



(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 I639299 B

(45) 公告日：中華民國 107 (2018) 年 10 月 21 日

(21) 申請案號：106126076

(22) 申請日：中華民國 106 (2017) 年 08 月 02 日

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

(71) 申請人：立積電子股份有限公司 (中華民國) RICHWAVE TECHNOLOGY CORP. (TW)

臺北市內湖區堤頂大道 2 段 407 巷 20 弄 1 號 3 樓

(72) 發明人：陳智聖 CHEN, CHIH SHENG (TW)；陳長億 CHEN, CHANG YI (TW)

(74) 代理人：賴正健；陳家輝

(56) 參考文獻：

US 4592073

US 5128629

US 5363057

US 5497125

US 5777516

US 7408413B2

US 7761065B2

US 8344806B1

審查人員：陳明德

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：7 共 34 頁

(54) 名稱

電流補償電路

CURRENT COMPENSATION CIRCUIT

(57) 摘要

本發明提供一種電流補償電路，用以提供補償電流至放大器電路，此放大器電路包括第一放大器、第一電晶體與第一偏壓電路。第一偏壓電路提供第一偏壓電流至第一放大器。電流補償電路包括功率偵測電路、運算放大器電路與電壓電流轉換單元。功率偵測電路偵測並轉換第一放大器之輸入功率或輸出功率為第一偵測電壓。根據第一偵測電壓與校正電壓，運算放大器電路輸出第二偵測電壓。電壓電流轉換單元將第二偵測電壓轉換為補償電流。根據補償電流，第一補償電流經由第一電晶體流向第一放大器，使得第一放大器由第一偏壓電流與第一補償電流之和來驅動。

Disclosed is a current compensation circuit for providing a compensation current to an amplifier circuit. The amplifier circuit includes a first amplifier, a first transistor and a first bias circuit. The first bias circuit generates a first bias current to the first amplifier. The current compensation circuit includes a power detection circuit, an operational amplifier circuit and a voltage-to-current converting unit. The power detection circuit detects and converts the input power or the output power of the first amplifier to a first detection voltage. According to the first detection voltage and a calibration voltage, the operational amplifier circuit generates a second detection voltage. The voltage-to-current converting unit converts the second detection voltage to the compensation current. According to this compensation current, a first compensation current is correspondingly generated and flows to the first amplifier through the first transistor, such that the first amplifier is driven by the sum of the first bias current and the first compensation current.

指定代表圖：

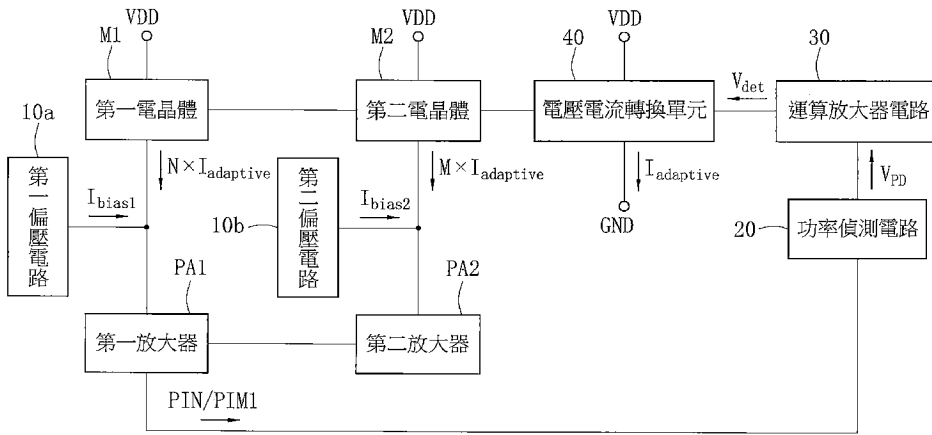


圖2

符號簡單說明：

10a . . . 第一偏壓電路

10b . . . 第二偏壓電路

20 . . . 功率偵測電路

30 . . . 運算放大器電路

40 . . . 電壓電流轉換單元

PA1 . . . 第一放大器

PA2 . . . 第二放大器

VDD . . . 供應電源

M1 . . . 第一電晶體

M2 . . . 第二電晶體

$I_{bias1}$  . . . 第一偏壓電流

$I_{bias2}$  . . . 第二偏壓電流

$I_{adaptive}$  . . . 補償電流

$N \times I_{adaptive}$  . . . 第一補償電流

$M \times I_{adaptive}$  . . . 第二補償電流

PIN . . . 輸入功率

PIM1 . . . 輸出功率

GND . . . 參考電位

$V_{PD}$  . . . 第一偵測電壓

$V_{det}$  . . . 第二偵測電壓

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

## 【發明名稱】(中文/英文)

電流補償電路/ CURRENT COMPENSATION CIRCUIT

## 【技術領域】

本發明乃是關於一種電流補償電路，特別是指一種用以提供補償電流來增加放大器電路之偏壓電流的電流補償電路。

## 【先前技術】

功率放大器(Power Amplifier)是射頻發射電路中一個重要的元件，其主要的功能在於將訊號放大推出，通常都會被設計在天線放射器的前端，也是整個射頻前端電路中最耗功耗的元件。功率放大器主要應用於需要頻寬的電子產品或設備上，例如手機、平板電腦、衛星通訊等網通產品，其中手機為其最大的應用市場。

然而，功率放大器電路具有增益會隨著其輸出功率的增加而逐漸飽和且下降的特性，因此在輸出功率較大時，功率放大器電路的線性度會較差，此種情況於多級放大器電路中尤其明顯。

## 【發明內容】

本發明提供一種電流補償電路，用以提供電流至一放大器電路。放大器電路包括第一放大器、第一電晶體與第一偏壓電路。第一偏壓電路提供第一偏壓電流至第一放大器，且第一放大器透過第一電晶體耦接於一供應電壓。此種電流補償電路包括功率偵測電路、運算放大器電路與電壓電流轉換單元。功率偵測電路耦接於第一放大器，運算放大器電路耦接於功率偵測電路，且電壓電流轉換單元耦接於運算放大器電路與第一電晶體。功率偵測電路用以偵測第一放大器之輸入功率或輸出功率，並將所測得之功率值轉換為一第一偵測電壓。根據第一偵測電壓與一校正電壓，運算放大器電路輸出第二偵測電壓。電壓電流轉換單元用以將第

二偵測電壓轉換為一補償電流。根據此補償電流，第一補償電流對應地被產生並經由第一電晶體流向第一放大器。於是，第一放大器轉為由第一偏壓電流與第一補償電流之和來驅動。

本發明提供另一種電流補償電路，用以提供電流至一放大器電路。該放大器電路包括第一放大器與第一電晶體，且第一放大器透過第一電晶體耦接於一供應電壓。此種電流補償電路包括偵測電路、運算放大器電路與電壓電流轉換單元。偵測電路耦接於第一放大器，且運算放大器電路耦接於偵測電路。偵測電路用以根據第一放大器之輸入訊號的強度或輸出訊號的強度輸出一第一偵測電壓。根據第一偵測電壓與一校正電壓，運算放大器電路輸出一第二偵測電壓。電壓電流轉換單元用以將第二偵測電壓轉換為一補償電流。電壓電流轉換單元包括轉換電晶體，此轉換電晶體具有第一端、第二端與第三端。轉換電晶體的第一端耦接於供應電壓，轉換電晶體的第三端耦接於一參考電位，且轉換電晶體的第二端耦接於運算放大器電路以及第一電晶體。另外，轉換電晶體與第一電晶體形成一電流鏡架構。

本發明提供另一種電流補償電路，用以提供電流至一放大器電路。放大器電路包括第一放大器、第一電晶體與第一偏壓電路、第二放大器、第二電晶體與第二偏壓電路以及第三放大器。第一偏壓電路提供一第一偏壓電流至第一放大器，且第二偏壓電路提供一第二偏壓電流至第二放大器。另外，第一放大器與第二放大器分別透過第一電晶體與第二電晶體耦接於一供應電壓。此種電流補償電路包括功率偵測電路、運算放大器電路與電壓電流轉換單元。功率偵測電路耦接於第一放大器的輸出端或第二放大器的輸出端，運算放大器電路連接於功率偵測電路，且運算放大器電路連接於功率偵測電路。此外，第一電晶體與第二電晶體分別連接於電壓電流轉換單元。功率偵測電路用以偵測第一放大器之輸出功率或偵測第二放大器之輸出功率，並將所測得之功率值轉換

為一第一偵測電壓。根據第一偵測電壓與一校正電壓，運算放大器電路輸出一第二偵測電壓。電壓電流轉換單元將第二偵測電壓轉換為一補償電流。根據該補償電流，第一補償電流被對應地產生並經由第一電晶體流向第一放大器，或者根據該補償電流，第二補償電流對應地被產生並經由第二電晶體流向第二放大器。於是，第一放大器轉為由偏壓電流與第一補償電流之和來驅動，或者第二放大器轉為由偏壓電流與第二補償電流之和來驅動。

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。

### 【圖式簡單說明】

圖1A為根據本發明例示性實施例繪示之電流補償電路之方塊圖。

圖1B為根據本發明另一例示性實施例繪示之電流補償電路之方塊圖。

圖2為根據本發明另一例示性實施例繪示之電流補償電路之方塊圖。

圖3為根據本發明另一例示性實施例繪示之電流補償電路之方塊圖。

圖4為圖3所繪示之電流補償電路之電路圖。

圖5A~圖5C為放大器電路之輸出功率與各放大器之增益的關係圖。

圖6為根據本發明例示性實施例繪示之電流補償電路中功率偵測電路之電路圖。

圖7A為根據本發明例示性實施例繪示之電流補償電路中運算放大器電路之電路圖。

圖7B為根據本發明另一例示性實施例繪示之電流補償電路中運算放大器電路之電路圖。

### 【實施方式】

在下文將參看隨附圖式更充分地描述各種例示性實施例，在隨附圖式中展示一些例示性實施例。然而，本發明概念可能以許多不同形式來體現，且不應解釋為限於本文中所闡述之例示性實施例。確切而言，提供此等例示性實施例使得本發明將為詳盡且完整，且將向熟習此項技術者充分傳達本發明概念的範疇。在諸圖式中，類似數字始終指示類似元件。

本發明所提供之電流補償電路主要用以提供補償電流予一放大器電路，使得放大器的偏壓電流因補償電流的加入而增大，進而改善放大器電路的線性度。以下將以多個實施例說明本發明所提供之電流補償電路，然而，下述實施例並非用以限制本發明。

#### 〔電流補償電路的一實施例〕

請參照圖1A，圖1A為根據本發明例示性實施例繪示之電流補償電路之方塊圖。

本實施例所提供之電流補償電路能提供補償電流給放大器電路。舉例來說，放大器電路可以是如圖1A所示之簡單的放大器電路，此放大器電路包括第一放大器PA1、第一電晶體M1與第一偏壓電路10a。於此放大器電路中，第一偏壓電路10a提供第一偏壓電流 $I_{bias1}$ 至第一放大器PA1，且第一放大器PA1透過第一電晶體M1耦接於一供應電壓VDD。

復如圖1A所示，本實施例所提供之電流補償電路包括功率偵測電路20、運算放大器電路30與電壓電流轉換單元40。功率偵測電路20耦接於第一放大器PA1，運算放大器電路30耦接於功率偵測電路20，且電壓電流轉換單元40耦接於運算放大器電路30。此外，電壓電流轉換單元40還耦接於放大器電路中的第一電晶體M1。

由於第一放大器PA1的增益會隨著其輸出功率 $P_{OUT}$ 或輸入功率 $P_{IN}$ 的增加而逐漸飽和，因此在輸出功率 $P_{OUT}$ 或輸入功率 $P_{IN}$ 較大時，第一放大器PA1的線性度會較差。本實施例所提供之電流補償電路能夠提供補償電流予第一放大器PA1，使得第一放大器PA1的偏壓電流因補償電流的加入而增大，如此一來便能將第一放大器PA1原本逐漸飽和的增益拉高，進而改善第一放大器PA1的線性度(即，改善第一放大器PA1之輸出功率或輸入功率與增益之間的關係)。

根據此原理，本實施例所提供之電流補償電路所提供給第一放大器PA1的補償電流應相對於第一放大器PA1之輸出功率 $P_{OUT}$ 或輸入功率 $P_{IN}$ 。因此，為了能夠提供足夠的補償電流給第一放大器PA1，於本實施例中，功率偵測電路20會偵測第一放大器PA1之輸入功率 $P_{IN}$ 或輸出功率 $P_{OUT}$ ，並將所測得之功率值轉換為第一偵測電壓 $V_{PD}$ 。為了精確地得知要提供多少補償電流給第一放大器PA1，運算放大器電路30會根據第一偵測電壓 $V_{PD}$ 與一校正電壓(未圖示)產生第二偵測電壓 $V_{det}$ 。

接著，電壓電流轉換單元40便將第二偵測電壓 $V_{det}$ 換為一補償電流 $I_{adaptive}$ 。舉例來說，電壓電流轉換單元40可透過一電阻來將第二偵測電壓 $V_{det}$ 轉換為補償電流 $I_{adaptive}$ 。

當電壓電流轉換單元40將第二偵測電壓 $V_{det}$ 換為補償電流 $I_{adaptive}$ 時，根據補償電流 $I_{adaptive}$ ，第一補償電流 $N \times I_{adaptive}$ 會對應地於放大器電路中產生並經由第一電晶體M1流向第一放大器PA1。於是，第一放大器PA1轉為由第一偏壓電流 $I_{bias1}$ 與第一補償電流 $N \times I_{adaptive}$ 之和來驅動。簡言之，本實施例所提供之電流補償電路提供與第一補償電流 $N \times I_{adaptive}$ 給第一放大器PA1，如此一來，用以驅動第一放大器PA1的偏壓電流增加，使得第一放大器PA1原本逐漸飽和的增益被拉高，本實施例所提供之電流補償電路也就能達到補償放大器電路於輸出功率飽和後下降的增益之功效。

須說明地是，於本實施例中，電壓電流轉換單元40可舉例為一電晶體，於是此電晶體與放大器電路中的第一電晶體M1便形成一電流鏡架構，使得第一補償電流  $N \times I_{\text{adaptive}}$  正比於補償電流  $I_{\text{adaptive}}$  (即，電流補償電路應提供給第一放大器PA1的第一補償電流  $N \times I_{\text{adaptive}}$  為補償電流  $I_{\text{adaptive}}$  的N倍)。值得注意地是，倍數N的大小決定了第一放大器PA1其增益被拉高的快慢。於本實施例中，較佳的作法是將拉高第一放大器PA1之增益的速率設計為原先第一放大器PA1之增益逐漸飽和的速率。此外，如前述，電壓電流轉換單元40與放大器電路中的第一電晶體M1形成一電流鏡架構，因此倍數N的大小可透過電壓電流轉換單元40與第一電晶體M1兩者之元件設計來調整。

〔電流補償電路的另一實施例〕

請參照圖1B，圖1B為根據本發明另一例示性實施例繪示之電流補償電路之方塊圖。

本實施例所提供之電流補償電路能提供補償電流給放大器電路。舉例來說，放大器電路可以是如圖1B所示之簡單的放大器電路，此放大器電路包括第一放大器PA1與第一電晶體M1，且第一放大器PA1透過第一電晶體M1耦接於一供應電壓VDD。

復如圖1B所示，本實施例所提供之電流補償電路包括偵測電路20'、運算放大器電路30與電壓電流轉換單元40。偵測電路20'耦接於第一放大器PA1，運算放大器電路30耦接於偵測電路20'，且電壓電流轉換單元40耦接於運算放大器電路30。

於本實施例中，偵測電路20'會根據第一放大器PA1之輸入訊號的強度或輸出訊號的強度輸出第一偵測電壓  $V_{PD}$ ，接著，運算放大器電路30會根據第一偵測電壓  $V_{PD}$  與一校正電壓(未圖示)產生第二偵測電壓  $V_{det}$ ，最後，電壓電流轉換單元40會將第二偵測電壓  $V_{det}$  轉換為一電流(即如圖1B所示之補償電流  $I_{\text{adaptive}}$ )。



復如圖1B所示，電壓電流轉換單元40包括一轉換電晶體M3。轉換電晶體M3具有第一端、第二端與第三端，轉換電晶體M3的第一端耦接於供應電壓VDD，轉換電晶體M3的第三端耦接於一參考電位GND，轉換電晶體M3的第二端耦接於運算放大器電路30以及放大器電路中的第一電晶體M1。為便於說明，於圖1B中，轉換電晶體M3的第一端標示為①，轉換電晶體M3的第二端標示為②，轉換電晶體M3的第三端標示為③。

進一步說明，當轉換電晶體M3的第二端接收到第二偵測電壓 $V_{det}$ 時，根據歐姆定律，第二偵測電壓 $V_{det}$ 會透過第一電阻R轉換為補償電流 $I_{adaptive}$ 。再者，由於轉換電晶體M3與放大器電路中的第一電晶體M1形成了一個電流鏡架構。因此，當電壓電流轉換單元40將第二偵測電壓 $V_{det}$ 轉換為補償電流 $I_{adaptive}$ 時，會有一電流於放大器電路側產生，且此電流與補償電流 $I_{adaptive}$ 成正比，也就是說，此電流會是補償電流 $I_{adaptive}$ 的N倍。

與圖1A所繪示之電流補償電路的差異在於，於本實施例中，透過轉換電晶體M3與放大器電路中的第一電晶體M1所組成之電流鏡架構所產生的電流(即，N倍的補償電流 $I_{adaptive}$ )能夠直接作為驅動第一放大器PA1之偏壓電流，其中倍數N的大小可透過電壓電流轉換單元40與第一電晶體M1兩者之元件設計來調整。

因此，於本實施例中，若電流補償電路所適用的放大器電路本身已包括有一偏壓電路，第一放大器PA1則是由此偏壓電路所提供之偏壓電流以及透過轉換電晶體M3與放大器電路中的第一電晶體M1所組成之電流鏡架構所產生的電流共同來驅動第一放大器PA1。

除此之外，於本實施例中，偵測電路20'可以一功率偵測電路來實現，此功率偵測電路20是用來偵測第一放大器PA1之輸入功率 $P_{IN}$ 或輸出功率 $P_{OUT}$ ，並將所測得之功率值轉換為第一偵測電壓 $V_{PD}$ 。也就是說，透過轉換電晶體M3與放大器電路中的第一電晶

體M1所組成之電流鏡架構所產生的電流會相對於第一放大器PA1之輸出功率POUT或輸入功率PIN。因此，不論透過轉換電晶體M3與放大器電路中的第一電晶體M1所組成之電流鏡架構所產生的電流是作為第一放大器PA1之全數或部分的偏壓電流源，都能夠藉由偵測第一放大器PA1之輸出功率POUT或輸入功率PIN，以及藉由調整倍數N來改善第一放大器PA1的線性度(即，能夠補償放大器電路一般於輸出功率POUT飽和後下降的增益)。

[ 電流補償電路的另一實施例 ]

請參照圖2，圖2為根據本發明另一例示性實施例繪示之電流補償電路之方塊圖。如前述，一般放大器電路具有增益會隨著輸出或輸入功率的增加而逐漸飽和的特性，因此在輸出功率或輸入功率較大時，放大器電路的線性度會較差，然而這種狀況在多級放大器電路中尤其明顯。

本實施例所提供之電流補償電路與圖1A和圖1B所繪示之電流補償電路具有類似的電路架構，惟兩者的差別在於，本實施例所提供之電流補償電路也適用於多級放大器電路。如圖2所示，相較於圖1A和圖1B所繪示之電流補償電路，本實施例所提供之電流補償電路所適用之放大器電路更包括第二放大器PA2、第二電晶體M2與第二偏壓電路10b。第二放大器PA2連接於第一放大器PA1，第二放大器PA2透過第二電晶體M2耦接於供應電壓VDD，且第二電晶體M2連接於電壓電流轉換單元40。另外，第二偏壓電路10b提供第二偏壓電流 $I_{bias2}$ 至第二放大器PA2。

類似於圖1A所繪示之電流補償電路使第一補償電流 $Nx I_{adaptive}$ 產生的工作原理，以及圖1B所繪示之電流補償電路使N倍的補償電流 $I_{adaptive}$ 產生的工作原理，於本實施例中，當第二偵測電壓 $V_{det}$ 透過電壓電流轉換單元40中的轉換電晶體(未圖示)轉換為補償電流 $I_{adaptive}$ 時，由於轉換電晶體和第一電晶體M1與第二電晶體M2分別形成一電流鏡架構，因此與補償電流 $I_{adaptive}$ 成正比之第一補償

電流  $N \times I_{\text{adaptive}}$  會對應地於放大器電路側產生並經由第一電晶體 M1 流向第一放大器 PA1，另外，亦與補償電流  $I_{\text{adaptive}}$  成正比之第二補償電流  $M \times I_{\text{adaptive}}$  也會對應地於放大器電路側產生並經由第二電晶體 M2 流向第二放大器 PA2。

因此，總的來說，當本實施例所提供之電流補償電路應用於具有兩個放大器的多級放大器電路時，電流補償電路中的功率偵測電路 20 會偵測第一放大器 PA1 的輸入功率 PIN 或輸出功率 PIM1，接著電流補償電路中的根據所測得的功率值獲得第一偵測電壓  $V_{\text{PD}}$ 。接著，運算放大器電路 30 會根據第一偵測電壓  $V_{\text{PD}}$  與一校正電壓(未圖示)產生第二偵測電壓  $V_{\text{det}}$ 。最後，當電壓電流轉換單元 40 將第二偵測電壓轉  $V_{\text{det}}$  換為補償電流  $I_{\text{adaptive}}$  時，根據補償電流  $I_{\text{adaptive}}$ ，第一補償電流  $N \times I_{\text{adaptive}}$  會對應地於放大器電路側產生並經由第一電晶體 M1 流向第一放大器 PA1，此外第二補償電流  $M \times I_{\text{adaptive}}$  也會對應地於放大器電側產生並經由第二電晶體 M2 流向第二放大器 PA2。

於是，第一放大器 PA1 即由第一偏壓電流  $I_{\text{bias1}}$  與第一補償電流  $N \times I_{\text{adaptive}}$  共同來驅動，且第二放大器 PA2 即由第二偏壓電流  $I_{\text{bias2}}$  與第二補償電流  $M \times I_{\text{adaptive}}$  共同來驅動。如此一來，即使第一放大器 PA1 與第二放大器 PA2 都具有增益會隨著輸出或輸入功率的增加而逐漸飽和的特性，但由於兩者的偏壓電流分別因為第一補償電流  $N \times I_{\text{adaptive}}$  與第二補償電流  $M \times I_{\text{adaptive}}$  的加入而增大，因此兩者隨著輸出功率或輸入功率的增加而逐漸飽和的增益便能倍補償，使得放大器電路能維持良好的線性度。

值得注意的是，於本實施例中，倍數 N 的大小可透過電壓電流轉換單元 40 與第一電晶體 M1 兩者之元件設計來調整，同理，倍數 M 的大小也可透過電壓電流轉換單元 40 與第二電晶體 M2 兩者之元件設計來調整。

舉例來說，第一電晶體M1與電壓電流轉換單元40中的轉換電晶體M3之尺寸比率被設計為相關於第一放大器PA1之輸出功率PIM1與輸入功率PIN之關係曲線的斜率，而第二電晶體M2與電壓電流轉換單元40中的轉換電晶體M3之尺寸比率被設計為相關於第二放大器PA2之輸出功率PIM2與輸入功率(即，第一放大器PA1之輸出功率PIM1)之關係曲線的斜率。須說明地是，第一電晶體M1與電壓電流轉換單元40中的轉換電晶體M3之尺寸比率和第二電晶體M2與電壓電流轉換單元40中的轉換電晶體M3之尺寸比率可相同或相異。藉此，倍數N與倍數M的大小便能被調整。

須說明地是，本實施例中所描述的第一放大器PA1為多級放大器電路中的第一級放大器，第二放大器PA2為多級放大器電路中的第二級放大器。此外，於本實施例中，功率偵測電路20可耦接於第一級放大器與第二級放大器之間以偵測第一級放大器的輸出功率PIM1(或稱第二級放大器的輸入功率)，或者可耦接於第一級放大器的輸入端以偵測第一級放大器的輸入功率PIN。

[ 電流補償電路的另一實施例 ]

請同時參照圖3與圖4，圖3為根據本發明另一例示性實施例繪示之電流補償電路之方塊圖，且圖4為圖3所繪示之電流補償電路之電路圖。

同於圖2所繪示之電流補償電路，本實施例所提供之電流補償電路同樣適用於多級放大器電路。本實施例所提供之電流補償電路與圖2所繪示之電流補償電路具有類似的電路架構，惟兩者的差別在於，本實施例所提供之電流補償電路所適用之放大器電路更包括第三放大器PA3。本實施例中所描述的第一放大器PA1為多級放大器電路中的第一級放大器，第二放大器PA2為多級放大器電路中的第二級放大器，且第三放大器PA3為多級放大器電路中的第三級放大器。

進一步說明，本實施例所提供之電流補償電路與圖2所繪示之電流補償電路不同之處在於，圖2所繪示之電流補償電路是根據第一放大器PA1的輸入功率PIN或根據第一放大器PA1的輸出功率PIM1(即，第二放大器PA2的輸入功率)來產生補償電流 $I_{\text{adaptive}}$ ；而本實施例所提供之電流補償電路除了能根據第一放大器PA1的輸入功率PIN或根據第一放大器PA1的輸出功率PIM1(即，第二放大器PA2的輸入功率)來產生補償電流 $I_{\text{adaptive}}$ 之外，還能選擇根據第二放大器PA2的輸出功率PIM2來產生補償電流 $I_{\text{adaptive}}$ 。

除了前述差異，本實施例所提供之電流補償電路其餘的工作原理均類似於圖2所繪示之電流補償電路的工作原理，故於此便不重複說明。

圖5A~圖5C為放大器電路之輸出功率與各放大器之增益的關係圖。以一般的多級放大器電路為例，圖5A所顯示的是多級放大器電路之輸出功率與第一級放大器之增益的關係，而圖5B所顯示的是多級放大器電路之輸出功率與第二級放大器之增益的關係。就本發明所屬技術領域中具有通常知識者所能理解，隨著多級放大器電路之輸出功率增大，第一級放大器之增益所受到的影響較小，但第二級放大器之增益所受到的影響較大。如圖5A中的曲線g1所示，隨著多級放大器電路之輸出功率POUT增大，第一級放大器之增益GA1會大約維持在一定值，而如圖5B中的曲線g2所示，隨著多級放大器電路之輸出功率POUT增大，第二級放大器之增益GA2會趨近飽和且逐漸地下降。

因此，綜合圖5A與圖5B來看，隨著多級放大器電路之輸出功率POUT增大，多級放大器電路之增益也會趨近飽和且逐漸地下降。亦即，當輸出功率較大時，多級放大器電路的線性度較差，使得多級放大器電路的增益不易預期。然而，前述各實施例所提供之電流補償電路能夠改善此狀況。

進一步說明，對於一個多級放大器電路來說，若第一級放大器的偏壓電流因為第一補償電流  $N \times I_{\text{adaptive}}$  的加入而增大，則多級放大器電路之輸出功率  $P_{\text{OUT}}$  與第一級放大器之增益  $GA_1$  間的關係會如圖 5C 中的曲線  $g_3$ ；同理，若第二級放大器的偏壓電流因為第二補償電流  $M \times I_{\text{adaptive}}$  的加入而增大，則多級放大器電路之輸出功率  $P_{\text{OUT}}$  與第二級放大器之增益  $GA_2$  間的關係會如圖 5B 中的曲線  $g_5$ 。也就是說，藉由提供適當大小的第一補償電流  $N \times I_{\text{adaptive}}$  與第二補償電流  $M \times I_{\text{adaptive}}$ ，便能使得多級放大器電路之增益不會因為其輸出功率  $P_{\text{OUT}}$  增大而趨近飽和且逐漸地下降。

為了更詳細說明前述各實施例所提供之電流補償電路如何調整放大器電路的增益，進而改善放大器電路的線性度，於以下的敘述中將說明前述各實施例所提供之電流補償電路中功率偵測電路與運算放大器電路的工作原理。

請參照圖 6，圖 6 為根據本發明例示性實施例繪示之電流補償電路中功率偵測電路之電路圖。圖 6 中的功率偵測電路適用於前述各實施例所提供之電流補償電路。

如圖 6 所示，於前述各實施例所提供之電流補償電路中，功率偵測電路 20 包括有電容器  $C$ 、第四電晶體  $M_4$  與第五電晶體  $M_5$ 。電容器  $C$  之一端耦接於第一放大器  $PA_1$  之輸入功率  $P_{\text{IN}}$  或輸出功率  $P_{\text{IM}}$ 。第四電晶體  $M_4$  與第五電晶體  $M_5$  分別具有第一端、第二端與第三端，且為便於說明，於圖 6 中，第四電晶體  $M_4$  與第五電晶體  $M_5$  的第一端標示為 ①，第四電晶體  $M_4$  與第五電晶體  $M_5$  的第二端標示為 ②，第四電晶體  $M_4$  與第五電晶體  $M_5$  的第三端標示為 ③。此外，電容器  $C$  之另一端連接於第四電晶體  $M_4$  之第二端，並透過一扼流電阻  $R_{\text{choke}}$  連接於第五電晶體  $M_5$  之第二端，且第四電晶體  $M_4$  之第一端與第五電晶體  $M_5$  之第一端耦接於供應電壓  $V_{\text{DD}}$ 。

圖 6 所示之功率偵測電路所偵測的是第一放大器  $PA_1$  之輸入功率  $P_{\text{IN}}$  或輸出功率  $P_{\text{IM}1}$ ，又或者是第二放大器  $PA_2$  之輸出功率。根

據圖6所示之功率偵測電路的電路架構，當第一放大器PA1之輸入功率PIN或輸出功率PIM1為零時，或者當第二放大器PA2之輸出功率為零時，第五電晶體M5之第三端的電壓值等於第四電晶體M4之第三端的電壓值。

以射頻放大器電路為例，當射頻放大器電路沒有射頻訊號輸入時，第四電晶體M4之第三端的電壓值等於供應電壓VDD扣除第四電晶體M4之第一端與第三端的壓降，第五電晶體M5之第三端的電壓值則等於供應電壓VDD扣除第五電晶體M5之第一端與第三端的壓降。在第四電晶體M4與第五電晶體M5尺寸相同的情況下，第四電晶體M4之第三端的電壓值便會與第五電晶體M5之第三端的電壓值相等。當開始有射頻訊號輸入時，第一放大器PA1之輸入功率PIN與輸出功率PIM1，以及第二放大器PA2之輸出功率開始不為零，於是第四電晶體M4之第三端的電壓值便開始隨著射頻訊號的輸入而上升。然而，在射頻放大器電路與功率偵測電路中的第五電晶體M5之間設置有一個扼流電阻 $R_{choke}$ ，由於扼流電阻 $R_{choke}$ 的阻值很大，使得第五電晶體M5之第三端的電壓值不容易因為射頻訊號的輸入受影響。換句話說，第五電晶體M5之第三端的電壓值與第一放大器PA1之輸入功率PIN和輸出功率PIM1，以及第二放大器PA2之輸出功率的相關性不大。

於是，透過圖6所示之功率偵測電路，當開始有射頻訊號輸入時，便能於第四電晶體M4之第三端產生一個第一偵測電壓 $V_{PD}$ 以及於第五電晶體M5之第三端產生一個校正電壓 $V_{PD\_DC}$ 。

在一實施例中，上述各電晶體的第一端、第二端與第三端分別為汲極、閘極與源極。

接著請參照圖7A，圖7A為根據本發明例示性實施例繪示之電流補償電路中運算放大器電路之電路圖。圖7A中的運算放大器電路適用於前述各實施例所提供之電流補償電路。

如圖7A所示，於前述各實施例所提供之電流補償電路中，運算放大器電路30包括有一個運算放大器OP。運算放大器OP之非反向輸入端透過一第二電阻R2耦接一參考電位GND，並透過一第三電阻R3連接於功率偵測電路20之第四電晶體M4之第三端以接收第一偵測電壓 $V_{PD}$ ，運算放大器OP之反向輸入端透過另一第二電阻R2連接於運算放大器OP之輸出端，並透過另一第三電阻R3連接於功率偵測電路20之第五電晶體M5之第三端以接收校正電壓 $V_{PC\_DC}$ 。

此運算放大器電路30會根據第一偵測電壓 $V_{PD}$ 與校正電壓 $V_{PC\_DC}$ 計算出第二偵測電壓 $V_{det}$ 。以圖7A中運算放大器電路30的電路架構來說，第二偵測電壓 $V_{det}$ 可用以下的式1表示。

$$V_{det} = R2/R3(V_{PD} - V_{PC\_DC}) \quad (式1)$$

其中，R2為第二電阻，R3為第三電阻， $V_{PD}$ 為第一偵測電壓、 $V_{PC\_DC}$ 為校正電壓，且 $V_{det}$ 為第二偵測電壓。

根據式1，第二偵測電壓 $V_{det}$ 相對於第一偵測電壓 $V_{PD}$ 與校正電壓 $V_{PC\_DC}$ 的差值。將校正電壓 $V_{PC\_DC}$ 於第一偵測電壓 $V_{PD}$ 中扣除的目的是為了要除去與第一放大器PA1之輸入功率PIN與輸出功率PIM1，以及第二放大器PA2之輸出功率不相關的電壓成分，以利精確地反映出電流補償電路應提供多少補償電流。

值得注意的是，於本實施例中，第二電阻R2與第三電阻R3可以一可電電阻來實現。舉例來說，若功率偵測電路所偵測的是多級放大器電路中第一放大器PA1之輸出功率PIM1，則式1中第二電阻R2與第三電阻R3之阻值比率相對於第一放大器PA1之輸出功率與輸入功率之關係曲線的斜率，即相對於第一放大器PA1之增益。因此，藉由調整第二電阻R2與第三電阻R3之阻值比率，便能調整第二偵測電壓，進而調整電流補償電路提供給第一放大器PA1的第一補償電流 $N \times I_{adaptive}$ 。換句話說，藉由調整第二電阻R2與第三電



阻R3之阻值比率便能將第一放大器PA1之增益由如圖5A所示之曲線g1選擇性地調整為如圖5C所示之曲線g3或曲線g4。

此外也請參照圖7B，圖7B為根據本發明另一例示性實施例繪示之電流補償電路中運算放大器電路之電路圖。圖7B中的運算放大器電路適用於前述各實施例所提供之電流補償電路。

圖7B所示之運算放大器電路與圖7A所示之運算放大器電路具有大致相同的電路架構，惟兩者差異在於，於圖7B所示之運算放大器電路中，運算放大器OP之非反向輸入端更透過一第四電阻R4耦接於一第一參考電壓VA，且運算放大器OP之反向輸入端還透過另一第四電阻R4耦接於一第二參考電壓VB。

此運算放大器電路30會根據第一偵測電壓 $V_{PD}$ 與校正電壓 $V_{PD\_DC}$ ，以及第一參考電壓VA與第二參考電壓VB計算出第二偵測電壓 $V_{det}$ 。以圖7B中運算放大器電路30的電路架構來說，第二偵測電壓 $V_{det}$ 可用以下的式2表示。

$$V_{det}=R2/R3(V_{PD}-V_{PD\_DC})+R3/R4(VA-VB) \quad (式2)$$

其中，R2為第二電阻，R3為第三電阻，R4為第四電阻， $V_{PD}$ 為第一偵測電壓， $V_{PD\_DC}$ 為校正電壓， $V_{det}$ 為第二偵測電壓，VA為第一參考電壓，且VB為第二參考電壓。

根據式2，第二偵測電壓 $V_{det}$ 除了相關於第一偵測電壓 $V_{PD}$ 與校正電壓 $V_{PD\_DC}$ 的差值之外，還相關於第一參考電壓VA與第二參考電壓VB的差值。值得注意地是，於本實施例中，第一參考電壓VA與第二參考電壓VB均可來自於可調式電壓源。

舉例來說，若功率偵測電路所偵測的是多級放大器電路中第一放大器PA1之輸出功率PIM1，則透過調整第一參考電壓VA與第二參考電壓VB的差值，便能將第一放大器PA1之增益由如圖5C所示之曲線g3下移為如圖5C所示之曲線g6，或者將第一放大器PA1之增益由如圖5C所示之曲線g6上抬為如圖5C所示之曲線g3。換句話說第一參考電壓與該第二參考電壓之電壓差值相關於第一放大

器PA1之輸出功率與輸入功率之關係曲線(即，第一放大器PA1之增益曲線)上升的時間點。

因此，於此舉例中，調整第二電阻R2與第三電阻R3之阻值比率以及調整第一參考電壓VA與第二參考電壓VB的差值都能調整第二偵測電壓，進而調整電流補償電路提供給第一放大器PA1的第一補償電流 $NxI_{adaptive}$ 。簡單來說，調整第二電阻R2與第三電阻R3之阻值比率能夠設定第一放大器PA1之增益曲線的斜率，而調整第一參考電壓VA與第二參考電壓VB的差值能夠設定第一放大器PA1之增益曲線開始上升的時間點。

〔實施例的可能功效〕

綜上所述，本發明所提供之電流補償電路能藉由偵測放大器電路之功率來提供適當的補償電流給放大器電路中的各級放大器，使得放大器電路中各級放大器的偏壓電流因補償電流的加入而增大，以個別調整各級放大器的增益曲線。如此一來，即使放大器電路的輸出功率逐漸增加，放大器電路整體的增益也不會出現漸趨飽與下降的情形，使得放大器電路能具有良好的線性度。

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。

#### 【符號說明】

- 10a：第一偏壓電路
- 10b：第二偏壓電路
- 20：功率偵測電路
- 20'：偵測電路
- 30：運算放大器電路
- 40：電壓電流轉換單元
- PA1：第一放大器
- PA2：第二放大器
- PA3：第三放大器

VDD：供應電源  
M1：第一電晶體  
M2：第二電晶體  
M3：轉換電晶體  
M4：第四電晶體  
M5：第五電晶體  
 $I_{bias1}$ ：第一偏壓電流  
 $I_{bias2}$ ：第二偏壓電流  
 $I_{adaptive}$ ：補償電流  
 $NxI_{adaptive}$ ：第一補償電流  
 $MxI_{adaptive}$ ：第二補償電流  
PIN：輸入功率  
PIM1、PIM2、POUT：輸出功率  
GND：參考電位  
 $V_{PD}$ ：第一偵測電壓  
 $V_{det}$ ：第二偵測電壓  
 $V_{PD\_DC}$ ：校正電壓  
C：電容器  
 $R_{choke}$ ：扼流電阻  
R1：第一電阻  
R2：第二電阻  
R3：第三電阻  
R4：第四電阻  
g1、g2、g3、g4、g5、g6：曲線  
OP：運算放大器  
VA：第一參考電壓  
VB：第二參考電壓  
GA1、GA2：增益

I639299

## 發明摘要

※ 申請案號： 106126076

※ 申請日： 106/08/02

※IPC 分類： H03F 1/30 (2006.01)

### 【發明名稱】

電流補償電路/ CURRENT COMPENSATION CIRCUIT

### 【中文】

本發明提供一種電流補償電路，用以提供補償電流至放大器電路，此放大器電路包括第一放大器、第一電晶體與第一偏壓電路。第一偏壓電路提供第一偏壓電流至第一放大器。電流補償電路包括功率偵測電路、運算放大器電路與電壓電流轉換單元。功率偵測電路偵測並轉換第一放大器之輸入功率或輸出功率為第一偵測電壓。根據第一偵測電壓與校正電壓，運算放大器電路輸出第二偵測電壓。電壓電流轉換單元將第二偵測電壓轉換為補償電流。根據補償電流，第一補償電流經由第一電晶體流向第一放大器，使得第一放大器由第一偏壓電流與第一補償電流之和來驅動。

## 【英文】

Disclosed is a current compensation circuit for providing a compensation current to an amplifier circuit. The amplifier circuit includes a first amplifier, a first transistor and a first bias circuit. The first bias circuit generates a first bias current to the first amplifier. The current compensation circuit includes a power detection circuit, an operational amplifier circuit and a voltage-to-current converting unit. The power detection circuit detects and converts the input power or the output power of the first amplifier to a first detection voltage. According to the first detection voltage and a calibration voltage, the operational amplifier circuit generates a second detection voltage. The voltage-to-current converting unit converts the second detection voltage to the compensation current. According to this compensation current, a first compensation current is correspondingly generated and flows to the first amplifier through the first transistor, such that the first amplifier is driven by the sum of the first bias current and the first compensation current.

圖式

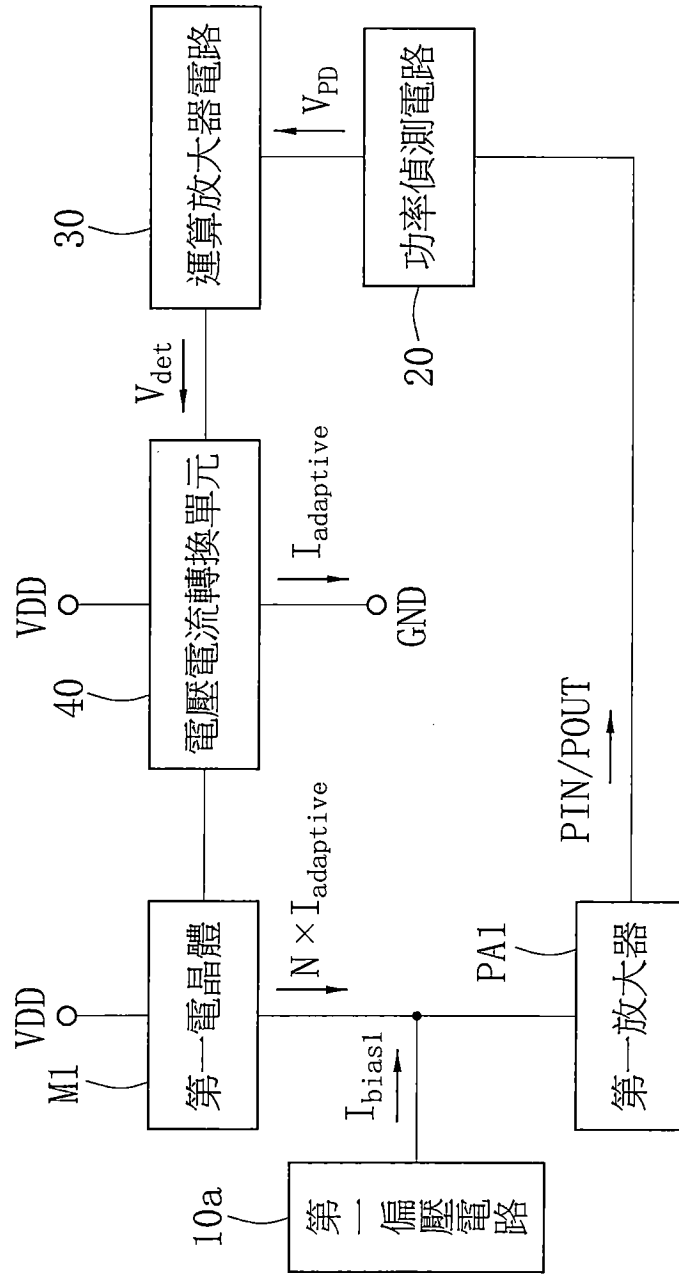


圖1A

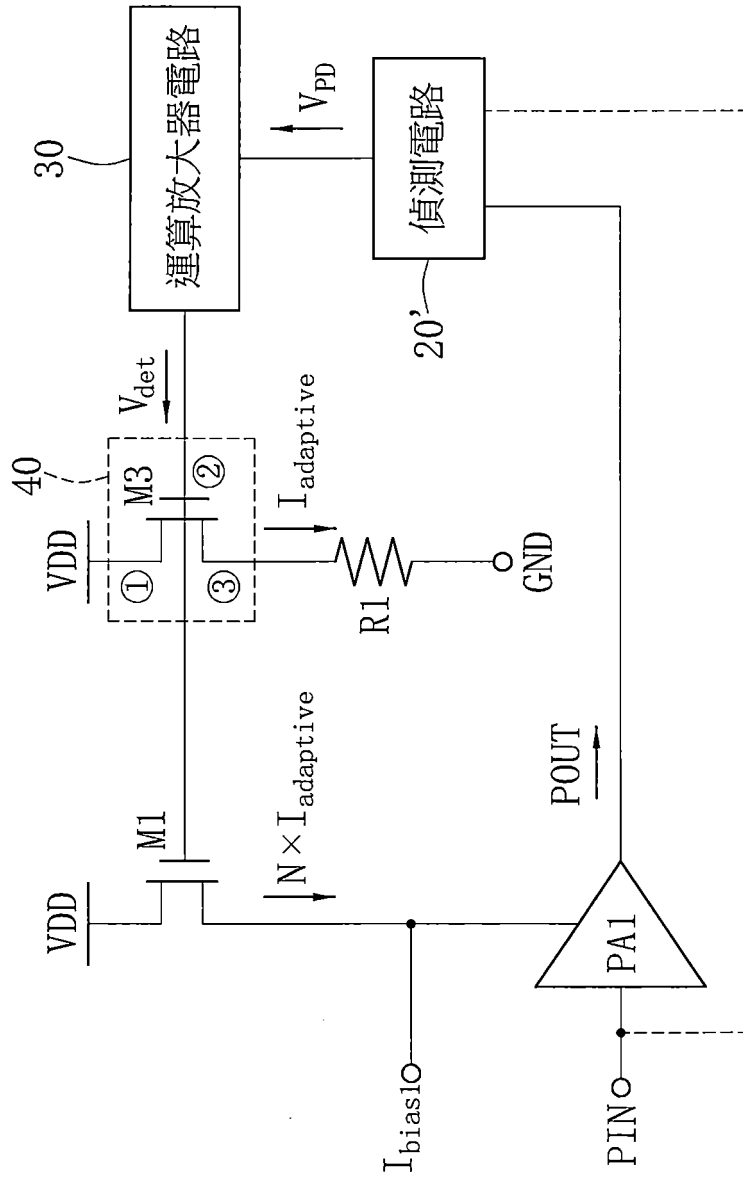


圖1B

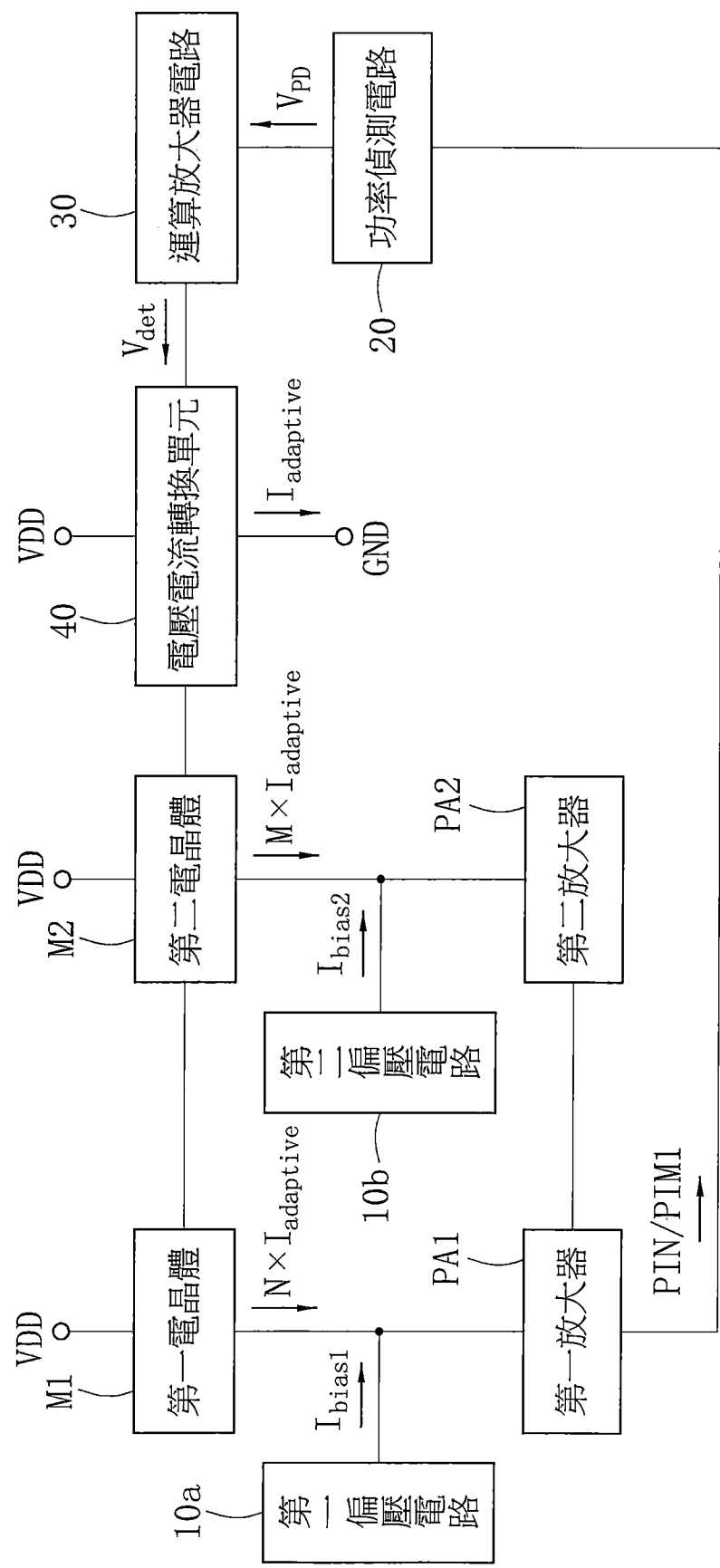


圖2



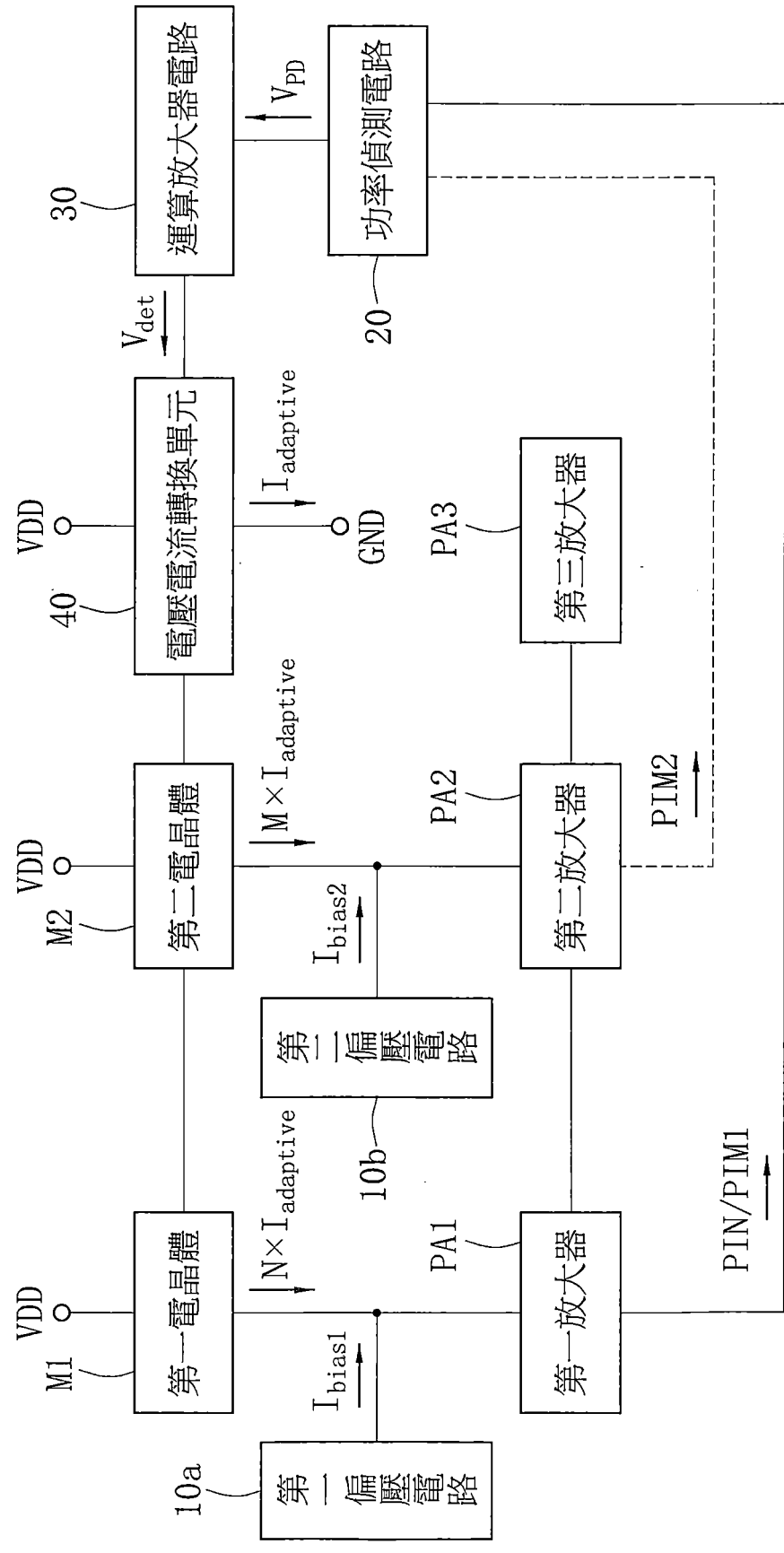


圖3

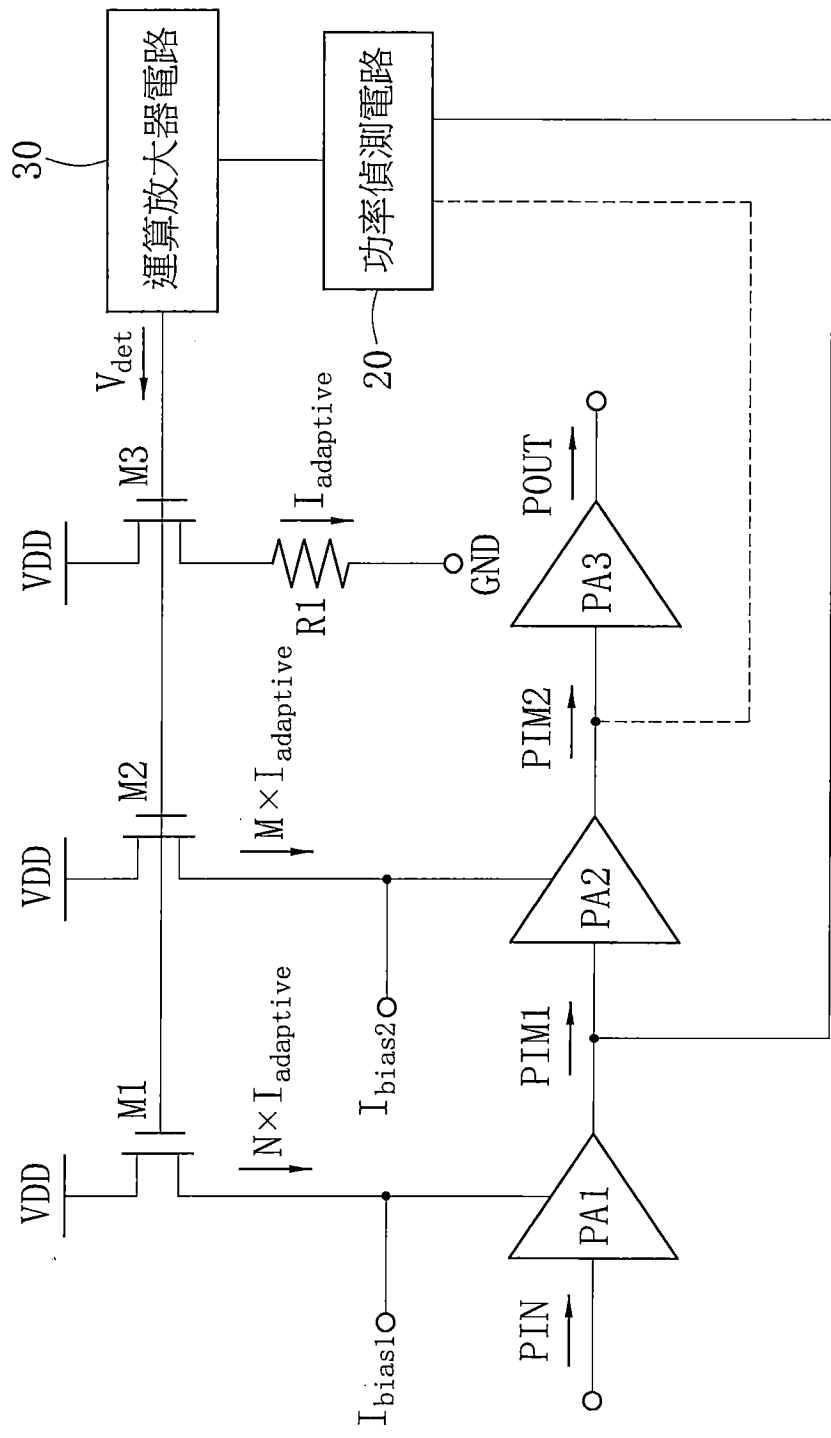


圖4

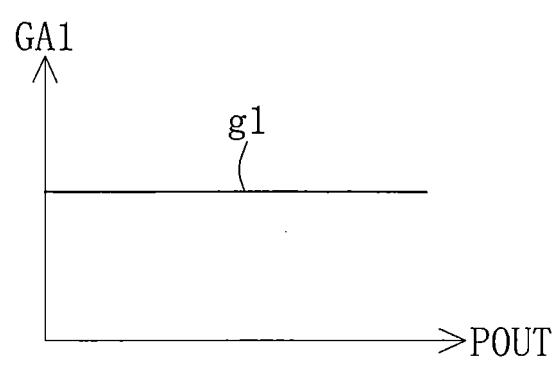


圖5A

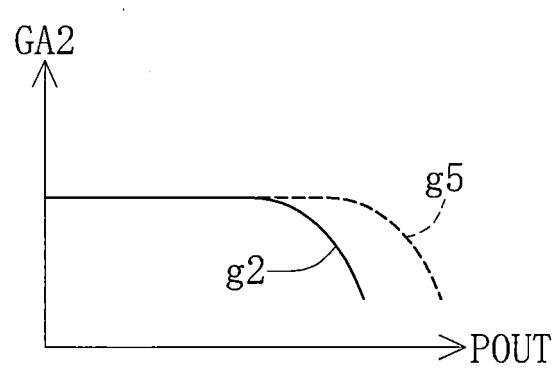


圖5B

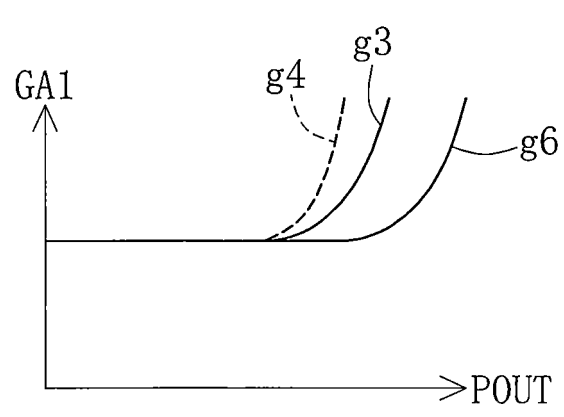


圖5C

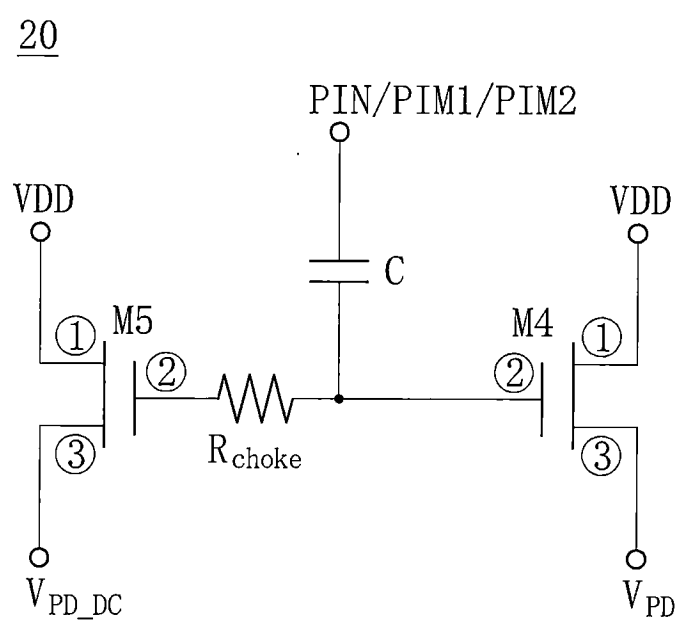


圖6

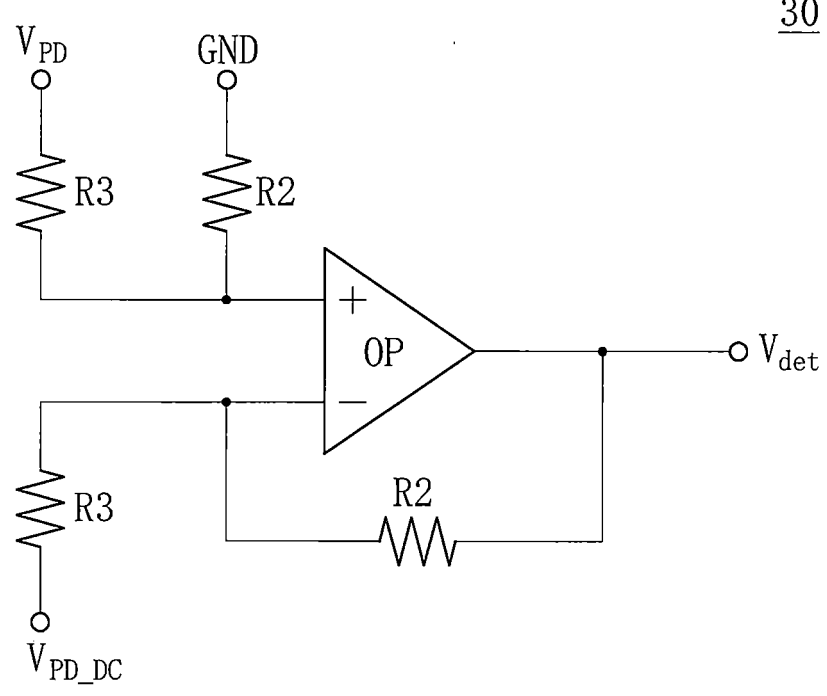


圖7A

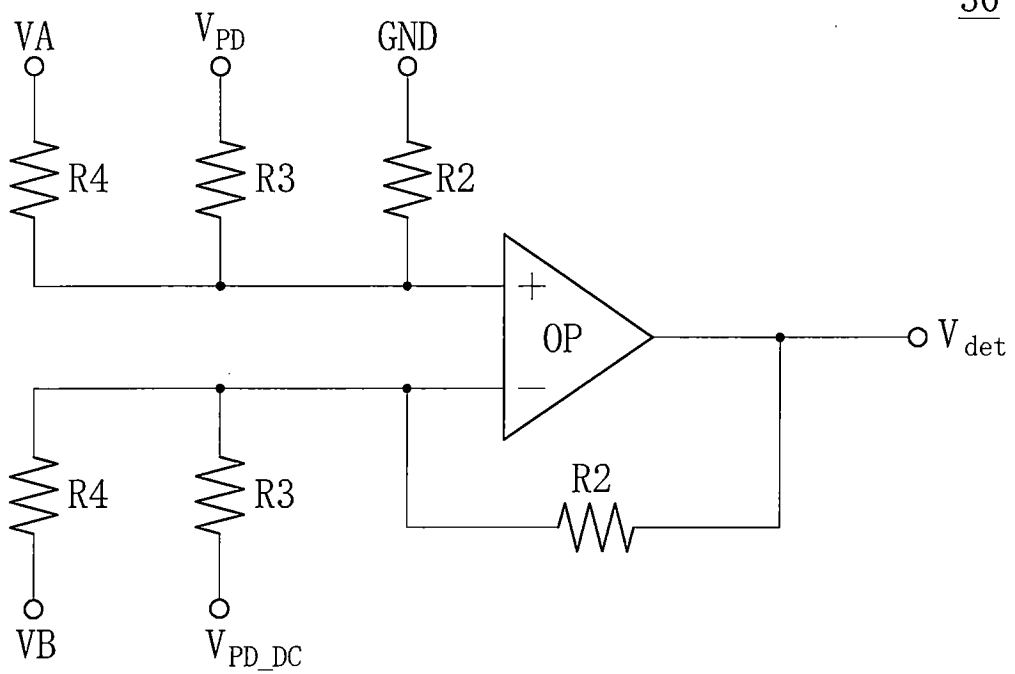


圖7B

**【代表圖】**

**【本案指定代表圖】**：圖2。

**【本代表圖之符號簡單說明】**：

10a：第一偏壓電路

10b：第二偏壓電路

20：功率偵測電路

30：運算放大器電路

40：電壓電流轉換單元

PA1：第一放大器

PA2：第二放大器

VDD：供應電源

M1：第一電晶體

M2：第二電晶體

$I_{bias1}$ ：第一偏壓電流

$I_{bias2}$ ：第二偏壓電流

$I_{adaptive}$ ：補償電流

$NxI_{adaptive}$ ：第一補償電流

$MxI_{adaptive}$ ：第二補償電流

PIN：輸入功率

PIM1：輸出功率

GND：參考電位

$V_{PD}$ ：第一偵測電壓

$V_{det}$ ：第二偵測電壓

## 申請專利範圍

1. 一種電流補償電路，用以提供電流至一放大器電路，其中該放大器電路包括一第一放大器、一第一電晶體與一第一偏壓電路，該第一偏壓電路提供一第一偏壓電流至該第一放大器，且該第一放大器透過該第一電晶體耦接於一供應電壓，該電流補償電路包括：

一功率偵測電路，耦接於該第一放大器，用以偵測該第一放大器之輸入功率或輸出功率，並將所測得之一功率值轉換為一第一偵測電壓；

一運算放大器電路，耦接於該功率偵測電路，根據該第一偵測電壓與一校正電壓輸出一第二偵測電壓；以及

一電壓電流轉換單元，耦接於該運算放大器電路，用以將該第二偵測電壓轉換為一補償電流；

其中，該電壓電流轉換單元耦接於該第一電晶體，根據該補償電流，一第一補償電流經由該第一電晶體流向該第一放大器，使得該第一放大器由該第一偏壓電流與該第一補償電流之和來驅動。

2. 如請求項 1 所述之電流補償電路，其中該電壓電流轉換單元包括一轉換電晶體，該轉換電晶體與該第一電晶體形成一電流鏡架構，使得該第一補償電流正比於該電壓電流轉換單元所輸出之該補償電流。

3. 如請求項 2 所述之電流補償電路，其中該放大器電路更包括一第二放大器、一第二電晶體與一第二偏壓電路，該第二放大器連接於該第一放大器，該第二偏壓電路提供一第二偏壓電流至該第二放大器，且該第二放大器透過該第二電晶體耦接於該供應電壓；

其中，該第二電晶體連接於該電壓電流轉換單元，根據該



- 補償電流，一第二補償電流經由該第二電晶體流向該第二放大器，使得該第二放大器由該第二偏壓電流與該第二補償電流之和來驅動。
4. 如請求項 3 所述之電流補償電路，其中該第一電晶體與該轉換電晶體之尺寸比率與該第二電晶體與該轉換電晶體之尺寸比率分別相關於該第一放大器之輸出功率與輸入功率之關係曲線的斜率與該第二放大器之輸出功率與輸入功率之關係曲線的斜率。
  5. 如請求項 4 所述之電流補償電路，其中該第一電晶體與該轉換電晶體之尺寸比率與該第二電晶體與該轉換電晶體之尺寸比率不同。
  6. 如請求項 3 所述之電流補償電路，其中該第一放大器為該放大器電路之一第一級放大器，且該第二放大器為該放大器電路之一第二級放大器，且該功率偵測電路耦接於該第一級放大器與該第二級放大器之間。
  7. 如請求項 3 所述之電流補償電路，其中該轉換電晶體與該第二電晶體形成一電流鏡架構，使得該第二補償電流正比於該電壓電流轉換單元所輸出之該補償電流。
  8. 如請求項 1 所述之電流補償電路，其中該功率偵測電路更輸出該校正電壓。
  9. 如請求項 8 所述之電流補償電路，其中該功率偵測電路包括：
    - 一電容器，該電容器之一端耦接於該第一放大器之輸入功率或輸出功率；
    - 一第四電晶體，包括一第一端、一第二端與一第三端；以及
    - 一第五電晶體，包括一第一端、一第二端與一第三端；

其中，該電容器之另一端連接於該第四電晶體之第二端，且透過一扼流電阻連接於該第五電晶體之第二端；且該第四電晶體之第一端與該第五電晶體之第一端耦接於該供應電壓，該第一偵測電壓由該第四電晶體之第三端輸出，該校正電壓由該第五電晶體之第三端輸出。

10. 如請求項 9 所述之電流補償電路，其中當該第一放大器之輸入功率或輸出功率為零時，該第五電晶體之第三端的電壓值等於該第四電晶體之第三端的電壓值，而當該第一放大器之輸入功率或輸出功率大於零時，該第五電晶體之第三端的電壓值維持不變，該第四電晶體之第三端的電壓值上升作為該第一偵測電壓。
11. 如請求項 1 所述之電流補償電路，其中該運算放大器電路包括：  
一運算放大器，該運算放大器之非反向輸入端透過一第二電阻耦接一參考電位，並透過一第三電阻耦接於該第一偵測電壓，該運算放大器之反向輸入端透過另一第二電阻連接於該運算放大器之輸出端，並透過另一第三電阻連接於該功率偵測電路之該第五電晶體之第三端。
12. 如請求項 11 所述之電流補償電路，其中該第二電阻與該第三電阻之阻值比率相關於該第一放大器之輸出功率與輸入功率之關係曲線的斜率。
13. 如請求項 11 所述之電流補償電路，其中該運算放大器之非反向輸入端更透過一第四電阻耦接於一第一參考電壓，且該運算放大器之反向輸入端更透過另一第四電阻耦接於一第二參考電壓。
14. 如請求項 13 所述之電流補償電路，其中該第一參考電壓與該第二參考電壓之電壓差值相關於該第一放大器之輸出功率與

輸入功率之關係曲線上升的時間點。

15. 一種電流補償電路，用以提供電流至一放大器電路，其中該放大器電路包括一第一放大器、一第一電晶體與一第一偏壓電路、一第二放大器、一第二電晶體與一第二偏壓電路以及一第三放大器，該第一偏壓電路提供一第一偏壓電流至該第一放大器，該第二偏壓電路提供一第二偏壓電流至該第二放大器，且該第一放大器與該第二放大器分別透過該第一電晶體與該第二電晶體耦接於一供應電壓，該電流補償電路包括：

一功率偵測電路，耦接於該第一放大器的輸出端或該第二放大器的輸出端，用以偵測該第一放大器之輸出功率或偵測該第二放大器之輸出功率，並將所測得之一功率值轉換為一第一偵測電壓；

一運算放大器電路，連接於該功率偵測電路，根據該第一偵測電壓與一校正電壓輸出一第二偵測電壓；以及

一電壓電流轉換單元，連接於該運算放大器電路，將該第二偵測電壓轉換為一補償電流；

其中，該第一電晶體與該第二電晶體分別連接於該電壓電流轉換單元，根據該補償電流，一第一補償電流經由該第一電晶體流向該第一放大器，或一第二補償電流經由該第二電晶體流向該第二放大器，使得該第一放大器由該第一偏壓電流與該第一補償電流之和來驅動，或使得該第二放大器由該第二偏壓電流與該第二補償電流之和來驅動。

16. 如請求項 15 所述之電流補償電路，其中該電流補償電路用以補償該放大器電路於輸出功率飽和後下降的增益。
17. 如請求項 15 所述之電流補償電路，其中該第一放大器為該放大器電路之一第一級放大器，該第二放大器為該放大器電路之一第二級放大器，且該第三放大器為該放大器電路之一第三級

放大器。

18. 如請求項 15 所述之電流補償電路，其中該電壓電流轉換單元包括一轉換電晶體，該轉換電晶體與該第一電晶體形成一電流鏡架構，且該轉換電晶體與該第二電晶體形成另一電流鏡架構，使得該第一補償電流與該第二補償電流均正比於該電壓電流轉換單元所輸出之該補償電流。
19. 如請求項 15 所述之電流補償電路，其中根據該補償電流，該第一補償電流經由該第一電晶體流向該第一放大器，且該第二補償電流經由該第二電晶體流向該第二放大器，使得該第一放大器由該第一偏壓電流與該第一補償電流之和來驅動，且使得該第二放大器由該第二偏壓電流與該第二補償電流之和來驅動。
20. 一種電流補償電路，用以提供電流至一放大器電路，其中該放大器電路包括一第一放大器與一第一電晶體，該第一放大器透過該第一電晶體耦接於一供應電壓，該電流補償電路包括：
  - 一偵測電路，耦接於該第一放大器，用以根據該第一放大器之輸入訊號的強度或輸出訊號的強度輸出一第一偵測電壓；
  - 一運算放大器電路，耦接於該偵測電路，根據該第一偵測電壓與一校正電壓輸出一第二偵測電壓；以及
  - 一電壓電流轉換單元，耦接於該運算放大器電路，用以將該第二偵測電壓轉換為一補償電流，該電壓電流轉換單元包括一轉換電晶體，該轉換電晶體包括一第一端、一第二端與一第三端，該第一端耦接於該供應電壓，該第三端耦接於一參考電位，該第二端耦接於該運算放大器電路以及該第一電晶體；其中，該轉換電晶體與該第一電晶體形成一電流鏡架構。