

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HCM
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN



BÁO CÁO TỔNG KẾT ĐỀ TÀI KH&CN CẤP SINH VIÊN

Tên đề tài: Thiết Bị Phân Tích, Đánh Giá Chất Lượng Antenna Trong Các Thiết Bị IoT

Khoa: Kỹ Thuật Máy Tính

Thời gian thực hiện: 6 tháng

Cán bộ hướng dẫn: Ts. Trịnh Lê Huy

Tham gia thực hiện				
TT	Họ và tên, MSSV	Chịu trách nhiệm	Điện thoại	Email
1.	Nguyễn Mạnh Thảo	Chủ nhiệm	0987612206	14520853@gm.uit.edu.vn
2.	Phan Trí Dũng	Tham gia	01286797859	14520203@gm.uit.edu.vn

TP.HCM, tháng ... năm ...

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng năm 20



ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HCM
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

Ngày nhận hồ sơ

Mã số đề tài

(Do CQ quản lý ghi)

BÁO CÁO TỔNG KẾT

Tên đề tài: Thiết Bị Phân Tích, Đánh Giá Chất Lượng Antenna Trong Các Thiết Bị IoT

Tên đề tài tiếng Anh: Low cost vector network analyzer – VNA for measuring the antenna of IoT devices

Ngày ... tháng năm

Cán bộ hướng dẫn

(Họ tên và chữ ký)

Ngày ... tháng năm

Chủ nhiệm

(Họ tên và chữ ký)

Nguyễn Mạnh Thảo

Ngày ... tháng năm

Cơ quan chủ trì

(Họ tên, chữ ký, đóng dấu)

Ngày ... tháng năm

Chủ tịch hội đồng nghiệm thu

(Họ tên, chữ ký)

TP.HCM, tháng ... năm ...
Thành phố Hồ Chí Minh – Tháng /20...

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: Thiết bị phân tích, đánh giá chất lượng Antenna trong các thiết bị IoT
- Tên tiếng anh: Low cost vector network analyzer – VNA for measuring the antenna of IoT devices
- Chủ nhiệm: Nguyễn Mạnh Thảo MSSV: 14520853
- Thành viên tham gia: Phan Trí Dũng MSSV: 14520203
- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Công nghệ Thông tin
- Thời gian thực hiện: 6 tháng

2. **Mục tiêu:** Nghiên cứu, chế tạo thiết bị phân tích, đánh giá chất lượng Antenna trong các thiết bị IoT, sử dụng làm nền tảng phát triển các ứng dụng giao tiếp không dây.

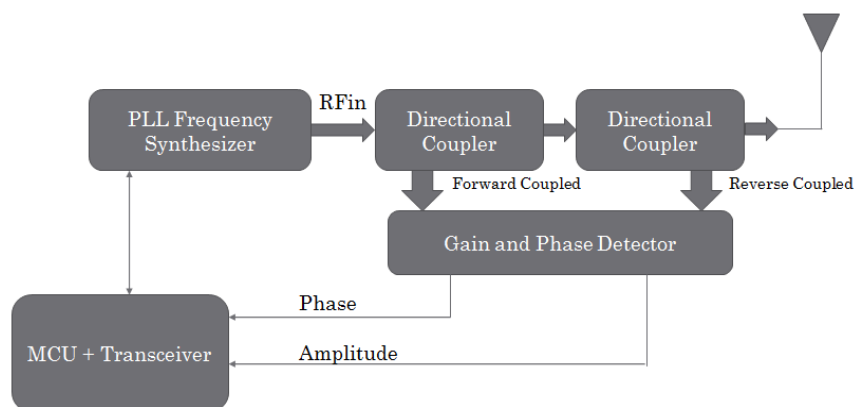
3. **Tính mới và sáng tạo:** Thiết bị đáp ứng được nhu cầu đánh giá chất lượng hoạt động của Antenna trong dãy tần số xác định với chi phí thấp.

4. **Tóm tắt kết quả nghiên cứu:** Thiết bị dựa trên nguyên lý so sánh sóng phản xạ và sóng phát trên antenna để tính toán hệ số phản xạ, từ đó đánh giá được chất lượng của antenna.

5. **Tên sản phẩm:** Mini Vector Network Analyzer

6. **Hiệu quả, phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu và khả năng áp dụng:** Đề tài vẫn còn nhiều hạn chế trong việc hiện thực thiết bị, do đó chưa có khả năng chuyển giao công nghệ. Tuy nhiên, trong tương lai, đây sẽ là một sản phẩm tiềm năng trong việc ứng dụng trong thực tiễn.

7. **Hình ảnh, sơ đồ minh họa chính:**



Cơ quan Chủ trì
(ký, họ và tên, đóng dấu)

Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ và tên)

MỞ ĐẦU

Hiện nay, lĩnh vực IoT ở Việt Nam phát triển nhanh chóng, do đó yêu cầu về chất lượng của các sản phẩm IoT không chỉ ở phần mềm ổn định mà còn về khả năng giao tiếp với nhau, đặc biệt là giao tiếp không dây. Từ đó, nhu cầu về việc phân tích và đánh giá chất lượng của antenna trong sản phẩm IoT càng cần thiết. Tuy nhiên, các giải pháp cũng như thiết bị về việc phân tích, đánh giá chất lượng antenna còn ít và có nhiều hạn chế đặc biệt là ở thị trường Việt Nam.

Ở nước ta hiện nay, các thiết bị dùng để đo đạt, phân tích, đánh giá chất lượng antenna trong các thiết bị IoT đối với nhiều người vẫn còn khá xa lạ và mới mẻ, vì trong nước chưa có một cơ quan tổ chức hay cá nhân nào thực hiện đề tài này.

Nội dung của đề tài nghiên cứu này trình bày cách thức tiếp cận và xây dựng “Thiết bị dùng để đo đạt, phân tích, đánh giá chất lượng antenna với giá thành thấp”.

MỤC LỤC

BÁO CÁO TỔNG KẾT ĐỀ TÀI KH&CN CẤP SINH VIÊN.....	I
MỞ ĐẦU	IV
MỤC LỤC.....	V
CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU	1
1.1 Đặt vấn đề	1
1.2 Giới thiệu về hệ thống đánh giá chất lượng của Antenna	1
1.3 Nội dung, mục tiêu và giới hạn của đề tài	2
1.3.1 Nội dung, mục tiêu của đề tài.....	2
1.3.2 Giới hạn của đề tài	3
CHƯƠNG 2: THIẾT KẾ HỆ THỐNG.....	4
2.1 Hệ thống mạch điều khiển	4
2.2 Chương trình điều khiển trên thiết bị di động chạy hệ điều hành Android	6
CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ NGHIỆM THU ĐƯỢC	14
3.1 Hệ thống thiết bị khi hoạt động thực tế so với thiết bị VNA chuyên nghiệp	14
3.2 Đánh giá hệ thống	14
3.3 Kết luận.....	14
3.4 Hướng phát triển	15
TÀI LIỆU THAM KHẢO	16

CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU

1.1 Đặt vấn đề

Hệ thống “Mini Vector Network Analyzer” là sự kết hợp chặt chẽ giữa lập trình, mạch điện tử và van khí điện tử. Đây là ba yếu tố quan trọng chính để xây dựng một hệ thống “Vector Network Analyzer” căn bản.

Ý tưởng thiết kế mạch cho hệ thống “Mini Vector Network Analyzer” dựa trên hoạt động của thiết bị VNA chuyên dụng. Về mảng lập trình, ta tìm hiểu một số kiến thức về hiển thị LCD 5110, điều khiển mô-đun Bluetooth HC-05 truyền dữ liệu và xử lý dữ liệu nhận được, hiển thị dưới dạng đồ thị trên thiết bị di động chạy hệ điều hành Android. Do môi trường Java hỗ trợ khá đầy đủ các thư viện và cũng là ngôn ngữ chính thống được Google hỗ trợ để phát triển ứng dụng trên thiết bị Android nên Java là ngôn ngữ được chọn để phát triển ứng dụng điều khiển và hiển thị kết quả đo đạt.

1.2 Giới thiệu về hệ thống đánh giá chất lượng của Antenna

Hiện nay trên thế giới có rất nhiều loại thiết bị cũng như công nghệ dùng để phân tích, đánh giá chất lượng antenna trong các thiết bị IoT như: Voltage Standing Wave Ratio Meter (SWR Meter or VSWR Meter), Scalar Network Analyzer (SNA), Vector Network Analyzer (VNA), System on Chip Vector Network Analyzer,...

VNA là một thiết bị phân tích, đánh giá chất lượng antenna. Nguyên lý hoạt động của VNA tương tự như một máy phân tích phổ sóng (Spectrum Analyzer) kết hợp với một máy phát sóng ở tần số chỉ định (Tracking Generator) phân tích được các thuộc tính biên độ (amplitude) và pha (phase) của sóng.

Có 2 loại VNA chính:

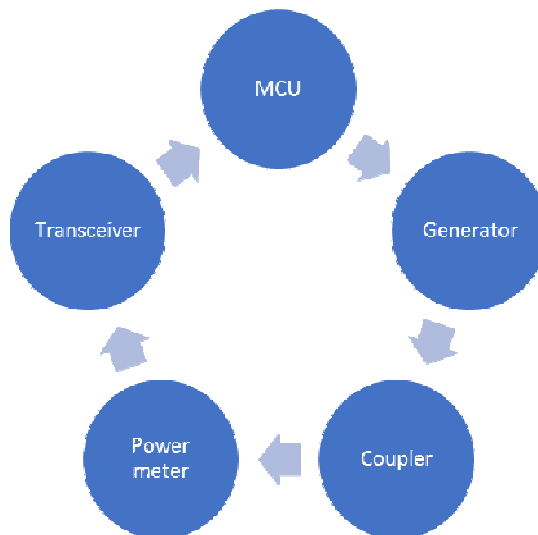
- VNA thông thường
 - Ưu điểm: Bảng thông rộng và phổ biến
 - Khuyết điểm: Giá thành cao, kích thước lớn
- VNA với System on Chip
 - Ưu điểm: Bảng thông rộng, kích thước nhỏ (tích hợp trên một IC)
 - Khuyết điểm: Sử dụng công nghệ vi mạch phức tạp, chi phí thiết kế sản xuất tốn kém, vẫn còn đang trong quá trình nghiên cứu.

1.3 Nội dung, mục tiêu và giới hạn của đề tài

1.3.1 Nội dung, mục tiêu của đề tài

Nghiên cứu, chế tạo thiết bị phân tích, đánh giá chính xác antenna với giá thành thấp, gọn nhẹ và phù hợp cho thị trường IoT trong nước, từ đó giúp cho sản phẩm IoT Việt Nam có thể cải thiện được chất lượng và hiệu suất cao hơn. Thiết bị bao gồm các module sau:

- PLL Frequency Synthesizer: gồm có IC ADF4350 tạo ra sóng RF để thực hiện việc đo đạc.
- Directional Coupler: gồm 2 con IC DC0873 là nơi tách ra 2 sóng tới và sóng phản xạ, từ đó ta có thể so sánh chúng qua đó đánh giá được chất lượng của antenna tại DUT (Device under Test).
- Gain and Phase Detector: gồm IC AD8302 nơi tiếp nhận sóng tới và sóng phản xạ để so sánh rồi từ đó xuất ra được biên độ và biểu đồ trạng thái của sóng RF.
- MCU + Transceiver: Thông qua giao thức ADC (Analog to Digital Converter), MCU lấy dữ liệu về Phase và Amplitude từ module Gain and Phase Detector. Từ 2 thông số này và tần số phát ra ở module PLL Frequency Synthesizer có thể phân tích được mức độ phản xạ sóng trên Antenna (DUT). Từ đó có thể đánh giá chất lượng của thiết kế antenna. Hiển thị lên LCD hoặc đưa ra thiết bị máy tính thông qua bluetooth để vẽ giản đồ chi tiết.



Hình 1: Sơ đồ khối của hệ thống

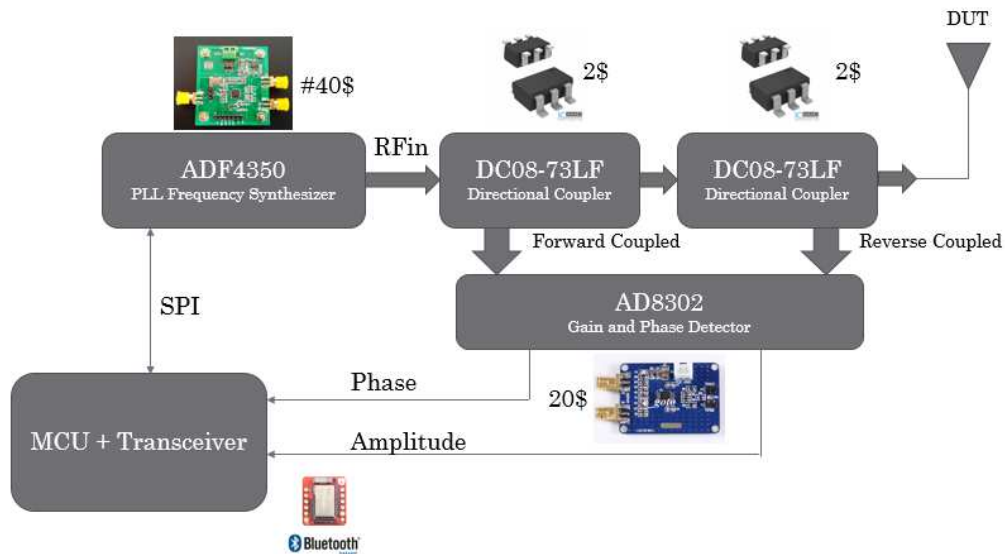
1.3.2 Giới hạn của đề tài

Để xây dựng một THIẾT BỊ PHÂN TÍCH, ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG ANTENNA TRONG CÁC THIẾT BỊ IoT hoàn chỉnh là một vấn đề lớn và tốn khá nhiều chi phí và thời gian bên cạnh đó do một số thiết bị (chẳng hạn như bộ phát tần số, bộ thu và so sánh tần số) ở Việt Nam, cũng như các thị trường lân cận chất lượng chưa cao cho nên độ chính xác chưa cao như các thiết bị chuyên dụng. Do đó đề tài chỉ dừng lại ở việc xây dựng một thiết bị “Vector Network Analyzer” căn bản đo đạt được trong một dãy băng tần nhất định và được điều khiển trực tiếp bởi thiết bị di động (cụ thể là điện thoại di động sử dụng hệ điều hành Android), thiết bị di động sẽ điều khiển và gửi lệnh xuống MCU để điều khiển các mô-đun hoạt động, phân tích và hiển thị các giá trị lên màn hình LCD. Còn các khía cạnh nâng cao như điều khiển thiết bị “Vector Network Analyzer” qua Internet hoặc hiển thị trực tiếp trên Web sẽ được nghiên cứu về sau.

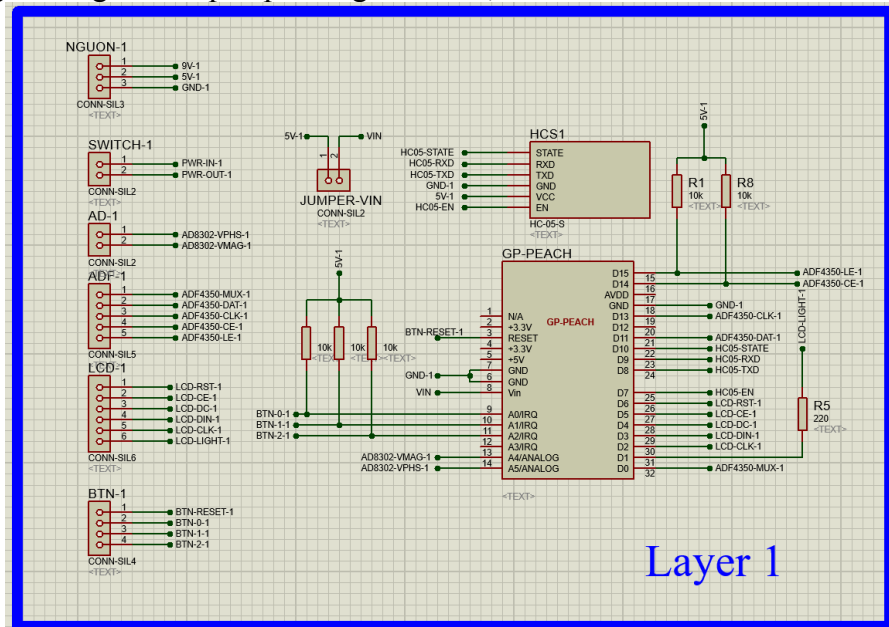
CHƯƠNG 2: THIẾT KẾ HỆ THỐNG

2.1 Hệ thống mạch điều khiển

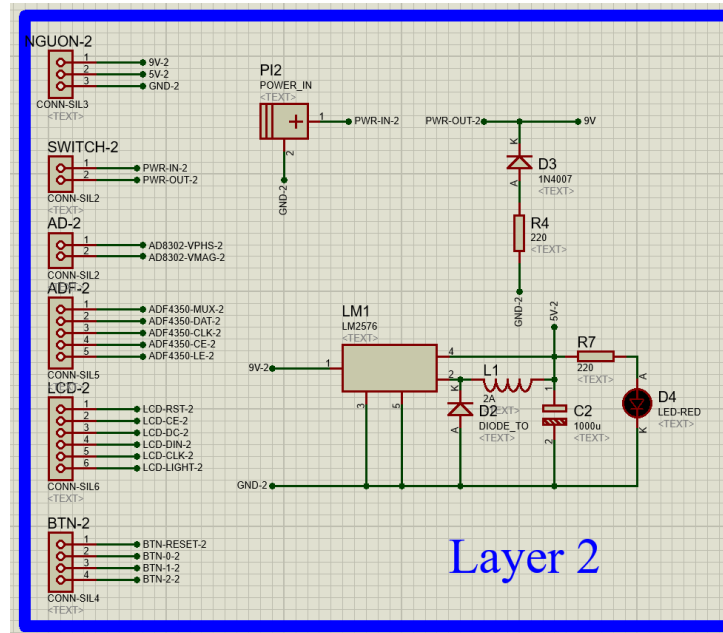
Hệ thống mạch đóng vai trò điều khiển trực tiếp thiết bị, hệ thống mạch sẽ nhận tín hiệu gửi từ thiết bị di động, điều khiển các mô-đun hoạt động. Trong hệ thống mạch ta tập trung xây dựng 4 khối chính như sau: Khối điều khiển trung tâm (MCU), Khối mạch nguồn LM2596, Khối mô-đun ADF4351 Evaluation Board – AD8302 – Coupler, Khối LCD Nokia 5110 và nút nhấn. Sơ đồ khối hệ thống như sau:



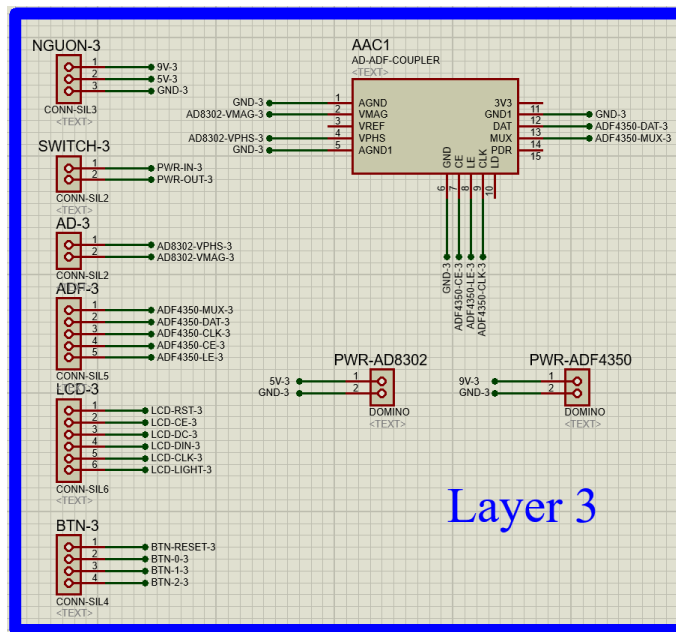
Hệ thống mạch gồm 4 lớp xếp chồng lên nhau, cụ thể như sau:



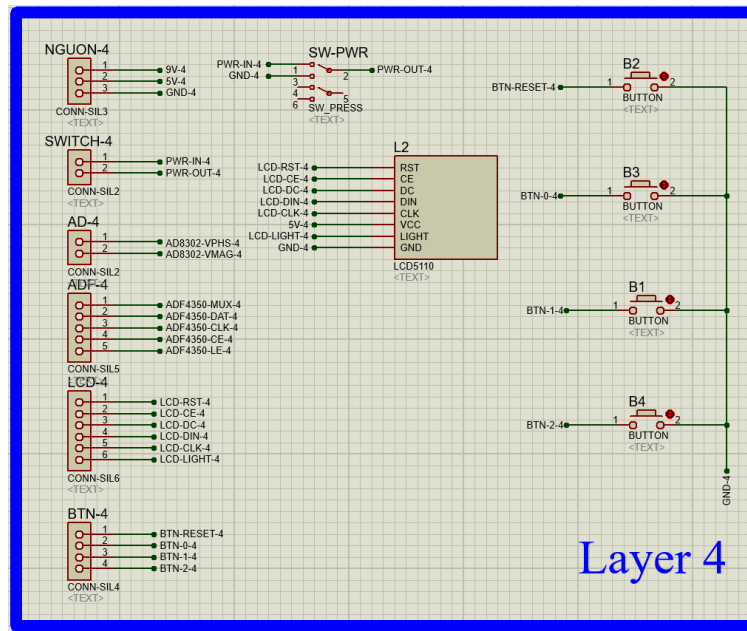
Hình: Lớp 1 - Khối điều khiển trung tâm



Hình: Lớp 2 - Khối mạch nguồn



Lớp 3: Khối PLL Frequency Synthesizer, Directional Coupler và Gain and Phase Detector



Lớp 4: Khởi LCD và nút nhấn

2.2 Chương trình điều khiển trên thiết bị di động chạy hệ điều hành Android

Ứng dụng Mini Vector Network Analyzer Controller bao gồm 3 màn hình chính:

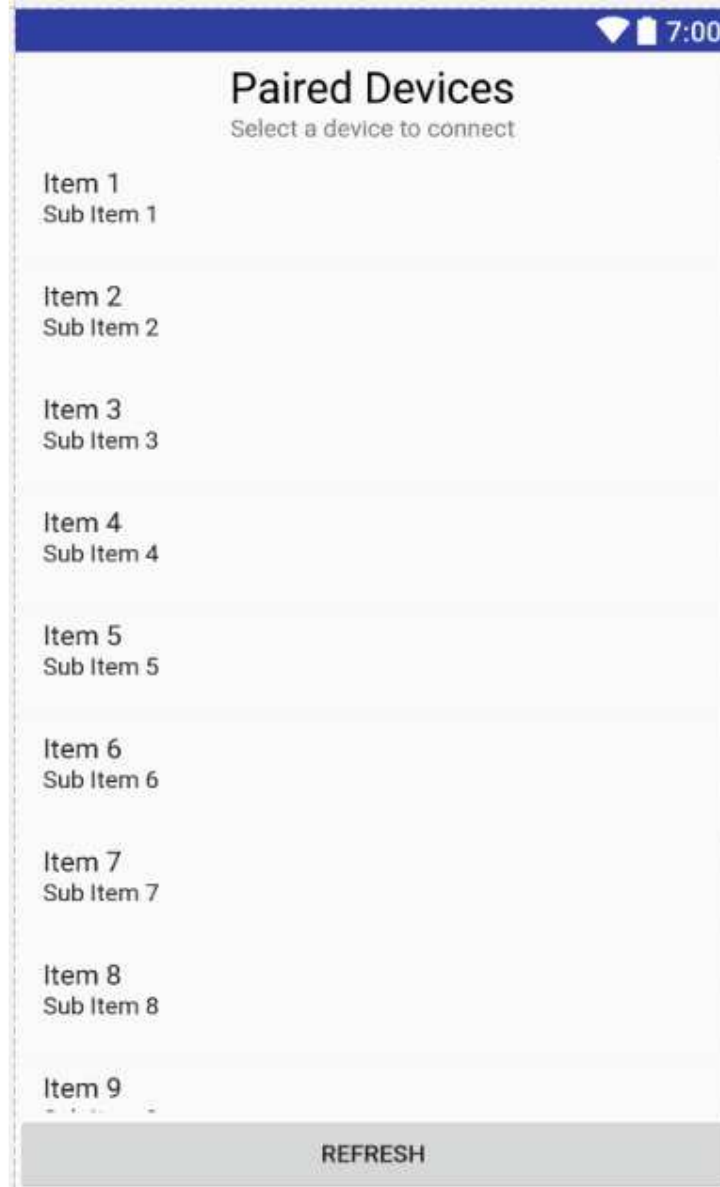
- Màn hình 1: Kết nối với thiết bị VNA
- Màn hình 2: Chọn thông tin tần số cần đo
- Màn hình 3: Hiện thị kết quả

Sơ đồ điều khiển chương trình được thực hiện theo sơ đồ như sau:



Hình: Sơ đồ điều khiển chương trình

Hình ảnh thực tế và layout XML của các màn hình như sau:



Hình: Màn hình 1

```
<RelativeLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="match_parent">

    <LinearLayout
        android:id="@+id/linearLayout"
        android:orientation="vertical"
        android:gravity="center"
        android:padding="6dp"
        android:layout_width="match_parent"
        android:layout_height="wrap_content">

        <TextView
```

```

        android:id="@+id/textView"
        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:layout_alignParentLeft="true"
        android:layout_alignParentStart="true"
        android:layout_alignParentTop="true"
        android:text="Paired Devices"
        android:textSize="25sp"
        android:textColor="#000000"/>

    <TextView
        android:text="Select a device to connect"
        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content" />
</LinearLayout>

<Button
    android:id="@+id/btnRefreshList"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_alignParentBottom="true"
    android:layout_alignParentEnd="true"
    android:layout_alignParentLeft="true"
    android:layout_alignParentRight="true"
    android:layout_alignParentStart="true"
    android:text="Refresh" />

<ListView
    android:id="@+id/listView"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_below="@id/linearLayout"
    android:layout_above="@+id/btnRefreshList" />
</RelativeLayout>

```



Hình: Màn hình 2

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<RelativeLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="match_parent"
    android:gravity="center"
    tools:context="com.example.manht.testbluetooth.SetFrequencyActivity">

    <TextView
        android:id="@+id/tvEnterFrequency"
        android:layout_width="match_parent"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:text="Enter frequency"
        android:textSize="20sp"
        android:padding="4dp"
        android:textColor="#000000"/>

    <EditText
        android:id="@+id/txtFrequency"
        android:layout_width="match_parent"
```

```

        android:layout_below="@+id/tvEnterFrequency"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:padding="16dp"
        android:inputType="numberDecimal"
        android:digits="0123456789,."
        tools:text="315, 433, 868, 2400" />

<Button
    android:id="@+id/btn315MHz"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_below="@+id/txtFrequency"
    android:text="315 MHz" />

<Button
    android:id="@+id/btn433MHz"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_below="@+id/txtFrequency"
    android:layout_toRightOf="@+id/btn315MHz"
    android:text="433 MHz" />

<Button
    android:id="@+id/btn868MHz"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_below="@+id/txtFrequency"
    android:layout_toRightOf="@+id/btn433MHz"
    android:text="868 MHz" />

<Button
    android:id="@+id/btn2400MHz"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_below="@+id/txtFrequency"
    android:layout_toRightOf="@+id/btn868MHz"
    android:text="2.4 GHz" />

<Button
    android:id="@+id/btnDel"
    android:text="Del"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_below="@+id/txtFrequency"
    android:layout_toRightOf="@+id/btn2400MHz"/>

<Button
    android:id="@+id/btnComma"
    android:text=","
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_below="@+id/btn315MHz"/>

<Button

```

```

        android:id="@+id/btnSetFrequency"
        android:layout_width="match_parent"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:layout_alignParentBottom="true"
        android:text="Set Frequency" />

```

```

</RelativeLayout>

```



Hình: Màn hình 3

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<LinearLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    xmlns:tools="http://schemas.android.com/tools"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="match_parent"
    android:orientation="vertical"
    tools:context="com.example.manht.testbluetooth.DisplayDiagram">

    <TextView
        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"

```



```

        android:layout_gravity="center"
        android:padding="6dp"
        android:text="Measuring Result"
        android:textColor="#000000"
        android:textSize="24sp" />

<TextView
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_gravity="left"
    android:text="Magnitude (dB)" />

<com.github.mikephil.charting.charts.LineChart
    android:id="@+id/chart"
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="450dp"></com.github.mikephil.charting.charts.LineChart>

<TextView
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_gravity="right"
    android:text="Frequencies (MHz)" />

<RelativeLayout
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="match_parent"
    android:gravity="center_vertical">

    <TextView
        android:id="@+id/txtFrequencyInfo"
        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:layout_alignParentTop="true"
        android:layout_alignStart="@+id/txtMagnitudeInfo"
        android:layout_marginTop="24dp"
        android:padding="6dp"
        android:text="Frequency: "
        android:textColor="#000000"
        android:textSize="15sp" />

    <TextView
        android:id="@+id/txtShowFrequencyInfo"
        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:layout_above="@+id/txtMagnitudeInfo"
        android:layout_alignStart="@+id/txtShowMagnitudeInfo"
        android:padding="6dp"
        android:textColor="#000000"
        android:textSize="15sp"
        android:text="Not selected" />

    <TextView
        android:id="@+id/txtMagnitudeInfo"

```

```

        android:layout_width="wrap_content"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:layout_below="@+id/txtFrequencyInfo"
        android:layout_marginStart="50dp"
        android:padding="6dp"
        android:text="Magnitude: "
        android:textColor="#000000"
        android:textSize="15sp" />

<TextView
    android:id="@+id/txtShowMagnitudeInfo"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_below="@+id/txtShowFrequencyInfo"
    android:layout_marginStart="11dp"
    android:layout_toEndOf="@+id/txtMagnitudeInfo"
    android:padding="6dp"
    android:textColor="#000000"
    android:textSize="15sp"
    android:text="Not selected" />

<TextView
    android:id="@+id/txtQualityInfo"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_alignStart="@+id/txtMagnitudeInfo"
    android:layout_below="@+id/txtMagnitudeInfo"
    android:padding="6dp"
    android:text="Quality: "
    android:textColor="#000000"
    android:textSize="15sp" />

<TextView
    android:id="@+id/txtShowQualityInfo"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_alignStart="@+id/txtShowMagnitudeInfo"
    android:layout_below="@+id/txtShowMagnitudeInfo"
    android:padding="6dp"
    android:textColor="#000000"
    android:textSize="15sp"
    android:text="Not selected" />

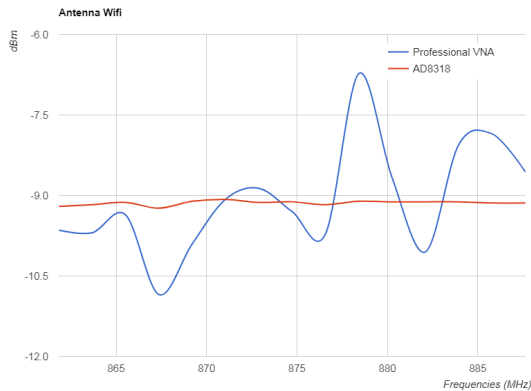
</RelativeLayout>

</LinearLayout>

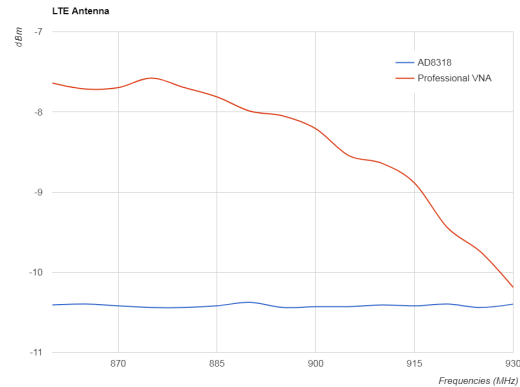
```

CHƯƠNG 3: KẾT QUẢ NGHIỆM THU ĐƯỢC

3.1 Hệ thống thiết bị khi hoạt động thực tế so với thiết bị VNA chuyên nghiệp



Hình: Kết quả của Antenna Wifi



Hình: Kết quả của Antenna LTE

3.2 Đánh giá hệ thống

- Ưu điểm:
 - Hệ thống ổn định, chương trình xử lý khá chính xác
 - Đánh giá được antenna có hoạt động trong băng tần xác định (860MHz đến 930MHz - LoRa) hay không
 - Giá thành thấp (< 100USD)
- Nhược điểm:
 - Băng tần đo nhỏ, chỉ hoạt động trong một số băng tần thông dụng nhất định (315 Mhz, 433 Mhz, 868 Mhz, 2.4 Ghz)
 - Kết quả đo không thể đánh giá chính xác hiệu suất của antenna thông qua thông số đo sai số lớn
 - Khi hoạt động cần có thiết bị di động kèm theo để điều khiển thiết bị

3.3 Kết luận

Sau khi hoàn thành đề tài này, về cơ bản đã xây dựng được một thiết bị phân tích, đánh giá chất lượng antenna trong các thiết bị IoT nhỏ, đơn giản có thể đo và đánh giá antenna ở một số tần số thông dụng hay một dãy tần số (khi có thiết bị di động) tương đối chính xác. Mặc dù chưa thể so sánh được với các thiết bị chuyên dụng về độ chính xác, song đó là bước khởi đầu để phát triển một thiết bị phân tích, đánh

giá chất lượng antenna giá thành thấp, nhỏ gọn. Dưới đây là những kết quả mà đề tài đạt được:

- Về mặt lý thuyết:
 - Nắm được nguyên lý đánh giá chất lượng antenna
 - Hiểu biết thêm về nguyên lý hoạt động của các thiết bị đo, đánh giá sóng chuyên dụng (SNA, VNA, ...)
 - Tìm hiểu thêm một số kỹ thuật cơ bản trong truyền nhận dữ liệu qua Bluetooth
- Về mặt thực nghiệm:
 - Thiết kế hệ thống mạch nhiều tầng, chiếm diện tích nhỏ
 - Xây dựng chương trình ứng dụng điều khiển thiết bị trên hệ điều hành Android. Cho phép điều khiển thiết bị từ xa và hiển thị kết quả một cách trực quan.
 - Cho chạy thử nghiệm thiết bị và đạt được một số kết quả khả quan khi so sánh với các thiết bị chuyên dụng.

3.4 Hướng phát triển

Bên cạnh các kết quả đạt được, đề tài vẫn còn gặp nhiều hạn chế cần phải khắc phục thêm. Đó cũng chính là hướng nghiên cứu mở rộng trong tương lai:

- Nghiên cứu giao tiếp giữa thiết bị với Internet để người dùng có thể điều khiển từ xa, cụ thể là thông qua hệ thống website.
- Nghiên cứu tích hợp các mô-đun rời rạc thành một mô-đun nhỏ gọn hơn, thay vì dùng các mô-đun thiết kế sẵn trên thị trường.
- Cải thiện giao diện của ứng dụng điều khiển thiết bị trên điện thoại.
- Phát triển và mở rộng ứng dụng điều khiển trên các hệ điều hành khác như: IOS, Windows Phone,...
- Nâng cấp khả năng hoạt động độc lập cho thiết bị, cụ thể là có thể đo một dãy tầng số và hiển thị đồ thị kết quả trên chính thiết bị.
- Cải thiện độ chính xác cũng như giảm giá thành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- *The ARRL Antenna Book (21st ed.)*, The American Radio Relay League, Inc., 2007, ISBN 0-87259-987-6
- *Introduction to Network Analyzer Measurements Fundamentals and Background* - National Instruments, <http://www.ni.com/rf-academy>
- Johannes Nehring, Marco Dietz, Robert Weigel, *Highly Integrated 4–32-GHz Two-Port Vector Network Analyzers for Instrumentation and Biomedical Applications*

