



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I501544 B

(45)公告日：中華民國 104 (2015) 年 09 月 21 日

(21)申請案號：101145009

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 11 月 30 日

(51)Int. Cl. : H03F1/30 (2006.01)

H03G3/20 (2006.01)

H04B1/04 (2006.01)

(71)申請人：環旭電子股份有限公司(中國大陸) UNIVERSAL SCIENTIFIC INDUSTRIAL (SHANGHAI) CO., LTD. (CN)

中國大陸

環鴻科技股份有限公司(中華民國) UNIVERSAL GLOBAL SCIENTIFIC INDUSTRIAL CO., LTD. (TW)

南投縣草屯鎮太平路 1 段 351 巷 141 號

(72)發明人：丁兆明 DING, JAW MING (TW)；李威弦 LEE, WEI HSUAN (TW)；邱文斗 CHIU, WEN TOU (TW)

(74)代理人：陳長文

(56)參考文獻：

TW 201044773A

US 20050088237A1

US 20060182197A1

US 20080218270A1

審查人員：蘇齊賢

申請專利範圍項數：10 項 圖式數：6 共 28 頁

(54)名稱

電子系統、射頻功率放大器及其溫度補償方法

ELECTRONIC SYSTEM、RF POWER AMPLIFIER AND TEMPERATURE COMPENSATION METHOD THEREOF

(57)摘要

本發明實施例提供一種射頻功率放大器，射頻功率放大器包括加法電路、輸出級電路與差動電路。加法電路具有第一比值與第二比值，加法電路接收參考電壓與回授電壓並予以運算後輸出加法電壓，其中回授電壓為負溫度係數之電壓，參考電壓為具有正溫度係數之第一電壓與具負溫度係數之第二電壓之總合。輸出級電路用以提供回授電壓。差動電路具有一第一乘數因子，將加法電壓乘以第一乘數因子後提供輸出電壓至輸出級電路。射頻功率放大器透過調整參考電壓之溫度係數以穩定輸出電流。

A radio frequency (RF) power amplifier is disclosed. The RF power amplifier includes an adder circuit, an output-stage circuit and a differential circuit. The adder circuit has a first ratio and a second ratio, and receives a reference voltage and a feedback voltage so as to output an output voltage after operation, wherein the feedback voltage is a voltage with negative temperature coefficient, and the reference voltage is a sum of a first voltage with negative temperature coefficient and a second voltage with positive temperature coefficient. The output-stage circuit is used for providing the feedback voltage. The differential circuit has a first multiplier factor, and the differential circuit makes the first multiplier factor be multiplied with the adder voltage so as to provide a voltage to the output-stage circuit. The RF power amplifier stabilizes an output current through adjusting the temperature coefficient of the reference voltage.

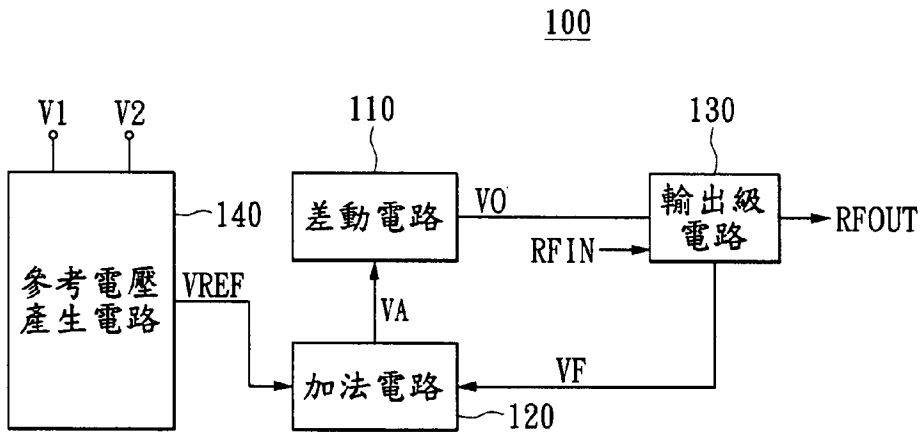


圖 1

- 100 . . . 射頻功率放大器
- 110 . . . 差動電路
- 120 . . . 加法電路
- 130 . . . 輸出級電路
- 140 . . . 參考電壓產生電路
- RFIN . . . 射頻輸入信號
- RFOUT . . . 射頻輸出信號
- V1 . . . 第一電壓
- V2 . . . 第二電壓
- VA . . . 加法電壓
- VF . . . 回授電壓
- VO . . . 輸出電壓
- VREF . . . 參考電壓

## 發明專利說明書

104年5月29日修正替換頁

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：101145009

※ 申請日：101年11月30日

※IPC 分類：H03F 1/30(2006.01)  
H03G 3/30(2006.01)  
H04B 1/04(2006.01)

## 一、發明名稱：(中文/英文)

電子系統、射頻功率放大器及其溫度補償方法 /  
ELECTRONIC SYSTEM、RF POWER AMPLIFIER  
AND TEMPERATURE COMPENSATION METHOD  
THEREOF

## 二、中文發明摘要：

本發明實施例提供一種射頻功率放大器，射頻功率放大器包括加法電路、輸出級電路與差動電路。加法電路具有第一比值與第二比值，加法電路接收參考電壓與回授電壓並予以運算後輸出加法電壓，其中回授電壓為負溫度係數之電壓，參考電壓為具有正溫度係數之第一電壓與具負溫度係數之第二電壓之總合。輸出級電路用以提供回授電壓。差動電路具有一第一乘數因子，將加法電壓乘以第一乘數因子後提供輸出電壓至輸出級電路。射頻功率放大器透過調整參考電壓之溫度係數以穩定輸出電流。

## 三、英文發明摘要：

A radio frequency (RF) power amplifier is disclosed. The RF power amplifier includes an adder circuit, an output-stage circuit and a differential circuit. The adder circuit has a first ratio and a second ratio, and receives a reference voltage and a

feedback voltage so as to output an output voltage after operation, wherein the feedback voltage is a voltage with negative temperature coefficient, and the reference voltage is a sum of a first voltage with negative temperature coefficient and a second voltage with positive temperature coefficient. The output-stage circuit is used for providing the feedback voltage. The differential circuit has a first multiplier factor, and the differential circuit makes the first multiplier factor be multiplied with the adder voltage so as to provide a voltage to the output-stage circuit. The RF power amplifier stabilizes an output current through adjusting the temperature coefficient of the reference voltage.

#### 四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖 1。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

100：射頻功率放大器

110：差動電路

120：加法電路

130：輸出級電路

140：參考電壓產生電路

RFIN：射頻輸入信號

RFOUT：射頻輸出信號

V1：第一電壓

V2：第二電壓

VA：加法電壓

VF：回授電壓

VO：輸出電壓

VREF：參考電壓

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：無

## 六、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明有關於一種射頻功率放大器，且特別是關於一種具有溫度補償之射頻功率放大器。

### 【先前技術】

在無線通訊手持設備中，主要的直流功率消耗來自於射頻功率放大器。因此，使射頻功率放大器既能具有高線性度而不致讓放大訊號失真，並能同時具有高效率以延長通訊時間，一直是射頻功率放大器設計之研究重點。尤其在無線通訊系統中所廣為採用之正交頻分多工(OFDM)數位調制技術具有明顯的時變波包特性，其峰值與平均功率比值常數(PAPR)遠較現有的無線通訊系統為高，換言之其波包對時間變化較為劇烈，因此對射頻功率放大器的線性度要求也會比較高。

在習知技藝中，利用能帶隙參考電路來作為功率放大器中的偏壓電路，雖然可以提供具有接近零溫度係數的參考電壓，但是因為功率放大器中的功率放大器電晶體為雙載子接面電晶體，其電流增益(Beta)具有負溫度係數之特性，所以電流增益(Beta)會隨著溫度的上升而遞減，進而可能會導致輸出電流與輸出功率下降的問題，故存在著功率放大器之線性度衰減以至使放大信號失真之隱憂。

### 【發明內容】

本發明實施例提供一種射頻功率放大器，射頻功率放大器包括加法電路、輸出級電路與差動電路。加法電路具

小 之 內

有一第一比值與一第二比值，所述加法電路接收參考電壓與回授電壓並予以運算後輸出加法電壓，其中回授電壓為負溫度係數之電壓，參考電壓為具有正溫度係數之第一電壓與具負溫度係數之第二電壓之總合，並且加法電壓為參考電壓乘以第一比值與回授電壓乘以該第二比值之總合。輸出級電路耦接加法電路，輸出級電路用以提供回授電壓。差動電路電性連接加法電路，差動電路具有第一乘數因子，用以將所接收之加法電壓乘以第一乘數因子後提供輸出電壓至輸出級電路。當參考電壓為零溫度係數之電壓，則輸入電流為零溫度係數之電流，或者當參考電壓為正溫度係數之電壓且輸出級電路之輸入電流與輸出電流間之比值常數為具負溫度係數之特性，則輸出電流為零溫度係數之電流。

本發明實施例另提供一種電子系統，電子系統包括射頻功率放大器與負載。射頻功率放大器接收射頻輸入信號且輸出射頻輸出信號。負載耦接射頻功率放大器，所述負載接收射頻功率放大器所輸出之射頻輸出信號。

本發明實施例再提供一種溫度補償方法。

本發明實施例所提出之電子系統、射頻功率放大器及其溫度補償方法，能夠提供優良的溫度補償效應，使得功率放大器之輸出功率與輸出電流相對於溫度變化時仍然保持穩定，進而維持高線性度不致讓放大信號失真。

為使能更進一步瞭解本發明之特徵及技術內容，請參閱以下有關本發明之詳細說明與附圖，但是此等說明與所附圖式僅係用來說明本發明，而非對本發明的權利範圍作任何的限制。

### 【實施方式】

請參照圖 1，圖 1 為根據本發明實施例之射頻功率放大器之區塊示意圖。如圖 1 所示，射頻功率放大器 100 包括差動電路 110、加法電路 120、輸出級電路 130 與參考電壓產生電路 140。

在本實施例中，加法電路 120 具有第一比值與第二比值，加法電路 120 接收參考電壓  $V_{REF}$  與回授電壓  $V_F$ ，並且加法電路 120 根據所接收之參考電壓  $V_{REF}$  與回授電壓  $V_F$  予以進行運算後輸出一加法電壓  $V_A$ ，其中加法電壓  $V_A$  為參考電壓  $V_{REF}$  乘以第一比值與回授電壓  $V_F$  乘以第二比值之總合。所述回授電壓  $V_F$  為具有負溫度係數之電壓，且所述參考電壓  $V_{REF}$  為具有正溫度係數之第一電壓  $V_1$  與具有負溫度係數之第二電壓  $V_2$  之總合。

輸出級電路 130 用以提供具負溫度係數之回授電壓  $V_F$  至加法電路 120。換句話說，射頻功率放大器 100 透過回授機制從輸出級電路 130 回授一回授電壓  $V_F$  至加法電路 120。在交流信號模式下，輸出級電路 130 接收射頻輸入信號  $R_{FIN}$ ，並且輸出射頻輸出信號  $R_{FOUT}$  至下一級電路區塊(圖 1 未繪示)，其中輸出級電路 130 之輸入端與輸出端具有一輸入匹配電路(圖 1 未繪示)與輸出匹配電路(圖 1 未繪示)，以提供較佳的功率匹配效能。

差動電路 110 具有第一乘數因子(multiplier factor)，主要作為一乘法運算之電路。差動電路 110 將所接收之加法電壓  $V_A$  乘以第一乘數因子後提供一輸出電壓至輸出級電路 130。差動電路 110 與加法電路 120 能夠合併在一起以作

為一個運算電路，而此運算電路會先進行加法電路 120 之加法運算，之後再進行差動電路 110 之乘法運算。其中，參考電壓產生電路 140 可以是能帶隙參考電路(band-gap reference circuit)，可以藉由調整電阻值或內部之元件物理參數以輸出正溫度係數或零溫度係數之參考電壓  $V_{REF}$ 。

在其它實施例中，設計者可以依據電路設計需求或實際應用需求來進一步設計，當參考電壓  $V_{REF}$  為零溫度係數之電壓時，則輸出級單元 130 之輸入電流為零溫度係數之電流，或者當參考電壓  $V_{REF}$  為正溫度係數之電壓且輸出級電路 130 之輸入電流與輸出電流間之比值常數為具負溫度係數之特性時，則輸出電流為零溫度係數之電流。據此，本揭露內容能夠穩定射頻功率放大器 100 的輸入電流或輸出電流，進而維持射頻功率放大器 100 的高線性度。

本揭露內容所述之正溫度係數指示其物理量(如電壓值、電流值或電阻值)與溫度之間成正比關係，也就是說，當溫度上升或下降時，其物理量會隨著溫度而上升或下降；負溫度係數指示其物理量與溫度之間成反比關係；零溫度係數指示其物理量(如電壓值、電流值或電阻值)與溫度之間為相互獨立之關係，也就是說，當溫度上升或下降時，其物理量並不會隨著溫度而上升或下降。

以下將進一步地教示射頻功率放大器 100 之細部動作。

請繼續參照圖 1，射頻功率放大器 100 利用加法電路 120 接收來自參考電壓產生電路 140 所產生之參考電壓  $V_{REF}$ ，並且加法電路 120 接收輸出級電路 130 內部之具負溫度係數之回授電壓  $V_F$ 。之後，加法電路 120 將參考電壓  $V_{REF}$  與回授電壓  $V_F$  進行一加法運算，亦即加法電路 120

將參考電壓 VREF 乘上第一比值並且將回授電壓 VF 乘上第二比值後進行相加之運算動作，接著，加法電路 120 將此運算結果(亦即加法電壓 VA)傳送至差動電路 110 以進行乘法運算。

差動電路 110 接收到加法電壓 VA 後，會將加法電壓 VA 乘以第一乘數因子，並且將此運算結果(亦即輸出電壓 VO)傳送至輸出級電路 130。在本實施例中，第一比值等於第二比值，並且第一比值與第二比值之總和為 1，而第一乘數因子為第一比值之倒數或是第二比值之倒數。因此，差動電路所進行乘法運算之運算結果為輸出電壓 VO 等於參考電壓 VREF 與回授電壓 VF 之總和。如方程式(1)~(4)所示，其中 a1 為第一比值，a2 為第二比值，m1 為第一乘數因子。

$$VA=(a1 \times VREF) + (a2 \times VF) \quad (1)$$

$$a1=a2 \quad (2)$$

$$a1+a2 = 1 \quad (3)$$

$$VO = m1 \times VA = VREF + VF \quad (4)$$

進一步來說，在一實施例中，輸出級電路 130 為一雙極性接面電晶體(Bipolar Junction Transistor, BJT)。雙極性接面電晶體的基極接收輸出電壓 VO 與射頻輸入信號 RFIN，雙極性接面電晶體的集級耦接至系統電壓，且輸出一輸出電流與射頻輸出信號，雙極性接面電晶體的射極耦接接地電壓，其中雙極性接面電晶體的輸出電流與輸入電流之間的比值常數為具負溫度係數的貝塔( $\beta$ )，亦即電流增益(current gain)，並且雙極性接面電晶體的基射極電壓為具負溫度係數的電壓，其中回授電壓 VF 為雙極性接面電晶體的

基射極電壓，所以輸出電壓 VO 中的回授電壓 VF 會與雙極性接面電晶體的基射極電壓相消，亦即輸出電壓 VO 此時會等於參考電壓 VREF。當設計者將參考電壓 VREF 調整為具正溫度係數之電壓，則雙極性接面電晶體的輸入電流會是正溫度係數之電流，所以雙極性接面電晶體的輸出電流則會是接近或等於零溫度係數之電流。

在另一實施例中，如果先進製程之技術能使得雙極性接面電晶體之電流增益( $\beta$ )之溫度係數為接近零溫度係數，則設計者可以將參考電壓 VREF 調整為具零溫度係數之電壓，因此雙極性接面電晶體的輸入電流與輸出電流則都會是零溫度係數之電流。

為了更清楚說明差動電路 110 進行乘法運算之作動，以下將特舉另一圖示來作進一步之教示。請參照圖 2，圖 2 為根據本發明另一實施例之射頻功率放大器之示意圖。在本實施例中，差動電路 110 包括放大器 OP、第一電阻 R1 與第二電阻 R2。放大器 OP 具有正輸入端與負輸入端，其中正輸入端耦接加法電路 120 以接收加法電壓 VA。第一電阻 R1 之一端耦接接地電壓 GND，第一電阻 R1 之另一端耦接放大器 OP 之負輸入端。第二電阻 R2 之一端耦接負輸入端，第二電阻 R2 之另一端耦接放大器 OP 之輸出端。放大器 OP 之輸出端提供輸出電壓 VO 至輸出級電路 130。第一乘數因子為第二電阻 R2 之電阻值除以第一電阻 R1 之電阻值，如方程式(5)所示。

$$m1 = R2/R1 \quad (5)$$

在本實施例中，放大器 OP 之組態為一非反向負回授放大器(non-inverting feedback amplifier)。因此，當放大器 OP

之負輸入端接收加法電路 120 所傳送之加法電壓 VA 時，放大器 OP 會將加法電壓 VA 進行一乘法運算，亦即放大器 OP 會將加法電壓 VA 乘上第一乘數因子(m1)後輸出一輸出電壓 VO 至輸出級電路 130。值得一提的是，在本實施例中，第一電阻 R1 之電阻值等於第二電阻 R2 之電阻值，且加法電路中之第一比值與第二比值都是 1/2，所以輸出電壓 VO 等於參考電壓 VREF 與回授電壓 VF 之總和。

在接下來的多個實施例中，將描述不同於上述圖 2 實施例之部分，省略部份與圖 2 實施例相同之部份，相似之參考數字或標號指示相似之元件。

請參照圖 3，與上述圖 1 與圖 2 實施例不同的是，在本實施例中，加法電路 120 包括第三電阻 R3 與第四電阻 R4。參考電壓產生電路 140 包括第一電晶體 Q1、第二電晶體 Q2、第三電晶體 Q3、第五電阻 R5、第六電阻 R6、第七電阻 R7 與電流源 142。輸出級電路 130 包括第四電晶體 Q4。放大器 OP 包括第五電晶體 Q5、第六電晶體 Q6、第七電晶體 Q7、第八電晶體 Q8、第九電晶體 Q9、第八電阻 R8 與第九電阻 R9，其中在本實施例中，電晶體 Q5~Q9 為假型高速電子移動電晶體(p-HEMT)，並且電晶體 Q5 及 Q6 為增強型電晶體，電晶體 Q7 及 Q8 為空乏型電晶體，而電晶體 Q9 可以是增強型電晶體或空乏型電晶體兩者其中之一。在另一實施例中，電晶體 Q5~Q9 為場效電晶體(Field Effect Transistor, FET)、異質接面雙極電晶體(Heterojunction Bipolar Transistor, HBT)與雙極性場效電晶體(Bipolar Field Effect Transistor, BiFET)之其中一種具砷化鎵製程之電晶體來構成，並不以本實施例為限。

第四電阻 R4 之一端耦接第三電阻 R3，第四電阻 R4 之另一端接收回授電壓 VF，其中第一比值為第四電阻 R4 之電阻值除以總電阻值，且第二比值為第三電阻 R3 之電阻值除以總電阻值，其中總電阻值為第三電阻 R3 之電阻值與第四電阻 R4 之電阻值之總合。

關於參考電壓產生電路 140，第一電晶體 Q1 之射極耦接接地電壓 GND，其中第一電晶體 Q1 具有負溫度係數之基射極電壓 VBE1。第二電晶體 Q2 之基極耦接第一電晶體 Q1 之基極，其中第二電晶體 Q2 具有負溫度係數之基射極電壓 VBE2。第五電阻 R5 一端耦接第一節點 n1，另一端耦接第一電晶體 Q1 之集極與基極，其中第一節點 n1 輸出參考電壓 VREF 至加法電路 120。第六電阻 R6 一端耦接第一節點 n1，另一端耦接第二電晶體 Q2 之集極。第七電阻 R7 一端耦接第二電晶體 Q2 之射極，另一端耦接接地電壓 GND，所述第七電阻 R7 用以產生具正溫度係數之基射極壓差電流 IBE。其中透過調整第六電阻 R6 或第七電阻 R7 之電阻值，以調整參考電壓 VREF 之溫度係數。第三電晶體 Q3 之基極耦接第二電阻 R2 之另一端，其集極耦接第一節點 n1，其射極耦接接地電壓 GND，其中第三電晶體 Q3 之基射極電壓 VBE3 為第二電壓。電流源 142 一端耦接系統電壓 VDD，另一端耦接第一節點 n1，電流源 142 之電流為自系統電壓 VCC 流向第一節點 n1，其中基射極壓差電流 IBE 乘以第六電阻 R6 等於第一電壓。

關於輸出級單元 130，第四電晶體 Q4 之集極耦接系統電壓 VCC，其射極耦接接地電壓 GND，其基極耦接輸出電壓 VO，其中第四電晶體 Q4 具有負溫度係數之基射極電壓

VBE4。第四電晶體 Q4 之輸出電流 IC 與輸入電流 IB 之間的比值常數為具負溫度係數之電流增益(current gain)，並且第四電晶體 Q4 之基射極電壓 VBE4 為回授電壓 VF。

第五電晶體 Q5 之閘極為正輸入端，用以接收加法電壓 VA，其汲極耦接系統電壓 VCC。第六電晶體 Q6 之閘極為負輸入端，耦接第二電阻 R2 之一端，其源極耦接第五電晶體 Q5 之源極。第七電晶體 Q7 之汲極耦接第五電晶體 Q5 之源極，第七電晶體 Q7 之閘極耦接接地電壓 GND，其中第七電晶體 Q7 為空乏型電晶體。第八電阻 R8 一端耦接第七電晶體 Q7 之源極，另一端耦接接地電壓 GND。第八電晶體 Q8 之閘極耦接第六電晶體 Q6 之汲極，第八電晶體 Q8 之汲極耦接系統電壓 VCC，其中第八電晶體 Q8 為空乏型電晶體。第九電阻 R9 一端耦接第八電晶體 Q8 之源極，其另一端耦接第六電晶體 Q6 之汲極。第九電晶體 Q9 之基極耦接第九電阻 R9 之另一端，其汲極耦接系統電壓 VCC，第九電晶體 Q9 之源極提供輸出電壓 VO 至輸出級電路 130，其中第九電晶體 Q9 為空乏型電晶體，用以作為緩衝電晶體以便隔離雜訊。

射頻功率放大器 300 更包括一基極電阻 RB。基極電阻 RB 之一端接收輸出電壓 VO，另一端耦接電晶體 Q4 之基極。

以下將進一步說明射頻功率放大器 300 之作動。

電晶體 Q1~Q3、電阻 R5~R7 與電流源 142 構成典型的能帶隙參考電壓電路，電晶體 Q1 的基射極電壓 VBE1、電晶體 Q2 的基射極電壓 VBE2 與電晶體 Q3 之基射極電壓 VBE3 為具負溫度係數的電壓。電阻 R7 的跨壓為具正溫度

係數的電壓，亦即電阻 R7 的跨壓為電晶體 Q1 的基射極電壓 VBE1 減去電晶體 Q2 的基射極電壓 VBE2，因此，流經電阻 R7 的基射極壓差電流 IBE 為電阻 R7 的跨壓除以電阻 R7 的電阻值，如方程式(6)所示，所述基射極壓差電流 IBE 為一具有正溫度係數的電流。再者，在忽略電晶體 Q1~Q3 之基極電流之情況下，第一電壓為基射極壓差電流 IBE 乘以電阻 R6，第二電壓為基射極電壓 VBE3，如方程式(7)所示。

$$I_{BE} = (V_{BE1} - V_{BE2})/R7 \quad (6)$$

$$V_{REF} = I_{BE} \times R6 + V_{BE3} \quad (7)$$

$$= V1 + V2$$

在一實施例中，當設計者透過調整第六電阻 R6 或第七電阻之電阻值以使得參考電壓 VREF 為正溫度係數之電壓時，則電晶體 Q4 之輸入電流 IB 會為正溫度係數之電流，進而使得輸出電流 IC 為正溫度係數之電流。當設計者將電阻 R1~R4 之電阻值設計為相同時，則第一比值與第二比值都是 1/2，且第一乘數因子等於 2。接著，當加法電路 120 接收到參考電壓 VREF 與回授電壓 VF 時，則加法電路 120 會輸出一加法電壓 VA 至第五電晶體 Q5 之閘極，其中加法電壓 VA 如方程式(8)所示。接著，在電晶體 Q5~Q8 與電阻 R8~R9 之作動下(亦即將加法電壓 VA 乘以第一乘數因子)，會在節點 n2 產生一電壓，其中第八電晶體 Q8 與電阻 R9 作為一偏壓電流源使用，且第七電晶體 Q7 與電阻 R8 亦作為偏壓電流源使用。接著，將此電壓傳送至第九電晶體 Q9 之閘極。組態成電壓隨耦器(voltage follower)之電晶體 Q9，用以作為緩衝電晶體使用，以便隔離電源雜訊。因

此，在電晶體 Q9 之源極會輸出一輸出電壓 VO，如方程式 (9) 所示。附帶一提的是，在節點 n2 所輸出之電壓大小實質上等於電晶體 Q9 之源極所輸出之輸出電壓 VO。

$$V_A = (1/2) \times V_{REF} + (1/2) \times V_F \quad (8)$$

$$\begin{aligned} V_O &= 2 \times [(1/2) \times V_{REF} + (1/2) \times V_F] \\ &= V_{REF} + V_F \end{aligned} \quad (9)$$

接著，在基極電阻 RB 上會產生一正溫度係數之電流 I，此電流之部分電流(亦即輸入電流 IB)會流入電晶體 Q4 之基極，其中輸入電流 IB 亦為正溫度係數之電流。因為回授電壓 VF 等於電晶體 Q4 之基射極電壓 VBE4，所以電流 I 如方程式(10)所示。接著，因為電晶體 Q4 之電流增益(β)為負溫度係數，且電晶體 Q4 之輸入電流 IB 與輸出電流 IC 之關係如方程式(11)所示，因此，電晶體 Q4 之輸出電流 IC 會是接近或等於零溫度係數之電流。值得注意的是，輸入電流 IB 之正溫度係數的斜率絕對值須接近或等於電流增益(β)之負溫度係數的斜率絕對值，如此一來，才能使輸出電流 IC 或輸出功率具有較佳的溫度補償效應。

$$I = (V_O - V_{BE4})/R_B \quad (10)$$

$$I_C = \beta \times I_B \quad (11)$$

其中回授電壓 VF 會與基射極電壓 VBE4 進行一相消之運算，使得輸出電壓 VO 只有參考電壓 VREF，因此可以透過將參考電壓 VREF 彈性地調整為正溫度係數或零溫度係數，以符合實際應用需求。

請同時參照圖 4A~4C，其為對應圖 3 之模擬曲線圖，各圖中的橫座標代表溫度，且溫度範圍設為 -40°C 至 +90°C 或 +100°C。圖 4A，縱座標代表電流增益(β)，隨著環境溫度的

變化，電流增益( $\beta$ )的值會隨著溫度的上升而遞減。圖 4B，縱座標代表參考電壓  $V_{REF}$ ，會隨著溫度的上升而遞增，透過調整電阻  $R_6$  及  $R_7$  之電阻值，使得參考電壓  $V_{REF}$  具有正溫度係數的特性。由於回授電壓  $V_F$  與基射極電壓  $V_{BE4}$  彼此相消，所以參考電壓  $V_{REF}$  之曲線可視為輸出電壓  $V_O$  之曲線。此外，圖 4B 的曲線斜率絕對值越接近圖 4A 的曲線斜率絕對值，則射頻功率放大器 300 之輸出電流  $I_C$  的溫度補償效應越佳。圖 4C，縱座標代表輸出電流  $I_C$ ，圖示顯示輸出電流  $I_C$  能夠達到接近零溫度係數的特性，亦即，隨著溫度的改變，輸出電流  $I_C$  依然能夠保持穩定。

請再參考方程式(6)~(11)，如果先進製程能使得電晶體  $Q_4$  之電流增益( $\beta$ )之溫度係數為接近零溫度係數，則設計者能夠透過調整電阻  $R_6$  及  $R_7$  之電阻值來使得參考電壓  $V_{REF}$  成為接近或等於零溫度係數之電壓，以提供接近零溫度係數之輸入電流  $I_B$ ，進而使得輸出電流  $I_C$  或輸出功率不隨著溫度的變化而產生飄移。

在其它實施例中，輸出級電路 130 可更具有第一電感  $L_1$ 、第一電容  $C_1$  與第二電容  $C_2$ 。第一電容  $C_1$  之一端耦接電晶體  $Q_4$  的基極，第一電容  $C_1$  的另一端耦接射頻輸入信號  $R_{FIN}$ 。第一電感  $L_1$  耦接系統電壓  $V_{CC}$  與電晶體  $Q_4$  的集極之間。第二電容  $C_2$  的一端耦接至第四電晶體  $Q_4$  的集極，第二電容  $C_2$  的另一端輸出射頻輸出信號  $R_{FOUT}$ 。

當射頻功率放大器 300 尚未開始接收射頻輸入信號  $R_{FIN}$  時，電感  $L_1$  會對直流信號呈現低阻抗狀態，例如短路，而電容  $C_1$ 、 $C_2$  則會對直流信號呈現高阻抗狀態，例如斷路。當射頻功率放大器 300 開始接收射頻輸入信號  $R_{FIN}$

時，電感 L1 會對高頻信號呈現高阻抗狀態，例如斷路，而電容 C1、C2 則會對高頻信號呈現低阻抗狀態，例如短路。據此，射頻功率放大器 300 能夠在直流工作模式與交流工作模式順利的運作。

請參照圖 5，圖 5 為根據本發明實施例之電子系統之區塊示意圖。電子系統 500 包括射頻功率放大器 510 與負載 520。射頻功率放大器 510 接收射頻輸入信號 RFIN 且輸出射頻輸出信號 RFOUT 至負載 520，亦即射頻功率放大器 510 在耦接系統電壓後，會提供一穩定的輸出功率至負載 520。射頻功率放大器 510 可以是上述圖 1~圖 3 實施例中之射頻功率放大器 100、200 與 300 的其中之一，且用以提供穩定的輸出功率給負載 520。電子系統 500 可以是各種類型的電子裝置內的系統，電子裝置可以是例如手持裝置或行動裝置等。

請參照圖 6，圖 6 為根據本發明實施例之溫度補償方法之流程圖。本例所述的方法可以在圖 1~圖 3 所示的射頻功率放大器執行，因此請一併照圖 1~圖 3 以利理解。此方法包括以下步驟：接收參考電壓與回授電壓，進行加法運算後輸出加法電壓(步驟 S610)。接收加法電壓，並且將加法電壓乘以第一乘數因子後輸出輸出電壓，並將輸出電壓提供至輸出級電路(步驟 S620)。當參考電壓為正溫度係數之電壓且輸出級電路之輸入電流與輸出電流間之比值常數為具負溫度係數之特性，則輸出電流為零溫度係數之電流(步驟 S630)。當參考電壓為零溫度係數之電壓，則輸入電流為零溫度係數之電流(步驟 S640)。其中加法電壓為參考電壓乘以第一比值與回授電壓乘以第二比值之總合。

圖 6 實施例之各步驟僅為方便說明之須要，不以各步驟彼此間的順序作為實施本發明的限制條件。

以上所述僅為本發明之實施例，其並非用以侷限本發明之專利範圍。

### 【圖式簡單說明】

上文已參考隨附圖式來詳細地說明本發明之具體實施例，藉此可對本發明更為明白，在該等圖式中：

圖 1 為根據本發明實施例之射頻功率放大器之示意圖。

圖 2 為根據本發明另一實施例之射頻功率放大器之示意圖。

圖 3 為根據本發明實施例之射頻功率放大器之細部電路圖。

圖 4A~4C 為對應圖 3 之模擬曲線圖。

圖 5 為根據本發明實施例之電子系統之區塊示意圖。

圖 6 為根據本發明實施例之溫度補償方法之流程圖。

### 【主要元件符號說明】

100、200、300：射頻功率放大器

110：差動電路

120：加法電路

130：輸出級電路

140：參考電壓產生電路

142：電流源

500：電子系統

510：射頻功率放大器

520：負載

n1、n2：節點

C1：第一電容

C2：第二電容

GND：接地電壓

I：電流

IB：輸入電流

IBE：基射極電流

IC：輸出電流

L1：第一電感

OP：放大器

Q1~Q9：電晶體

RB：基極電阻

R1~R9：電阻

RFIN：射頻輸入信號

RFOUT：射頻輸出信號

S610~S640：步驟

V1：第一電壓

V2：第二電壓

VA：加法電壓

VCC：系統電壓

VF：回授電壓

VO：輸出電壓

VREF：參考電壓

VBE1、VBE2、VBE3、VBE4：基射極電壓

## 七、申請專利範圍：

104年5月29日修正替換頁

## 1. 一種射頻功率放大器，包括：

一加法電路，具有一第一比值與一第二比值，該加法電路接收一參考電壓與一回授電壓並予以運算後輸出一加法電壓，其中該回授電壓為負溫度係數之電壓，該參考電壓為具有正溫度係數之一第一電壓與具負溫度係數之一第二電壓之總合，並且該加法電壓為該參考電壓乘以該第一比值與該回授電壓乘以該第二比值之總合；

一輸出級電路，耦接該加法電路，該輸出級電路用以提供該回授電壓；以及

一差動電路，電性連接該加法電路，該差動電路具有一第一乘數因子，用以將所接收之該加法電壓乘以該第一乘數因子後提供一輸出電壓至該輸出級電路，

其中當該參考電壓為零溫度係數之電壓，則一輸入電流為零溫度係數之電流，或者，當該參考電壓為正溫度係數之電壓且該輸出級電路之該輸入電流與一輸出電流間之比值常數為具負溫度係數之特性，則該輸出電流為零溫度係數之電流。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之射頻功率放大器，其中該第一比值等於該第二比值，並且該第一乘數因子為該第一比值或該第二比值之倒數。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之射頻功率放大器，更包括：  
一參考電壓產生電路，電性連接該加法電路，該參考電壓產生電路用以提供該參考電壓至該加法電路。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述之射頻功率放大器，其中該差動

電路包括：

一放大器，具有一正輸入端與一負輸入端，該正輸入端耦接該加法電路以接收該加法電壓，其中該放大器之一輸出端提供該輸出電壓至該輸出級電路；

一第一電阻，其一端耦接一接地電壓，其另一端耦接該負輸入端；以及

一第二電阻，其一端耦接該負輸入端，其另一端耦接該放大器之一輸出端，

其中該第一乘數因子等於該第二電阻之電阻值除以該第一電阻之電阻值。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之射頻功率放大器，其中該加法電路包括：

一第三電阻，其一端接收該參考電壓；以及

一第四電阻，其一端耦接該第三電阻，其另一端接收該回授電壓，

其中該第一比值為該第四電阻之電阻值除以一總電阻值，且該第二比值為該第三電阻之電阻值除以該總電阻值，其中該總電阻值為該第三電阻之電阻值與該第四電阻之電阻值之總合。

6. 如申請專利範圍第 3 項所述之射頻功率放大器，其中該參考電壓產生電路包括：

一第一電晶體，其射極耦接一接地電壓；

一第二電晶體，其基極耦接該第一電晶體之基極；

一第五電阻，其一端耦接一第一節點，其另一端耦接該第一電晶體之集極與基極，其中該第一節點輸出該參考電壓至該加法電路；

- 一 第六電阻，其一端耦接該第一節點，其另一端耦接該第二電晶體之集極；
- 一 第七電阻，其一端耦接該第二電晶體之射極，其另一端耦接該接地電壓，該第七電阻用以產生具正溫度係數之一基射極壓差電流，其中透過調整該第六電阻或該第七電阻之電阻值，以調整該參考電壓之溫度係數；
- 一 第三電晶體，其基極耦接該第六電阻之另一端，其集極耦接該第一節點，其射極耦接該接地電壓，其中該第三電晶體之基射極電壓為該第二電壓；以及
- 一 電流源，其一端耦接一系統電壓，其另一端耦接該第一節點，其電流為自該系統電壓流向該第一節點，其中該基射極壓差電流乘以該第六電阻為該第一電壓。
7. 如申請專利範圍第 1 項所述之射頻功率放大器，其中該輸出級電路包括：
- 一 第四電晶體，其集極耦接一系統電壓，其射極耦接一接地電壓，其基極耦接該輸出電壓，其中該第四電晶體之輸出電流與該第四電晶體之輸入電流之間的比值常數為具負溫度係數之電流增益，並且該第四電晶體之基射極電壓為該回授電壓。
8. 如申請專利範圍第 4 項所述之射頻功率放大器，其中該放大器包括：
- 一 第五電晶體，其閘極為該正輸入端，用以接收該加法電壓，其汲極耦接一系統電壓；
- 一 第六電晶體，其閘極為該負輸入端，耦接該第二電阻之一端，其源極耦接該第五電晶體之源極；
- 一 第七電晶體，其汲極耦接該第五電晶體之源極，其基極耦

- 接該接地電壓，其中該第七電晶體為空乏型電晶體；
- 一第八電阻，其一端耦接該第七電晶體之源極，其另一端耦接該接地電壓；
- 一第八電晶體，其閘極耦接該第六電晶體之汲極，其汲極耦接該系統電壓，其中該第八電晶體為空乏型電晶體；
- 一第九電阻，其一端耦接該第八電晶體之源極，其另一端耦接該第六電晶體之汲極；以及
- 一第九電晶體，其基極耦接該第九電阻之另一端，其汲極耦接該系統電壓，其源極提供該輸出電壓至該輸出級電路，其中該第九電晶體為空乏型電晶體，用以作為一緩衝電晶體以隔離雜訊。

9. 一種電子系統，包括：

- 一如申請專利範圍第1項所述之射頻功率放大器，該射頻功率放大器接收一射頻輸入信號且輸出一射頻輸出信號；
- 一負載，耦接該功率放大器，該負載接收該射頻功率放大器所輸出之該射頻輸出信號。

10. 一種溫度補償方法，用於一射頻功率放大器，該溫度補償方法包括：

接收一參考電壓與一回授電壓，進行加法運算後輸出一加法電壓；

接收該加法電壓，並且將該加法電壓乘以一第一乘數因子後輸出一輸出電壓，並將該輸出電壓提供至一輸出級電路；

其中，當該參考電壓為正溫度係數之電壓且該輸出級電路之一輸入電流與一輸出電流間之比值常數為具負溫度係數之特性，則該輸出電流為零溫度係數之電流。

八、圖式：

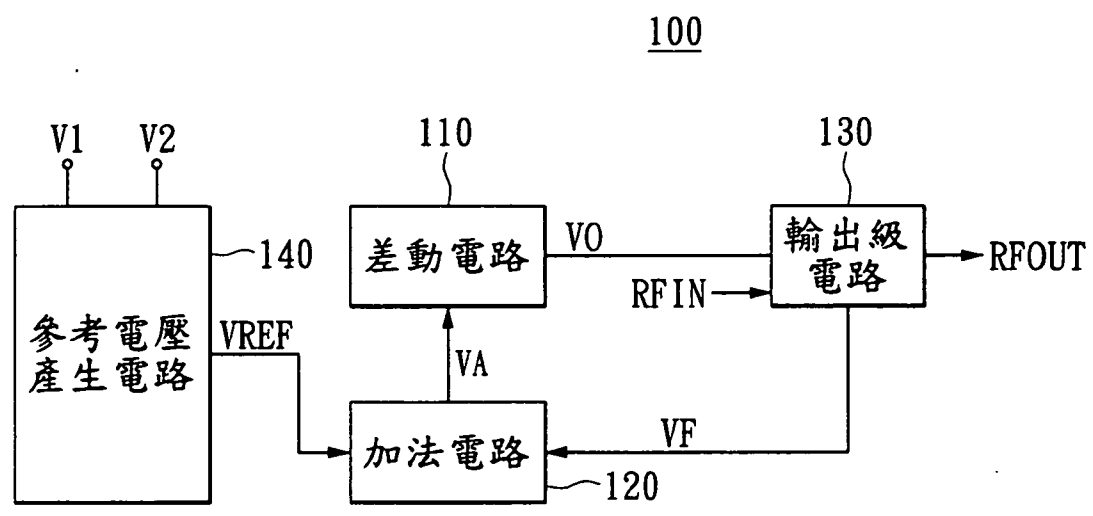


圖 1

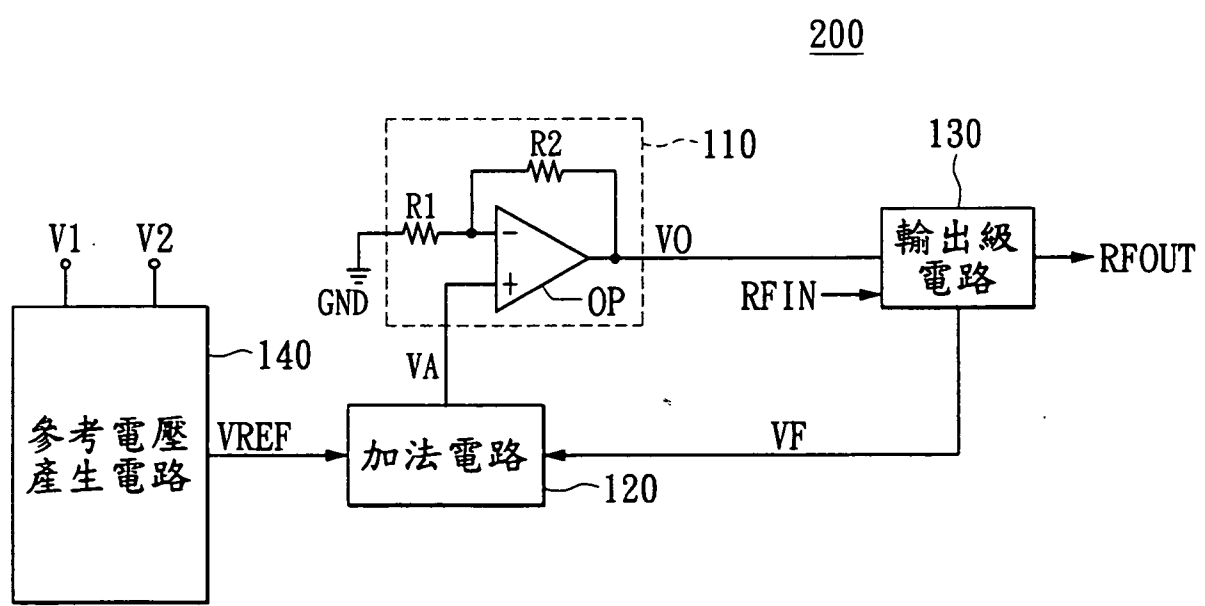


圖 2

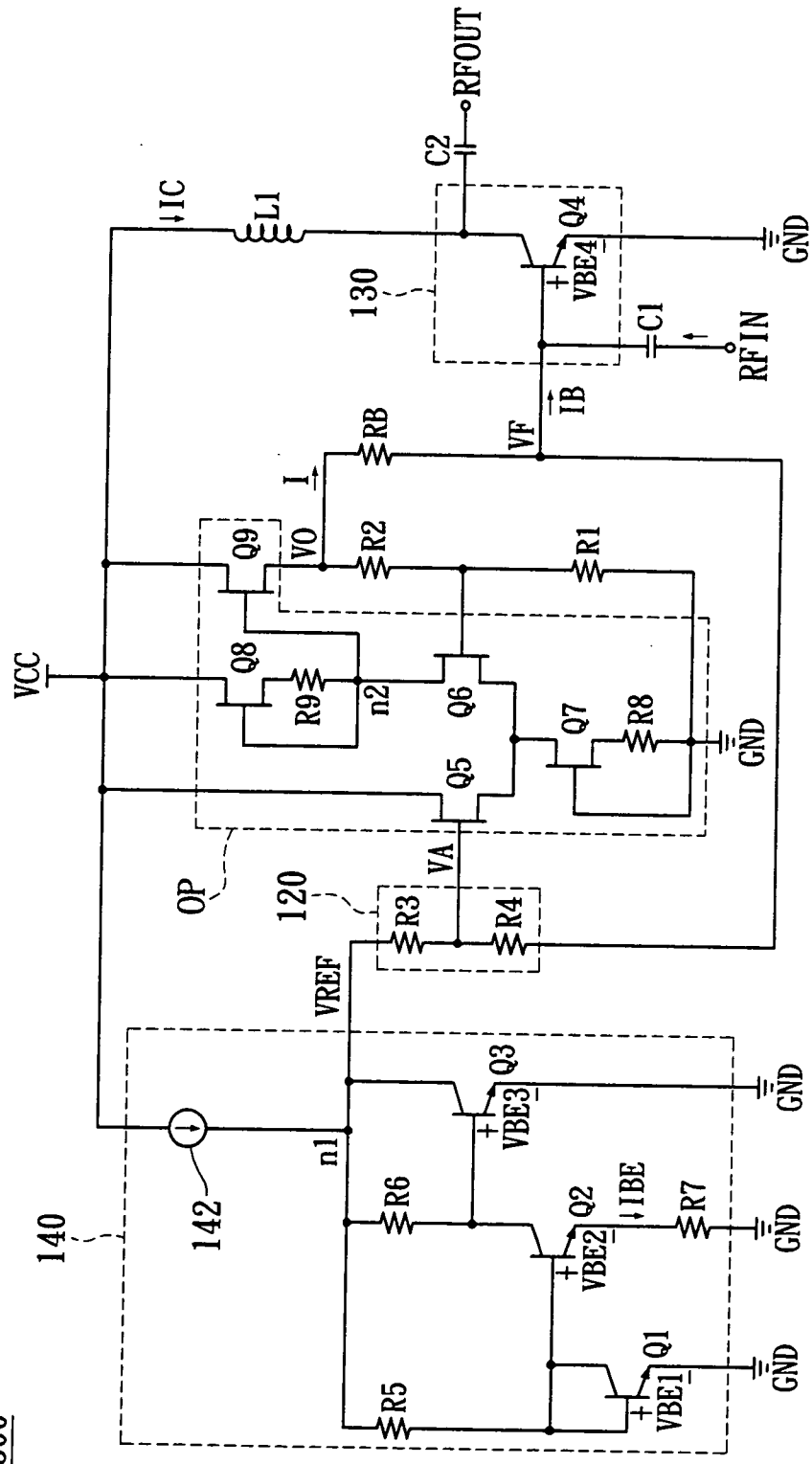


圖3

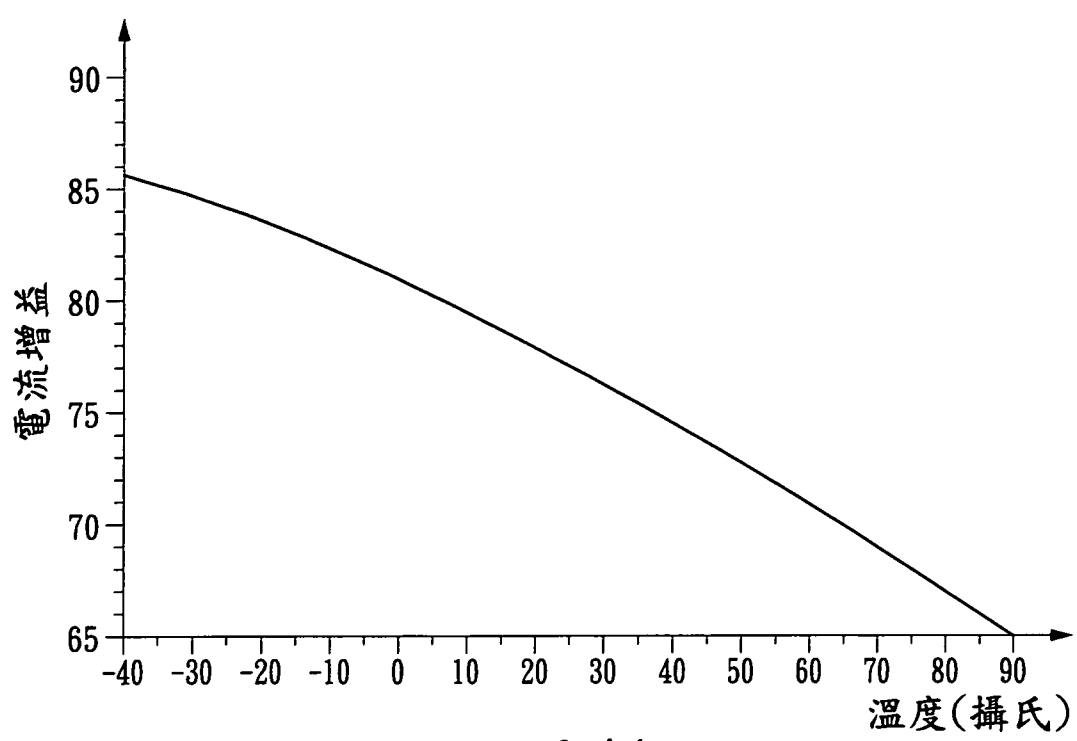


圖4A

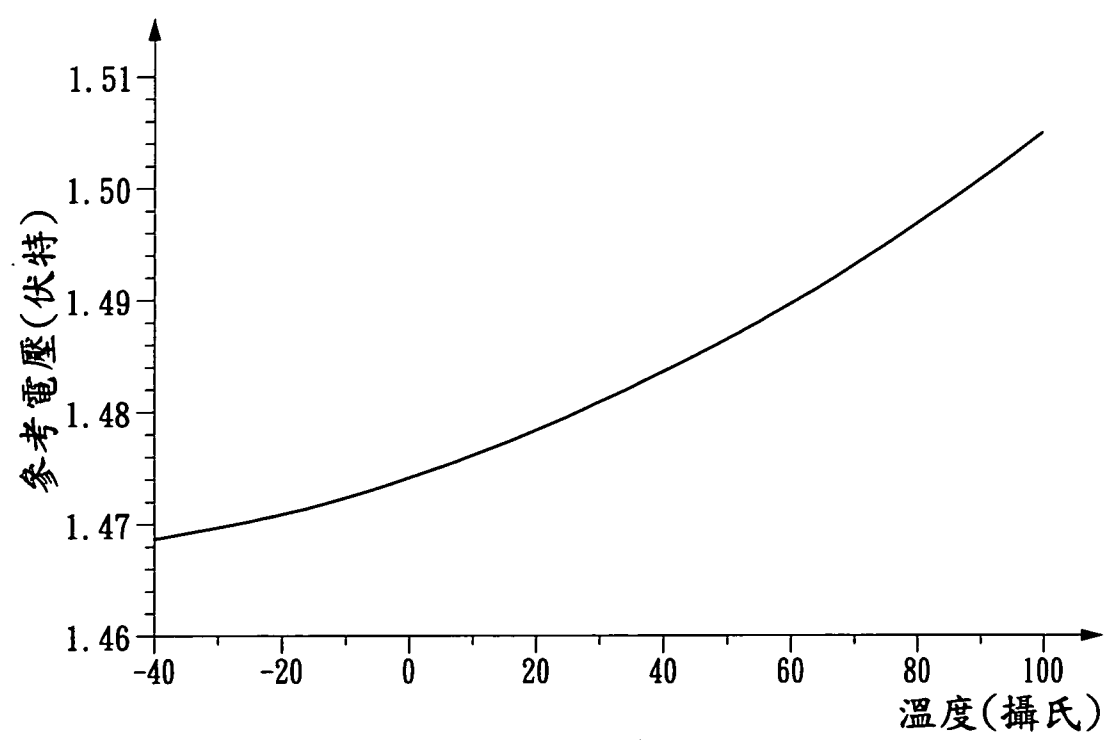


圖4B

102年03月29日修正替換頁

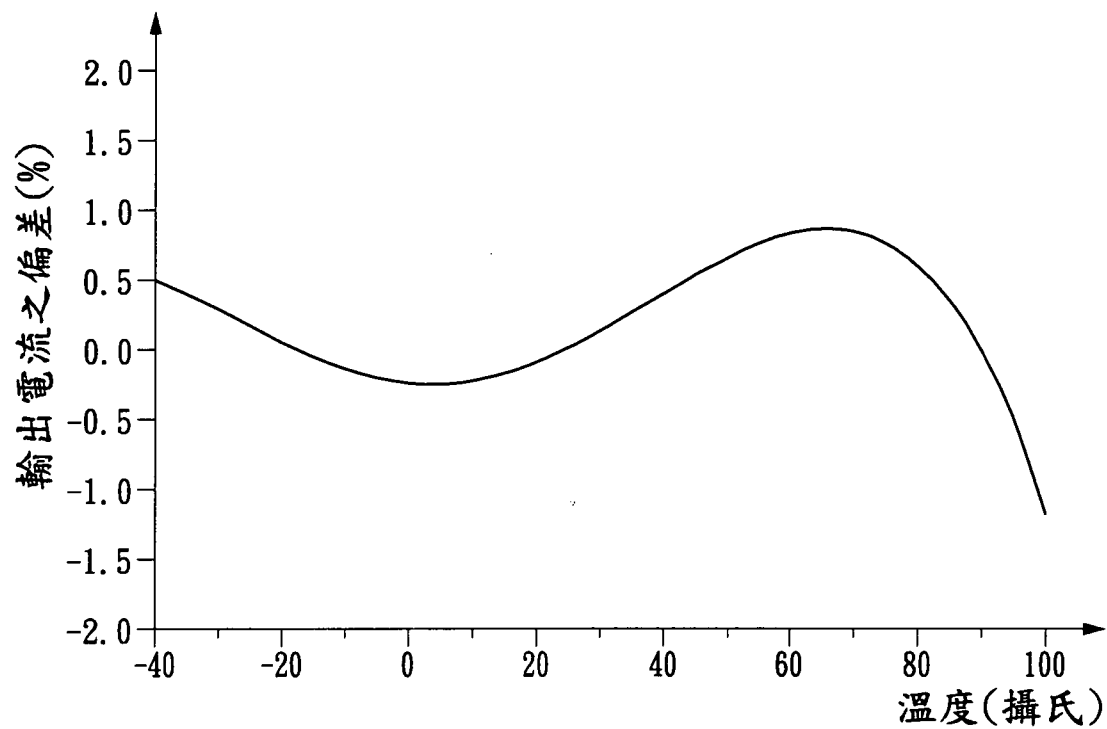


圖4C

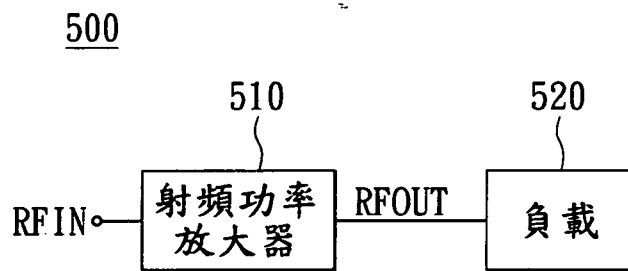


圖5

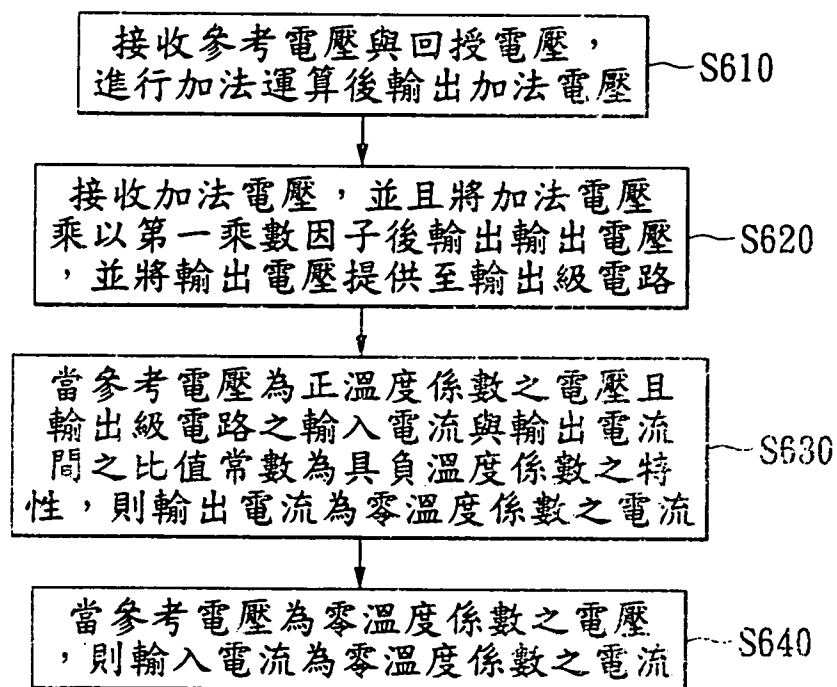


圖6