



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113885626 B

(45) 授权公告日 2023. 03. 10

(21) 申请号 202111304847.5

(22) 申请日 2018.01.08

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113885626 A

(43) 申请公布日 2022.01.04

(30) 优先权数据
15/400,976 2017.01.07 US

(62) 分案原申请数据
201880014138.3 2018.01.08

(73) 专利权人 德克萨斯仪器股份有限公司
地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 V·V·伊娃诺夫 S·斯里拉杰

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

专利代理师 魏利娜

(51) Int.Cl.
G05F 1/40 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 104821721 A, 2015.08.05
US 2016252919 A1, 2016.09.01
JP 2016162097 A, 2016.09.05
US 2015177760 A1, 2015.06.25
CN 104950974 A, 2015.09.30
CN 103376816 A, 2013.10.30
CN 204652316 U, 2015.09.16
US 2003111986 A1, 2003.06.19

审查员 王佳玉

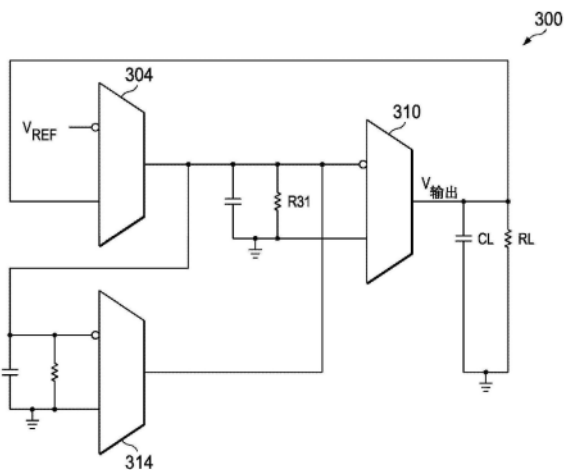
权利要求书2页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

用于补偿低压差线性稳压器的方法和电路系统

(57) 摘要

本申请涉及用于补偿低压差线性稳压器的方法和电路系统。在描述的示例中，一种低压差线性稳压器 (LDO) (300) 包括具有第一输入和第二输入的误差放大器 (304)。第一输入用于耦合到 LDO (300) 的输出，并且第二输入用于耦合到参考电压 (V_{REF})。误差放大器 (304) 具有带电压的输出，该电压与输出电压和参考电压 (V_{REF}) 之间的差值成比例。第二放大器 (310) 耦合在误差放大器 (304) 和 LDO (300) 的输出之间。增益自举放大器 (314) 耦合在误差放大器 (304) 和第二放大器 (310) 之间。增益自举放大器 (314) 响应于输出上的负载阶跃而增加 LDO (300) 的 DC 增益。



1. 一种低压差线性稳压器即LDO,其包括:

误差放大器,其具有第一输入、第二输入和输出,所述第一输入耦合到所述LDO的输出,所述误差放大器可操作以输出与所述LDO的所述输出处的电压和所述第二输入处接收的参考电压之间的差值成比例的第一电压;

第二放大器,其具有耦合到所述误差放大器的所述输出的输入和耦合到所述LDO的所述输出的输出;

增益自举放大器,其耦合在所述误差放大器的所述输出和所述第二放大器的所述输入之间,所述增益自举放大器可操作以响应于所述LDO的所述输出上的负载阶跃而改变所述LDO的DC增益;以及

传输晶体管,所述传输晶体管具有耦合到所述LDO的电压输入的第一电流端子、耦合到所述LDO的所述输出的第二电流端子,以及耦合到所述增益自举放大器的输入和所述第二放大器的所述输出的控制端子。

2. 根据权利要求1所述的LDO,其中所述第二放大器是差分放大器,所述增益自举放大器是差分放大器,并且其中所述传输晶体管的所述控制端子耦合到所述第二放大器的第一输出和所述增益自举放大器的第一输入。

3. 根据权利要求2所述的LDO,其中所述第二放大器的第二输出耦合到所述增益自举放大器的第二输入。

4. 根据权利要求1所述的LDO,其中所述误差放大器包括用于提供尾电流的差分放大器,其中响应于所述误差放大器的所述第一电压而设置所述尾电流。

5. 根据权利要求4所述的LDO,其中响应于所述误差放大器指示所述LDO的所述输出处的电压与所述参考电压之间的差值而增加所述尾电流,并且其中响应于所述误差放大器指示所述LDO的所述输出处的所述电压与所述参考电压基本相同而减小所述尾电流。

6. 根据权利要求4所述的LDO,其中所述误差放大器具有耦合到公共栅极放大器的输入的差分输出,其中响应于所述公共栅极放大器的输出而设置所述尾电流。

7. 根据权利要求6所述的LDO,其中所述第二放大器是差分放大器,所述增益自举放大器是差分放大器,并且其中所述传输晶体管的所述控制端子耦合到所述第二放大器的第一输出和所述增益自举放大器的第一输入。

8. 根据权利要求7所述的LDO,其中所述第二放大器的第二输出耦合到所述增益自举放大器的第二输入。

9. 根据权利要求7所述的LDO,其中所述增益自举放大器包括耦合在所述增益自举放大器的输入之间的滤波器。

10. 根据权利要求6所述的LDO,进一步包括耦合到所述误差放大器的所述输出的所述公共栅极放大器,所述公共栅极放大器的输出耦合到晶体管并且可操作以控制所述误差放大器的所述尾电流。

11. 一种低压差线性稳压器即LDO,其包括:

LDO输入;

LDO输出;

误差放大器即EA,其具有第一EA输入、耦合到所述LDO输出的第二EA输入、第一EA输出和第二EA输出,所述误差放大器包括:

第一晶体管,其具有第一电流端子、耦合到所述第一EA输出的第二电流端子和耦合到所述第一EA输入以接收参考电压的第一控制端子;以及

第二晶体管,其具有耦合到所述第一电流端子的第三电流端子、耦合到所述第二EA输出的第四电流端子和耦合到所述第二EA输入的第二控制端子;

第二放大器,其包括:

第三晶体管,其具有耦合到所述第四电流端子的第五电流端子、第六电流端子以及耦合到所述第五电流端子的第三控制端子;

传输晶体管,其具有耦合到所述LDO输入的第七电流端子、耦合到所述LDO输出的第八电流端子以及传输控制端子;以及

增益自举放大器即GBA,其具有耦合到所述第二电流端子的第一GBA输入、耦合到所述第四电流端子的第二GBA输入以及GBA输出,所述增益自举放大器可操作以导致所述第三控制端子处的电位跟踪所述传输控制端子处的电位。

12. 根据权利要求11所述的LDO,其中所述第二放大器还包括:

第四晶体管,其具有耦合到所述第二电流端子的第九电流端子、第十电流端子以及耦合到所述第九电流端子的第四控制端子;

第五晶体管,其具有耦合到所述第三控制端子的第五控制端子、第十一电流端子以及耦合到所述传输控制端子和所述第二GBA输入的第十二电流端子;以及

第六晶体管,其具有耦合到所述第四控制端子的第六控制端子、第十三电流端子和耦合到所述第一GBA输入的第十四电流端子。

13. 根据权利要求12所述的LDO,还包括:

第七晶体管,其具有耦合到所述第五晶体管的第一电流端子、第二电流端子以及控制端子;

第八晶体管,其具有耦合到所述第六晶体管的第一电流端子、耦合到所述第七晶体管的所述第二电流端子的第二电流端子以及耦合到所述第七晶体管的所述控制端子的控制端子;以及

第九晶体管,其具有耦合到所述第七晶体管和所述第八晶体管的所述第二电流端子的第一电流端子和耦合到所述GBA输出的控制端子。

14. 根据权利要求11所述的LDO,还包括:

尾晶体管,其具有尾电流控制端子、耦合到所述第一晶体管的所述第一电流端子和所述第二晶体管的所述第三电流端子的第一电流端子;以及

公共栅极放大器,其具有分别耦合到所述第一EA输出和所述第二EA输出的第一输入和第二输入,以及耦合到所述尾电流控制端子的输出。

用于补偿低压差线性稳压器的方法和电路系统

[0001] 本申请是国际申请日为2018年01月08日、进入国家阶段日为2019年08月27日的名称为“用于补偿低压差线性稳压器的方法和电路系统”的中国专利申请201880014138.3 (PCT/US2018/012803)的分案申请。

背景技术

[0002] 对于具有多个电源的电路,尤其是当电路和电源位于单个芯片上时(诸如片上系统(SoC)电路),电源管理是个问题。这些电路中的一些由一个或多个DC-DC转换器供电,DC-DC转换器之后是许多低压差线性稳压器(LDO),其中每个LDO与电源域相关联。有时,单个SoC电路具有多个电源域。这些电源域可以包括数字信号处理核、几组存储器电路、模拟单元、蓝牙无线电和音频单元。

[0003] 当由LDO供电的负载发生变化时,会发生LDO上的负载阶跃(load step)。在从无负载到满负载的负载阶跃条件期间,保持LDO输出的电压的准确性对于电源域的正确操作是重要的。在负载阶跃期间,保持准确性的一种方法是通过包括耦合到每个LDO的外部负载电容器。每个电路上有如此多的LDO并且电路越来越小,由于外部电容器的尺寸和成本,因此每个LDO使用外部负载电容器是不实际的。

发明内容

[0004] 在所描述的示例中,低压差线性稳压器(LDO)包括具有第一输入和第二输入的误差放大器。第一输入用于耦合到LDO的输出,并且第二输入用于耦合到参考电压。误差放大器具有带电压的输出,该电压与输出电压和参考电压之间的差值成比例。第二放大器耦合在误差放大器和LDO的输出之间。增益自举放大器(gain boost amplifier)耦合在误差放大器和第二放大器之间。增益自举放大器响应于输出上的负载阶跃而增加LDO的DC增益。

附图说明

[0005] 图1是低压差线性稳压器(LDO)的示意图。

[0006] 图2是具有AB类输入级且无补偿的LDO的示意图。

[0007] 图3是具有补偿的示例性LDO的框图。

[0008] 图4是具有嵌套在其中的增益自举放大器的示例性LDO的示意图。

[0009] 图5是具有嵌套在其中的增益自举放大器的示例性LDO的详细示意图。

[0010] 图6是描述补偿LDO的方法的流程图,其中LDO具有耦合到第二放大器的误差放大器。

具体实施方式

[0011] 在附图中,相同的附图标记表示相似或等同的元件。因为一些动作或事件可以以不同的顺序发生和/或与其他动作或事件同时发生,所以动作或事件的说明性排序不是限制性的。此外,一些示出的动作或事件可以是可选的,以实现根据示例性实施例的方法。

[0012] 随着电路变得更加集成,这些电路具有许多不同的设备、部件和子电路,这些设备、部件和子电路通常彼此独立地操作或者至少部分地彼此独立地操作。如本文所使用的,术语电路可以包括执行电路功能的有源和/或无源元件的集合,诸如模拟电路或控制电路。术语电路还可以包括集成电路,在集成电路中所有电路元件都制造在公共衬底上。这些不同的系统通常需要它们自己的电源或电源域,许多系统需要多个电源域。这些不同系统的示例包括处理器、存储器设备、无线电发射器和接收器以及音频单元。诸如集成电路的电路可以具有这些系统中的几个,并且可以具有用于仅一个或两个输入电压的输入。这些输入电压耦合到DC-DC转换器,DC-DC转换器为多个低压差线性稳压器(LDO)供电,其中每个LDO为每个系统供电。在某些情况下,单个电路可以具有多达50个LDO。

[0013] LDO将高输入电压转换并且稳定到较低的输出电压。压差电压是维持稳压输出电压所需的裕量。因此,压差电压是输入电压和输出电压之间的维持输出电压的稳定所需的最小电压差值。输入电压减去LDO内的通道元件(pass element)/传输元件(pass element)两端的电压降等于输出电压。例如,具有1.0V压差的3.3V稳压器需要输入电压至少为4.3V。涉及LDO的另一示例性应用是从3.6V锂离子电池产生3.3V,这需要低于300mV的低得多的压差电压。

[0014] 图1是LDO 100的示意图。LDO 100具有输入102,其在LDO 100的操作期间在输入102处接收输入电压 $V_{\text{输入}}$ 。输出104提供在LDO 100的操作期间存在的输出电压 $V_{\text{输出}}$ 。通道晶体管(pass transistor)/传输晶体管(pass transistor) $Q_{\text{传输}}$ 耦合在输入102和输出104之间。传输晶体管 $Q_{\text{传输}}$ 两端的通道电压(pass voltage)/传输电压(pass voltage)是输入电压 $V_{\text{输入}}$ 和输出电压 $V_{\text{输出}}$ 之间的差值。用于维持LDO 100的操作的最小传输电压是压差电压。

[0015] 由电阻器R11和电阻器R12组成的分压器108耦合在输出104和公共节点之间,该公共节点在图1的示例中是接地节点。节点N11位于电阻器R11和电阻器R12之间,并且具有在LDO 100的操作期间存在的反馈电压 V_{FB} 。负载电容器 C_L 耦合在输出104和接地节点之间。负载电容器 C_L 的等效串联电阻(ESR)被描绘为电阻器 R_{ESR} 。负载电阻 R_L 也耦合在输出104和接地节点之间。

[0016] 传输晶体管 $Q_{\text{传输}}$ 的栅极耦合到通道电容器(pass capacitor)/传输电容器(pass capacitor)C11并耦合到差分放大器110的输出。差分放大器110具有耦合到参考电压 V_{REF} 的第一输入和耦合到节点N11的第二输入,节点N11具有在LDO 100的操作期间存在的反馈电压 V_{FB} 。差分放大器110的输出与参考电压 V_{REF} 和反馈电压 V_{FB} 之间的差值成比例,并且用于驱动传输晶体管 $Q_{\text{传输}}$ 的栅极。如果反馈电压 V_{FB} 小于参考电压 V_{REF} ,则差分放大器110更艰难地驱动传输晶体管 $Q_{\text{传输}}$ 的栅极以增加输出电压 $V_{\text{输出}}$ 。同样,如果反馈电压 V_{FB} 大于参考电压 V_{REF} ,则差分放大器110减小在传输晶体管 $Q_{\text{传输}}$ 的栅极上的驱动,这降低了输出电压 $V_{\text{输出}}$ 。

[0017] 传统的LDO(诸如LDO 100)需要一些最小负载电容 C_L 和/或最小ESR(称为电阻器 R_{ESR}),用于稳定性/补偿。例如,当LDO 100经历负载阶跃时,意味着耦合到LDO 100的输出104的负载改变,可以产生具有显著建立时间(settling time)的瞬态。传统的LDO的趋势是降低静态电流,诸如限制静态电流小于最大负载电流的10%。最大负载电流是可以传输通过传输晶体管 $Q_{\text{传输}}$ 的最大电流。这些低静态电流以及其他因素导致负载阶跃期间的瞬态反应时间在微秒范围内,这在许多应用中是不可接受的。负载电容器 C_L 中的较大负载电容通过改善LDO 100的补偿来减少瞬态建立时间。然而,由于硅管芯面积的限制,片上负载电容

器具有低电容并导致更长的瞬态建立时间,这在许多应用中是不可接受的。解决这种瞬态问题需要使用体积大的片外负载电容器,这会增加LDO 100所在电路的板面积和部件计数。已经开发了一些LDO,这些LDO可以在有或没有负载电容的情况下操作,并且响应于负载阶跃具有极快的反应时间。然而,这些快速响应的LDO为了稳定性目的而具有低增益,其具有输出电压的低准确性的缺点。增加这些LDO的增益会增加输出电压的准确性,但其具有降低稳定性的缺点,这会导致负载阶跃期间的稳定性问题。

[0018] 本文描述的LDO通过在负载阶跃条件下的补偿来提供稳定性和高增益,这产生高准确性。无需增加负载电容器或补偿电容器即可实现高增益和稳定性。LDO根据输入电压和输出电压之间的差值提供不同的增益。嵌套在LDO内的增益自举放大器用于在负载阶跃之后增加LDO的DC准确性。本文描述了几个不同的电路示意图作为LDO的示例。因为电路的变体可以执行本文描述的LDO的功能,所以这些示意图不是限制性的。

[0019] 图2是具有AB类输入级204且没有补偿的LDO 200的示意图。LDO 200是可以耦合到本文描述的补偿电路的电路系统的示例。LDO 200具有输入206,其在LDO 200的操作期间耦合到输入电压 $V_{\text{输入}}$ 。LDO 200在LDO 200的操作期间产生并稳定输出208处的输出电压 $V_{\text{输出}}$ 。参考输入210耦合到在LDO 200的操作期间存在的参考电压 V_{REF} 。误差电压 V_E (图2中未示出)是参考电压 V_{REF} 和输出电压 $V_{\text{输出}}$ 之间的差值。晶体管Q21和晶体管Q22形成误差放大器214的输入,晶体管Q22的栅极耦合到参考电压 V_{REF} 并且晶体管Q21的栅极耦合到输出208。在一些示例中,输出电压 $V_{\text{输出}}$ 通过分压器(未示出)耦合到误差放大器214,因此误差放大器214接收的电压与输出电压 $V_{\text{输出}}$ 成比例,但不等于输出电压 $V_{\text{输出}}$ 。误差放大器214具有高输入阻抗,如参考电压 V_{REF} 和输出电压 $V_{\text{输出}}$ 所示。误差放大器214的输出是晶体管Q21和晶体管Q22的漏极上的差分电压。晶体管Q21和晶体管Q22的漏极上的电压分别称为VG1和VG2。传输晶体管 $Q_{\text{传输}}$ 的栅极由误差放大器214的输出通过形成第二放大器的一部分的晶体管Q23和晶体管Q24驱动。

[0020] 误差放大器214的输出耦合到形成公共栅极放大器的晶体管Q25和晶体管Q26的源极。因此,在LDO 200的操作期间,电压VG1和电压VG2存在于晶体管Q25和晶体管Q26的源极。晶体管Q25和晶体管Q26的漏极耦合到节点N21,节点N21耦合到电流源I21。节点N21还耦合到晶体管Q27的栅极,其中晶体管Q27的漏极耦合到误差放大器214中的晶体管Q21和晶体管Q22的源极。节点N21和晶体管Q27的栅极上的电压是反馈电压 V_{FB} 。晶体管Q27的源极耦合到节点(诸如图2中所示的接地)。流过晶体管Q27的电流是误差放大器214的尾电流 $I_{\text{尾}}$ 。如本文所使用的,术语尾电流 $I_{\text{尾}}$ 指的是误差放大器214中的差分晶体管对Q21和Q22的源极端子中的组合电流。晶体管Q23、晶体管Q24、晶体管Q28和晶体管Q211是LDO 200的对称电流镜负载。晶体管Q213和晶体管Q214用作晶体管Q211和晶体管Q24的电流镜。

[0021] 传输晶体管 $Q_{\text{传输}}$ 的栅极由误差放大器214的输出通过晶体管Q24驱动,晶体管Q24用作本文所描述的第二放大器的一部分。传输晶体管 $Q_{\text{传输}}$ 的栅极处的电压改变传输晶体管 $Q_{\text{传输}}$ 的源极-漏极电阻。通过监视误差电压 V_E 来检测瞬态条件(诸如由输出208上的负载阶跃产生的瞬态条件),该误差电压 V_E 是参考电压 V_{REF} 和输出电压 $V_{\text{输出}}$ 之间的差值。当误差电压 V_E 可以忽略时,电压VG1和电压VG2基本相同,这使得通过晶体管Q25和晶体管Q26的电流基本相同。因此,通过晶体管Q25和晶体管Q26中的每一个的电流是电流源I21产生的电流的一半。这将通过误差放大器214中的晶体管Q21和晶体管Q22的电流设置为基本相等。在这些条件

下,误差放大器214以静止状态工作。电压VG1和电压VG2通过设置输入级电流来设置误差放大器214中的电流。

[0022] 当误差电压 V_E 上升时,电压VG1和电压VG2不同。当误差电压 V_E 大于预定值时,VG1和VG2中的较小电压在相应的晶体管Q25和晶体管Q26中触发较高的电流,这迫使反馈电压 V_{FB} 增加。作为结果,误差放大器214离开其静止状态。反馈电压 V_{FB} 中的这种增加使流过晶体管Q27的尾电流 $I_{尾}$ 与误差电压 V_E 成比例地增加。因此,误差放大器214中的尾电流 $I_{尾}$ 与误差电压 V_E 成比例地增加,这提供了快速瞬态响应。更具体地,尾电流 $I_{尾}$ 的这种变化导致输入级中的较高电流驱动以在负载阶跃期间更快速地移动传输晶体管 $Q_{传输}$ 的栅极,从而最小化负载阶跃期间的瞬态。在这些条件期间,晶体管Q28/晶体管Q29和晶体管Q23/晶体管Q210的组合提供LD0 200中的非线性。在晶体管具有四的比率的一些示例中,100mV的误差电压 V_E 具有1000x (1000倍) 尾电流增加。

[0023] 图3是具有嵌套在其中的补偿的LD0 300的框图。LD0 300的框图包括可以包括或可以不包括在LD0 300的最终电路中的无源部件。图3中所示的一些无源部件表示LD0 300中的放大器的输入阻抗和输出阻抗。LD0 300具有放大器304,放大器304包括图2的误差放大器214的输入级204。第二放大器310包括传输晶体管 $Q_{传输}$ (未示出) 和相关联的部件。放大器304和放大器310的组合构成图2的LD0 200。通过如本文所述限制电阻器R31的电阻来减小输入级204 (描绘为放大器304) 的电压增益来实现补偿。在一些示例中,电阻R31是耦合到传输晶体管 $Q_{传输}$ 的栅极的电阻。限制电阻器R31的电阻减小LD0 300的总增益,这导致低DC准确性,但稳定LD0 300。恢复LD0 300的电压增益包括级的嵌套和提升现有的已经稳定的放大器 (诸如上文所描述的误差放大器214) 的增益。使用LD0 300执行放大器级的嵌套,而不是像传统应用中那样串联级联增益级。LD0 300中的放大器的嵌套由增益自举放大器314执行,增益自举放大器314恢复用于DC准确性的增益。放大器314跟踪其输入处的电压并确保电压 $V_{输出}$ 等于电压 V_{REF} 以实现DC准确性。

[0024] 图4是具有嵌套在其中的增益自举放大器的LD0 400的示意图。LD0 400具有许多与图2的LD0 200相同的部件,并且具有应用于这些部件的相同的附图标记。LD0 400包括增益自举放大器402,增益自举放大器402具有耦合到晶体管Q41的栅极的输出。晶体管Q41耦合在晶体管Q213和晶体管Q214的源极与接地节点之间。因此,流过晶体管Q213和晶体管Q214的电流基于放大器402的输出。放大器402的输入耦合到晶体管Q213的漏极和晶体管Q214的漏极,晶体管Q214的漏极耦合到传输晶体管 $Q_{传输}$ 的栅极。增益自举放大器402是跟踪放大器,跟踪放大器确保其输入始终彼此跟踪。更具体地,增益自举放大器402确保晶体管Q213的漏极处的电压和传输晶体管 $Q_{传输}$ 的栅极处的电压彼此跟踪。通过调节晶体管Q41的漏极电流来实现跟踪,这通过由放大器402的输出提供给晶体管Q41的栅极的驱动来实现。

[0025] 图5是具有嵌套在其中的增益自举放大器402的示例性LD0 500的示意图。LD0 500包括图2的LD0 200,增加有提供补偿和负载稳定性的图4的增益自举放大器402。LD0 500包括与图2的LD0 200基本相同的电路系统,增加有增益自举放大器402。通过限制误差放大器214的电压增益来实现LD0 500中的补偿,这通过限制传输晶体管 $Q_{传输}$ 的栅极处的电阻来实现。

[0026] 如图5所示,晶体管Q51和晶体管Q52被通过晶体管Q53和晶体管Q54的一小部分电流偏置,这实现了误差放大器214中的较低电压增益。如果误差放大器214中的电压增益很

小,则LD0 500的总增益可能不足以进行可接受的负载稳定。晶体管Q41和晶体管Q55-Q58形成增益自举放大器。利用该增益自举放大器,传输晶体管 $Q_{\text{传输}}$ 和晶体管Q213的栅极处的电压彼此跟踪。

[0027] 在一些示例中,增益自举放大器402被设计为通过使用电阻器R51和电容器C51来减慢,使得其不影响LD0 500的稳定性。例如,电阻器R51和电容器C51形成使放大器402减慢的滤波器。在一些示例中,滤波器不包括在LD0 500中。

[0028] 图6是描述补偿LD0的方法的流程图600,其中LD0具有耦合到第二放大器的误差放大器。流程图600的步骤602包括接收与LD0的输出电压成比例的第一电压。步骤604包括使用误差放大器将第一电压与参考电压进行比较。步骤606包括响应于将第一电压与参考电压进行比较,改变误差放大器的增益,其中增益的改变为LD0的输出提供增益提升。步骤608包括响应于比较改变LD0的DC增益,其中改变增益减小了第一电压和参考电压之间的差值。

[0029] 在所描述的实施例中可以进行修改,并且在权利要求的范围内,其他实施例也是可能的。

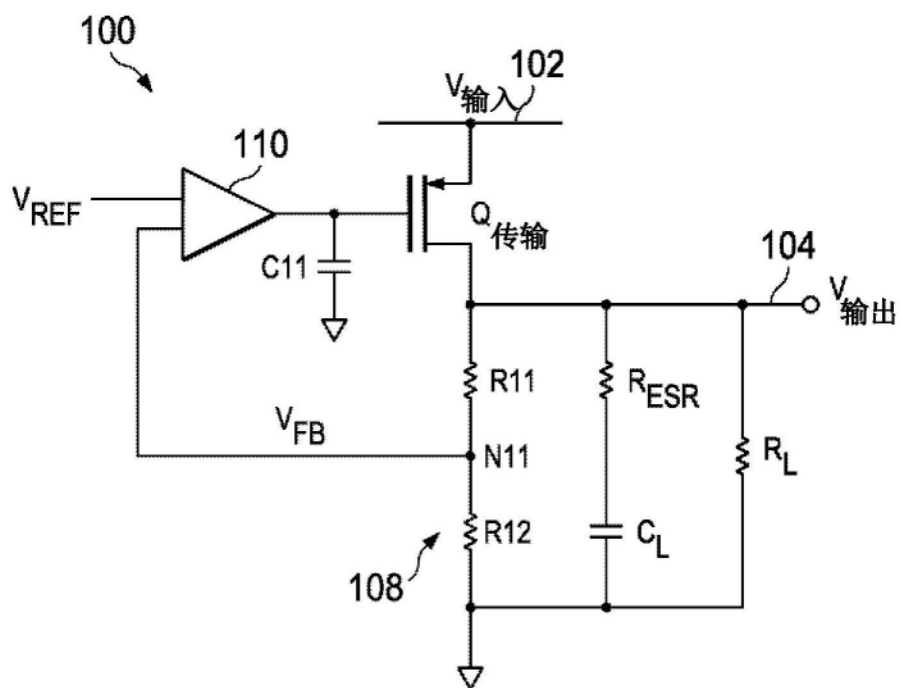


图1 (现有技术)

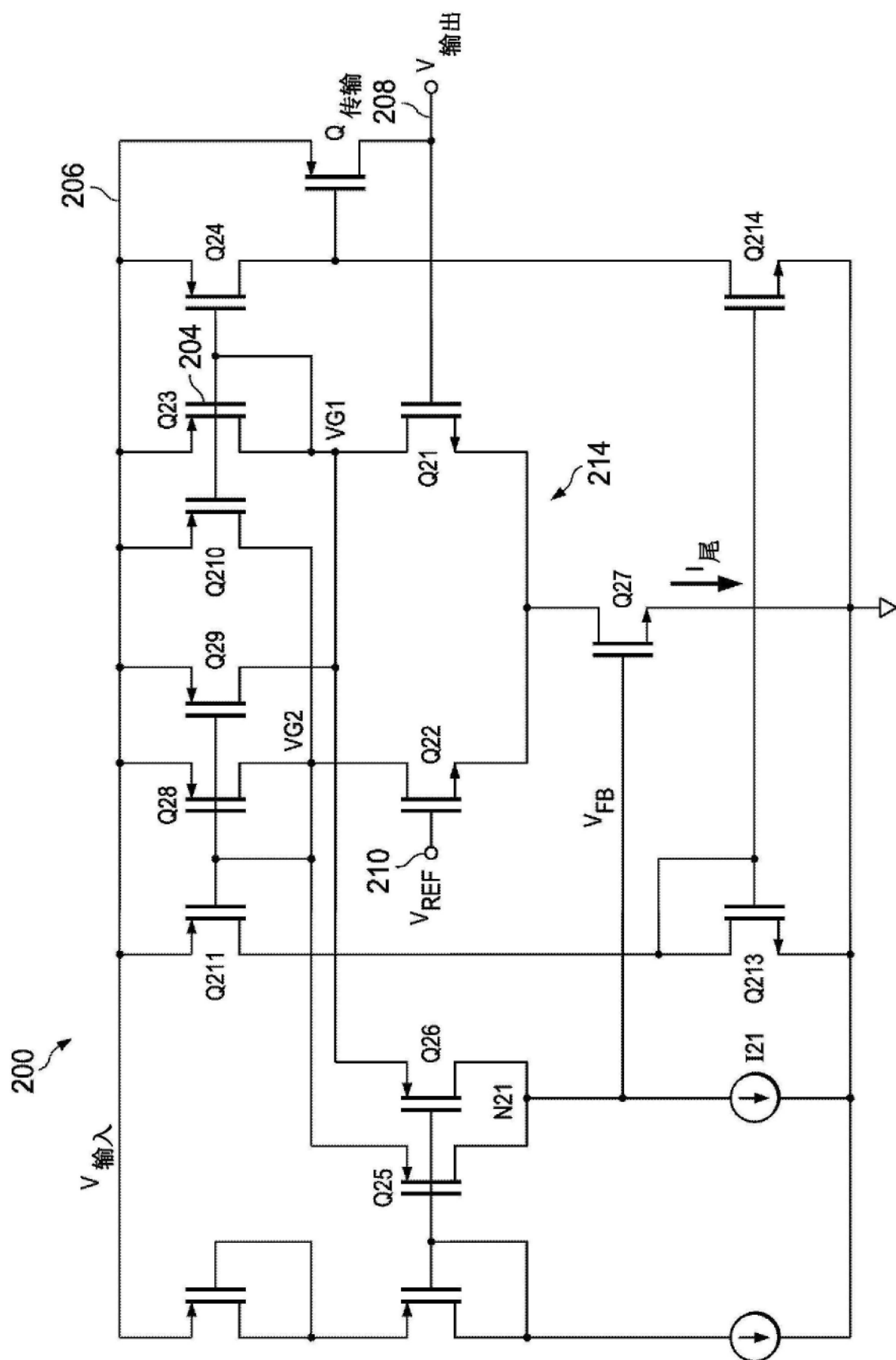


图2

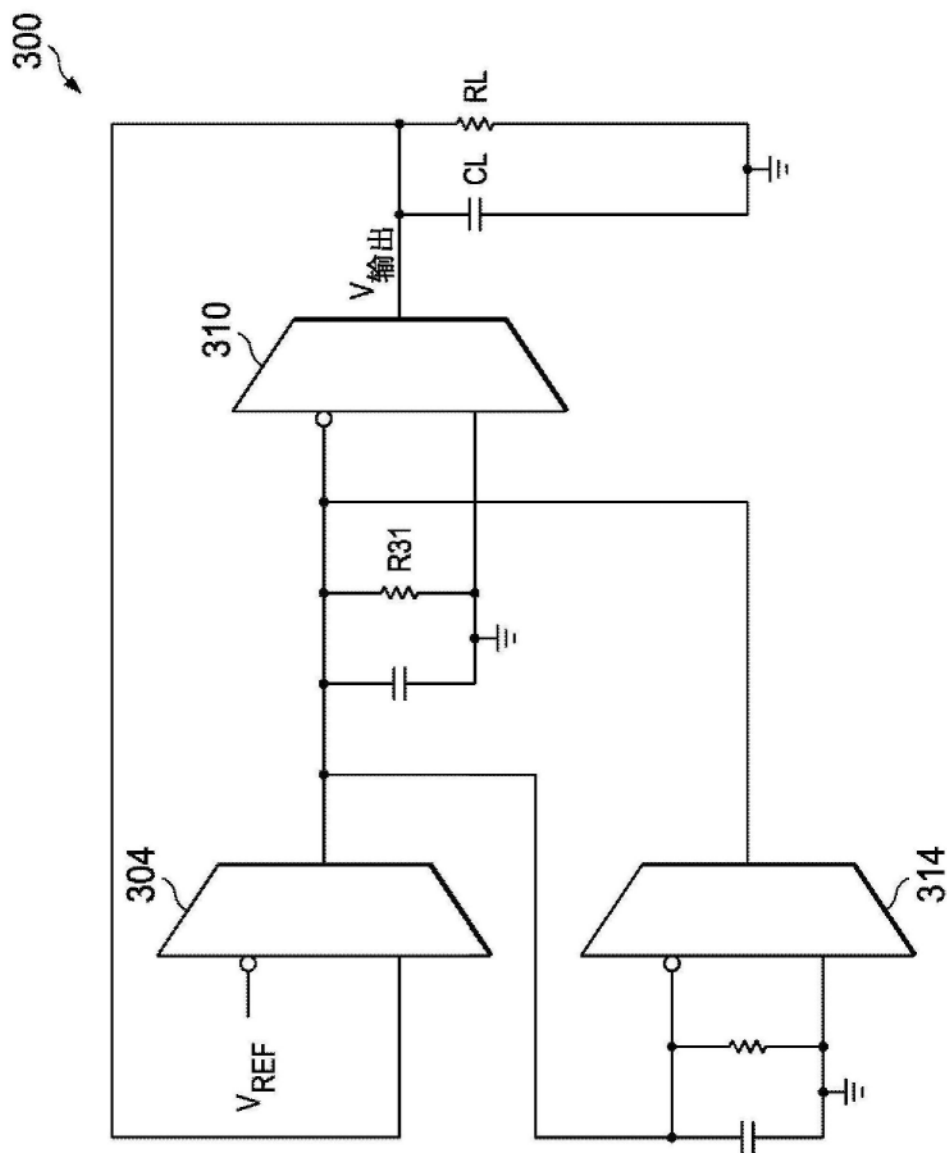


图3

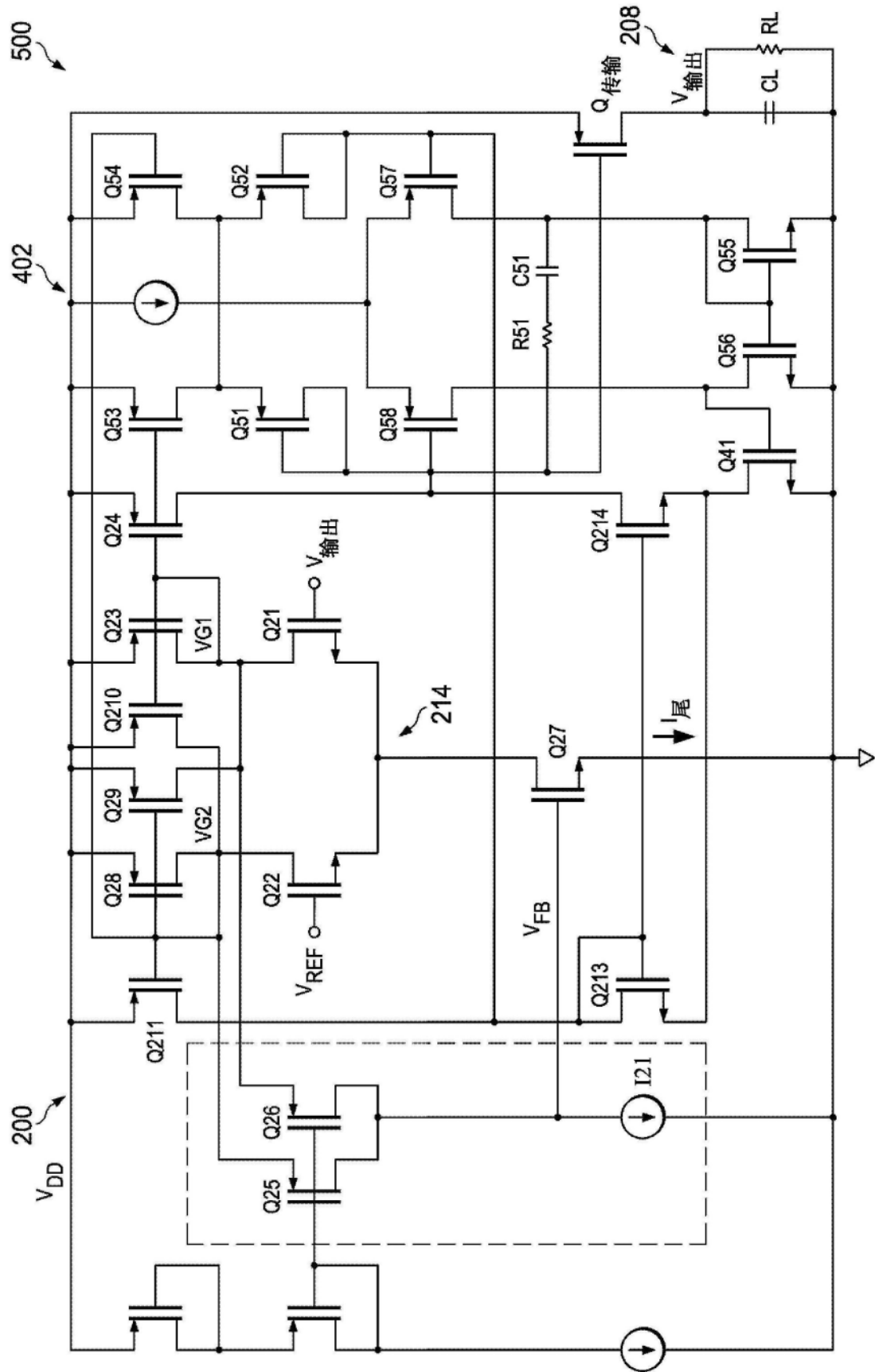


图5

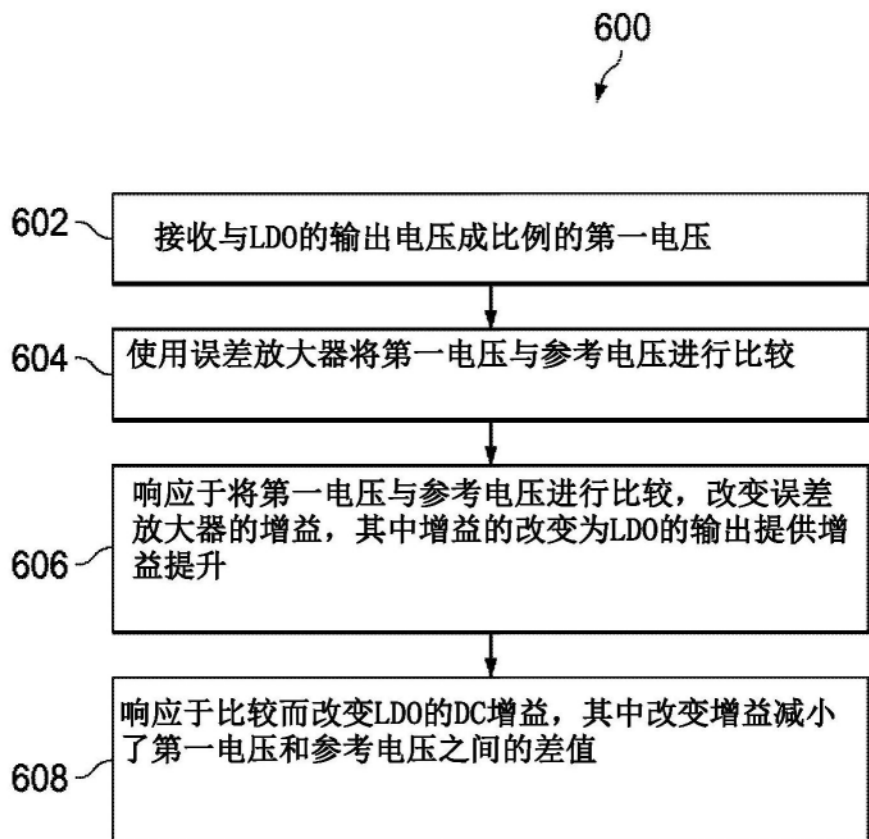


图6