



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109388173 A  
(43)申请公布日 2019.02.26

(21)申请号 201710811829.3

(22)申请日 2017.09.11

(30)优先权数据

106126076 2017.08.02 TW

(71)申请人 立积电子股份有限公司

地址 中国台湾台北市内湖区堤顶大道二段  
407巷20弄1号3楼

(72)发明人 陈智圣 陈长亿

(74)专利代理机构 上海市锦天城律师事务所  
31273

代理人 刘民选

(51)Int.Cl.

G05F 1/575(2006.01)

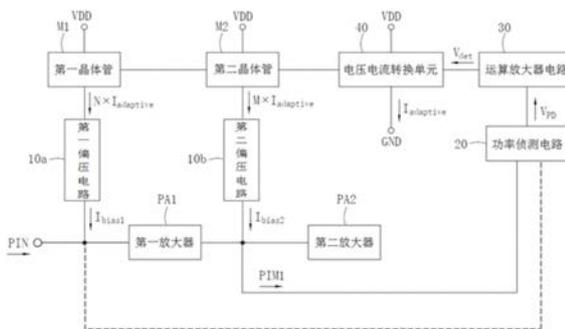
权利要求书3页 说明书11页 附图6页

(54)发明名称

电流补偿电路

(57)摘要

本发明提供一种电流补偿电路,用以提供补偿电流至放大器电路,此放大器电路包括第一放大器、第一晶体管与第一偏压电路。第一偏压电路提供第一偏压电流至第一放大器。电流补偿电路包括功率侦测电路、运算放大器电路与电压电流转换单元。功率侦测电路侦测并转换第一放大器的输入功率或输出功率为第一侦测电压。根据第一侦测电压与校正电压,运算放大器电路输出第二侦测电压。电压电流转换单元将第二侦测电压转换为补偿电流。根据补偿电流,第一补偿电流经由第一晶体管流向第一放大器,使得第一放大器由第一偏压电流与第一补偿电流的和来驱动。



1. 一种电流补偿电路,其特征在于,该电流补偿电路用以提供电流至一放大器电路,其中该放大器电路包括一第一放大器、一第一晶体管与一第一偏压电路,该第一偏压电路提供一第一偏压电流至该第一放大器,且该第一放大器透过该第一晶体管耦接于一供应电压,该电流补偿电路包括:

一功率侦测电路,耦接于该第一放大器,用以侦测该第一放大器的输入功率或输出功率,并将所测得的一功率值转换为一第一侦测电压;

一运算放大器电路,耦接于该功率侦测电路,根据该第一侦测电压与一校正电压输出一第二侦测电压;以及

一电压电流转换单元,耦接于该运算放大器电路,用以将该第二侦测电压转换为一补偿电流;

其中,该电压电流转换单元耦接于该第一晶体管,根据该补偿电流,一第一补偿电流经由该第一晶体管流向该第一放大器,使得该第一放大器由该第一偏压电流与该第一补偿电流的和来驱动。

2. 如权利要求1所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该电压电流转换单元包括一转换晶体管,该转换晶体管与该第一晶体管形成一电流镜架构,使得该第一补偿电流正比于该电压电流转换单元所输出的该补偿电流。

3. 如权利要求2所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该放大器电路更包括一第二放大器、一第二晶体管与一第二偏压电路,该第二放大器连接于该第一放大器,该第二偏压电路提供一第二偏压电流至该第二放大器,且该第二放大器透过该第二晶体管耦接于该供应电压;

其中,该第二晶体管连接于该电压电流转换单元,根据该补偿电流,一第二补偿电流经由该第二晶体管流向该第二放大器,使得该第二放大器由该第二偏压电流与该第二补偿电流的和来驱动。

4. 如权利要求3所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该第一晶体管与该转换晶体管的尺寸比率与该第二晶体管与该转换晶体管的尺寸比率分别相关于该第一放大器的输出功率与输入功率的关系曲线的斜率与该第二放大器的输出功率与输入功率的关系曲线的斜率。

5. 如权利要求4所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该第一晶体管与该转换晶体管的尺寸比率与该第二晶体管与该转换晶体管的尺寸比率不同。

6. 如权利要求3所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该第一放大器为该放大器电路的一第一级放大器,且该第二放大器为该放大器电路的一第二级放大器,且该功率侦测电路耦接于该第一级放大器与该第二级放大器之间。

7. 如权利要求3所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该转换晶体管与该第二晶体管形成一电流镜架构,使得该第二补偿电流正比于该电压电流转换单元所输出的该补偿电流。

8. 如权利要求1所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该功率侦测电路更输出该校正电压。

9. 如权利要求8所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该第一放大器包括一输入端与一输出端,该功率侦测电路更用以侦测该第一放大器的该输入端的输入功率或该输出端的

输出功率,该功率侦测电路包括:

- 一电容器,该电容器的一端耦接于该第一放大器的该输入端或该输出端;
- 一第四晶体管,包括一第一端、一第二端与一第三端;以及
- 一第五晶体管,包括一第一端、一第二端与一第三端;

其中,该电容器的另一端连接于该第四晶体管的第二端,且透过一扼流电阻连接于该第五晶体管的第二端;且该第四晶体管的第一端与该第五晶体管的第一端耦接于该供应电压,该第一侦测电压由该第四晶体管的第三端输出,该校正电压由该第五晶体管的第三端输出。

10. 如权利要求9所述的电流补偿电路,其特征在于,其中当该第一放大器的输入功率或输出功率为零时,该第五晶体管的第三端的电压值等于该第四晶体管的第三端的电压值,而当该第一放大器的输入功率或输出功率大于零时,该第五晶体管的第三端的电压值维持不变,该第四晶体管的第三端的电压值上升作为该第一侦测电压。

11. 如权利要求1所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该运算放大器电路包括:

一运算放大器,该运算放大器的非反向输入端透过一第二电阻耦接一参考电位,并透过一第三电阻耦接于该第一侦测电压,该运算放大器的反向输入端透过另一第二电阻连接于该运算放大器的输出端,并透过另一第三电阻连接于该校正电压。

12. 如权利要求11所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该第二电阻与该第三电阻的阻值比率相关于该第一放大器的输出功率与输入功率的关系曲线的斜率。

13. 如权利要求11所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该运算放大器的非反向输入端更透过一第四电阻耦接于一第一参考电压,且该运算放大器的反向输入端更透过另一第四电阻耦接于一第二参考电压。

14. 如权利要求13所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该第一参考电压与该第二参考电压的电压差值相关于该第一放大器的输出功率与输入功率的关系曲线上升的时间点。

15. 一种电流补偿电路,其特征在于,该电流补偿电路用以提供电流至一放大器电路,其中该放大器电路包括一第一放大器、一第一晶体管与一第一偏压电路、一第二放大器、一第二晶体管与一第二偏压电路以及一第三放大器,该第一偏压电路提供一第一偏压电流至该第一放大器,该第二偏压电路提供一第二偏压电流至该第二放大器,且该第一放大器与该第二放大器分别透过该第一晶体管与该第二晶体管耦接于一供应电压,该电流补偿电路包括:

一功率侦测电路,耦接于该第一放大器的输出端或该第二放大器的输出端,用以侦测该第一放大器的输出功率或侦测该第二放大器的输出功率,并将所测得的一功率值转换为一第一侦测电压;

一运算放大器电路,连接于该功率侦测电路,根据该第一侦测电压与一校正电压输出一第二侦测电压;以及

一电压电流转换单元,连接于该运算放大器电路,将该第二侦测电压转换为一补偿电流;

其中,该第一晶体管与该第二晶体管分别连接于该电压电流转换单元,根据该补偿电流,一第一补偿电流经由该第一晶体管流向该第一放大器,或一第二补偿电流经由该第二晶体管流向该第二放大器,使得该第一放大器由该第一偏压电流与该第一补偿电流的和来

驱动,或使得该第二放大器由该第二偏压电流与该第二补偿电流的和来驱动。

16. 如权利要求15所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该电流补偿电路用以补偿该放大器电路于输出功率饱和后下降的增益。

17. 如权利要求15所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该第一放大器为该放大器电路的一第一级放大器,该第二放大器为该放大器电路的一第二级放大器,且该第三放大器为该放大器电路的一第三级放大器。

18. 如权利要求15所述的电流补偿电路,其特征在于,其中该电压电流转换单元包括一转换晶体管,该转换晶体管与该第一晶体管形成一电流镜架构,且该转换晶体管与该第二晶体管形成另一电流镜架构,使得该第一补偿电流与该第二补偿电流均正比于该电压电流转换单元所输出的该补偿电流。

19. 一种电流补偿电路,其特征在于,该电流补偿电路用以提供电流至一放大器电路,其中该放大器电路包括一第一放大器、一第一晶体管与一第一偏压电路、一第二放大器、一第二晶体管与一第二偏压电路以及一第三放大器,该第一偏压电路提供一第一偏压电流至该第一放大器,该第二偏压电路提供一第二偏压电流至该第二放大器,且该第一放大器与该第二放大器分别透过该第一晶体管与该第二晶体管耦接于一供应电压,该电流补偿电路包括:

一功率侦测电路,耦接于该第一放大器的输出端或该第二放大器的输出端,用以侦测该第一放大器的输出功率或侦测该第二放大器的输出功率,并将所测得的一功率值转换为一第一侦测电压;

一运算放大器电路,连接于该功率侦测电路,根据该第一侦测电压与一校正电压输出一第二侦测电压;以及

一电压电流转换单元,连接于该运算放大器电路,将该第二侦测电压转换为一补偿电流;

其中,该第一晶体管与该第二晶体管分别连接于该电压电流转换单元,根据该补偿电流,一第一补偿电流经由该第一晶体管流向该第一放大器,且一第二补偿电流经由该第二晶体管流向该第二放大器,使得该第一放大器由该第一偏压电流与该第一补偿电流的和来驱动,且使得该第二放大器由该第二偏压电流与该第二补偿电流的和来驱动。

20. 一种电流补偿电路,其特征在于,该电流补偿电路用以提供电流至一放大器电路,其中该放大器电路包括一第一放大器与一第一晶体管,该第一放大器透过该第一晶体管耦接于一供应电压,该电流补偿电路包括:

一侦测电路,耦接于该第一放大器,用以根据该第一放大器的输入信号的强度或输出信号的强度输出一第一侦测电压;

一运算放大器电路,耦接于该侦测电路,根据该第一侦测电压与一校正电压输出一第二侦测电压;以及

一电压电流转换单元,耦接于该运算放大器电路,用以将该第二侦测电压转换为一补偿电流,该电压电流转换单元包括一转换晶体管,该转换晶体管包括一第一端、一第二端与一第三端,该第一端耦接于该供应电压,该第三端耦接于一参考电位,该第二端耦接于该运算放大器电路以及该第一晶体管;

其中,该转换晶体管与该第一晶体管形成一电流镜架构。

## 电流补偿电路

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种电流补偿电路,尤其涉及一种用以提供补偿电流来增加放大器电路的偏压电流的电流补偿电路。

### 背景技术

[0002] 功率放大器(Power Amplifier)是射频发射电路中一个重要的组件,其主要的功能在于将信号放大推出,通常都会被设计在天线放射器的前端,也是整个射频前端电路中最耗功耗的组件。功率放大器主要应用于需要带宽的电子产品或设备上,例如手机、平板计算机、卫星通讯等网通产品,其中手机为其最大的应用市场。

[0003] 然而,功率放大器电路具有增益会随着其输出功率的增加而逐渐饱和且下降的特性,因此在输出功率较大时,功率放大器电路的线性度会较差,此种情况于多级放大器电路中尤其明显。

### 发明内容

[0004] 本发明提供一种电流补偿电路,用以提供电流至一放大器电路。放大器电路包括第一放大器、第一晶体管与第一偏压电路。第一偏压电路提供第一偏压电流至第一放大器,且第一放大器透过第一晶体管耦接于一供应电压。此种电流补偿电路包括功率侦测电路、运算放大器电路与电压电流转换单元。功率侦测电路耦接于第一放大器,运算放大器电路耦接于功率侦测电路,且电压电流转换单元耦接于运算放大器电路与第一晶体管。功率侦测电路用以侦测第一放大器的输入功率或输出功率,并将所测得的功率值转换为一第一侦测电压。根据第一侦测电压与一校正电压,运算放大器电路输出第二侦测电压。电压电流转换单元用以将第二侦测电压转换为一补偿电流。根据此补偿电流,第一补偿电流对应地被产生并经由第一晶体管流向第一放大器。于是,第一放大器转为由第一偏压电流与第一补偿电流的和来驱动。

[0005] 本发明提供另一种电流补偿电路,用以提供电流至一放大器电路。放大器电路包括第一放大器、第一晶体管与第一偏压电路、第二放大器、第二晶体管与第二偏压电路以及第三放大器。第一偏压电路提供一第一偏压电流至第一放大器,且第二偏压电路提供一第二偏压电流至第二放大器。另外,第一放大器与第二放大器分别透过第一晶体管与第二晶体管耦接于一供应电压。此种电流补偿电路包括功率侦测电路、运算放大器电路与电压电流转换单元。功率侦测电路耦接于第一放大器的输出端或第二放大器的输出端,运算放大器电路连接于功率侦测电路,且电压电流转换单元耦接于运算放大器电路。此外,第一晶体管与第二晶体管分别连接于电压电流转换单元。功率侦测电路用以侦测第一放大器的输出功率或侦测第二放大器的输出功率,并将所测得的功率值转换为一第一侦测电压。根据第一侦测电压与一校正电压,运算放大器电路输出一第二侦测电压。电压电流转换单元将第二侦测电压转换为一补偿电流。根据该补偿电流,第一补偿电流被对应地产生并经由第一晶体管流向第一放大器,或者根据该补偿电流,第二补偿电流对应地被产生并经由第二晶

体管流向第二放大器。于是,第一放大器转为由该第一偏压电流与第一补偿电流的和来驱动,或者第二放大器转为由该第二偏压电流与第二补偿电流的和来驱动。

[0006] 本发明提供另一种电流补偿电路,用以提供电流至一放大器电路。放大器电路包括第一放大器、第一晶体管与第一偏压电路、第二放大器、第二晶体管与第二偏压电路以及第三放大器。第一偏压电路提供一第一偏压电流至第一放大器,且第二偏压电路提供一第二偏压电流至第二放大器。另外,第一放大器与第二放大器分别透过第一晶体管与第二晶体管耦接于一供应电压。此种电流补偿电路包括功率侦测电路、运算放大器电路与电压电流转换单元。功率侦测电路耦接于第一放大器的输出端或第二放大器的输出端,运算放大器电路连接于功率侦测电路,且电压电流转换单元耦接于运算放大器电路。此外,第一晶体管与第二晶体管分别连接于电压电流转换单元。功率侦测电路用以侦测第一放大器的输出功率或侦测第二放大器的输出功率,并将所测得的功率值转换为一第一侦测电压。根据第一侦测电压与一校正电压,运算放大器电路输出一第二侦测电压。电压电流转换单元将第二侦测电压转换为一补偿电流。根据该补偿电流,第一补偿电流被对应地产生并经由第一晶体管流向第一放大器,且根据该补偿电流,第二补偿电流对应地被产生并经由第二晶体管流向第二放大器。于是,第一放大器转为由该第一偏压电流与第一补偿电流的和来驱动,且第二放大器转为由该第二偏压电流与第二补偿电流的和来驱动。

[0007] 本发明提供另一种电流补偿电路,用以提供电流至一放大器电路。该放大器电路包括第一放大器与第一晶体管,且第一放大器透过第一晶体管耦接于一供应电压。此种电流补偿电路包括侦测电路、运算放大器电路与电压电流转换单元。侦测电路耦接于第一放大器,且运算放大器电路耦接于侦测电路。侦测电路用以根据第一放大器的输入信号的强度或输出信号的强度输出一第一侦测电压。根据第一侦测电压与一校正电压,运算放大器电路输出一第二侦测电压。电压电流转换单元用以将第二侦测电压转换为一补偿电流。电压电流转换单元包括转换晶体管,此转换晶体管具有第一端、第二端与第三端。转换晶体管的第一端耦接于供应电压,转换晶体管的第三端耦接于一参考电位,且转换晶体管的第二端耦接于运算放大器电路以及第一晶体管。另外,转换晶体管与第一晶体管形成一电流镜架构。

[0008] 本发明所提供的电流补偿电路能藉由侦测放大器电路的功率来提供适当的补偿电流给放大器电路中的各级放大器,使得放大器电路中各级放大器的偏压电流因补偿电流的加入而增大,以个别调整各级放大器的增益曲线。如此一来,即使放大器电路的输出功率逐渐增加,放大器电路整体的增益也不会出现渐趋饱和与下降的情形,使得放大器电路能具有良好的线性度。

[0009] 为使能更进一步了解本发明的特征及技术内容,请参阅以下有关本发明的详细说明与附图,但是此等说明与所附说明书附图仅是用来说明本发明,而非对本发明的权利要求书作任何的限制。

## 附图说明

[0010] 关于本发明的优点与精神可以通过以下的发明详述及所附图式得到进一步的了解。

[0011] 图1A为根据本发明示范性实施例绘示的电流补偿电路的应用示意方块图;

- [0012] 图1B为根据本发明另一示例性实施例绘示的电流补偿电路的应用示意方块图；
- [0013] 图2为根据本发明另一示例性实施例绘示的电流补偿电路的应用示意方块图；
- [0014] 图3为根据本发明另一示例性实施例绘示的电流补偿电路的应用示意方块图；
- [0015] 图4为图3所绘示的电流补偿电路的应用示意电路图；
- [0016] 图5A~图5C为放大器电路的输出功率与各放大器的增益的关系图；
- [0017] 图6为根据本发明示例性实施例绘示的电流补偿电路中功率侦测电路的电路图；
- [0018] 图7A为根据本发明示例性实施例绘示的电流补偿电路中运算放大器电路的电路图；
- [0019] 图7B为根据本发明另一示例性实施例绘示的电流补偿电路中运算放大器电路的电路图。

[0020] 主要图示说明：

- [0021] 10a: 第一偏压电路
- [0022] 10b: 第二偏压电路
- [0023] 20: 功率侦测电路
- [0024] 20': 侦测电路
- [0025] 30: 运算放大器电路
- [0026] 40: 电压电流转换单元
- [0027] PA1: 第一放大器
- [0028] PA2: 第二放大器
- [0029] PA3: 第三放大器
- [0030] VDD: 供应电源
- [0031] M1: 第一晶体管
- [0032] M2: 第二晶体管
- [0033] M3: 转换晶体管
- [0034] M4: 第四晶体管
- [0035] M5: 第五晶体管
- [0036]  $I_{bias1}$ : 第一偏压电流
- [0037]  $I_{bias2}$ : 第二偏压电流
- [0038]  $I_{adaptive}$ : 补偿电流
- [0039]  $N \times I_{adaptive}$ : 第一补偿电流
- [0040]  $M \times I_{adaptive}$ : 第二补偿电流
- [0041] PIN: 输入功率
- [0042] PIM1、PIM2、POUT: 输出功率
- [0043] GND: 参考电位
- [0044]  $V_{PD}$ : 第一侦测电压
- [0045]  $V_{det}$ : 第二侦测电压
- [0046]  $V_{PD\_DC}$ : 校正电压
- [0047] C: 电容器
- [0048]  $R_{choke}$ : 扼流电阻

- [0049] R1: 第一电阻
- [0050] R2: 第二电阻
- [0051] R3: 第三电阻
- [0052] R4: 第四电阻
- [0053] g1、g2、g3、g4、g5、g6: 曲线
- [0054] OP: 运算放大器
- [0055] VA: 第一参考电压
- [0056] VB: 第二参考电压

### 具体实施方式

[0057] 在下文将参看说明书附图更充分地描述各种示例性实施例,在说明书附图中展示一些示例性实施例。然而,本发明概念可能以许多不同形式来体现,且不应解释为限于本文中所阐述的示例性实施例。确切而言,提供此等示例性实施例使得本发明更为详尽且完整,且将向本领域技术人员充分传达本发明概念的范畴。在各说明书附图中,表示同一组成部分的附图标记始终一致。

[0058] 本发明所提供的电流补偿电路主要用以提供补偿电流予一放大器电路,使得放大器的偏压电流因补偿电流的加入而增大,进而改善放大器电路的线性度。以下将以多个实施例说明本发明所提供的电流补偿电路,然而,下述实施例并非用以限制本发明。

[0059] (电流补偿电路的一实施例)

[0060] 请参照图1A,图1A为根据本发明示例性实施例绘示的电流补偿电路的应用示意方块图。

[0061] 本实施例所提供的电流补偿电路能提供补偿电流给放大器电路。举例来说,放大器电路可以是如图1A所示的简单的放大器电路,此放大器电路包括第一放大器PA1、第一晶体管M1与第一偏压电路10a。第一放大器PA1包括输入端与输出端。于此放大器电路中,第一偏压电路10a提供第一偏压电流 $I_{bias1}$ 至第一放大器PA1的输入端,且第一放大器PA1的输入端透过第一晶体管M1耦接于一供应电压VDD。

[0062] 复如图1A所示,本实施例所提供的电流补偿电路包括功率侦测电路20、运算放大器电路30与电压电流转换单元40。功率侦测电路20耦接于第一放大器PA1的输入端或输出端,运算放大器电路30耦接于功率侦测电路20,且电压电流转换单元40耦接于运算放大器电路30。此外,电压电流转换单元40还耦接于放大器电路中的第一晶体管M1。

[0063] 由于第一放大器PA1的增益会随着其输出功率 $P_{OUT}$ 或输入功率 $P_{IN}$ 的增加而逐渐饱和,因此在输出功率 $P_{OUT}$ 或输入功率 $P_{IN}$ 较大时,第一放大器PA1的线性度会较差。本实施例所提供的电流补偿电路能够提供补偿电流予第一放大器PA1,使得第一放大器PA1的偏压电流因补偿电流的加入而增大,如此一来便能将第一放大器PA1原本逐渐饱和的增益拉高,进而改善第一放大器PA1的线性度(即,改善第一放大器PA1的输出功率与增益之间的关系)。

[0064] 根据此原理,本实施例所提供的电流补偿电路所提供予第一放大器PA1的补偿电流应相关于第一放大器PA1的输出功率 $P_{OUT}$ 或输入功率 $P_{IN}$ 。因此,为了能够提供足够的补偿电流给第一放大器PA1,于本实施例中,功率侦测电路20会侦测第一放大器PA1的输入端

的输入功率 $P_{IN}$ 或输出端的输出功率 $P_{OUT}$ ,并将所测得的功率值转换为第一侦测电压 $V_{PD}$ 。为了精确地得知要提供多少补偿电流给第一放大器PA1,运算放大器电路30会根据第一侦测电压 $V_{PD}$ 与一校正电压(图中未示出)产生第二侦测电压 $V_{det}$ 。

[0065] 接着,电压电流转换单元40便将第二侦测电压 $V_{det}$ 转换为一补偿电流 $I_{adaptive}$ 。举例来说,电压电流转换单元40可透过一电阻来将第二侦测电压 $V_{det}$ 转换为补偿电流 $I_{adaptive}$ 。

[0066] 当电压电流转换单元40将第二侦测电压 $V_{det}$ 转换为补偿电流 $I_{adaptive}$ 时,根据补偿电流 $I_{adaptive}$ ,第一补偿电流 $N \times I_{adaptive}$ 会对应地于放大器电路中产生并经由第一晶体管M1流向第一放大器PA1。于是,第一放大器PA1转为由第一偏压电流 $I_{bias1}$ 与第一补偿电流 $N \times I_{adaptive}$ 的和来驱动。简言之,本实施例所提供的电流补偿电路提供第一补偿电流 $N \times I_{adaptive}$ 给第一放大器PA1,如此一来,用以驱动第一放大器PA1的偏压电流增加,使得第一放大器PA1原本逐渐饱和的增益被拉高,本实施例所提供的电流补偿电路也就能达到补偿放大器电路于输出功率饱和后下降的增益的功效。

[0067] 需说明地是,于本实施例中,电压电流转换单元40可包括一晶体管,于是此晶体管与放大器电路中的第一晶体管M1便形成一电流镜架构,使得第一补偿电流 $N \times I_{adaptive}$ 正比于补偿电流 $I_{adaptive}$ (即,电流补偿电路应提供给第一放大器PA1的第一补偿电流 $N \times I_{adaptive}$ 为补偿电流 $I_{adaptive}$ 的N倍)。值得注意地是,倍数N的大小决定了第一放大器PA1其增益被拉高的快慢。于本实施例中,较佳的作法是将拉高第一放大器PA1的增益的速率设计为原先第一放大器PA1的增益逐渐饱和的速率。此外,如前述,电压电流转换单元40与放大器电路中的第一晶体管M1形成一电流镜架构,因此倍数N的大小可透过电压电流转换单元40与第一晶体管M1两者的组件设计来调整。

[0068] (电流补偿电路的另一实施例)

[0069] 请参照图1B,图1B为根据本发明另一示例性实施例绘示的电流补偿电路的应用示意方块图。

[0070] 本实施例所提供的电流补偿电路能提供补偿电流给放大器电路。举例来说,放大器电路可以是如图1B所示的简单的放大器电路,此放大器电路包括第一放大器PA1与第一晶体管M1,第一放大器PA1包括输入端与输出端,且第一放大器PA1的输入端透过第一晶体管M1耦接于一供应电压VDD。

[0071] 复如图1B所示,本实施例所提供的电流补偿电路包括侦测电路20'、运算放大器电路30与电压电流转换单元40。侦测电路20'耦接于第一放大器PA1的输入端或输出端,运算放大器电路30耦接于侦测电路20',且电压电流转换单元40耦接于运算放大器电路30。

[0072] 于本实施例中,侦测电路20'会根据第一放大器PA1的输入端的输入信号的强度或输出端的输出信号的强度输出第一侦测电压 $V_{PD}$ ,接着,运算放大器电路30会根据第一侦测电压 $V_{PD}$ 与一校正电压(图中未示出)产生第二侦测电压 $V_{det}$ ,最后,电压电流转换单元40会将第二侦测电压 $V_{det}$ 转换为一电流(即如图1B所示的补偿电流 $I_{adaptive}$ )。

[0073] 复如图1B所示,电压电流转换单元40包括一转换晶体管M3。转换晶体管M3具有第一端、第二端与第三端,转换晶体管M3的第一端耦接于供应电压VDD,转换晶体管M3的第三端耦接于一参考电位GND,转换晶体管M3的第二端耦接于运算放大器电路30以及放大器电路中的第一晶体管M1。为便于说明,于图1B中,转换晶体管M3的第一端标示为①,转换晶体管M3的第二端标示为②,转换晶体管M3的第三端标示为③。

[0074] 进一步说明,当转换晶体管M3的第二端接收到第二侦测电压 $V_{det}$ 时,根据欧姆定律,第二侦测电压 $V_{det}$ 会透过第一电阻R1转换为补偿电流 $I_{adaptive}$ 。再者,由于转换晶体管M3与放大器电路中的第一晶体管M1形成了一个电流镜架构。因此,当电压电流转换单元40将第二侦测电压 $V_{det}$ 转换为补偿电流 $I_{adaptive}$ 时,会有一电流于放大器电路侧产生,且此电流与补偿电流 $I_{adaptive}$ 成正比,也就是说,此电流会是补偿电流 $I_{adaptive}$ 的N倍。

[0075] 与图1A所绘示的电流补偿电路的差异在于,于本实施例中,透过转换晶体管M3与放大器电路中的第一晶体管M1所组成的电流镜架构所产生的电流(即,N倍的补偿电流 $I_{adaptive}$ )能够直接作为驱动第一放大器PA1的偏压电流,其中倍数N的大小可透过电压电流转换单元40与第一晶体管M1两者的组件设计来调整。

[0076] 因此,于本实施例中,若电流补偿电路所适用的放大器电路本身已包括有一偏压电路,第一放大器PA1则是由此偏压电路所提供的偏压电流以及透过转换晶体管M3与放大器电路中的第一晶体管M1所组成的电流镜架构所产生的电流共同来驱动第一放大器PA1。

[0077] 除此之外,于本实施例中,侦测电路20'可以一功率侦测电路来实现,此功率侦测电路20是用来侦测第一放大器PA1的输入端的输入功率 $P_{IN}$ 或输出端的输出功率 $P_{OUT}$ ,并将所测得的功率值转换为第一侦测电压 $V_{PD}$ 。也就是说,透过转换晶体管M3与放大器电路中的第一晶体管M1所组成的电流镜架构所产生的电流会相关于第一放大器PA1的输出功率 $P_{OUT}$ 或输入功率 $P_{IN}$ 。因此,不论透过转换晶体管M3与放大器电路中的第一晶体管M1所组成的电流镜架构所产生的电流是作为第一放大器PA1的全数或部分的偏压电流源,都能够藉由侦测第一放大器PA1的输出功率 $P_{OUT}$ 或输入功率 $P_{IN}$ ,以及藉由调整倍数N来改善第一放大器PA1的线性度(即,能够补偿放大器电路一般于输出功率 $P_{OUT}$ 饱和后下降的增益)。

[0078] (电流补偿电路的另一实施例)

[0079] 请参照图2,图2为根据本发明另一示例性实施例绘示的电流补偿电路的应用示意方块图。如前述,一般放大器电路具有增益会随着输出或输入功率的增加而逐渐饱和的特性,因此在输出功率或输入功率较大时,放大器电路的线性度会较差,然而这种状况在多级放大器电路中尤其明显。

[0080] 本实施例所提供的电流补偿电路与图1A和图1B所绘示的电流补偿电路具有类似的电路架构,两者的主要差别在于,本实施例所提供的电流补偿电路也适用于多级放大器电路。如图2所示,相较于图1A和图1B所绘示的电流补偿电路,本实施例所提供的电流补偿电路所适用的放大器电路更包括第二放大器PA2、第二晶体管M2与第二偏压电路10b。第二放大器PA2包括输入端与输出端,第二放大器PA2的输入端连接于第一放大器PA1的输出端,第二放大器PA2的输入端透过第二晶体管M2耦接于供应电压VDD,且第二晶体管M2连接于电压电流转换单元40。另外,第二偏压电路10b提供第二偏压电流 $I_{bias2}$ 至第二放大器PA2的输入端。

[0081] 类似于图1A所绘示的电流补偿电路使第一补偿电流 $N \times I_{adaptive}$ 产生的工作原理,以及图1B所绘示的电流补偿电路使N倍的补偿电流 $I_{adaptive}$ 产生的工作原理,于本实施例中,当第二侦测电压 $V_{det}$ 透过电压电流转换单元40转换为补偿电流 $I_{adaptive}$ 时,由于电压电流转换单元40中的转换晶体管和第一晶体管M1与第二晶体管M2分别形成一电流镜架构,因此与补偿电流 $I_{adaptive}$ 成正比的第一补偿电流 $N \times I_{adaptive}$ 会对应地于放大器电路侧产生并经由第一晶体管M1流向第一放大器PA1,另外,亦与补偿电流 $I_{adaptive}$ 成正比的第二补偿电流 $M \times$

$I_{\text{adaptive}}$ 也会对应地于放大器电路侧产生并经由第二晶体管M2流向第二放大器PA2。

[0082] 因此,总的来说,当本实施例所提供的电流补偿电路应用于具有两个放大器的多级放大器电路时,电流补偿电路中的功率侦测电路20会侦测第一放大器PA1的输入端的输入功率 $P_{\text{IN}}$ 或输出端的输出功率 $P_{\text{IM1}}$ ,接着功率侦测电路20根据所测得的功率值获得第一侦测电压 $V_{\text{PD}}$ 。接着,运算放大器电路30会根据第一侦测电压 $V_{\text{PD}}$ 与一校正电压(图中未示出)产生第二侦测电压 $V_{\text{det}}$ 。最后,当电压电流转换单元40将第二侦测电压 $V_{\text{det}}$ 转换为补偿电流 $I_{\text{adaptive}}$ 时,根据补偿电流 $I_{\text{adaptive}}$ ,第一补偿电流 $N \times I_{\text{adaptive}}$ 会对应地于放大器电路侧产生并经由第一晶体管M1流向第一放大器PA1,此外第二补偿电流 $M \times I_{\text{adaptive}}$ 也会对应地于放大器电路侧产生并经由第二晶体管M2流向第二放大器PA2。

[0083] 于是,第一放大器PA1即由第一偏压电流 $I_{\text{bias1}}$ 与第一补偿电流 $N \times I_{\text{adaptive}}$ 共同来驱动,且第二放大器PA2即由第二偏压电流 $I_{\text{bias2}}$ 与第二补偿电流 $M \times I_{\text{adaptive}}$ 共同来驱动。如此一来,即使第一放大器PA1与第二放大器PA2都具有增益会随着输出或输入功率的增加而逐渐饱和的特性,但由于两者的偏压电流分别因为第一补偿电流 $N \times I_{\text{adaptive}}$ 与第二补偿电流 $M \times I_{\text{adaptive}}$ 的加入而增大,因此两者随着输出功率或输入功率的增加而逐渐饱和的增益便能被补偿,使得放大器电路能维持良好的线性度。

[0084] 值得注意的是,于本实施例中,倍数N的大小可透过电压电流转换单元40与第一晶体管M1两者的组件设计来调整,同理,倍数M的大小也可透过电压电流转换单元40与第二晶体管M2两者的组件设计来调整。

[0085] 举例来说,第一晶体管M1与电压电流转换单元40中的转换晶体管的尺寸比率被设计为相关于第一放大器PA1的输出功率 $P_{\text{IM1}}$ 与输入功率 $P_{\text{IN}}$ 的关系曲线的斜率,而第二晶体管M2与电压电流转换单元40中的转换晶体管的尺寸比率被设计为相关于第二放大器PA2的输出功率与输入功率(即,第一放大器PA1的输出功率 $P_{\text{IM1}}$ )的关系曲线的斜率。需说明地是,第一晶体管M1与电压电流转换单元40中的转换晶体管的尺寸比率和第二晶体管M2与电压电流转换单元40中的转换晶体管的尺寸比率可相同或相异。藉此,倍数N与倍数M的大小便能被调整。

[0086] 需说明地是,本实施例中所描述的第一放大器PA1为多级放大器电路中的第一级放大器,第二放大器PA2为多级放大器电路中的第二级放大器。此外,于本实施例中,功率侦测电路20可耦接于第一级放大器的输出端与第二级放大器的输入端之间以侦测第一级放大器的输出功率 $P_{\text{IM1}}$ (或称第二级放大器的输入功率),或者可耦接于第一级放大器的输入端以侦测第一级放大器的输入功率 $P_{\text{IN}}$ 。

[0087] (电流补偿电路的另一实施例)

[0088] 请同时参照图3与图4,图3为根据本发明另一示范性实施例绘示的电流补偿电路的应用示意方块图,且图4为图3所绘示的电流补偿电路的应用示意电路图。

[0089] 同于图2所绘示的电流补偿电路,本实施例所提供的电流补偿电路同样适用于多级放大器电路。本实施例所提供的电流补偿电路与图2所绘示的电流补偿电路具有类似的电路架构,两者的主要差别在于,本实施例所提供的电流补偿电路所适用的放大器电路更包括第三放大器PA3。本实施例中所描述的第一放大器PA1为多级放大器电路中的第一级放大器,第二放大器PA2为多级放大器电路中的第二级放大器,且第三放大器PA3为多级放大器电路中的第三级放大器。

[0090] 进一步说明,本实施例所提供的电流补偿电路与图2所绘示的电流补偿电路不同之处在于,图2所绘示的电流补偿电路是根据第一放大器PA1的输入端的输入功率 $P_{IN}$ 或根据第一放大器PA1的输出端的输出功率 $P_{IM1}$ (即,第二放大器PA2的输入端的输入功率)来产生补偿电流 $I_{adaptive}$ ;而本实施例所提供的电流补偿电路除了能根据第一放大器PA1的输入端的输入功率 $P_{IN}$ 或根据第一放大器PA1的输出端的输出功率 $P_{IM1}$ (即,第二放大器PA2的输入端的输入功率)来产生补偿电流 $I_{adaptive}$ 之外,还能选择根据第二放大器PA2的输出端的输出功率 $P_{IM2}$ 来产生补偿电流 $I_{adaptive}$ 。

[0091] 除了前述差异,本实施例所提供的电流补偿电路其余的工作原理均类似于图2所绘示的电流补偿电路的工作原理,故于此便不重复说明。

[0092] 图5A~图5C为放大器电路的输出功率与各放大器的增益的关系图。以一般的多级放大器电路为例,图5A所显示的是多级放大器电路的输出功率与第一级放大器的增益的关系,而图5B所显示的是多级放大器电路的输出功率与第二级放大器的增益的关系。就本发明所属技术领域中普通技术人员所能理解,随着多级放大器电路的输出功率的功率值增大,第一级放大器的增益所受到的影响较小,但第二级放大器的增益所受到的影响较大。如图5A中的曲线g1所示,随着多级放大器电路的输出功率 $P_{OUT}$ 的功率值增大,第一级放大器的增益值会大约维持在一定值,而如图5B中的曲线g2所示,随着多级放大器电路的输出功率 $P_{OUT}$ 的功率值增大,第二级放大器的增益值会趋近饱和且逐渐地下降。

[0093] 因此,综合图5A与图5B来看,随着多级放大器电路的输出功率 $P_{OUT}$ 的功率值增大,多级放大器电路的增益值也会趋近饱和且逐渐地下降。亦即,当输出功率较大时,多级放大器电路的线性度较差,使得多级放大器电路的增益不易预期。然而,前述各实施例所提供的电流补偿电路能够改善此状况。

[0094] 进一步说明,对于一个多级放大器电路来说,若第一级放大器的偏压电流因为第一补偿电流 $N \times I_{adaptive}$ 的加入而增大,则多级放大器电路的输出功率 $P_{OUT}$ 与第一级放大器的增益间的关系会如图5C中的曲线g3;同理,若第二级放大器的偏压电流因为第二补偿电流 $M \times I_{adaptive}$ 的加入而增大,则多级放大器电路的输出功率 $P_{OUT}$ 与第二级放大器的增益间的关系会如图5B中的曲线g5。也就是说,藉由提供适当大小的第一补偿电流 $N \times I_{adaptive}$ 与第二补偿电流 $M \times I_{adaptive}$ ,便能使得多级放大器电路的增益较不会因为其输出功率 $P_{OUT}$ 增大而趋近饱和且逐渐地下降。

[0095] 为了更详细说明前述各实施例所提供的电流补偿电路如何调整放大器电路的增益,进而改善放大器电路的线性度,于以下的叙述中将说明前述各实施例所提供的电流补偿电路中功率侦测电路与运算放大器电路的工作原理。

[0096] 请参照图6,图6为根据本发明示例性实施例绘示的电流补偿电路中功率侦测电路的电路图。图6中的功率侦测电路适用于前述各实施例所提供的电流补偿电路。

[0097] 如图6所示,于前述各实施例所提供的电流补偿电路中,功率侦测电路20包括有电容器C、第四晶体管M4与第五晶体管M5。电容器C的一端耦接于第一放大器PA1的输入端或输出端,又或者是第二放大器PA2的输出端。第四晶体管M4与第五晶体管M5分别具有第一端、第二端与第三端,且为便于说明,于图6中,第四晶体管M4与第五晶体管M5的第一端标示为①,第四晶体管M4与第五晶体管M5的第二端标示为②,第四晶体管M4与第五晶体管M5的第三端标示为③。此外,电容器C的另一端连接于第四晶体管M4的第二端,并透过一扼流电阻

$R_{choke}$ 连接于第五晶体管M5的第二端,且第四晶体管M4的第一端与第五晶体管M5的第一端耦接于供应电压VDD。

[0098] 图6所示的功率侦测电路所侦测的是第一放大器PA1的输入端的输入功率PIN或输出端的输出功率PIM1,又或者是第二放大器PA2的输出端的输出功率PIM2。根据图6所示的功率侦测电路的电路架构,当第一放大器PA1的输入功率PIN或输出功率PIM1为零时,或者当第二放大器PA2的输出功率PIM2为零时,第五晶体管M5的第三端的电压值等于第四晶体管M4的第三端的电压值。

[0099] 以射频放大器电路为例,当射频放大器电路没有射频信号输入时,第四晶体管M4的第三端的电压值等于供应电压VDD扣除第四晶体管M4的第一端与第三端的压降,第五晶体管M5的第三端的电压值则等于供应电压VDD扣除第五晶体管M5的第一端与第三端的压降。在第四晶体管M4与第五晶体管M5尺寸相同的情况下,第四晶体管M4的第三端的电压值便会与第五晶体管M5的第三端的电压值相等。当开始有射频信号输入时,第一放大器PA1的输入功率PIN与输出功率PIM1,以及第二放大器PA2的输出功率PIM2开始大于零,于是第四晶体管M4的第三端的电压值便开始随着射频信号的输入而上升。然而,在射频放大器电路与功率侦测电路中的第五晶体管M5之间设置有一个扼流电阻 $R_{choke}$ ,由于扼流电阻 $R_{choke}$ 的阻值很大,使得第五晶体管M5的第三端的电压值不容易因为射频信号的输入受影响。换句话说,第五晶体管M5的第三端的电压值与第一放大器PA1的输入功率PIN和输出功率PIM1,以及第二放大器PA2的输出功率PIM2的相关性不大。

[0100] 于是,透过图6所示的功率侦测电路,当开始有射频信号输入时,便能于第四晶体管M4的第三端产生一个第一侦测电压 $V_{PD}$ 以及于第五晶体管M5的第三端产生一个校正电压 $V_{PD\_DC}$ 。

[0101] 在一实施例中,上述各晶体管的第一端、第二端与第三端分别为漏极、栅极与源极。

[0102] 接着请参照图7A,图7A为根据本发明示例性实施例绘示的电流补偿电路中运算放大器电路的电路图。图7A中的运算放大器电路适用于前述各实施例所提供的电流补偿电路。

[0103] 如图7A所示,于前述各实施例所提供的电流补偿电路中,运算放大器电路30包括有一个运算放大器OP。运算放大器OP的非反向输入端透过一第二电阻R2耦接一参考电位GND,并透过一第三电阻R3连接于功率侦测电路20的第四晶体管M4的第三端以接收第一侦测电压 $V_{PD}$ ,运算放大器OP的反向输入端透过另一第二电阻R2连接于运算放大器OP的输出端,并透过另一第三电阻R3连接于功率侦测电路20的第五晶体管M5的第三端以接收校正电压 $V_{PC\_DC}$ 。

[0104] 此运算放大器电路30会根据第一侦测电压 $V_{PD}$ 与校正电压 $V_{PC\_DC}$ 计算出第二侦测电压 $V_{det}$ 。以图7A中运算放大器电路30的电路架构来说,第二侦测电压 $V_{det}$ 可用以下的式1表示。

$$[0105] \quad V_{det} = R2/R3 (V_{PD} - V_{PD\_DC}) \quad (式1)$$

[0106] 其中,R2为第二电阻,R3为第三电阻, $V_{PD}$ 为第一侦测电压、 $V_{PD\_DC}$ 为校正电压,且 $V_{det}$ 为第二侦测电压。

[0107] 根据式1,第二侦测电压 $V_{det}$ 相关于第一侦测电压 $V_{PD}$ 与校正电压 $V_{PC\_DC}$ 的差值。将校

正电压 $V_{PC\_DC}$ 于第一侦测电压 $V_{PD}$ 中扣除的目的是为了要除去与第一放大器PA1的输入功率PIN与输出功率PIM1,以及第二放大器PA2的输出功率不相关的电压成分,以利精确地反映出电流补偿电路应提供多少补偿电流。

[0108] 值得注意的是,于本实施例中,第二电阻R2与第三电阻R3可以一可变电阻来实现。举例来说,若功率侦测电路所侦测的是多级放大器电路中第一放大器PA1的输出功率PIM1,则式1中第二电阻R2与第三电阻R3的阻值比率相关于第一放大器PA1的输出功率与输入功率的关系曲线的斜率,即相关于第一放大器PA1的增益。因此,藉由调整第二电阻R2与第三电阻R3的阻值比率,便能调整第二侦测电压,进而调整电流补偿电路提供给第一放大器PA1的第一补偿电流 $N \times I_{adaptive}$ 。换句话说,藉由调整第二电阻R2与第三电阻R3的阻值比率便能将第一放大器PA1的增益由如图5A所示的曲线g1选择性地调整为如图5C所示的曲线g3或曲线g4。

[0109] 此外也请参照图7B,图7B为根据本发明另一示例性实施例绘示的电流补偿电路中运算放大器电路的电路图。图7B中的运算放大器电路适用于前述各实施例所提供的电流补偿电路。

[0110] 图7B所示的运算放大器电路与图7A所示的运算放大器电路具有大致相同的电路架构,两者的主要差别在于,于图7B所示的运算放大器电路中,运算放大器OP的非反向输入端更透过一第四电阻R4耦接于一第一参考电压VA,且运算放大器OP的反向输入端还透过另一第四电阻R4耦接于一第二参考电压VB。

[0111] 此运算放大器电路30会根据第一侦测电压 $V_{PD}$ 与校正电压 $V_{PD\_DC}$ ,以及第一参考电压VA与第二参考电压VB计算出第二侦测电压 $V_{det}$ 。以图7B中运算放大器电路30的电路架构来说,第二侦测电压 $V_{det}$ 可用以下的式2表示。

$$[0112] \quad V_{det} = R2/R3 (V_{PD} - V_{PD\_DC}) + R3/R4 (VA - VB) \quad (\text{式2})$$

[0113] 其中,R2为第二电阻,R3为第三电阻,R4为第四电阻, $V_{PD}$ 为第一侦测电压, $V_{PD\_DC}$ 为校正电压, $V_{det}$ 为第二侦测电压,VA为第一参考电压,且VB为第二参考电压。

[0114] 根据式2,第二侦测电压 $V_{det}$ 除了相关于第一侦测电压 $V_{PD}$ 与校正电压 $V_{PD\_DC}$ 的差值之外,还相关于第一参考电压VA与第二参考电压VB的差值。值得注意的是,于本实施例中,第一参考电压VA与第二参考电压VB均可来自于可调式电压源。

[0115] 举例来说,若功率侦测电路所侦测的是多级放大器电路中第一放大器PA1的输出功率PIM1,则透过调整第一参考电压VA与第二参考电压VB的差值,便能将第一放大器PA1的增益由如图5C所示的曲线g3下移为如图5C所示的曲线g6,或者将第一放大器PA1的增益由如图5C所示的曲线g6上抬为如图5C所示的曲线g3。换句话说第一参考电压与该第二参考电压的电压差值相关于第一放大器PA1的输出功率与输入功率的关系曲线(即,第一放大器PA1的增益曲线)上升的时间点。

[0116] 因此,于此举例中,调整第二电阻R2与第三电阻R3的阻值比率以及调整第一参考电压VA与第二参考电压VB的差值都能调整第二侦测电压,进而调整电流补偿电路提供给第一放大器PA1的第一补偿电流 $N \times I_{adaptive}$ 。简单来说,调整第二电阻R2与第三电阻R3的阻值比率能够设定第一放大器PA1的增益曲线的斜率,而调整第一参考电压VA与第二参考电压VB的差值能够设定第一放大器PA1的增益曲线开始上升的时间点。

[0117] (实施例的可能功效)

[0118] 综上所述,本发明所提供的电流补偿电路能藉由侦测放大器电路的功率来提供适当的补偿电流给放大器电路中的各级放大器,使得放大器电路中各级放大器的偏压电流因补偿电流的加入而增大,以个别调整各级放大器的增益曲线。如此一来,即使放大器电路的输出功率逐渐增加,放大器电路整体的增益也不会出现渐趋饱和与下降的情形,使得放大器电路能具有良好的线性度。

[0119] 以上所述仅为本发明的实施例,其并非用以限制本发明的权利要求书范围。

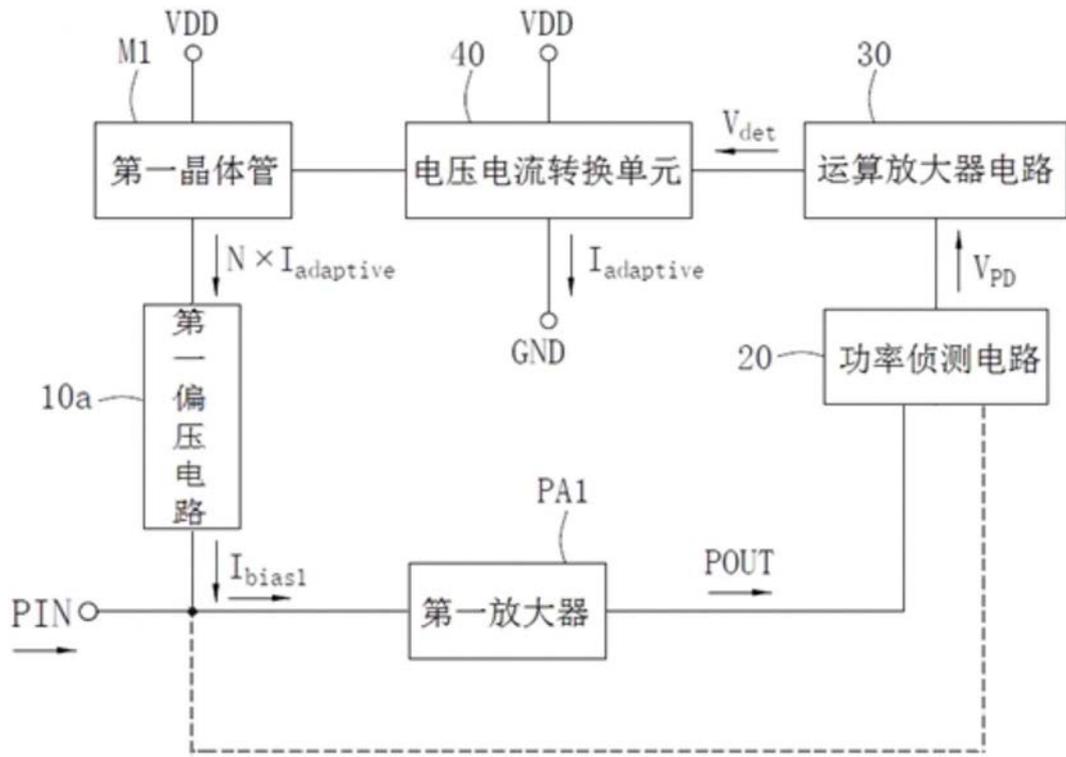


图1A

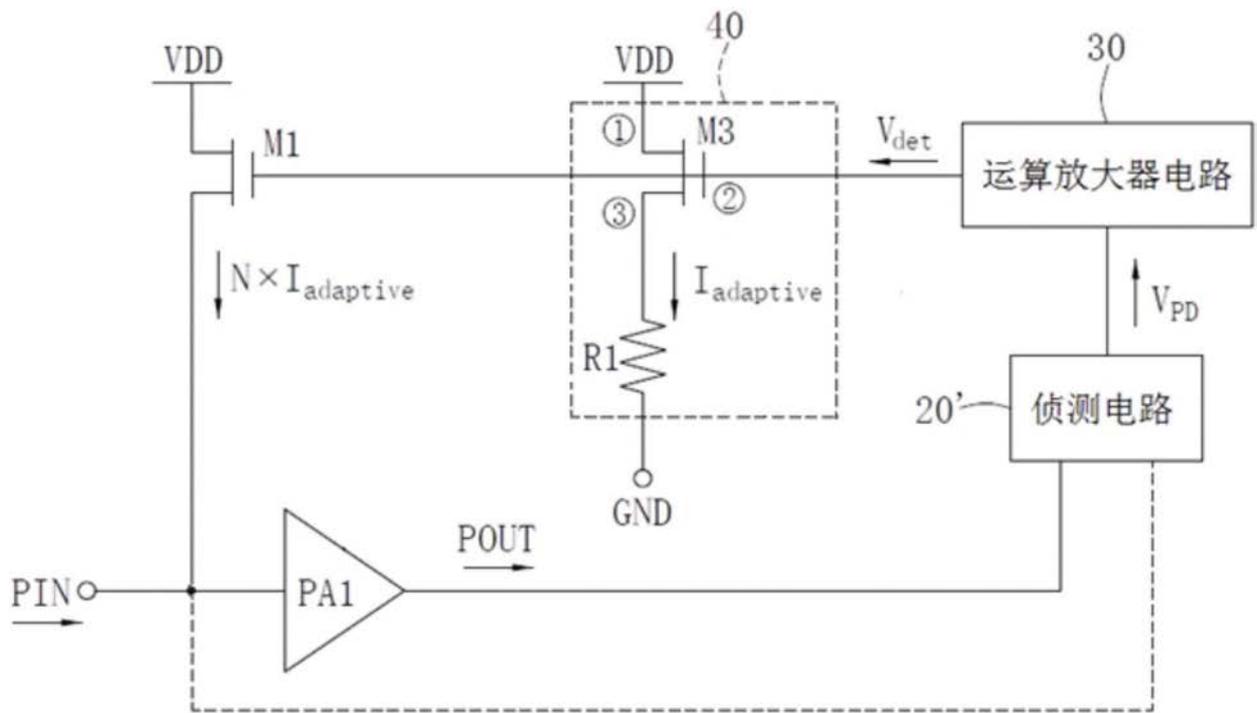


图1B

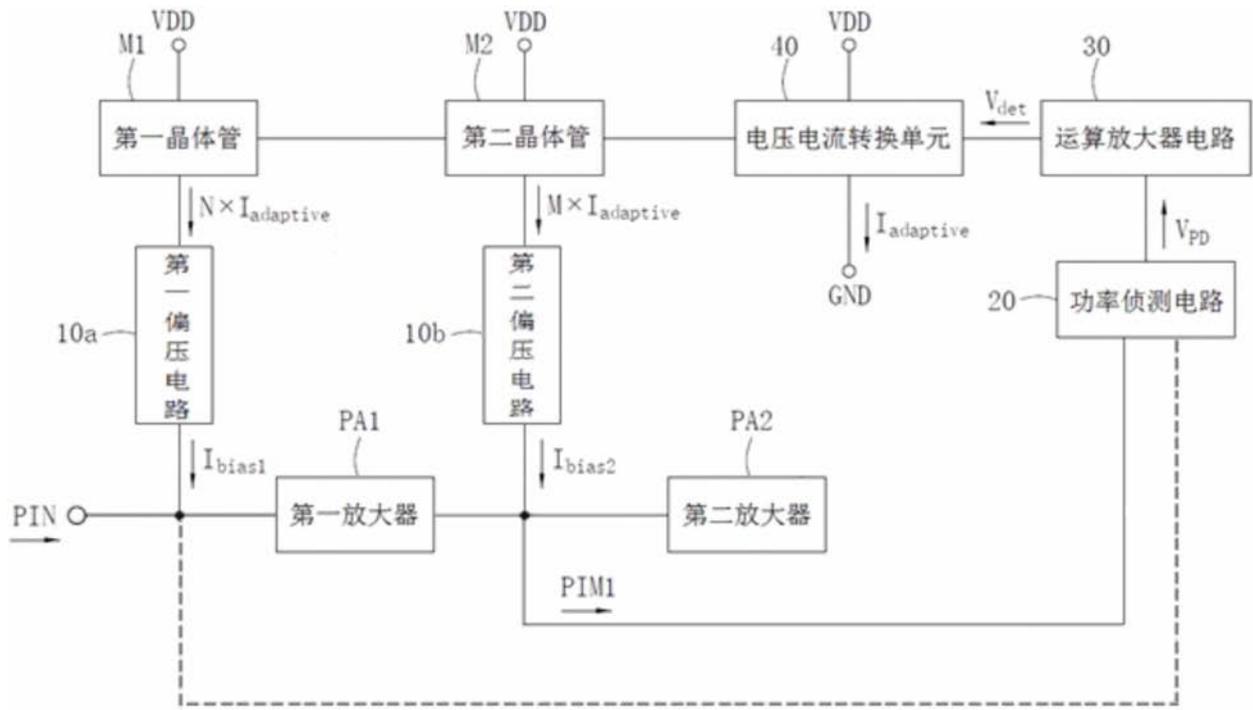


图2

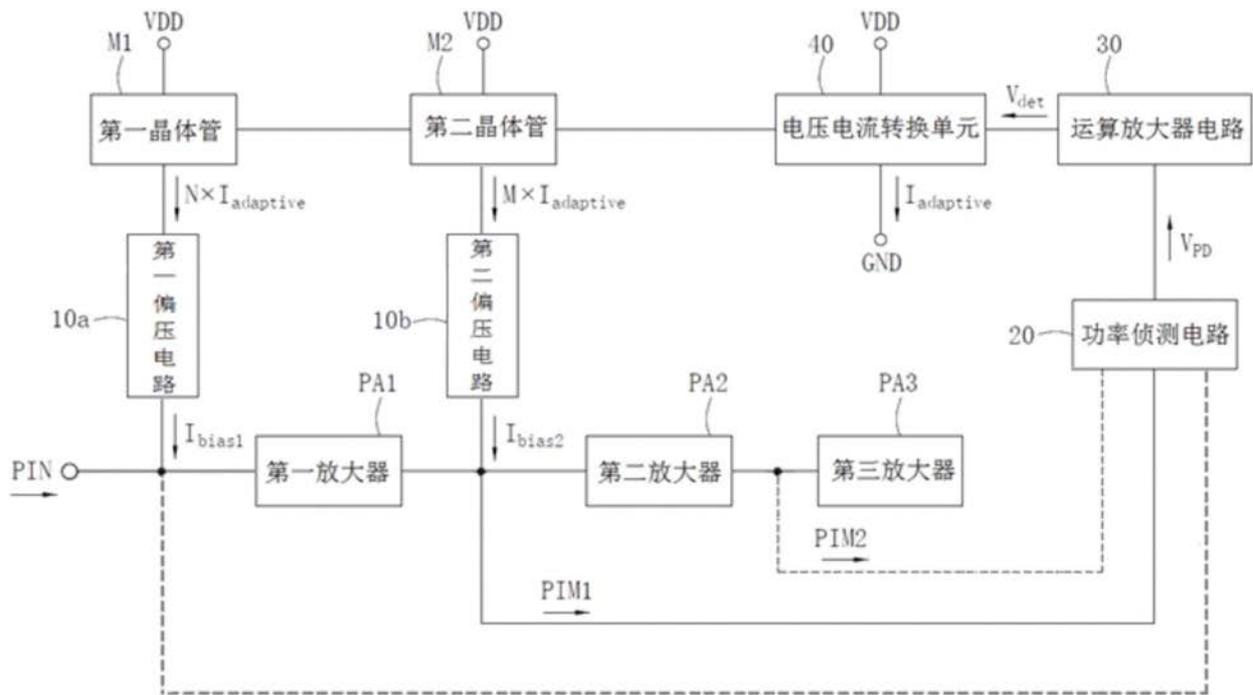


图3

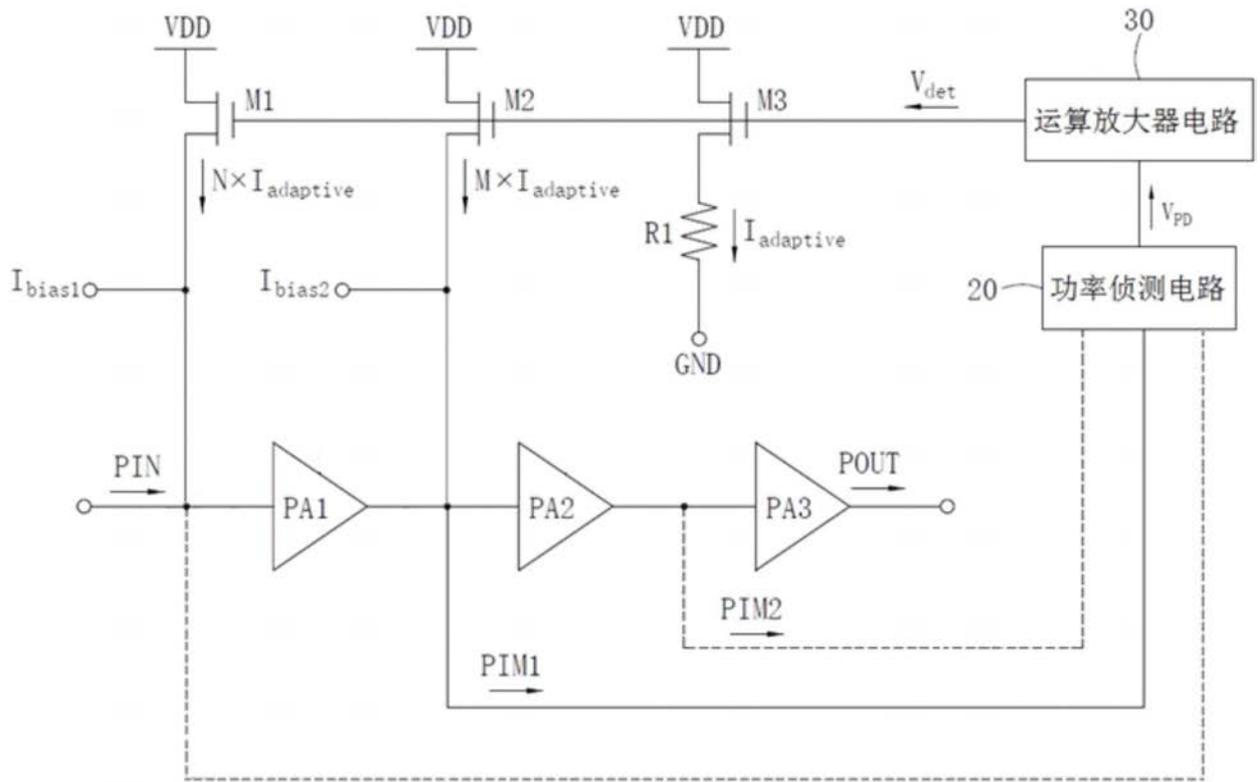


图4

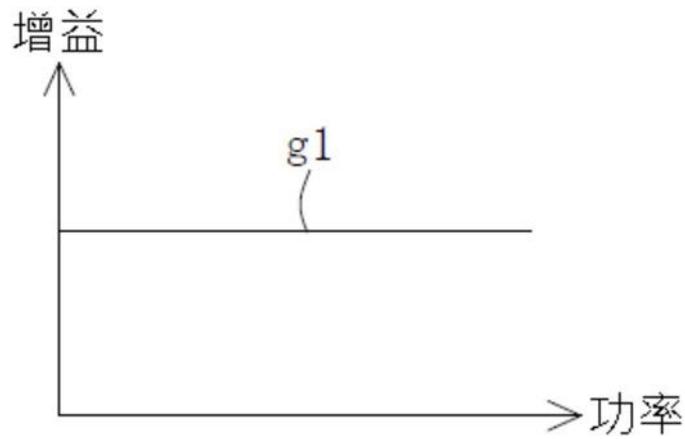


图5A

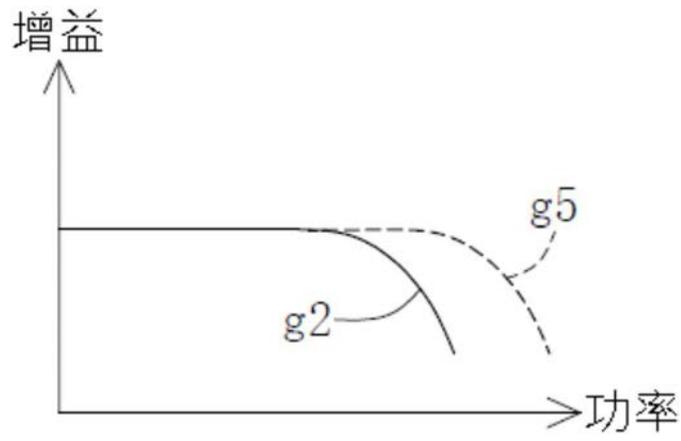


图5B

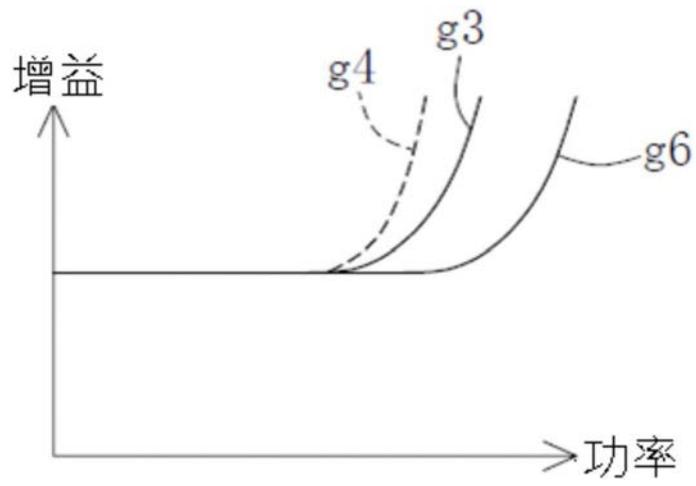


图5C

20

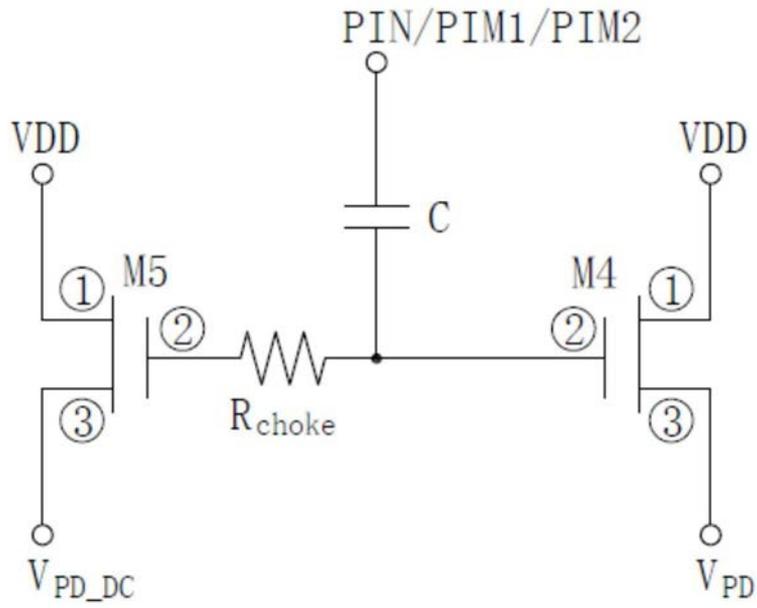


图6

30

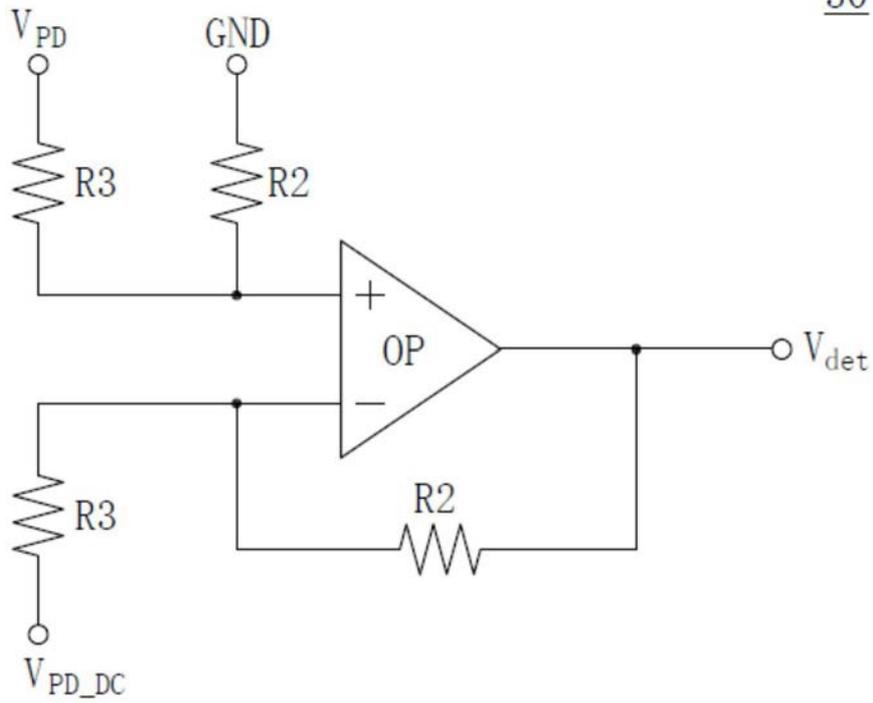


图7A

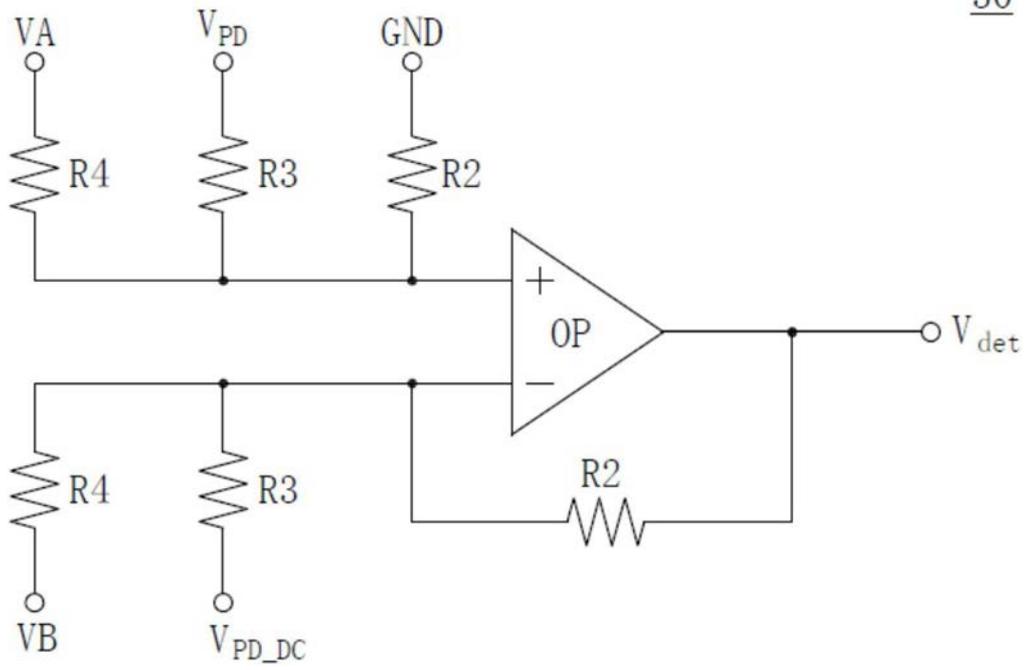


图7B