

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ

**Bùi Thị Hà**

**NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG  
TRUYỀN THÔNG BĂNG TÀN S MỞ RỘNG  
CHO TRẠM MẶT ĐẤT KẾT NỐI VỚI VỆ TINH  
QUỸ ĐẠO THẤP NANOSATELLITE**

Chuyên ngành: Kỹ thuật điện tử  
Mã số: 9 52 02 03

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ CÔNG NGHỆ  
KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ, TRUYỀN THÔNG**

Hà Nội – 2024

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học: GS.TS. Bạch Gia Dương

Phản biện: .....

.....

Phản biện: .....

.....

Phản biện: .....

.....

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng cấp Đại học Quốc gia chấm luận án tiến sĩ họp tại .....

Vào hồi      giờ      ngày      tháng      năm

Có thể tìm luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam
- Trung tâm Thông tin – Thư viện, Đại học Quốc gia Hà Nội

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Bui Thi Ha**, Tran Chinh Doan, Nguyen Tien Dat, Bach Gia Duong (2019), “Research, Design, Fabrication Receiver of Ground station for Vietnamese Satellite at S band with digitalizing I/Q channel at Intermediate frequency”, *2019 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC)*, pp 179-184.
2. **Bui Thi Ha**, Bach Gia Duong (2019), “Research, Design and Fabrication Microwave Modules of Receiver for NanoDragon Satellite at S band”, *Journal of Mathematics – Physics, Vietnam National University, Hanoi*, Vol.35, No.2 (2019), pp. 50-59
3. **Bui Thi Ha**, Tran Chinh Doan, Le Xuan Huy, Bach Gia Duong (2020), “Design and manufacture power pre-amplifier module for transmitter of ground station at S-band”, *The 2020 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS)*, pp. 153-156.
4. **Bui Thi Ha**, Tran Chinh Doan, Bach Gia Duong (2020), “Design, Fabrication Transmitter Modulator at S band for MicroSatellite with the direct RF input”, *The 13<sup>th</sup> International Conference on Advanced Technologies for Communication (ATC)*, pp.222-226
5. **Bui Thi Ha**, Tran Chinh Doan, Bach Gia Duong (2022), “Design and implementation of an S-band transmitter for nanosatellite with new configuration”, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, Vol 25, No.2, February 2022, pp.1067-1077.
6. **Bui Thi Ha**, Bach Gia Duong (2024), “Design and implementation of an S-band receiver for small satellite based on the manufactured subsystems”, *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics*, Vol.40, No.3 (2024) 1-10

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài

Vệ tinh nhân tạo hiểu nôm na như một cỗ máy gồm một hệ thống lớn, trong hệ thống lớn có rất nhiều hệ thống nhỏ, những hệ thống nhỏ này được liên kết chặt chẽ với nhau qua cả phần cứng lẫn phần mềm. Về ứng dụng của vệ tinh thì vô cùng hữu ích và quan trọng. Con người sử dụng vệ tinh để chụp ảnh trái đất, đo đạc thông số ngoài vũ trụ, truyền gửi thông tin giữa các nơi trên thế giới ..v.v. Những thông tin này được ứng dụng trong giáo dục, trong đời sống (dự báo thời tiết, dự báo thiên tai, cháy rừng, băng tan...), trong nghiên cứu khoa học (biến đổi khí hậu, vật chất vũ trụ...), trong quân đội an ninh quốc phòng (quản lý bảo vệ rừng, biển, lãnh thổ..), trong thông tin liên lạc. Qua những ứng dụng được liệt kê sơ lược bên trên chúng ta có thể thấy công nghệ vũ trụ nói chung, công nghệ vệ tinh nói riêng vô cùng quan trọng và cần thiết cho con người. Việc nghiên cứu những công nghệ mới để ứng dụng vào vệ tinh và trạm mặt đất của nó là hoàn toàn cấp thiết và chính đáng.

Công nghệ vệ tinh ở Việt Nam vẫn đang là một khái niệm khá mới mẻ. Trong điều kiện của ngành công nghệ vệ tinh còn rất non trẻ, trong lĩnh vực này chúng ta mới bắt đầu chập chững đi vào nghiên cứu tìm hiểu. Vấn đề làm chủ công nghệ thiết kế chế tạo và đóng gói thiết bị siêu cao tần nói chung và thiết kế các khối thu phát nói riêng, nhằm tạo ra các sản phẩm ứng dụng trực tiếp vệ tinh cỡ nhỏ có ý nghĩa thực tiễn khoa học rất cao. Vì vậy việc nghiên cứu phát triển hệ thống truyền thông giữa trạm mặt đất và vệ tinh là vô cùng hữu ích và cần thiết.

Luận án sẽ nghiên cứu phát triển hệ thống truyền thông băng tần S để kết nối vệ tinh với trạm mặt đất. Trước tiên nghiên cứu sinh sẽ tìm hiểu nghiên cứu về kỹ thuật siêu cao tần, thiết kế chế tạo vệ tinh, kỹ

thuật truyền dữ liệu. Sau khi đã hiểu rõ, hiểu sâu về kiến thức nền sẽ tiếp tục nghiên cứu về hệ thống truyền thông giữa trạm mặt đất và vệ tinh. Đặc biệt nghiên cứu sâu về truyền thông của vệ tinh hoạt động ở quỹ đạo thấp. Từ đó phát triển hệ thống truyền thông sử dụng băng tần S mở rộng cho vệ tinh cỡ nano và trạm mặt đất.

## **2. Mục tiêu của luận án**

Sử dụng hệ thống băng tần S mở rộng trong kết nối truyền thông giữa NanoSatellite và trạm mặt đất nhằm giảm thời gian trễ khi truyền nhận thông tin, giảm kích thước anten gắn trên vệ tinh, tăng hiệu suất khi truyền.

Nghiên cứu đề xuất các giải pháp thiết kế, chế tạo mẫu thử nghiệm tuyến thu cho trạm mặt đất, hướng tới đưa lên vệ tinh nanosatellite băng tần S với độ nhảy cao, dải động và băng tần rộng, hệ số khuếch đại lớn.

Nghiên cứu đề xuất các giải pháp thiết kế, chế tạo tuyến phát băng tần S với công suất phát lớn, chuyển đổi tần số linh hoạt, hiệu suất cao sử dụng cho vệ tinh cỡ Nano và trạm mặt đất

## **3. Nội dung nghiên cứu**

Luận án đi vào nghiên cứu tuyến thu phát hoạt động ở băng tần S cho vệ tinh cỡ nhỏ và trạm mặt đất. Tại tuyến phát, sử dụng giải pháp điều chế trực tiếp tại tuyến siêu cao tần, tạo dao động chuyển đổi tần số linh hoạt với tổ hợp tần số sử dụng vòng khoá pha, giải pháp tăng công suất lõi ra, mở rộng băng thông với thiết kế đa tầng đa đỉnh ở khối khuếch đại công suất, sau tích hợp tuyến phát hoạt động ở dải tần số 2 GHz – 3GHz, công suất ra đạt > 40 dBm ở tần số 2,15 GHz. Tại tuyến thu, thiết kế chế tạo mạch khuếch đại tạp âm thấp, mạch hạ tần, và mạch khuếch đại trung tần. Sau tích hợp tuyến thu đạt kết quả hệ số khuếch đại trên 80dB, độ nhảy cao -110 dBm, dải động rộng. Tuyến

thu hoạt động tốt trong dải tần số từ 2 GHz – 3 GHz; đạt đỉnh tốt nhất tại tần số 2,15 GHz.

#### **4. Phương pháp nghiên cứu**

Trong luận án, nghiên cứu sinh sử dụng phương pháp nghiên cứu như: phương pháp lý thuyết để nghiên cứu, tìm hiểu và tính toán các thông số, thiết kế mạch trên phần mềm; phương pháp mô phỏng để tính toán thiết kế mô phỏng trên phần mềm, đánh giá hiệu quả của thiết kế trước khi đi vào chế tạo mạch phần cứng; phương pháp thực nghiệm chính là việc so sánh kết quả đo đạc được từ thực tế với kết quả mô phỏng, so sánh kết quả đo với các thông số thực tế tuyến thu phát của vệ tinh nano đã sử dụng, để từ đó đánh giá toàn bộ quá trình thiết kế chế tạo và đưa ra giải pháp đề xuất.

#### **5. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

Đối tượng nghiên cứu: Là các thành phần của tuyến phát như: mạch điều chế, mạch khuếch đại công suất, mạch tạo dao động tổ hợp vòng khoá pha. Các thành phần của khối thu như: mạch LNA, mạch trộn tần, mạch khuếch đại trung tần.

Phạm vi nghiên cứu: Từ thiết kế, chế tạo tới ứng dụng của tuyến thu phát cho vệ tinh cỡ nanosatellite và trạm mặt đất hoạt động trong băng tần S.

#### **6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án**

##### **Ý nghĩa khoa học**

- Nâng tần số hoạt động từ UHF, VHF lên tần số cao hơn như băng tần S, băng X nhằm thu nhỏ kích thước ăng ten.

- Với cấu hình phần cứng ăng ten cố định, bằng việc tiểu hình hoá hệ thống để nâng công suất phát, tăng độ nhạy máy thu giúp tăng quỹ đường truyền tín hiệu, tăng hiệu suất và hiệu quả khi truyền, đồng thời dễ dàng tăng quãng đường truyền khi cần thiết.

- Khi độ nhạy máy thu cao, công suất phát được thiết kế với công suất tiêu thụ năng lượng nhỏ góp phần giải quyết vấn đề gia tăng năm hoạt động của vệ tinh trên quỹ đạo.

### **Ý nghĩa thực tiễn**

- Giảm chi phí sản xuất và phóng vệ tinh  
- Từng bước làm chủ công nghệ trong lĩnh vực chế tạo vệ tinh nhỏ ở Việt Nam.

## **7. Bố cục của luận án**

Luận án gồm phần mở đầu, ba chương và phần kết luận chung. Trong đó nội dung các chương như sau:

**Chương 1:** Chương này trình bày tổng quan về công nghệ vệ tinh, trạm mặt đất, ảnh hưởng của môi trường vũ trụ lên vệ tinh, hệ thống thu phát giữa vệ tinh với trạm mặt đất. Tổng hợp và đánh giá công nghệ, sự phát triển của lĩnh vực này trên thế giới và ở Việt Nam. Trên cơ sở đó để đưa ra các đề xuất, giải pháp như trong nội dung của luận án.

**Chương 2:** Chương này trình bày giải pháp thiết kế, chế tạo cấu hình của tuyến phát như mạch điều chế, mạch tạo dao động, mạch khuếch đại công suất. Trình bày về kết quả đo đạc từng thành phần và tích hợp của tuyến phát.

**Chương 3:** Chương này trình bày giải pháp thiết kế, chế tạo cấu hình của tuyến thu như mạch khuếch đại tạp âm thấp, mạch trộn tần, mạch khuếch đại trung tần. Trình bày về kết quả đo đạc từng thành phần và tích hợp của tuyến thu.

**Kết luận chung:** Trình bày về kết quả đã đạt được của luận án và bàn luận về những kết quả này.

## **CHƯƠNG 1.**

### **TỔNG QUAN VỀ NGHỆ VỆ TINH, HỆ THỐNG THU**

## PHÁT CỦA VỆ TINH

### 1.1. Tổng quan công nghệ vệ tinh

#### 1.1.1. Những khái niệm liên quan tới vệ tinh

Vệ tinh là một hệ thống hoạt động ngoài không gian để làm các nhiệm vụ như: chụp ảnh trái đất, đo đạc các thông số ngoài vũ trụ, thử nghiệm công nghệ.. Mỗi nhiệm vụ đều có ứng dụng vào thực tế như: phục vụ trong thông tin liên lạc; định vị giám sát giao thông đường biển, đường hàng không và đường bộ; phục vụ dự báo thời tiết, giám sát thiên tai, giám sát nông nghiệp; nghiên cứu khoa học, giáo dục; và an ninh quốc phòng.

Vệ tinh nhân tạo là một cỗ máy hay một hệ thống lớn bao gồm nhiều hệ thống nhỏ hoạt động trên quỹ đạo bên ngoài trái đất. Những hệ thống nhỏ để cấu thành vệ tinh như: khối nguồn sẽ cung cấp nguồn điện cho tất cả các thiết bị trong vệ tinh, khối điều khiển nhiệt sẽ ổn định nhiệt cho các thiết bị khi hoạt động, khối điều khiển tư thế sẽ điều khiển tư thế của vệ tinh khi cần thiết như chụp ảnh trái đất, khối truyền thông làm nhiệm vụ truyền nhận tín hiệu từ trạm mặt đất và ngược lại, khối điều khiển trung tâm làm nhiệm vụ lưu giữ và xử lý các dữ liệu của vệ tinh, khối cấu trúc là toàn bộ cấu trúc phần cứng nâng đỡ các thiết bị và vệ tinh. Vệ tinh được phân loại theo khối lượng và kích thước khác nhau như: vệ tinh lớn, vệ tinh trung bình, vệ tinh nhỏ (bao gồm vệ tinh mini, micro, nano, pico).

*Trong khuôn khổ của luận án, nghiên cứu sinh lựa chọn nghiên cứu chế tạo bộ thu phát (thuộc khối truyền thông) của vệ tinh cỡ nano*

#### 1.1.2. Môi trường vũ trụ và môi trường trong tên lửa phóng vệ tinh

Vệ tinh sau khi được đưa lên quỹ đạo sẽ chịu sự tác động của môi trường khắc nghiệt ngoài vũ trụ. Đặc điểm của môi trường vũ trụ là: môi trường chân không, môi trường chất khí bị ion hoá, môi trường



bức xạ mặt trời và môi trường trung tính.

### **Ảnh hưởng của môi trường vũ trụ lên vệ tinh**

Môi trường ngoài vũ trụ làm ảnh hưởng tới bề mặt của vật liệu, hạt tích điện có thể xâm nhập vào bên trong vệ tinh gây thay đổi trạng thái hoặc hư hỏng linh kiện điện tử. Môi trường chân không ảnh hưởng tới nhiệt độ tác động lên vệ tinh.

### **Ảnh hưởng của quá trình phóng lên vệ tinh**

Vệ tinh được đưa lên quỹ đạo để thực hiện nhiệm vụ thông qua phương tiện phóng (tên lửa). Trong quá trình phóng vệ tinh chịu sự tác động của tiếng ồn lớn từ động cơ đốt trong tên lửa, sự rung lắc mạnh và sự dừng thả đột ngột khi vệ tinh ra khỏi tên lửa.

#### **1.1.3. Trạm mặt đất**

Trạm mặt đất thực hiện chức năng nhận và gửi tín hiệu lên vệ tinh. Một trạm mặt đất có thể liên lạc được với nhiều vệ tinh khi hoạt động cùng dải tần số

#### **1.1.4. Tần số và những đặc điểm về tần số**

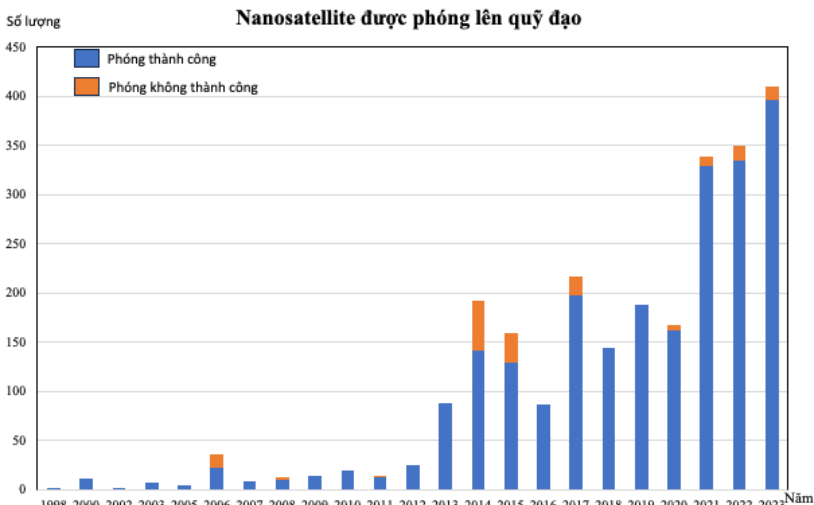
Vệ tinh gửi dữ liệu xuống trạm mặt đất thông qua đường truyền tín hiệu. Đường truyền có những đặc điểm không bị ảnh hưởng bởi không gian vũ trụ. Thông thường vệ tinh sử dụng tần số siêu cao (sóng siêu cao tần) cho việc truyền nhận tín hiệu. Do đặc tính môi trường ngoài vũ trụ nên sóng vô tuyến dùng trong thông tin liên lạc cần phải xuyên qua tầng điện ly và khí quyển bao quanh trái đất, tần số bị suy hao nhỏ nhất trong khoảng từ 1 GHz tới 30 GHz.

*Với nhiệm vụ của vệ tinh Nanosatellite, nghiên cứu sinh tập trung nghiên cứu phát triển phần cứng cao tần thuộc khối thu phát hoạt động tại băng tần S (dải tần từ 2 GHz – 3 GHz).*

## **1.2. Tình hình nghiên cứu về công nghệ vệ tinh nanosatellite và hệ thống thu phát**

### 1.2.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới

Trên thế giới, việc phát triển các vệ tinh lớn đòi hỏi đầu tư thời gian, công sức và chi phí lớn. Trong khi đó thời gian nghiên cứu vệ tinh nhỏ ngắn, chi phí cho chế tạo lắp ráp và thử nghiệm cũng như phóng lại ít hơn nhiều. Vì thế việc nghiên cứu và phát triển các vệ tinh nhỏ nói chung và vệ tinh nano nói riêng là giải pháp tối ưu nhất hiện nay mà nhiều trung tâm nghiên cứu trên thế giới lựa chọn.



Hình 1. 7. Biểu đồ số lượng vệ tinh nano được phóng trên thế giới

Từ những dữ liệu trên biểu đồ Hình 1.7 cho thấy toàn thế giới đang có xu hướng tập trung phát triển vệ tinh nhỏ, trong đó có vệ tinh nano.

Với vệ tinh nano, đa phần phân sử dụng các thiết bị có sẵn bán trên thị trường để tiết kiệm chi phí phát triển, chế tạo và thử nghiệm. Không giống như các công bố này, luận án của nghiên cứu sinh sẽ tổng hợp những thành tựu của khối truyền thông đã đạt được từ trước tới nay, phân tích những yêu cầu mà khối thu phát cần khi vệ tinh thực hiện nhiệm vụ, để từ đó đưa ra những yêu cầu và mục tiêu của khối thu phát cần đạt được. Từ những mục tiêu đó, nghiên cứu sinh sẽ thực hiện việc

tính toán, thiết kế, mô phỏng, chế tạo và đo đạc từng thành phần, sau đó tích hợp, đánh giá kết quả. Luận án của nghiên cứu sinh không chỉ tập trung vào phát triển khối thu phát của vệ tinh mà còn tiến tới làm chủ công nghệ chế tạo vệ tinh góp phần gián tiếp xây dựng và bảo vệ đất nước

### **1.2.2. Tình hình nghiên cứu trong nước**

Đến năm 2024, đã có 7 vệ tinh của Việt Nam được phóng lên quỹ đạo, trong đó có 2 vệ tinh được lắp ráp tại Việt Nam đó là vệ tinh NanoDragon và PicoDragon. Tuy nhiên chưa có vệ tinh nào được phát triển từ khi thiết kế, chế tạo và lắp ráp các phân hệ. Các vệ tinh của Việt Nam đa phần được lắp ráp từ thiết bị thương mại, đặc biệt là khối thu phát của vệ tinh, chưa có khối thu phát của vệ tinh nào được thiết kế chế tạo tại Việt Nam.

Chính vì vậy nghiên cứu sinh đề xuất hướng nghiên cứu khối thu phát siêu cao tần có thể phát triển để ứng dụng cho vệ tinh cỡ nanosatellite nói chung, phục vụ cho công nghệ vệ tinh tại Việt Nam nói riêng.

Trước đó, cũng có một vài hướng nghiên cứu về khối thu phát siêu cao tần tại Việt Nam. Dù hướng nghiên cứu đạt kết quả tốt, tuy nhiên còn rời rạc chưa đồng bộ và thống nhất để đáp ứng được những yêu cầu của hệ thống thu phát tín hiệu vệ tinh cần có. Đặc biệt chưa có phân tích, đánh giá, so sánh để chứng minh rằng kết quả đó có phù hợp nhiệm vụ của vệ tinh hay không.

### **1.3. Xác định nội dung nghiên cứu luận án**

Từ những tổng hợp và phân tích bên trên, vấn đề đặt ra đối với luận án là đi xây dựng cấu hình và thiết kế chế tạo mẫu thử nghiệm tuyến thu phát hoạt động ở băng tần S cho trạm mặt đất nhưng mục tiêu hướng tới sử dụng trên vệ tinh nanosatellite ở quỹ đạo thấp.

### **1.3.1. Nội dung nghiên cứu, thiết kế cấu hình tuyến phát của vệ tinh**

Nội dung nghiên cứu, thiết kế, chế tạo cấu hình tuyến phát hoạt động ở băng tần S với yêu cầu: Công suất phát lớn  $> 40$  dBm, chuyển đổi tần số linh hoạt phù hợp với vệ tinh nano làm nhiệm vụ chụp ảnh trái đất.

Để đạt được các mục tiêu như đã đưa ra ở trên thì luận án đã thiết kế, chế tạo từng mạch đơn lẻ như: mạch điều chế, mạch tạo dao động có tổ hợp vòng khoá pha PLL, mạch khuếch đại công suất ở tín hiệu siêu cao tần. Với mạch điều chế, vấn đề đặt ra là lựa chọn phương pháp điều chế phù hợp để đáp ứng được yêu cầu truyền dữ liệu nhiệm vụ của vệ tinh với độ ổn định cao, suy hao tín hiệu thấp. Với mạch tạo dao động cần chuyển đổi được tần số linh hoạt, chính xác, ổn định tần số cao. Với mạch khuếch đại công suất yêu cầu đặt ra là lựa chọn giải pháp thiết kế để làm tăng công suất lối ra, ổn định nhiệt và mở rộng băng thông. Từ những mạch đơn lẻ sẽ được tích hợp thành cấu hình tuyến phát với kết quả đạt được phù hợp yêu cầu đặt ra.

### **1.3.2. Nội dung nghiên cứu, thiết kế cấu hình tuyến thu của vệ tinh**

Nội dung nghiên cứu, thiết kế, chế tạo cấu hình tuyến thu cho vệ tinh nanosatellite hoạt động ở băng tần S mở rộng với yêu cầu: độ nhạy cao  $> -100$  dBm, dải động  $> 80$  dBm, hệ số khuếch đại lớn.

Để đạt được các mục tiêu trên, luận án sẽ đi thiết kế các mạch rời rạc như: mạch khuếch đại tạp âm thấp LNA, mạch dao động cao tần, mạch trộn tần, mạch khuếch đại trung tần. Vấn đề đặt ra đối với mạch khuếch đại tạp âm thấp là phải đưa ra giải pháp thiết kế để làm tăng hệ số khuếch đại, tăng độ ổn định và làm giảm hệ số tạp âm. Đối với mạch trộn tần yêu cầu đặt ra là hạ tần từ tần số siêu cao xuống trung tần với mức suy hao tín hiệu thấp. Với mạch khuếch đại trung tần cần tập trung

nâng cao hệ số khuếch đại. Trên cơ sở các mạch rời rạc, luận án sử dụng các giải pháp để tích hợp thành cấu hình tuyến thu đảm bảo các tiêu chí đặt ra.

#### **1.4. Luận giải về tính đáp ứng của các tham số tuyến thu phát với yêu cầu của vệ tinh cỡ nano**

Mục tiêu của luận án đặt ra là thiết kế tuyến thu phát cho vệ tinh cỡ nano hoạt động ở băng tần S, quỹ đạo thấp (độ cao 540 km) với nhiệm vụ chụp ảnh trái đất. Từ mục tiêu đó nghiên cứu sinh đã thực hiện thiết kế và chế tạo, tích hợp cấu hình tuyến thu phát và đạt được kết quả với những tham số là: công suất tuyến phát đạt 42 dBm, độ nhạy máy thu đạt -110 dBm, hệ số khuếch đại mạch khuếch đại tạp âm thấp đạt 11.3 dB, toàn tuyến hoạt động ổn định, nhiệt phát sinh thấp, công suất tiêu thụ thấp.

Những luận giải sau sẽ góp phần làm sáng tỏ tính đáp ứng của luận án với yêu cầu thực tế của vệ tinh cỡ nano.

##### ❖ Tính thoả mãn quỹ đường truyền

Với giả thuyết anten sử dụng ở phía phát là S – band Patch Antenna RHCP (Hispico) có độ lợi là 3 dBi (theo datasheet); ăng ten thu của trạm mặt đất 29 dB, có bảng số liệu các tham số về đường truyền của vệ tinh như sau:

Tham số	Giá trị	Đơn vị
Tham số tuyến phát		
Công suất phát	42	dBm
Độ lợi ăng ten (theo giả định)	3	dBi
Tần số	2.15	GHz
Suy hao đường dẫn từ máy phát ra ăng ten (theo giả định)	1	dB
Mất mát đường truyền		

Quãng đường (dự kiến)	1000	km
Tổng mất mát	159	dB
Tham số tuyến thu		
Độ lợi ăng ten (theo giả định)	29	dB <sub>i</sub>
Bộ khuếch đại tạp âm thấp	19,3	dB
Công suất tín hiệu vào máy thu	- 66,7	dB <sub>m</sub>
Độ nhạy máy thu	-110	dB <sub>m</sub>
Quỹ đường truyền	43,3	dB

Từ kết quả nhận được có quỹ đường truyền là 43,3 dB thể hiện tính khả thi cho đường truyền xuống băng tần S.

#### ❖ Tính thoả mãn dung lượng truyền

Theo thông số của vệ tinh NanoDragon: Dữ liệu ảnh là 6 MB; khoảng thời gian liên lạc trung bình giữa vệ tinh và trạm mặt đất là: 106.2 s

Như vậy với phương pháp điều chế BPSK, giải pháp đánh lệch đỉnh các tầng khuếch đại công suất để mở rộng băng thông là giải pháp hữu ích, phù hợp với yêu cầu về dung lượng truyền dữ liệu của vệ tinh.

### **Kết luận chương 1**

Chương 1 đã trình bày tổng quan về vệ tinh và khối thu phát của vệ tinh trên thế giới và trong nước. Thông qua công bố các bài nghiên cứu và phát triển vệ tinh trên thế giới thì khối thu phát của vệ tinh đa phần sử dụng các thiết bị có sẵn bán trên thị trường để tiết kiệm chi phí phát triển, chế tạo và thử nghiệm. Bên cạnh đó, cũng có một vài hướng nghiên cứu về khối thu phát siêu cao tần và có thiết kế chế tạo. Dù hướng nghiên cứu đạt kết quả tốt, tuy nhiên còn rời rạc chưa đồng bộ và thống nhất để đáp ứng được những yêu cầu của hệ thống thu phát tín hiệu vệ tinh cần có. Đặc biệt chưa có phân tích, đánh giá, so sánh để chứng minh rằng kết quả đó có phù hợp nhiệm vụ của vệ tinh hay

không. Không giống như các công bố này, luận án của nghiên cứu sinh sẽ tổng hợp những thành tựu của khối truyền thông đã đạt được từ trước tới nay, phân tích những yêu cầu mà khối thu phát cần khi vệ tinh thực hiện nhiệm vụ, để từ đó xây dựng cấu hình và thiết kế chế tạo mẫu thử nghiệm cho trạm mặt đất nhưng mục tiêu hướng tới là lắp đặt trên vệ tinh. Từ những mục tiêu đó, nghiên cứu sinh sẽ thực hiện việc tính toán, xây dựng cấu hình mới thông qua thiết kế, mô phỏng, chế tạo và đo đạc từng thành phần, sau đó tích hợp, đánh giá kết quả.

## **CHƯƠNG 2.**

### **GIẢI PHÁP THIẾT KẾ, CHẾ TẠO CẤU HÌNH TUYẾN PHÁT**

Để tối ưu hoá hệ thống truyền thông, khắc phục những nhược điểm của các nghiên cứu trước, cấu hình tuyến phát của luận án sẽ đề xuất các giải pháp:

- Điều chế trực tiếp ở tuyến cao tần làm giảm suy hao của tín hiệu;
- Chuyển tần số linh hoạt nhờ tổ hợp tần số dùng vòng khoá pha (phase lock loop – PLL);
- Mở rộng băng thông, tăng công suất ló ra nhờ cấu trúc đa tầng đa đỉnh của mạch.

Ngoài các giải pháp được đề xuất bên trên, kết hợp lựa chọn và chế độ làm việc phù hợp của linh kiện đã góp phần tinh gọn hệ thống truyền thông, giảm chi phí chế tạo và phóng vệ tinh.

#### **2.1. Giải pháp điều chế trực tiếp ở tuyến siêu cao tần**

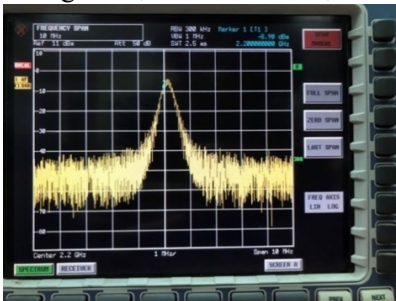
##### **2.1.1. Cơ sở lý thuyết**

Điều chế tín hiệu là quá trình ánh xạ tín tức vào sóng mang bằng cách thay đổi thông số của sóng mang theo biên độ, tần số hoặc pha của tín tức. Nhằm tạo ra một tín hiệu chứa nội dung tín tức nhưng có dạng thức phù hợp, có thể lan truyền trong môi trường.

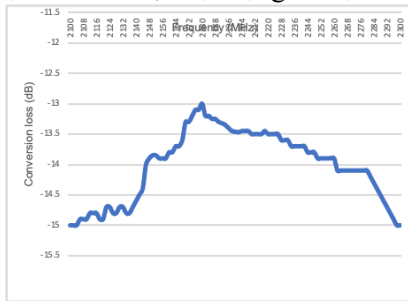
##### **2.1.2. Thiết kế mạch điều chế BPSK**

Mạch điều chế BPSK sử dụng linh kiện HMC208MS8 có kích thước nhỏ gọn, đã có tích hợp phối hợp trở kháng nhánh vào ra nên sử dụng trong mạch siêu cao tần là lựa chọn tốt.

Từ kết quả đo được thấy tín hiệu sau khi được điều chế thì bị suy hao, mất mát từ 3 dB tới 5 dB. So với thông số tại datasheet của HMC208MS8 thì giá trị suy hao này là hoàn toàn hợp lý. Điều này chứng tỏ mạch điều chế được chế tạo chính xác, hoạt động ổn định.



Hình 2. 7. Kết quả đo BPSK



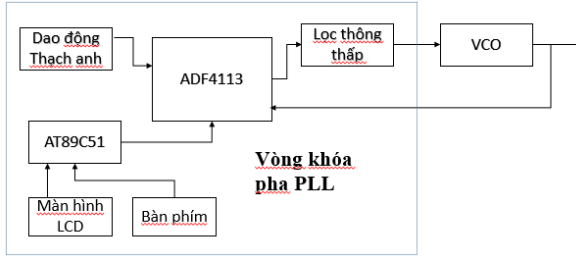
Hình 2. 8. Đồ thị kết quả đo BPSK

## 2.2. Giải pháp chuyển đổi tần số linh hoạt

Khởi tạo dao động VCO sẽ điều chỉnh tần số lỗi ra thông qua sự thay đổi điện áp ở lõi vào. Đầu ra của VCO sẽ cung cấp cho mạch trộn tần những giá trị tần số cần thiết để thực hiện việc chuyển đổi từ tần số từ tần số cao tần xuống tần số thấp hơn (trung tần). Khởi tạo động được thiết kế với linh kiện PM2503.

Để nâng cao chất lượng tín hiệu phát, nhảy tần linh hoạt, tiện dụng cho người dùng với nhiều mục đích khác nhau thì bộ dao động VCO còn có thể kết hợp với tổ hợp tần số sử dụng vòng bám pha PLL được thiết kế như sơ đồ khối bên dưới





Hình 2.14. Sơ đồ khối vòng khoá pha PLL và VCO

Kết quả đạt được

Bộ VCO thực hiện được đúng chức năng theo thiết kế, đảm bảo cho hệ thống hoạt động ổn định, đặc biệt cơ chế chuyển tần số linh hoạt và ổn định tần số cao nhờ PLL với biên độ phát ra xung quanh ngưỡng -10 dBm. Trong dải tần số từ 2 GHz – 3 GHz không có các tần số kí sinh (hài phụ).

## 2.3. Giải pháp khuếch đại công suất

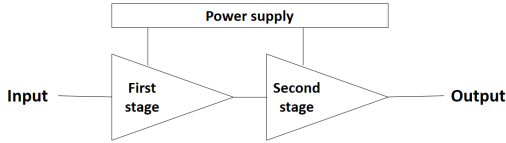
### 2.3.1 Cơ sở lý thuyết

Tham số đánh giá mạch khuếch đại công suất: hệ số khuếch đại; độ ổn định; độ tuyến tính

Ngoài ra một bộ khuếch đại được sử dụng phù hợp trong môi trường không gian còn được đánh giá thông qua công suất tiêu thụ năng lượng, sự toả nhiệt khi hoạt động và kích thước trọng lượng của nó.

### 2.3.2. Thiết kế mạch khuếch đại công suất

Trong khuôn khổ đề tài, khối khuếch đại công suất được thiết kế với 2 tầng khuếch đại (tầng khuếch đại đệm hay tiền khuếch đại và tầng khuếch đại chính). Thiết kế sử dụng 2 tầng khuếch đại với tầng khuếch đại chính sử dụng cầu Wilkinson nhằm mục đích nâng cao công suất lồi ra và mở rộng băng thông, đồng thời dễ dàng chế tạo, tích hợp với hệ thống phát.



Hình 2. 23. Sơ đồ khối khuếch đại công suất

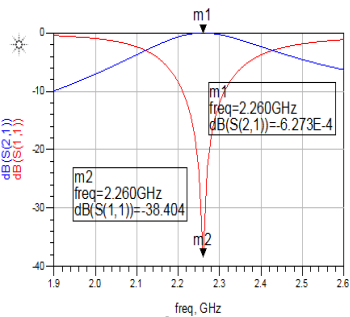
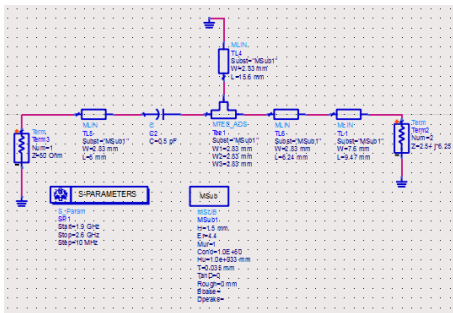
Mạch khuếch đại sử dụng giải pháp khuếch đại đa tầng với các linh kiện có IP3 phù hợp và đạt đỉnh khuếch đại ở các mức tần số lệch nhau, kết hợp phương pháp cầu Wilkinson nhằm tăng công suất lỗi ra. Lựa chọn chế độ hoạt động của mỗi tầng khuếch đại để hiệu suất của mạch đạt lớn nhất và nhiệt phát ra ở mức thấp nhất có thể.

Trong đó tầng khuếch đại đệm sử dụng linh kiện SHF-0589. Tầng khuếch đại chính sử dụng linh kiện BLM7G1822S với phương pháp cầu Wilkinson.

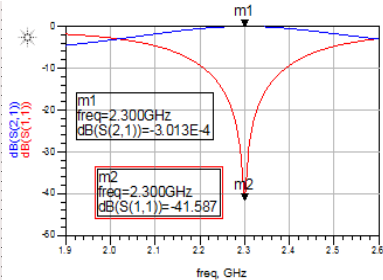
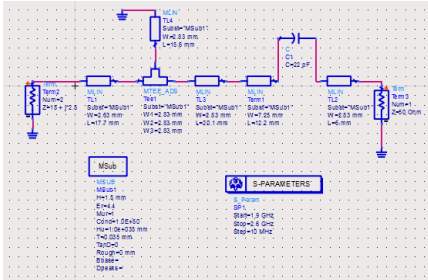
### Tầng khuếch đại đệm sử dụng SHF-0589

Bằng phần mềm mô phỏng ADS with các thông số:  $Mur = 1$ ,  $T = 0.035$ .  $Er = 4.4$ . Mạch tiền khuếch đại được thiết kế phối hợp trở kháng như sau:

Thiết kế mạch phối hợp trở kháng nhánh vào



Hình 2. 18. Sơ đồ phối hợp trở kháng Hình 2. 29. Kết quả mô phỏng Thiết kế mạch phối hợp trở kháng nhánh ra

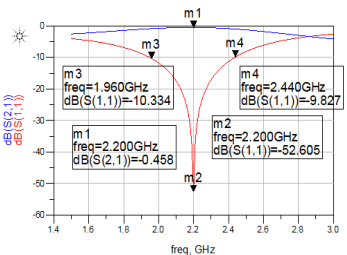
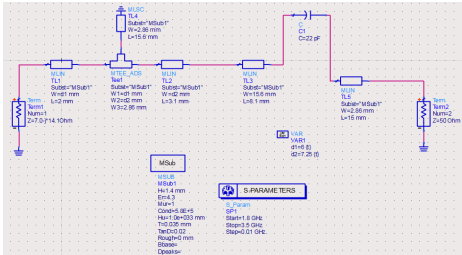


Hình 2. 30. Sơ đồ phối hợp trở kháng Hình 2. 31. Kết quả mô phỏng

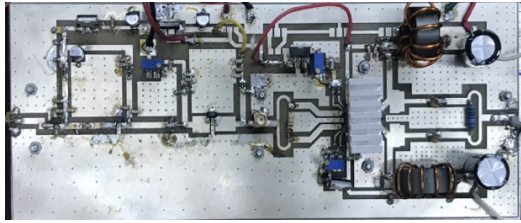
Tầng khuếch đại chính sử dụng BLM7G1822S mắc kiểu cầu Wilkinson

Do BLM7G1822S đã tích hợp trở kháng tại lõi vào, vì vậy để thiết kế mạch khuếch đại thì trước tiên cần thiết kế phối hợp trở kháng nhánh lõi ra.

Ta có Sơ đồ nguyên lý của phối hợp trở kháng nhánh lõi ra như sau:

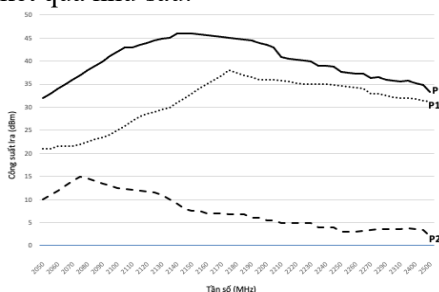


Hình 2. 32. Sơ đồ phối hợp trở kháng Hình 2. 33. Kết quả mô phỏng Mạch khuếch đại công suất thực tế và kết quả đo đạc



Hình 2. 34. Mạch khuếch đại công suất  
Đo đặc công suất đầu ra của khối khuếch đại công suất được thực

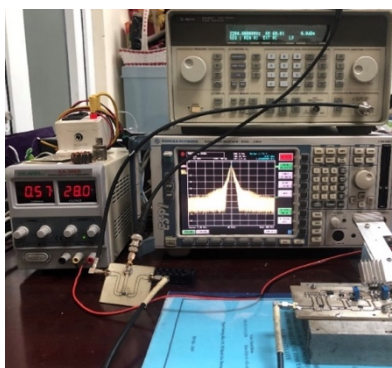
hiện trên máy phân tích phổ ROHDE&SCHWARZ, với máy phát Agilent 8648C, bộ nguồn cấp và bộ suy hao A-INFOMW Coaxial Antennuator P/N ACB25-100RN, S/N J3081100726001 (là một loại suy hao cố định) với mức suy hao là 30 dB, có lõi vào ra là 50 ohm, kết quả như sau:



Trong đó :  
 P: công suất lối ra của cả mạch  
 P1: Công suất lối ra của tầng khuếch đại chính  
 P2: Công suất lối ra của tầng khuếch đại đệm

Hình 2. 40. Đồ thị đo khuếch đại công suất

Kết quả đo tầng khuếch đại công suất trong dải tần từ 2 GHz tới 2,3 GHz được thể hiện trong hình 2.40. Trong đó đỉnh khuếch đại tại các tầng được đánh lệch nhau. Tại tầng khuếch đại đệm, công suất ra đạt đỉnh lớn nhất là 15 dBm tại tần số 2,075 GHz. Tại tầng khuếch đại chính, công suất ra đạt đỉnh lớn nhất là 38 dBm tại tần số 2,19 GHz. Khối khuếch đại công suất có công suất lối ra đạt đỉnh là 46,5 dBm (50 W) tại tần số trung tâm 2,15GHz; trong dải tần số từ 2 GHz – 2,3 GHz đạt công suất lối ra trên 35 dBm.



#### 2.4. Tích hợp và đo đặc tuyến phát

Kết quả đo đặc được cho thấy một phần máy phát trước anten sau khi được tích hợp, phối hợp trở kháng các đầu vào ra của từng khối đã

hoạt động tốt trong dải tần thiết kế từ 2GHz -3 GHz, tín hiệu đã được điều chế như trong hình bên cạnh và khuếch đại tới giá trị phù hợp với yêu cầu một máy phát dùng cho vệ tinh cỡ nhỏ. Cụ thể trong dải tần từ 2.1 Ghz – 2.3 Ghz công suất lỗi ra đạt trên 30 dBm; công suất lỗi ra đạt đỉnh tại tần số 2,15 GHz với 42 dBm. Hệ số khuếch đại lên tới hơn 60 dB.

## **Kết luận chương 2**

Chương 2 đã trình bày về giải pháp thiết kế, chế tạo cấu hình tuyến phát hoạt động ở băng tần S, bao gồm khối điều chế trực tiếp ở tuyến siêu cao tần, khối tạo dao động chuyển tần số linh hoạt và khối khuếch đại công suất. Khối điều chế đã thực hiện được việc điều chế tín hiệu với độ ổn định cao, suy hao tín hiệu thấp. Khối tạo dao động chuyển đổi tần số linh hoạt nhờ tổ hợp tần số vòng khoá pha PLL. Khối khuếch đại công suất đã đạt được độ khuếch đại lớn (hơn 60 dB), công suất lỗi ra lớn (46,5 dBm), băng thông rộng, độ ổn định cao, ổn định nhiệt thông qua giải pháp khuếch đại đa tầng đánh lệch đỉnh ở tần số khác nhau, lựa chọn linh kiện phù hợp, chế độ làm việc phù hợp. Khi tích hợp tuyến thu, kết quả đạt được có thể đáp ứng được yêu cầu của vệ tinh nhỏ hoạt động ở quỹ đạo thấp. Các kết quả đạt liên quan tới chương 2 được công bố ở công trình số [3], [4], [5].

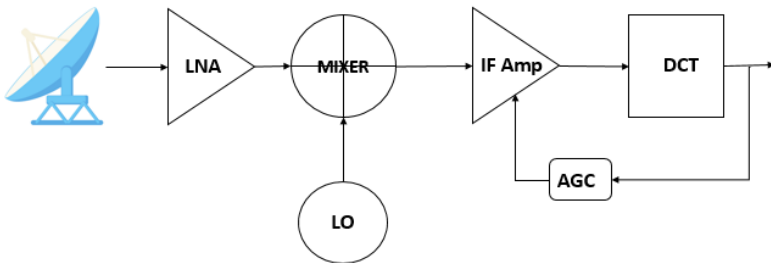
## **CHƯƠNG 3.**

### **GIẢI PHÁP THIẾT KẾ, CHẾ TẠO CẤU HÌNH TUYẾN THU**

Máy thu vệ tinh là một trong những thành phần quan trọng nhất của vệ tinh. Nếu không có máy thu thì vệ tinh không thể nhận hay truyền bất kỳ tín hiệu nào từ trạm mặt đất và ngược lại. Trong máy thu gồm các bộ phận như: khối khuếch đại tạp âm thấp (LNA), khối trộn tần (Mixer) hay hạ tần), khối khuếch đại trung tần (IF), tách sóng và đưa đến phần xử lý dữ liệu. Máy thu thực hiện chức năng xử lý tín hiệu thu

được thành những thông tin hữu ích. Hiệu suất của máy thu phụ thuộc vào môi trường làm việc, thiết kế mạch và thiết kế hệ thống. Tín hiệu thu được luôn có lẫn nhiễu, tùy thuộc vào mức độ khác nhau. Tuy nhiên tín hiệu có thể chấp nhận được thì độ mạnh của tín hiệu luôn luôn phải lớn hơn độ mạnh của nhiễu.

Thông số để đánh giá máy thu: Để đánh giá máy thu căn cứ vào các thông số như độ nhạy, độ ổn định, dải động, hệ số tạp âm, độ tuyến tính.



Hình 3. 26. Sơ đồ khối tuyến thu

### 3.1. Cơ sở lý thuyết về thiết kế mạch siêu cao tần

Truyền sóng siêu cao tần trên đường dây có các hệ quả sau:

- Có sự trễ pha của tín hiệu tại điểm thu so với tín hiệu tại điểm phát  $V_{thu}(t) = V_{nguồn}(t-T)$
- Khoảng thời gian trễ này tỉ lệ với chiều dài  $l$  của đường truyền
- Có sự suy hao về biên độ tín hiệu tại nơi thu so với biên độ tín hiệu tại nơi phát
- Có sự phản xạ sóng trên tải và trên nguồn. Điều này dẫn đến hiện tượng sóng đứng trên đường dây.

Do vậy cần phải có nghiên cứu kỹ về hiện tượng sóng đứng trên đường dây truyền sóng.

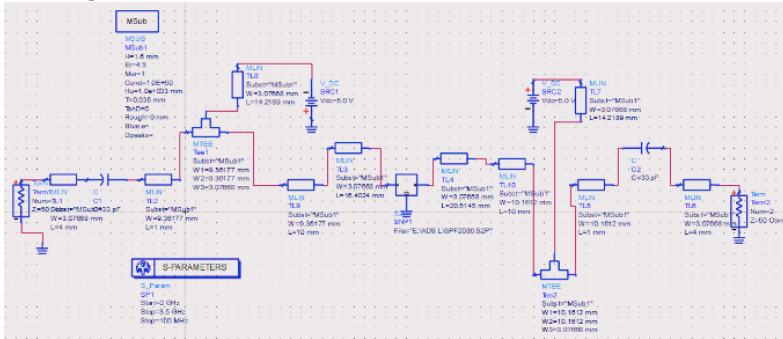
### 3.2. Giải pháp thiết kế mạch khuếch đại tạp âm thấp

Trong bộ thu nhiều tầng thì tầng đầu tiên luôn có ảnh hưởng tới

nhiều hệ thống lớn nhất. Chính vì vậy khi thiết kế hệ thống thu tín hiệu cao tần, tầng đầu tiên được thiết kế với mục tiêu đạt được độ khuếch đại cao và hệ số tạp nhiễu thấp nhất có thể.

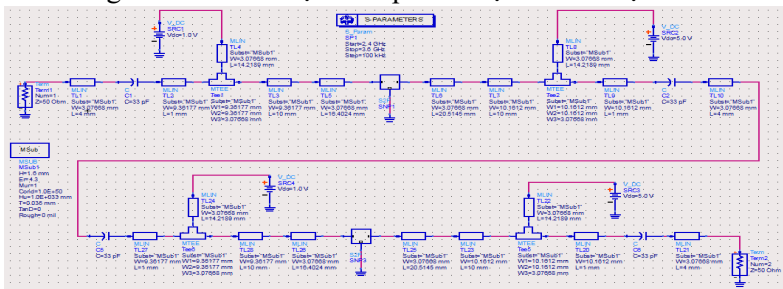
Mạch khuếch đại tạp âm thấp (LNA) sử dụng Transistor cao tần SPF-2086 có dải tần hoạt động từ 0.1 GHz – 12 GHz, hệ số tạp âm 0,4 dB, hệ số khuếch đại 22 dB, dòng thấp (3V, 20 mA).

Trong thiết kế mạch LNA, Nghiên cứu sinh sử dụng phương pháp dùng đoạn dây một phần tư bước sóng ( $\lambda/4$ ) để thiết kế phối hợp trở kháng nhánh vào ra.



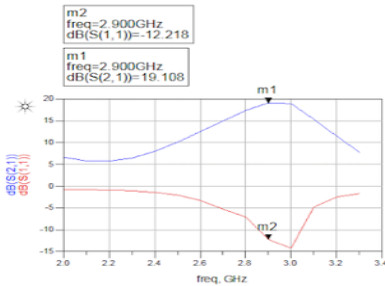
Hình 3.29. Sơ đồ nguyên lý mạch LNA 1 tầng

Để nâng cao hệ số khuếch đại và mở rộng băng thông, giải pháp được sử dụng là ghép 2 tầng LNA sử dụng SPF-2086 được thiết kế như trên với nhau. Khi ghép tầng cũng gặp một số khó khăn nhất định về vấn đề giảm nhiễu chế tạo và lắp linh kiện lên bo mạch.

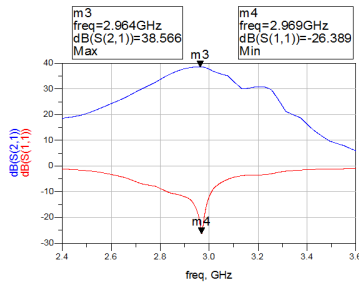


Hình 3.31. Sơ đồ nguyên lý mạch LNA 2 tầng

## Kết quả đo



Hình 3.30. Kết quả đo 1 tầng



Hình 3.32. Kết quả đo 2 tầng

**Nhận xét:** Khi sử dụng file .S2P để mô phỏng toàn bộ hệ thống phối hợp trở kháng lối vào và lối ra của chip SPF-2086 thì giá trị tham số  $S_{11min}$  nhận được ở giá trị  $-12.3\text{dB}$ . Giá trị tham số  $S_{21}$  cho ta một dải tần rộng với hệ số khuếch đại xấp xỉ  $19.2\text{dB}$  tại tần số  $2.9\text{GHz}$  với mạch LNA 1 tầng. Với mạch 2 tầng có kết quả đạt được hệ số phản xạ  $S_{11}$  thấp  $-26,4\text{dB}$ , suy hao nhỏ. Hệ số khuếch đại  $S_{21}$  lớn đạt tới  $38,56\text{dB}$ .

Kết quả đo đặc mạch thực tế đạt hệ số khuếch đại  $11,5\text{dB}$  tại tần số  $2,9\text{GHz}$ ; trên dải tần số từ  $2\text{GHz}$ -  $3\text{GHz}$  đạt trên  $9\text{dB}$ .

### 3.3. Giải pháp thiết kế mạch hạ tần

Bộ hạ tầng tách sóng I/Q có chức năng chuyển đổi tần số cao tần xuống trung tần với 2 tín hiệu lối ra I/Q lệch pha  $90^0$  và cân bằng tuyến tính. Bộ hạ tần với đầu vào là tín hiệu siêu cao tần đã được khuếch đại trên nền tạp âm thấp (tín hiệu lối ra bộ LNA) trộn với tín hiệu bộ tạo dao động LO.

Mạch trộn tần sử dụng linh kiện LT5575 với chức năng chuyển đổi trực tiếp từ tần số cao tần xuống tần số trung tần có băng thông lớn, độ ổn định cao.

### 3.4. Giải pháp thiết kế mạch khuếch đại trung tần



Trước khi tín hiệu được đi vào khối xử lý tín hiệu (giải điều chế) thì cần phải khuếch đại đủ lớn. Việc khuếch đại đủ mạnh sẽ được thực hiện tại tầng khuếch đại trung tần. Lý do thực hiện tại tầng này vì: khuếch đại trung tần làm việc ở tần số thấp nên dễ khuếch đại. Hệ số khuếch đại đạt được lớn, tính ổn định cao, gọn nhẹ và dễ chế tạo.

Các tham số để đánh giá một bộ khuếch đại trung tần: hệ số khuếch đại, dải động máy thu, băng thông.

Giải pháp thiết kế:

Để đạt được hệ số khuếch đại lớn nhất có thể, băng thông rộng, hoạt động ổn định và dải động lớn, mạch KĐTT được thiết kế gồm 5 phần nhỏ đó là: phối hợp trở kháng lối vào/ra cho tầng khuếch đại chính; khối điều khiển hệ số khuếch đại; khối tiền khuếch đại và khối khuếch đại chính gồm 3 tầng. Khối điều khiển hệ số khuếch đại giúp cho máy thu mở rộng băng thông, tăng dải động. Khuếch đại chính gồm 3 tầng khuếch đại với mỗi tầng ở các đỉnh khuếch đại khác nhau, cụ thể: đỉnh tầng 2 được thiết kế cộng hưởng với tần số trung tâm, tầng 1 và tầng 3 được thiết kế lệch với tần số trung tâm. Ba tầng khuếch đại được đánh lệch đỉnh cho phép tín hiệu có phổ dải rộng truyền qua không bị méo.

Trong đó khối khuếch đại chính sử dụng linh kiện AD 8009. Để nâng cao hệ số khuếch đại, Nghiên cứu sinh sử dụng 3 tầng ghép nối tiếp.

Thực hiện đo đặc mạch khuếch đại trung tần trên máy đo, với tín hiệu đầu vào mức -50 dBm, tín hiệu lối ra thu được 3, 69 dBm. Bộ khuếch đại trung tần thực hiện khuếch đại với hệ số là 53,69 dB.

### **3.5. Tích hợp và đo đặc tuyến thu**

Tuyến thu cao tần được tích hợp mạch khuếch đại tạp âm thấp, mạch trộn tần, mạch tạo dao động, mạch khuếch đại trung tần.

Kết quả đo đặc khối thu với lối vào là tần số cao tần 2,15GHz, tín hiệu -70dBm, sau khuếch đại tạp âm thấp, điều chế, khuếch đại trung tần thì lối ra thu được tín hiệu IF là 100 MHz với -3 dBm. Tín hiệu được khuếch đại lên 67 dB (chưa bao gồm suy hao tại dây truyền tín hiệu). Độ nhạy lên tới -110 dBm, dải động trên 80 dB.

Bảng 3.5. Bảng tổng hợp kết quả đo đặc của tuyến thu

STT	Thông số	Số liệu
1	Dải tần số	2000 +:3000 MHz
2	Tần số trung tần, MHz	100 MHz
3	Hệ số khuếch đại LNA, dB	>11,3 dB
4	Hệ số khuếch đại trung tần, dB	53 dB
5	Giá trị khuếch đại toàn khối	88,5 dB
6	Độ nhạy máy thu	-110 dBm
7	Dải động	80 dB

### **Kết luận chương 3**

Trong chương 3 đã trình bày về một phần máy thu được thiết kế và chế tạo để hoạt động tốt trong băng tần S, và có thể mở rộng lên băng tần cao hơn. Nghiên cứu sinh đã thiết kế và mô phỏng từng khối thành phần trong dải hoạt động từ 2 GHz tới 3 GHz, đầu ra cuối cùng của toàn khối là tín hiệu IF 100 MHz; giá trị khuếch đại toàn khối đạt được là 88,5 dB; độ nhạy -110 dBm, dải động là 80 dB. Với các giải pháp nghiên cứu sinh đã trình bày trong từng thành phần, mạch được tích hợp đồng nhất, dễ chế tạo, dễ tích hợp, giá thành thấp. Các kết quả đạt được trong chương này trình bày đã được công bố tại công trình số [1], [2], [6].

### **Kết luận chung**

Kết quả cho thấy khối phát thoả mãn yêu cầu về công suất phát, băng thông cũng như yêu cầu của máy thu về độ nhạy, dải động, độ ổn định. Các đóng góp chính của luận án bao gồm:

1. Đề xuất xây dựng cấu hình tuyến phát của vệ tinh hoạt động ở băng tần S. Đó là đề xuất phương pháp điều chế BPSK thích hợp giúp cho cấu hình tuyến phát giảm độ phức tạp. Đề xuất giải pháp chuyển đổi tần số linh hoạt thông qua mạch tổ hợp tần số. Đề xuất cấu trúc đa tầng, đa đỉnh, chế độ làm việc phù hợp trong mạch khuếch đại công suất cao tần để tăng công suất lối ra (trên 42 dBm) và mở rộng băng thông.

2. Đề xuất các giải pháp thiết kế cấu hình cho tuyến thu với mạch khuếch đại tạp âm thấp nhiều tầng, mạch hạ tần với suy hao thấp, mạch khuếch đại trung tần đa tầng. Tuyến thu đạt độ nhạy cao -110 dBm, dải động lớn -80 dBm, giá trị khuếch đại trên 70 dB.

Những kết quả của luận án được trình bày trong 6 công trình đã công bố của nghiên cứu sinh và đồng tác giả đã góp phần vào việc khẳng định khả năng từng bước làm chủ công nghệ chế tạo vệ tinh ở Việt Nam.

*Hướng nghiên cứu tiếp theo của luận án:*

1. Tiếp tục phát triển bộ thu phát để có thể hoạt động được ở tần số cao hơn.

2. Tập trung nghiên cứu về ăng ten, nâng cao hệ số khuếch đại để tối ưu hơn nữa bộ thu phát.

3. Phát triển cấu hình máy phát và máy thu theo hướng tiêu hình hóa, đồng thời xây dựng thuật toán tối ưu công suất tiêu thụ để đưa lên vệ tinh.