



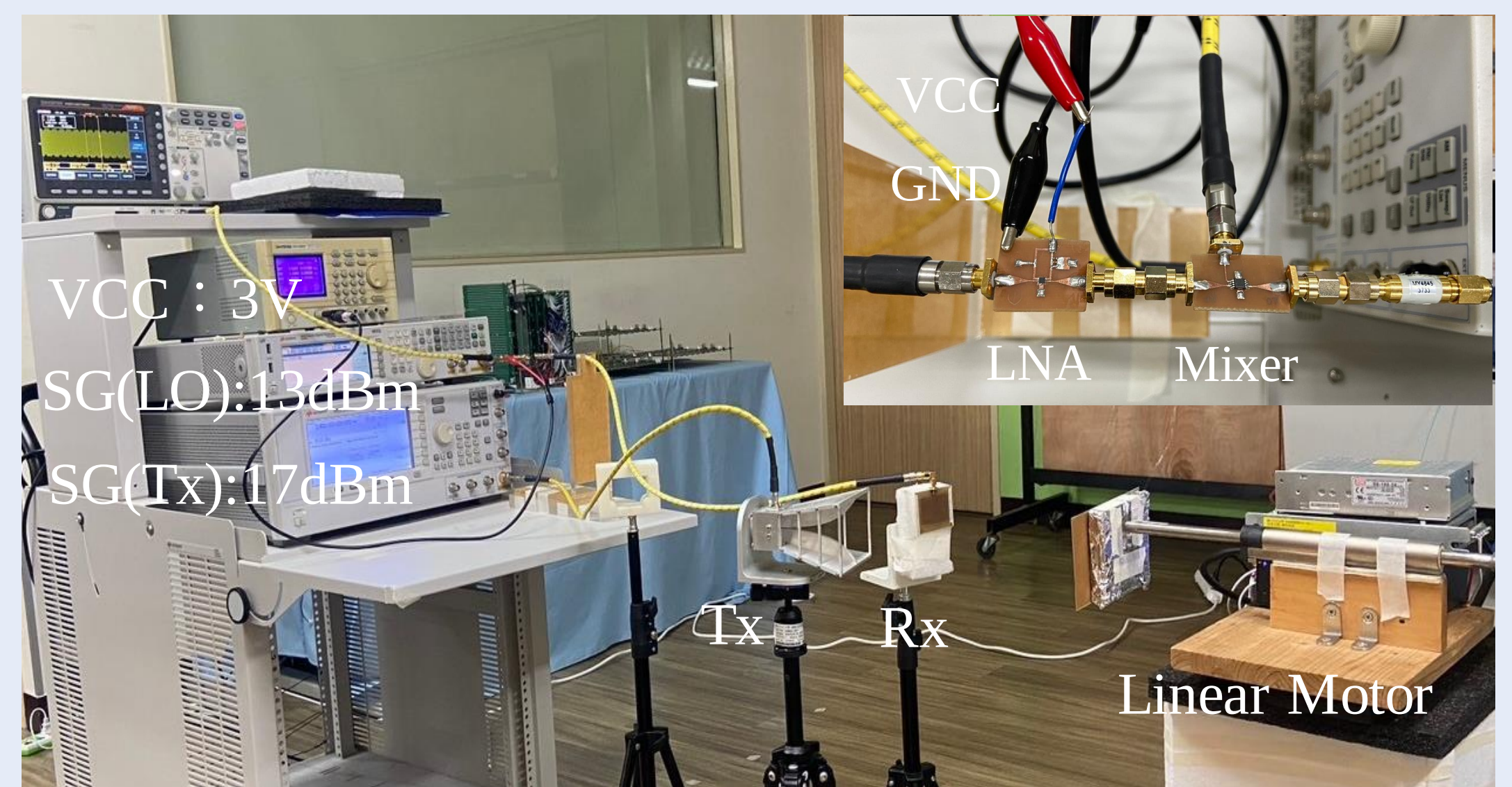
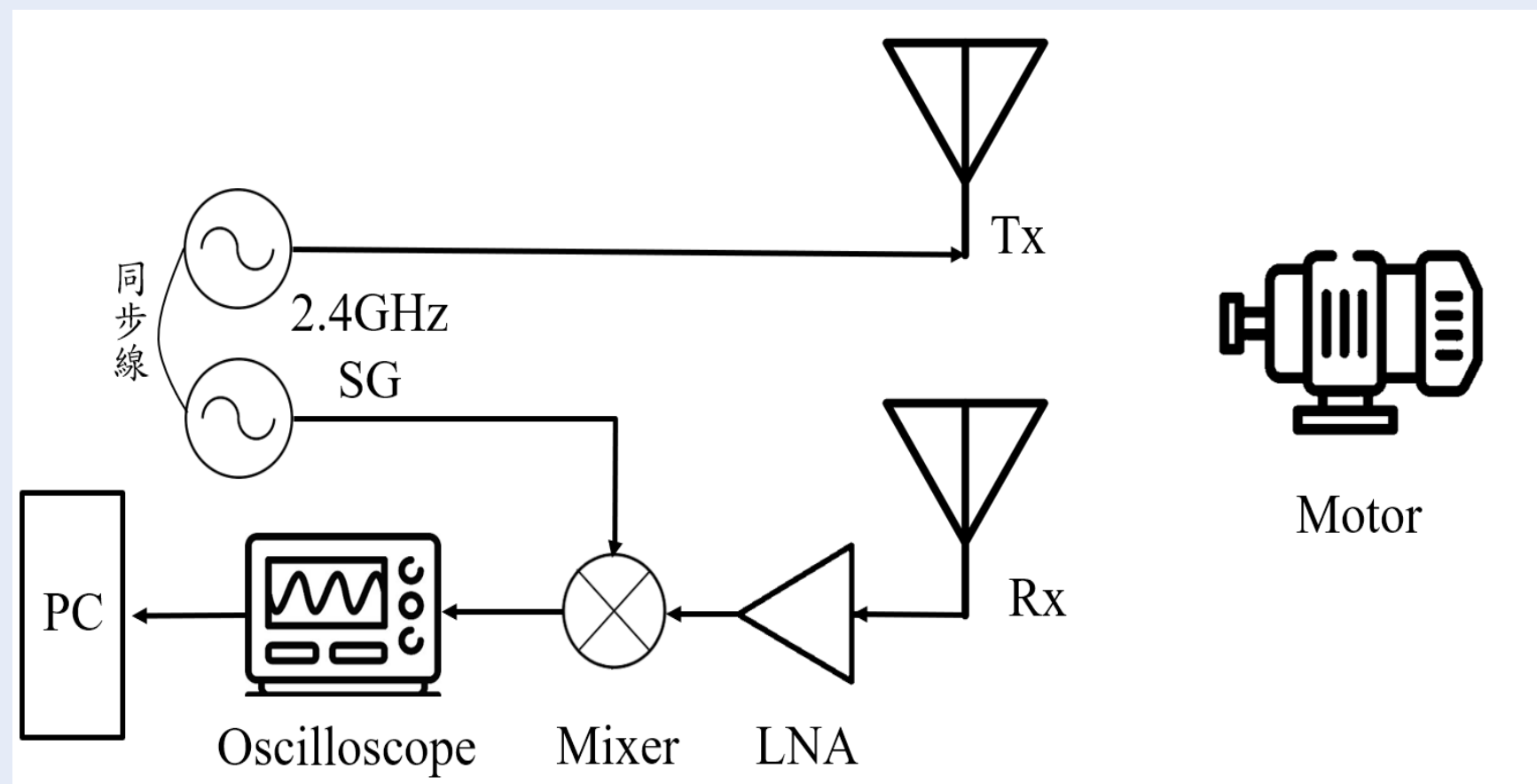
# 2.4 GHz 都卜勒雷達之心率測量

專題生：王璟淳、吳楷鈞 指導教授：張盛富 教授

## 摘要

本專題設計在2.4GHz 下採用都卜勒雷達進行心率測量，並探討此雷達在不同待測對象與環境變因中造成的影響。整體架構與實體圖如下，採用自製2.4GHz之微帶貼片天線、市售LNA及Mixer元件，並透過示波器收集原始訊號，再使用Matlab進行訊號處理，完成雷達接收發與後端處理。

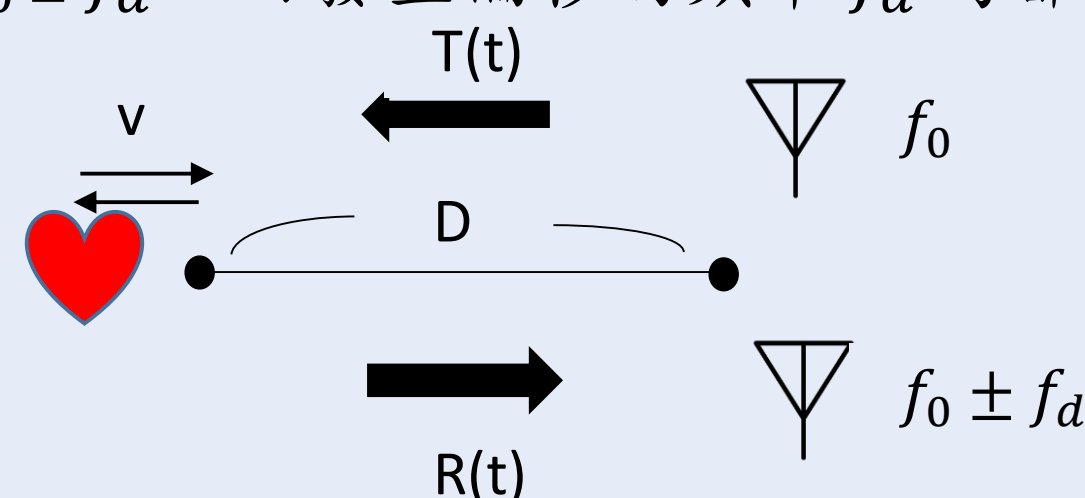
本專題測量為兩階段流程，用以驗證受試者的心跳頻率變化與雷達感測結果。第一階段使用線性馬達在10毫米運動位移下模擬不同頻率之心臟跳動，並在距離天線30、50及100公分下測量都卜勒頻移結果；第二階段測量人體心率，採用與馬達組相同的三種距離進行測量，為確認呼吸與心率不會互相影響，因此測試在呼吸與屏氣下的情況，並透過市售光學式心率感測器比對結果。



## 一、實驗原理

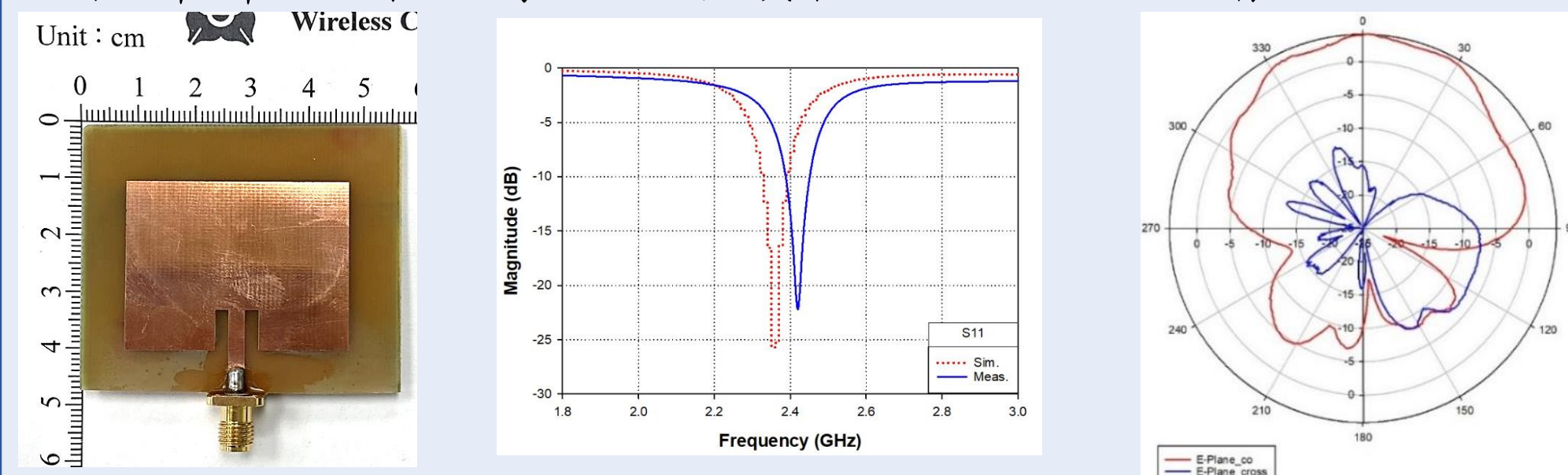
目標物體與觀測者有相對運動時會產生都卜勒效應，因此雷達接收到的反射信號會偏移發射信號的頻率，若發射波頻率為 $f_0$ ，接收到的頻率即為 $f_0 \pm f_d$ ，而發生偏移的頻率 $f_d$ 為都卜勒頻率。

$$f_d = \frac{2vf_0}{c}$$

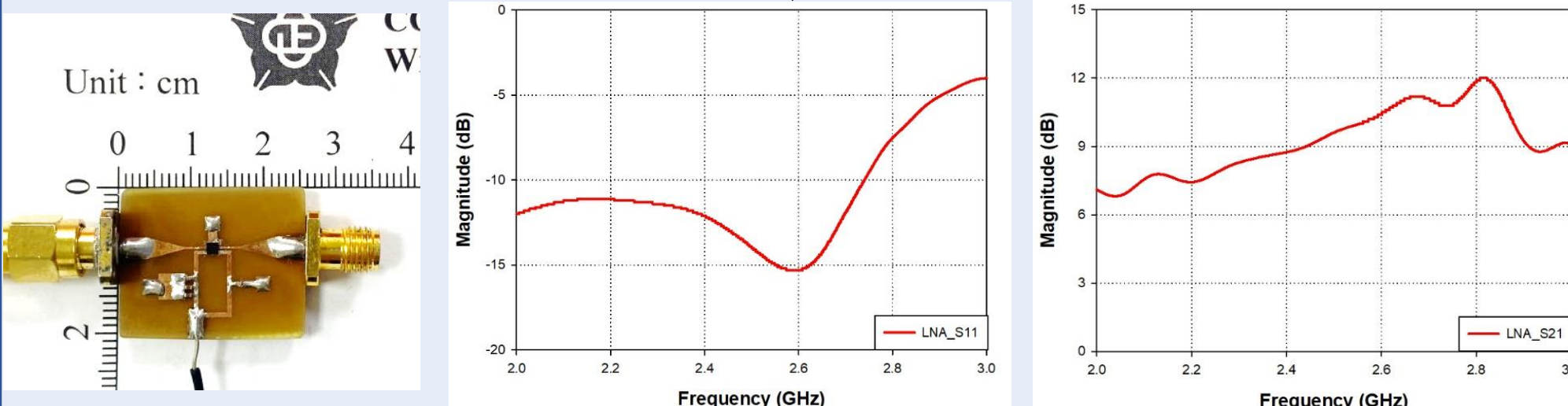


## 二、雷達設計

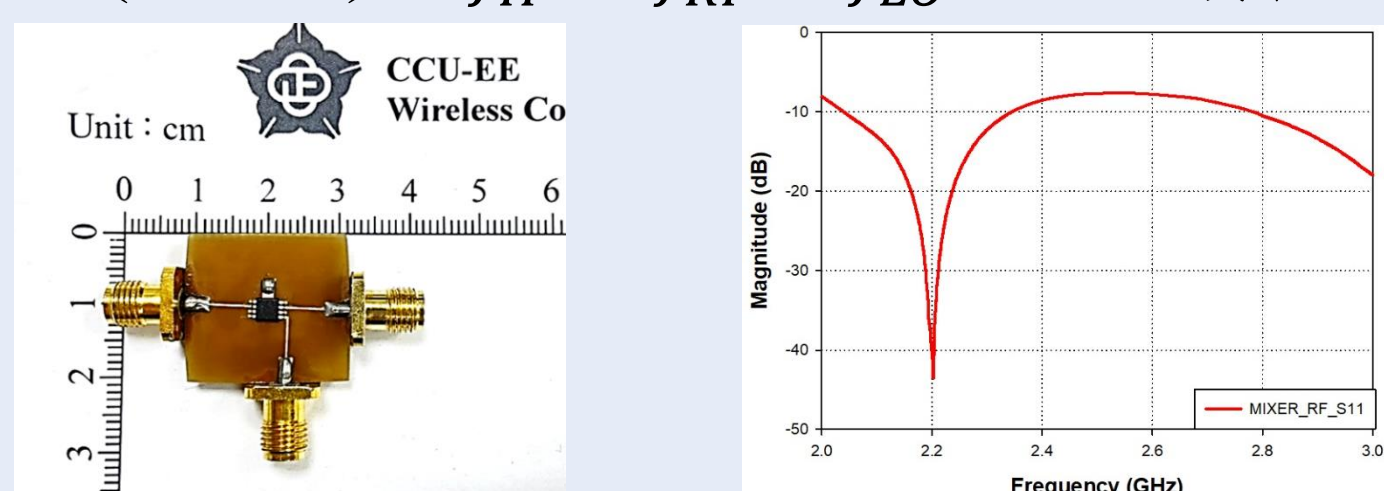
－ 微帶單貼片天線：反射損耗:-13.529dB，增益:3.96dBi



－ 低雜訊放大器(LNA)：反射損耗:-12.167dB，增益:8.76dB



－ 混頻器(Mixer)： $f_{IF} = f_{RF} \pm f_{LO}$ ，反射損耗:-8.515 dB



－ 示波器：採樣頻率為1k Hz，而取樣時長為10秒，採樣點共10k 個點，每個點間隔0.001秒

－ 線性馬達：振幅10毫米，馬達頻率由1至1.4Hz，間隔為0.1 Hz，共5種頻率進行模擬與測試

－ Matlab：FFT快速傅立葉轉換，取得時域轉換後的頻域

## 三、量測結果

－ 馬達：

| 馬達實際<br>頻率(Hz) | 都卜勒頻率<br>理論值(Hz) | 都卜勒頻率<br>測量值(Hz) | 頻率(Hz) | 30公分     | 50公分     | 100公分    |
|----------------|------------------|------------------|--------|----------|----------|----------|
| 1              | 0.64             | 1                | 1      | 0.013400 | 0.019340 | 0.001441 |
| 1.1            | 0.7              | 1.1              | 1.1    | 0.013976 | 0.019697 | 0.003290 |
| 1.2            | 0.77             | 1.2              | 1.2    | 0.014483 | 0.018523 | 0.003234 |
| 1.3            | 0.83             | 1.3              | 1.3    | 0.013667 | 0.016386 | 0.002647 |
| 1.4            | 0.89             | 1.4              | 1.4    | 0.012573 | 0.016755 | 0.003021 |

單位：V

從測量結果可以得到，根據都卜勒效應所造成的頻率變化實測結果值並非估算之理論值，但呈現相同的增加趨勢，且測量之結果相當於馬達實際頻率。推估其原因是馬達為簡諧運動，故移動過程中有加減速度，而都卜勒頻移公式中為等速度移動，因此無法直接套用。此外，在實測結果中發現距離為50公分時有較高的振幅，於100公分時則最弱。

－ 人體：

| 30cm      | 實際<br>呼吸 | 量測<br>呼吸 | 手錶<br>心率   | 量測<br>心率 | 100cm | 實際<br>呼吸 | 量測<br>呼吸 | 手錶<br>心率    | 量測<br>心率 |
|-----------|----------|----------|------------|----------|-------|----------|----------|-------------|----------|
| 呼吸        | 0.4      | 0.4      | 1.15 - 1.2 | 1        | 呼吸    | 0.35     | 0.4      | 1.05 - 1.07 | 0.9      |
| 憋氣        |          |          | 1.1 - 1.12 | 1.1      | 憋氣1   |          |          | 1.13 - 1.2  | 0.8、1.4  |
| 運動後<br>憋氣 |          |          | 1.46 - 1.8 | 1.3、1.5  | 憋氣2   |          |          | 1.1 - 1.16  | 0.6、1.2  |

| 50cm | 實際<br>呼吸 | 量測<br>呼吸 | 手錶<br>心率    | 量測<br>心率 | 單位：V        | 30公分    | 50公分    | 100公分   |
|------|----------|----------|-------------|----------|-------------|---------|---------|---------|
| 呼吸   | 0.3      | 0.3      | 1.05 - 1.13 | 1        | 憋氣時<br>心率   | 0.00075 | 0.00042 | 0.00021 |
| 憋氣   |          |          | 1.1 - 1.14  | 1        | 呼吸時<br>肺部起伏 | 0.01200 | 0.00430 | 0.00340 |

在憋氣下進行測量心率並與市售光學手錶比對，距離30公分時的頻率幾乎沒有產生誤差，50公分時誤差來到0.1Hz，而在100公分時已開始難以辨別且頻率誤差大。然而，若同時存在呼吸，三種距離皆可區分呼吸與心跳的頻率。而在不同距離的量測下，在30公分效果最佳，距離越遠則馬達精準度越差，且訊號越弱，雖與馬達實測結果不同，但與我們所推測的結果相同。

## 四、結論

針對距離不同所造成的誤差，希望可以在未來進行改善，讓使用者在一定範圍內皆有良好的測量結果，並更進一步使測量儀器簡化以提高其便利性。