

# 微波系統導論實驗二

## 網路分析儀雙埠校準與微波放大器量測

### 2-1 網路分析儀雙埠校準

#### 實驗原理：

在實驗一使用網路分析儀進行單埠校準後，可量測天線的輸入阻抗特性。當待測物為雙埠元件時如圖 1(a)所示，則須對網路分析儀進行雙埠校準。以 S 參數表示雙埠待測物之特性，則矩陣參數表示為

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

其中  $S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0}$  ,  $S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0}$  ,  $S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0}$  ,  $S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0}$  ,  $a_1$  及  $a_2$  為第 1 及第 2 埠之輸入信號， $b_1$  及  $b_2$  為第 1 及第 2 埠之輸出訊號。

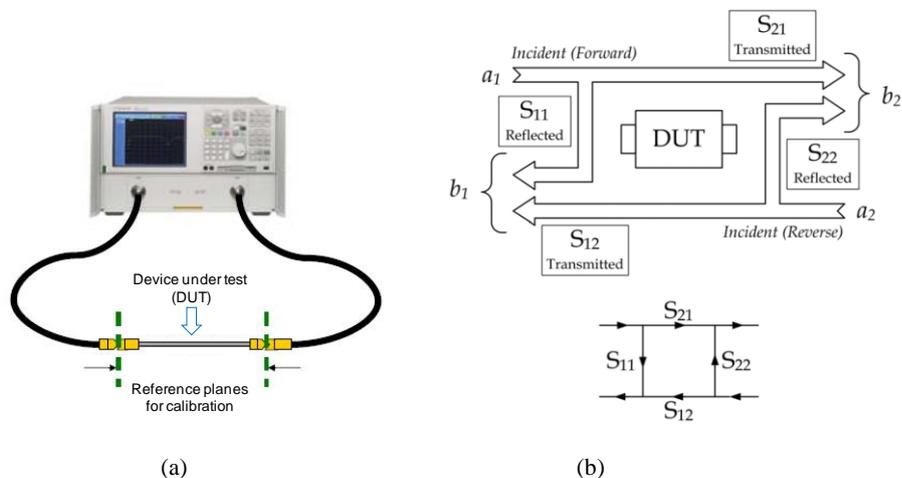


圖1、(a) 網路分析儀雙埠量測以及(b) S參數示意圖。

圖1(b)為待測之雙埠網路S參數示意圖， $S_{11}$ 代表埠1的反射係數(reflection coefficient)， $S_{22}$ 代表埠2的反射係數，由反射係數可以求得待測元件的輸入阻抗 $Z_{in}$ 、反射損耗(return loss, RL)、電壓駐波比(VSWR)等參數； $S_{21}$ 代表正向穿透係數(transmission coefficient)， $S_{12}$ 代表反向穿透係數，由穿透係數則可以求得待測元件之衰減常數 $\alpha$ 、穿透損耗(insertion loss, IL)等參數。各S參數之定義與其代表意義列於表一中。圖1(b)為理想之雙埠元件S參數，實際上，網路分析儀由射頻訊號源發射之微波訊號，經過網路分析儀之內部電路，到達待測元件時，已受到內部電路之反射、不匹配和元件頻率響應等影響，而這些因素將造成量測上的誤差。

| S-參數     | 定義               | 量測值       |
|----------|------------------|-----------|
| $S_{11}$ | $b_1/a_1, a_2=0$ | 埠1反射係數    |
| $S_{21}$ | $b_2/a_1, a_2=0$ | 埠1至埠2穿透係數 |
| $S_{12}$ | $b_1/a_2, a_1=0$ | 埠2至埠1穿透係數 |
| $S_{22}$ | $b_2/a_2, a_1=0$ | 埠2反射係數    |

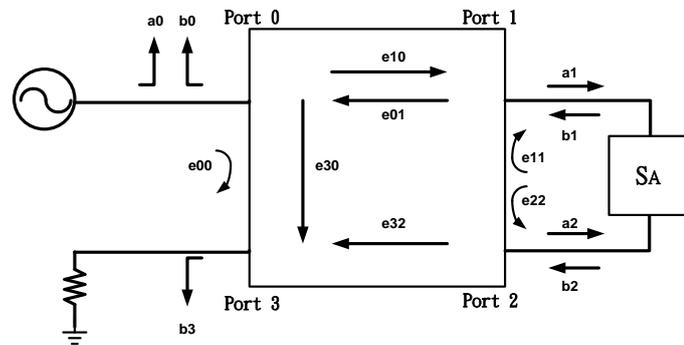
表一、S參數之定義與其代表意義。

量測系統誤差網路共以12項誤差係數表示，其中對應於 $S_{21}$  穿透係數之6項誤差係數，如圖2(a)所示，其量測值分別為 $S_{21m} = b_3/a_0$ 及 $S_{12m} = b_0/a_3$ ，而待測元件 $S_A$ 之穿透係數為 $S_{21} = b_2/a_1$ 以及 $S_{12} = b_1/a_2$ ，圖2 (b) 為其信號流程圖，故在開始使用網路分析儀前，必須先進行校準(calibration)。

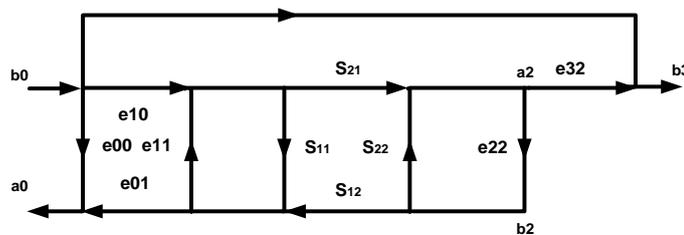
圖3.3(b) 中待測之6項誤差係數 $e_{00}$ 、 $e_{11}$ 、 $e_{10}e_{01}$ 、 $e_{22}$ 、 $e_{32}$ 及 $e_{30}$ ，則可經由下述之校準程序得到。

- (a) 按實驗一之反射係數校準，量測開路(open)、短路(short)及50 歐姆(50Ω load)三個標準元件，可得 $e_{00}$ 、 $e_{11}$ 及 $e_{10}e_{01}$  項。
- (b) 將埠1及埠2均與50歐姆相接，則可得 $e_{30}$ 項。
- (c) 將埠1及埠2直接相接(Thru)，則可由穿透量測得 $e_{10}e_{32}$ ，而於反射量測得 $e_{22}$ 。

按上述(a)–(c)校準程序，可由6次量測，得到6個非線性方程式，求解6個誤差係數，由此待測物之反射係數 $S_{11}$  及穿透係數 $S_{21}$ ，則可由量測值 $S_{11m}$ 及 $S_{21m}$ 求得。 $S_{12}$ 及 $S_{22}$ 之校準與上述相同，須加做埠2之反射係數校準，即可將12項誤差係數求出，可推得待測物之雙埠S參數。



(a)



(b)

圖2、雙埠S參數量測(a)包含誤差網路之示意圖及(b)信號流程圖。

### 實驗器材：

1. Agilent N5230A、E5071C 網路分析儀
2. Agilent 85052D 50Ω 3.5mm 校準器 (calibration kit)

### 實驗目的：

使同學能熟悉網路分析儀的基本操作，並量測微波放大器之雙埠S參數。

### 實驗步驟：

1. 設定網路分析儀之校準頻率範圍。
2. 設定頻率範圍內之取點數。
3. 確認網路分析儀的輸入功率低於-20 dBm
4. 使用校準精靈，選擇雙埠校準，校準器為 85052D。
5. 分別量測開路、短路、50Ω 以及埠 1 與埠 2 對接。
6. 校準後，檢查埠 1 對接埠 2 特性是否正確。
7. 觀察 Smith Chart 之阻抗位置是否合理。

### ★ 網路分析儀為精密昂貴之實驗儀器，使用時須注意下列事項：

1. 不要自行加直流信號於待測電路上，以免網路分析儀**燒燬**。
2. 將待測物與網路分析儀上的傳輸線連接時，**若接頭無法順利旋入，不可用蠻力將其旋入**，應立即將其退出，重新旋入，以避免接頭上的螺紋磨損。
3. 網路分析儀上的兩條傳輸線**不得任意扭轉，否則會折斷**。左右扭轉的曲率半徑則須**大於 10cm**。
4. 使用校準器校準時，**用畢請隨時將其放回校準盒內**，以避免遺失或污損。
5. 若因事要暫時離開不用時，請先將螢幕的亮度減低，以延長螢幕的使用壽命。
6. 網路分析儀使用完畢時，請將校準器與傳輸線接頭蓋上保護蓋。

**網路分析儀以及校準器皆為極精密昂貴之器材，請同學務必遵守上述規定。**

## 2-2 微波放大器之小訊號特性量測

### 實驗原理：

圖 3 所示為一為無線收發端示意圖，將欲傳送之訊號饋入天線發射前，通常會經過一微波功率放大器(power amplifier, PA)，其目的主要為增加訊號的功率，藉此可增加訊號傳送的距離，而在接收天線收到訊號時，會經過低雜訊放大器(low noise amplifier, LNA)，主要目的是將接收到的訊號放大並維持足夠的 S/N，進而傳送至下一級電路處理。PA 及 LNA 都屬於微波放大器，其基本特性是提供輸入訊號的增益並且符合輸入及輸出阻抗之匹配。微波放大器之雙埠 S 參數可透過網路分析儀測量得到，此特性為放大器之小訊號的特性。圖 4 (a)為微波放大器之示意圖，在量測微波放大器之雙埠 S 參數可預期到的結果如圖 4 (b)所示，其增益為  $G_T$ ，而輸入之反射損失 return loss 為  $-R_L$ 。通常希望輸入訊號之能量有 90%以上有效饋入至微波放大器提升功率並且傳送至輸出負載，故定義  $-R_L < -10$  dB 為有效頻寬，如圖中綠色範圍所示。

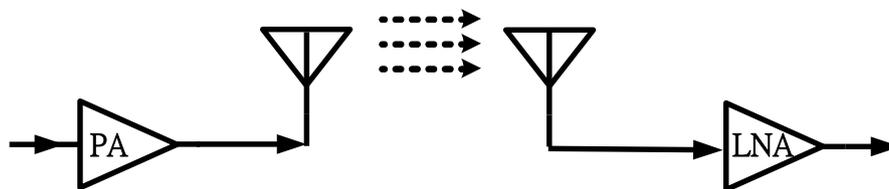


圖3、微波傳播之收發端示意圖。

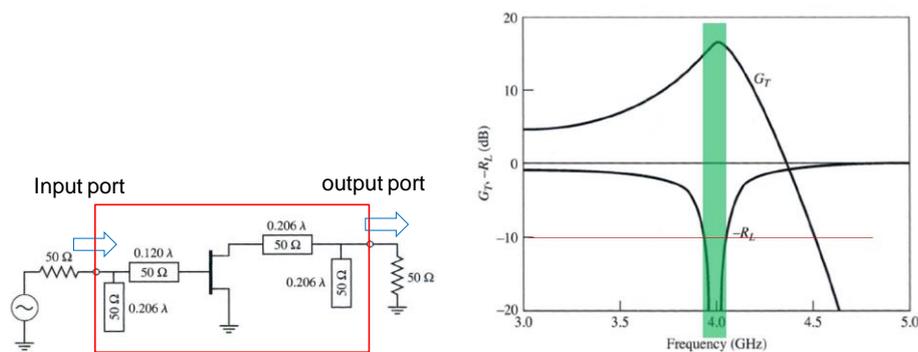


圖4、(a)微波放大器示意圖及(b)S參數特性。

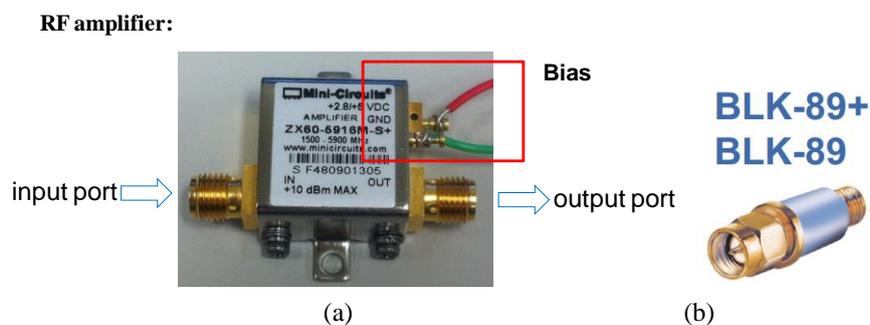


圖5、Mini-Circuit (a)微波放大器及(b)電容(DC block)。

此實驗提供兩個微波放大器進行量測，其一如圖 5 所示，本實驗需注意下列兩點：

- (一) 請先確認放大器的  $V_{DC}$  值為多少，並且依照實驗表格限制電源供應器之輸出電流
- (二) 請確認放大器之輸入及輸出方向，在使用網路分析儀量測時，輸入及輸出均確認串接 DC block 電容，阻擋 DC 電流流回 VNA 以保護 VNA。

### **實驗器材：**

1. Agilent N5230A、E5071C 網路分析儀
2. Agilent 85052D 50  $\Omega$  3.5mm 校準器 (calibration kit)
3. MiniCircuit ZX60-6013E+
4. MiniCircuit ZX60-5916M+
5. DC block  $\times 2$  (BLK-89+)
6. 電源供應器

### **實驗目的：**

測量微波放大器之雙埠 S 參數特性(小訊號參數)。

### **實驗步驟：**

1. 確認網路分析儀的輸出功率低於 -20 dBm，以確保放大器量測特性為小訊號線性結果。
2. 對網路分析儀進行雙埠校準。
3. 量測 DC block 的特性，並且記錄可操作頻寬。
4. 確認待測之微波放大器之 VDC 偏壓，及設定電源供應器之限流輸出。
5. 確認微波放大器之輸入及輸出端點，並且接上 DC block。
6. 先請助教檢查電路連接是否正常，確認已接好 DC block，檢查過後才能開啟電源。
7. 開啟電源供應器，確認微波放大器直流特性。
8. 測量微波放大器之特性，記錄 5GHz 之 S 參數及放大器操作頻寬。

## 2-3 微波放大器之大訊號特性量測

### 實驗原理：

根據 2-2 節之實驗可量測微波放大器之小訊號特性，此時放大器的特性可視為線性操作，即輸入功率與輸出功率維持固定倍數。如圖 6 所示，當輸入功率逐漸提高，而輸出功率因為電晶體之非線性效應而趨於飽和，為了描述放大器的線性操作區域，故訂定了一項特徵，稱為 1 dB 壓縮點。當放大器操作在 1 dB 壓縮點的時候，其增益為小訊號增益扣掉 1 dB，此時的輸入功率為  $IP_{1dB}$ (input 1 dB compressed point)，而輸出功率為  $OP_{1dB}$ (output 1 dB compressed point)。而當輸入訊號之功率持續上升時，而輸出功率已經飽和至一定值，此為放大器提供之最大輸出功率，我們稱之為輸出飽和功率 ( $P_{sat}$ , saturation power)。量測 1 dB 壓縮點的方式，可藉由饋入不同的訊號功率，同時記錄相對應之輸出功率，即可畫出如圖 6 之曲線，並透過量測推導其 1 dB 增益壓縮點。請注意輸出功率與輸入功率之對應關係和放大器之操作頻率相關，因此需明確指出量測所得之功率曲線是在何種頻率下所得結果。

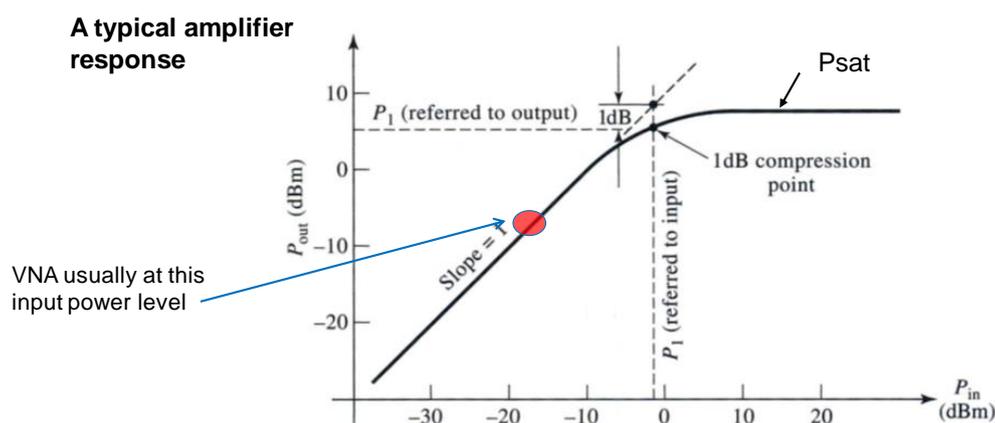


圖6、微波放大器之輸入功率對輸出功率定義圖。

### 實驗器材：

1. 微波射頻源 (HP 8350A Sweep Oscillator)
2. 功率計 (Agilent 4418B)
3. 功率感測器 (Agilent E4412A) 或頻譜分析儀 (Signal Hound SA-124B+PC)
4. 轉接頭 (N-SMA)
5. 同軸纜線 (SMA cable)
6. MiniCircuit ZX60-6013E+
7. MiniCircuit ZX60-5916M+
8. DC block ×2 (BLK-89+)

## 實驗目的：

測量微波放大器之輸出功率對輸入功率特性(大訊號參數)。

## 實驗步驟：

1. 參照附錄二操作程序，對功率計進行校準，或使用頻譜分析儀量測功率，並記錄同軸纜線及轉接頭的總損耗。
2. 調整微波射頻源之輸出頻率為 5 GHz、功率為 5 dBm。
3. 將輸入端與輸出端之轉接器對接以量測放大器之輸入功率  $P_{in}$ ，並將該值記錄於實驗記錄表中。
4. 請確實將放大器輸入連接至微波射頻源輸出端，功率感測器連接至放大器輸出端。
5. 記錄此時的接收功率  $P_{out}$  於表中，並計算放大器之增益。
6. 請確認此增益是否符合網路分析儀所量測之  $S_{21}$  值。
7. 將  $P_{in}$  逐漸調大，觀察增益 1dB 壓縮點，並記錄於實驗記錄表中。
8. 將兩顆微波放大器串接，並且重複步驟 2 至步驟 7。

## 實驗二 微波放大器實驗報告

1. 請解釋根據校準之“S”,“O”, “L”, “T” 所表達之意義。
2. 請繪出 DC block 之 S 參數，並且指出其可使用範圍(以  $RL > 20$  dB 為準)。
3. 請繪出 5916M+ 及 6013E+之 S 參數，並且指出其可使用範圍(以  $RL > 10$  dB 為準)。
4. 請問 5916M+ 及 6013E+在 5 GHz 之輸入阻抗及輸出阻抗。
5. 請問 SMA cable 在 5 GHz 的損耗。(單位 dB/m)
6. 根據實驗記錄表請繪出兩顆放大器  $P_{out}$  vs  $P_{in}$  以及 Gain vs  $P_{in}$ ，並找出輸出 P1dB 值。
7. 根據實驗記錄表請繪出兩種串接方式的  $P_{out}$  vs  $P_{in}$  以及 Gain vs  $P_{in}$ ，並找出對應的輸出 P1dB 值。思考可否由單獨一級放大器各自的 P1dB 預測串接後的 P1dB?
8. 計算兩顆放大器在 P1dB 時的 PAE。
9. 附上實驗記錄表。

## 實驗二 實驗記錄表

組別：

1. 網路分析儀雙埠校準(選取頻率範圍、點數，進行 SOLT 校準)
2. 量測 DC block 的特性，並記錄在 5 GHz 之損耗

DC block:  $S_{21} =$  dB

$S_{11} =$  dB

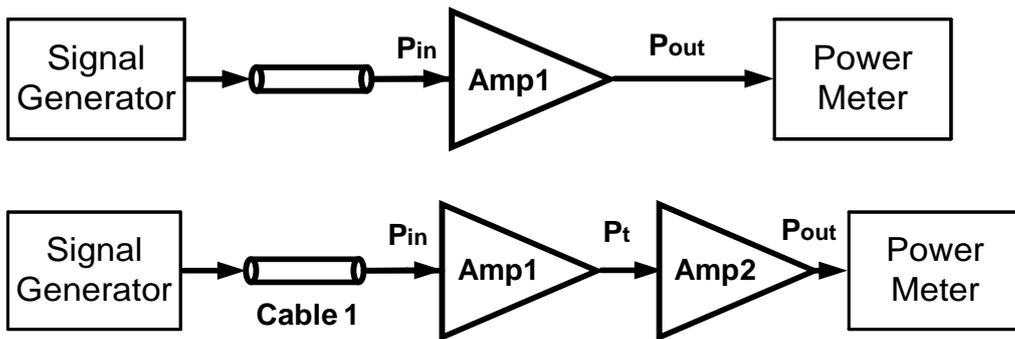
\*請存檔 csv 格式(S-parameter (dB) vs. frequency)

3. 微波放大器小訊號參數量測，記錄頻率為 5 GHz 之 S 參數  
(請確認輸入及輸出均接上 DC block)

| Amplifier code | $V_D$ | $I_D$ | $S_{21}$ | $S_{11}$ | $S_{22}$ | $S_{12}$ |
|----------------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
| 5916M(+)       | 5     |       |          |          |          |          |
| 6013E+         | 12    |       |          |          |          |          |

\*請存檔 csv 格式(S-parameter (dB) vs. frequency)

4. 微波放大器大訊號參數量測(找尋 P1dB、Psat)  
(請確認輸入及輸出均接上 DC block)



步驟 1: 校準功率計並記錄同軸纜線及轉接頭之損耗。

步驟 2: 將微波射頻源之輸入訊號調整至 5GHz 功率為 5dBm，饋入 5916M(+)  
及 6013E+放大器，並且確認增益與小訊號增益一致。

步驟 3: 將微波射頻源之功率由 5dBm 每隔 1dBm 增加至 15dBm，記錄 5916M(+)  
及 6013E+微波放大器的 Pout 對 Pin 之關係。

步驟 4: 將 5916M(+)  
串接 6013E+後測量兩級放大器之 Pout 對 Pin 之關係。

步驟 5: 將 6013E+串接 5916M(+)  
後測量兩級放大器之 Pout 對 Pin 之關係。

微波放大器型號: 5916M

| 微波射頻源<br>設定輸出功率<br>(dBm) | 放大器輸入功率<br>(dBm) | 功率計測得之功率<br>(dBm) | 放大器增益<br>(dB) |
|--------------------------|------------------|-------------------|---------------|
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |

微波放大器型號: 6013E

| 微波射頻源<br>設定輸出功率<br>(dBm) | 放大器輸入功率<br>(dBm) | 功率計測得之功率<br>(dBm) | 放大器增益<br>(dB) |
|--------------------------|------------------|-------------------|---------------|
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |

微波放大器 5916M 串接 6013E

| 微波射頻源<br>設定輸出功率<br>(dBm) | 放大器輸入功率<br>(dBm) | 功率計測得之功率<br>(dBm) | 放大器增益<br>(dB) |
|--------------------------|------------------|-------------------|---------------|
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |

微波放大器型號 6013E 串接 5916M

| 微波射頻源<br>設定輸出功率<br>(dBm) | 放大器輸入功率<br>(dBm) | 功率計測得之功率<br>(dBm) | 放大器增益<br>(dB) |
|--------------------------|------------------|-------------------|---------------|
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |
|                          |                  |                   |               |

TA's signature: \_\_\_\_\_

Date: \_\_\_\_\_