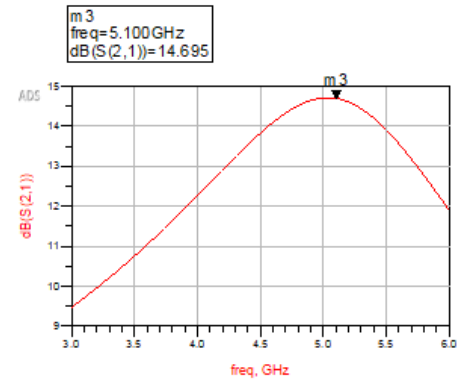


Rangkaian LNA yang dirancang menggunakan satu transistor pHEMT tipe ATF-13136 dengan konfigurasi common-source. Pada bagian input, diterapkan penyesuaian impedansi agar sinyal masuk dapat diterima secara optimal dan noise tetap rendah. Di sisi output, digunakan jaringan L-match untuk menyesuaikan impedansi dengan beban sekaligus mempertahankan gain yang cukup tinggi. Transistor dibias pada titik kerja yang sesuai untuk menghasilkan nilai gm yang optimal.

1. Disipasi Daya

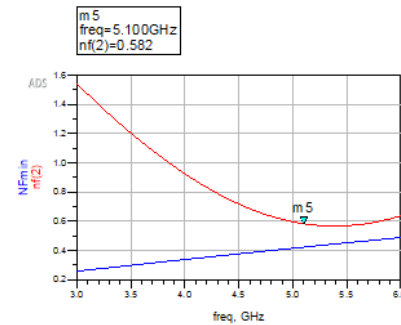
Daya DC yang dikonsumsi oleh rangkaian adalah 109mW. Tingginya daya disipasi ini kemungkinan besar disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adanya rugi daya akibat resistansi parasitik, baik pada jalur suplai maupun dalam transistor itu sendiri. Penggunaan elemen pasif seperti resistor di jalur gate atau drain juga bisa menyebabkan terjadinya rugi daya tambahan yang tidak diperlukan.

2. Gain (S21)



Hasil simulasi menunjukkan bahwa penguat LNA mencapai gain (S_{21}) sebesar 14.695 dB pada frekuensi 5.100 GHz, dengan indikator optiter=1 yang menunjukkan proses optimasi optimal di 1 iterasi. Nilai gain ini melebihi target minimal 10 dB dan termasuk stabil karena pada saat frekuensi resonansi 5.1 GHz sumber dan beban dipasang dengan baik dan impedance matching dalam rentang frekuensi 5.0–5.2 GHz.

3. Noise Figure



Hasil simulasi menunjukkan performa noise figure (NF) yang sangat baik pada rentang frekuensi operasional 5.0–5.2 GHz, dengan titik optimal tercapai pada 5.100 GHz dan NF sebesar 0.582 dB. Nilai ini jauh lebih rendah dari batas maksimum desain sebesar 3 dB, yang mengindikasikan efektivitas desain dalam meminimalkan noise. Meskipun secara teoritis NF ideal adalah 0 dB, perbedaan ini terjadi karena faktor praktis dalam simulasi dan optimasi rangkaian, di mana optimasi menghasilkan nilai NF yang lebih realistis di angka 0.582 dB, yang masih sangat rendah dan menunjukkan desain yang efisien dalam mengurangi noise.

4. Impedansi Input (S11)

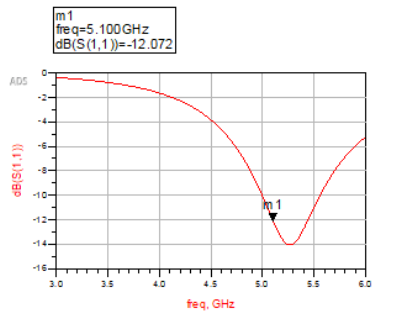
dalam meminimalkan noise tambahan. Konsumsi daya sebesar 12,5 mW juga berada dalam batas efisiensi yang ditetapkan.

REFERENSI

Mastering Low-Noise Amplifier (LNA) Design with ADS | Step-by-Step RF Tutorial. Prof. Halim Boutayeb. YouTube.com, 2025.
<https://www.youtube.com/watch?v=WVqCChjH2bE&t=1743s> (accessed Jun. 11, 2025).

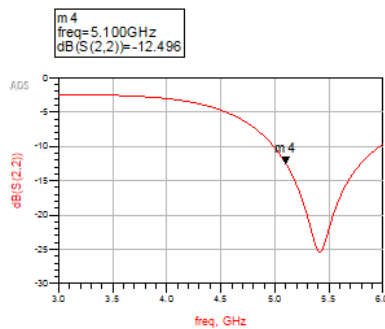
Kusuma, M. S., Shanthala, S., & Cyril Prasanna Raj, P. (2018). Design of Common Source Low Noise Amplifier with Inductive Source Degeneration in Deep Submicron CMOS Processes. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(6), 4118–4123. Research India Publications. Retrieved from <http://www.ripublication.com>

Rosser, D. (n.d.). A 2.4-GHz Low Noise Amplifier with Inductive Degeneration. Carnegie Mellon University, Department of Electrical and Computer Engineering. Unpublished manuscript.



Simulasi menunjukkan bahwa pada frekuensi kerja 5,100 GHz, nilai $|S_{11}|$ sebesar $-12,072$ dB. Nilai ini sudah berada di bawah ambang batas -10 dB yang ditetapkan dalam spesifikasi, sehingga dapat dikatakan bahwa matching impedansi pada sisi input sudah cukup baik. Nilai S_{11} yang rendah ini menandakan bahwa hanya sebagian kecil sinyal yang dipantulkan kembali ke sumber, sementara sebagian besar sinyal berhasil masuk ke rangkaian aktif.

5. Impedansi Output (S_{22})



Diperoleh nilai output $|S_{22}|$ sebesar $-12,496$ dB pada frekuensi 5,100 GHz. Nilai ini juga sudah memenuhi syarat desain karena berada di bawah -10 dB. Ini berarti bahwa pantulan sinyal dari port output ke rangkaian sangat kecil, sehingga sinyal keluaran dapat disalurkan secara efisien ke beban.

IV. Kesimpulan

Desain LNA berbasis common-source dengan teknik inductive degeneration yang telah direalisasikan menunjukkan performa yang baik pada target frekuensi yang diberikan, yakni di rentang 5.0 - 5.2 GHz. Matching impedansi telah tercapai pada kedua sisi, terlihat dari nilai $S_{11} = -12,11$ dB dan $S_{22} = -12,61$ dB. Gain simulasi tercapai angka 14,746 dB, yang dimana melampaui target minimum.

Selain itu, noise figure minimum sebesar 0,590 dB menunjukkan efektivitas desain