



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102289239 B

(45) 授权公告日 2014. 11. 05

(21) 申请号 201110070183. 0

US 7482844 B2, 2009. 01. 27, 全文.

(22) 申请日 2011. 03. 23

审查员 朱琼

(30) 优先权数据

12/760, 150 2010. 04. 14 US

(73) 专利权人 半导体元件工业有限责任公司

地址 美国亚利桑那

(72) 发明人 R·H·雅各布 S·A·埃弗泰米

C·D·斯坦恩斯库

A·克里奥斯缇努 M·巴迪拉

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 申发振

(51) Int. Cl.

G05F 1/56 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101430572 A, 2009. 05. 13, 全文.

US 2010066169 A1, 2010. 03. 18, 全文.

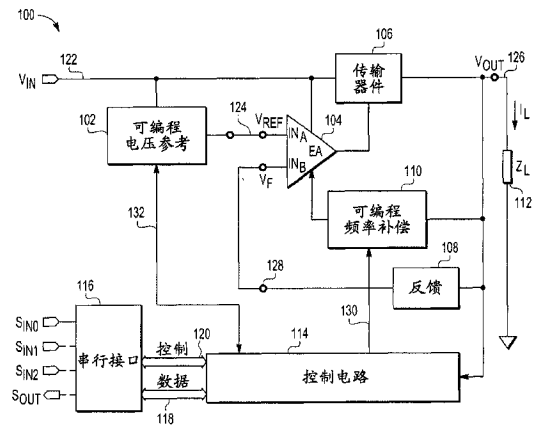
权利要求书3页 说明书8页 附图7页

(54) 发明名称

浮栅的可编程低压降调节器及其方法

(57) 摘要

本公开涉及浮栅的可编程低压降调节器及其方法。在一个实施方式中, 低压降 (LDO) 调节器包括可编程电压参考和可编程频率补偿电路中的至少一个, 并且可配置以产生输出电压。可编程电压参考包括耦合到参考输出的浮栅晶体管, 并且可配置用于将参考电压提供至误差放大器的输入。可编程的频率补偿电路回应包括至少一个浮栅晶体管的可编程电流参考电路, 其可配置调整频率补偿参量。提供控制电路以有选择地对浮栅晶体管的浮栅编程, 以调整输出电压和 / 或调整输出电压的频率分量。



1. 一种低压降调节器,包括:

可编程电压参考,其包括耦合到参考输出的至少一个浮栅晶体管,并且可配置成提供参考电压;

传输器件,其包括耦合到电压输入的输入端子、提供电压输出的输出端子、以及传输控制输入;

反馈电路,其包括耦合到所述输出端子的反馈输入端子、以及反馈输出端子;

误差放大器,其包括耦合到所述参考输出以接收所述参考电压的第一误差放大器输入、耦合到所述反馈输出端子的第二误差放大器输入、以及耦合到所述传输器件的所述传输控制输入的误差放大器输出;以及

控制电路,其具有数据输入并可配置成对由所述数据输入确定的所述至少一个浮栅晶体管上的电荷进行编程,以调整所述参考电压并且控制所述输出电压。

2. 如权利要求 1 所述的低压降调节器,其中所述可编程电压参考包括:

第一浮栅晶体管,其包括用于接收第一电流的漏极、耦合到接地端的控制栅极、以及源极;

第二浮栅晶体管,其包括用于接收第二电流的漏极、控制栅极、以及耦合到所述第一浮栅晶体管的源极的源极;以及

参考放大器,其包括耦合到所述第一浮栅晶体管的漏极的第一参考放大器输入、耦合到所述第二浮栅晶体管的漏极的第二参考放大器输入、以及参考放大器输出,该参考放大器输出耦合到所述第二浮栅晶体管的所述控制栅极,并且包括用于提供所述参考电压的所述参考输出。

3. 如权利要求 1 所述的低压降调节器,还包括:

可编程频率补偿电路,其包括:

第一补偿端子,其耦合到所述传输器件的所述输出端子;

第二补偿端子,其耦合到所述误差放大器;

电容器,其包括耦合到所述第一补偿端子的第一端子,并包括第二端子;以及

可调整的有源阻抗,其包括耦合到所述电容器的所述第二端子的第一阻抗端子、以及耦合到所述第二补偿端子的第二阻抗端子。

4. 如权利要求 3 所述的低压降调节器,还包括:

串行接口,其耦合到所述控制电路,并且可配置成耦合到外部源,以便接收数据和控制信号;以及

其中所述控制电路响应于所述控制信号,以有选择地对所述可编程电压参考和所述可编程频率补偿电路中的至少一个进行编程。

5. 如权利要求 3 所述的低压降调节器,其中所述误差放大器包括:

第一放大器,其包括用于接收所述参考电压的第一放大器输入、耦合到所述反馈电路的所述反馈输出端子的第二放大器输入、以及耦合到所述可编程频率补偿电路的所述第二补偿端子的第一放大器输出端子;以及

第二放大器,其包括耦合到所述第一放大器输出端子的第一放大器输入、第二放大器输入、以及耦合到所述传输器件且耦合到所述第二放大器的所述第二放大器输入的第二放大器输出。

6. 一种低压降调节器,包括:

传输器件,其包括耦合到电压输入的输入端子、提供输出电压的输出端子、以及传输控制输入;

反馈电路,其包括耦合到所述输出端子的反馈输入端子、以及反馈输出端子;

误差放大器,其包括用于接收参考电压的第一误差放大器输入、耦合到所述反馈电路的所述反馈输出端子的第二误差放大器输入、以及耦合到所述传输器件的所述传输控制输入的误差放大器输出;

可编程参考电路,其包括至少一个浮栅晶体管,所述可编程参考电路可配置成产生参考信号;

可编程频率补偿电路,其包括耦合到所述输出端子的第一补偿输入、用于接收所述参考信号的第二补偿输入、和耦合到所述误差放大器的补偿输出,所述可编程频率补偿电路响应于所述参考信号,以调整所述输出电压的频率响应;以及

控制电路,其可配置成对所述至少一个浮栅晶体管上的电荷进行编程,以调整所述可编程频率补偿电路的频率补偿参量。

7. 如权利要求 6 所述的低压降调节器,其中所述可编程参考电路包括:

电流镜电路,其包括用于提供所述参考信号的输出电流电极;

可调整的有源阻抗,其包括耦合到所述电流镜电路的第一阻抗端子,并且包括第二阻抗端子;

第一双浮栅晶体管,其包括:

漏极,其耦合到所述第二阻抗端子;

第一控制栅极,其耦合到所述漏极;

第二控制栅极,其耦合到所述第一阻抗端子;以及

源极,其耦合到供电端子;

第二双浮栅晶体管,其包括:

漏极,其耦合到所述电流镜电路;

第一控制栅极,其耦合到所述第一双浮栅晶体管的所述第一控制栅极;

第二控制栅极,其耦合到所述第二双浮栅晶体管的所述漏极;以及

源极,其耦合到所述供电端子。

8. 如权利要求 6 所述的低压降调节器,还包括:

可编程电压参考,其包括耦合到所述第一误差放大器输入的参考输出,所述可编程电压参考包括可配置成调整所述参考电压的至少一个浮栅晶体管。

9. 一种使用可编程低压降调节器提供输出电压的方法,所述方法包括:

在所述可编程低压降调节器的输入处接收电压输入信号;

通过所述可编程低压降调节器的串行接口接收配置数据;

使用根据所述配置数据编程的可编程参考电路生成参考电压,所述生成参考电压的步骤包括根据所述配置数据对至少一个浮栅晶体管的电荷进行编程,以调整所述参考电压;

使用串行传输器件调节所述电压输入信号,所述串行传输器件耦合到所述输入,并且被配置成在输出端子处产生输出电压;

使用反馈电路对所述输出电压进行采样,所述反馈电路被配置成产生反馈电压;

使用误差放大器将所述反馈电压与所述参考电压进行比较,所述误差放大器被配置成在所述误差放大器的放大器输出处产生误差信号,所述放大器输出耦合到所述串行传输器件以调整所述输出电压;以及

使用耦合到所述误差放大器的可编程频率补偿电路,根据所述配置数据提供频率补偿。

10. 如权利要求 9 所述的方法,还包括:

根据所述配置数据对所述可编程低压降调节器的电流参考电路的至少一个浮栅晶体管中的电荷进行编程,以调整所述可编程频率补偿电路的频率补偿参量。

浮栅的可编程低压降调节器及其方法

技术领域

[0001] 本公开一般涉及可编程低压降调节器及其方法。

背景技术

[0002] 低压降 (LDO) 调节器是可配置成以非常小的输入 - 输出差分电压工作、而同时提供额定的受调输出电压的电路。按照惯例, 与这种 LDO 调节器有关的参量可基于一次性可编程的方法进行调整, 比如在产品测试期间的激光微调或电金属线保险丝熔化。这种器件有时被称为一次性可编程 (OTP) 器件。

[0003] 目前, 通过金属掩模选择实现了在一系列固定值以外选择参量值。一些 LDO 产品为顾客提供了选择相对于额定的输出电压 DC 电平被稍作修正的值的的能力, 这通过将外部控制引脚连接到接地端或者连接到某个输入电平来实现。然而, 这种器件提供了有限的微调选择, 在特定应用工作的状态下, 其可能不足以调整这种 LDO 调节器的性能。

[0004] 高精度的 LDO 电压调节器需要精细调节 DC 和 AC 参量, 其精细调节一般是在制造流程中的晶圆级前端测试期间执行的。然而, 装配过程产生可能引发偏移的机械应力, 该偏移影响被封装部分装配后的精度。常规的微调选择可能不足以补偿这种装配后的偏移。

发明内容

[0005] 根据本公开的一个方面, 提供一种低压降调节器, 包括: 可编程电压参考, 其包括耦合到参考输出的至少一个浮栅晶体管, 并且可配置成提供参考电压; 传输器件, 其包括耦合到电压输入的输入端子、提供电压输出的输出端子、以及传输控制输入; 反馈电路, 其包括耦合到所述输出端子的反馈输入端子、以及反馈输出端子; 误差放大器, 其包括耦合到所述参考输出以接收所述参考电压的第一误差放大器输入、耦合到所述反馈输出端子的第二误差放大器输入、以及耦合到所述传输器件的传输控制输入的误差放大器输出; 以及控制电路, 其可配置成对所述至少一个浮栅晶体管上的电荷进行编程, 以调整所述参考电压并且控制所述输出电压。

[0006] 根据本公开的另一方面, 提供一种低压降调节器, 包括: 传输器件, 其包括耦合到电压输入的输入端子、提供输出电压的输出端子、以及传输控制输入; 反馈电路, 其包括耦合到所述输出端子的反馈输入端子、以及反馈输出端子; 误差放大器, 其包括用于接收参考电压的第一误差放大器输入、耦合到所述反馈电路的输出端子的第二误差放大器输入、以及耦合到所述传输器件的所述传输控制输入的误差放大器输出; 可编程参考电路, 其包括至少一个浮栅晶体管, 所述可编程参考电路可配置成产生参考信号; 以及可编程频率补偿电路, 其包括耦合到所述输出端子的第一补偿输入和耦合到所述误差放大器的补偿输出, 所述可编程频率补偿电路响应于所述参考信号, 以调整所述输出电压的频率响应。

[0007] 根据本公开的又一方面, 提供一种使用可编程低压降调节器提供输出电压的方法, 所述方法包括: 在所述可编程低压降调节器的输入处接收电压输入信号; 通过所述可编程低压降调节器的串行接口从控制电路接收配置数据; 使用根据所述配置数据编程的可

编程参考电路生成参考电压；使用串行传输器件调节所述电压输入信号，所述串行传输器件耦合到所述输入，并且被配置成在输出端子处产生输出电压；使用反馈电路对所述输出电压进行采样，所述反馈电路被配置成产生反馈电压；使用误差放大器将所述反馈电压与所述参考电压进行比较，所述误差放大器被配置成在所述误差放大器的放大器输出处产生误差信号，所述放大器输出耦合到所述串行传输器件以调整所述输出电压；以及使用耦合到所述误差放大器的可编程频率补偿电路，根据所述配置数据提供频率补偿。

附图说明

- [0008] 图 1 是可编程 LDO 调节器的实施方式的部分原理图和部分框图。
- [0009] 图 2 是图 1 中的可编程 LDO 调节器的实施方式的部分原理图和部分框图。
- [0010] 图 3 是图 1-2 中的 LDO 调节器的电压模式的参考电路的实施方式的部分原理图和部分框图，所述电压模式参考电路包括可编程的浮栅晶体管。
- [0011] 图 4 是关于图 1-3 中的 LDO 调节器的输出电压与输入电压的关系曲线的图示。
- [0012] 图 5 是在频率补偿微调之前，对于各个负载电流，图 1-3 的 LDO 调节器的实施方式的频率响应的极点和零点位置的根轨迹图。
- [0013] 图 6 是在频率补偿微调之后，对于各个负载电流，图 1-3 的 LDO 调节器的实施方式的频率响应的极点和零点位置的根轨迹图。
- [0014] 图 7 是可编程 LDO 调节器的另一个实施方式的部分原理图和部分框图，其包括电流模式的参考电路。
- [0015] 在以下描述中，在不同附图中所使用的相同参考标记指明了相似的或相同的项。

具体实施方式

[0016] 下面公开了可编程 LDO 调节器的实施方式，其提供了用于高精度模拟微调输出电压的 DC 和 AC 参量的装置。特别是，可编程 LDO 调节器包括非易失性的可编程能力，该能力不但能够在前端测试期间在晶圆级上实现，而且能够在芯片装配之后实现，芯片装配之后包括在后端测试期间和 / 或在用户模式的操作中。

[0017] 不同的 LDO 调节器通常的特点是具有大范围的 DC 和 AC 参量，它们通过用于相同集成电路的金属掩模选择来实现。然而能够利用数字可编程能力来调整各个 DC 和 AC 参量，消除这种金属掩模，由于其离散的变化性，数字可编程能力具有固有的精度限制。因此，以下公开的 LDO 调节器的实施方式包括浮栅的金属氧化物半导体 (MOS) 器件，其特点是有非离散的 (模拟的) 微调能力以提供高级别的精度。这种浮栅的 MOS 器件可使用控制电路来编程。此外，公开了一种串行接口，其用于将数据和控制信号传递到控制电路，以配置 LDO 调节器。

[0018] 图 1 是可编程 LDO 调节器 100 的实施方式的部分原理图和部分框图。LDO 调节器 100 包括可编程电压参考 102，该可编程电压参考 102 包括：连接到用于承载输入电压 (V_{IN}) 的电压输入端子 122 的第一端子，连接到控制电路 114 的控制输入 132，以及用于给误差放大器 104 的第一输入提供参考电压 (V_{REF}) 的参考输入 124。误差放大器 104 包括连接到用于从反馈电路 108 接收反馈信号的反馈端子 128 的第二输入。另外，误差放大器 104 包括：连接到传输器件 106 的输出，连接到电压输入端子 122 的功率输入，以及连接到可编程频率

补偿电路 110 的控制输入。

[0019] 传输器件 106 包括连接到电压输入端子 122 的第一输入和输出端子 126, 以提供输出电压, 并且给负载提供负载电流 (I_L), 所述负载由负载阻抗 (Z_L) 112 表示。反馈电路 108 包括连接到输出端子 126 的输入, 以及连接到误差放大器 104 的第二输入的反馈端子 128。

[0020] 可编程频率补偿电路 110 包括连接到输出端子 126 的补偿输入和连接到误差放大器 104 的控制输入的补偿输出。可编程频率补偿电路 110 还包括连接到控制电路 114 的补偿控制输入 130。

[0021] 控制电路 114 连接到串行接口 116 以接收数据 118 和控制信号 120。串行接口 116 能够为定制的单线、双线或三线串行接口。可供选择地, 串行接口 116 能够是标准的集成电路 (IC) 至 IC (I^2C) 总线接口、串行外围接口 (SPI)、微型线串行接口、通用串行总线接口、或者其他的串行接口。串行接口 116 可配置成连接到外部源, 以便接收数据和控制信息, 该控制信息能够由控制电路 114 使用以配置可编程电压参考 102 和可编程频率补偿电路 110 中的至少一个。外部源可以是电源管理集成电路 (PMIC)、片上系统 (SOC) 电路、其他类型的电路、或者其任意组合。

[0022] 如图 1 中所示, 可编程 LDO 调节器 100 包括使用浮栅晶体管的可编程电压参考以提供可变的参考电压。在一个实施方式中, 可变的电压参考将参考电压提供给误差放大器, 以使得输出电压可编程。在另一个实施方式中, 可变的参考电压用来调整频率参量。在又一个实施方式中, 将可变的参考电压的这两种用途进行组合。

[0023] 图 2 是 LDO 调节器 200 的实施方式比如图 1 中的可编程 LDO 调节器的部分原理图和部分框图, 所述 LDO 调节器 200 包括高压控制器 204 和隧道结构 206 和 208, 用于对可编程电压参考 102 和可编程频率补偿电路 110 进行编程。在所示实施方式中, 控制电路 114 包括控制逻辑 202 和高电压控制器 204, 它们是被通信地连接的。

[0024] 控制逻辑 202 可配置成控制高电压控制器 204。另外, 控制逻辑 202 可以协调通过串行接口 116 到达外部源和来自外部源的数据信号 118 和控制信号 120 的通信。高电压控制器 204 通过隧道结构 208 连接到可编程电压参考 102, 并且通过隧道结构 206 连接到可编程频率补偿电路 110。

[0025] 在配置过程期间, 高电压控制器 204 有选择地通过隧道结构 206 将高电压信号施加到与可编程频率补偿电路 110 有关的参考源的相应的一个或多个浮栅 MOS 器件的一个或多个浮栅, 以便调整至少一个频率补偿参量。高电压信号可使用电荷泵 (未显示) 来生成。可供选择地, 编程信号可经由串行接口 116 从外部源接收。

[0026] 另外, 在配置过程期间, 高电压控制器 204 有选择地启动一个或多个开关, 比如下面在图 3 中描绘的开关, 以便将可编程电压参考 102 从误差放大器 104 隔离开, 并且通过隧道结构 208 将高电压信号施加到可编程电压参考 102 的相应的一个或多个浮栅 MOS 器件的一个或多个浮栅。以下在图 3 中描绘了一个包括可编程浮栅 MOS 器件的电压模式可编程参考电路的实施方式。

[0027] 图 3 是 LDO 调节器 300 的实施方式的部分原理图和部分框图, 所述可编程 LDO 调节器 300 包括被实现为电压模式参考电路的可编程电压参考 102 的实施方式, 所述可编程电压参考 102 则包括可编程浮栅晶体管 306 和 308。可供选择地, 可编程电压参考能够被实现为包括了可编程浮栅晶体管的电流模式参考。在所示实施方式中, 可编程电压参

考 102 包括 PMOS 晶体管 302 和 304, 其具有公共控制栅极和连接到电源端子 (V_{DD}) 的公共源极。PMOS 晶体管 302 包括连接到公共栅极和放大器 312 的正输入的漏极。PMOS 晶体管 304 包括连接到放大器 312 的负输入的漏极。

[0028] 浮栅晶体管 306 包括: 漏极, 其连接到 PMOS 晶体管 302 的漏极; 控制栅极, 其连接到接地端; 以及源极。浮栅晶体管 308 包括: 漏极, 其连接到 PMOS 晶体管 304 的漏极; 控制栅极, 其通过开关 320 连接到放大器 312 的放大器输出, 并且通过开关 322 连接到高电压控制器 204。第二浮栅晶体管 308 还包括连接到第一浮栅晶体管 306 的源极的源极。浮栅晶体管 306 和 308 的源极连接到 NMOS 晶体管 310 的漏极, 该 NMOS 晶体管 310 包括用于接收偏置信号的栅极和连接到接地端的源极。

[0029] 浮栅晶体管 306 具有可编程浮栅, 其被配置成存储电荷, 并由电容器 316 表示。可编程浮栅连接到隧道结构 326, 其连接到高电压控制器 204 用于对电荷编程。浮栅晶体管 308 具有可编程浮栅, 其被配置成存储电荷, 并由电容器 318 表示。可编程浮栅连接到隧道结构 328, 其连接到高电压控制器 204 用于对电荷编程。

[0030] 可编程电压参考 102 还包括开关 314 和 320, 以便有选择地将放大器 312 的放大器输出连接到误差放大器 104 的第一输入以提供参考电压 (V_{REF}), 以及连接到晶体管 308 的栅极。另外, 可编程电压参考包括开关 322 和 324, 以便有选择地将晶体管 308 的栅极和放大器 312 的输出连接到高电压控制器 204。高电压控制器 204 和 / 或控制逻辑 202 有选择地配置开关 320、322、314、和 324 用于编程或用于操作。

[0031] 在操作模式下, 开关 320 和 314 闭合, 并且开关 322 和 324 打开。第一电流 (I_1) 流过浮栅晶体管 306, 并且在浮栅晶体管 306 的漏极上的电压信号 (其根据由电容器 316 所表示的浮栅电荷被编程) 被提供至放大器 312 的负输入。第二电流 (I_2) 流过浮栅晶体管 308, 并且浮栅晶体管 308 的漏极上的电压信号 (其根据由电容器 318 所表示的浮栅电荷被编程) 被提供至放大器 312 的正输入。放大器 312 产生与在其正输入和负输入上的电压信号相关的输出信号。输出信号被提供作为在误差放大器 104 的第一输入上的参考电压 (V_{REF}), 并且被施加到浮栅晶体管 308 的栅极上以提供负反馈。

[0032] 在编程模式期间, 开关 320 和 314 打开, 并且开关 322 和 324 闭合。在这种模式中, 浮栅晶体管 308 的栅极连接到高电压控制器 204, 该高电压控制器 204 控制栅极上的电压, 并且通过隧道器件 326 和 328 将高电压电荷施加到浮栅晶体管 306 和 308 的可编程浮栅。放大器 312 的输出充当比较器, 其提供了由高电压控制器 204 使用的输出信号, 以便控制可编程参考电路 102 的编程。

[0033] 在一个例子中, 高电压控制器 204 被配置成将高电压信号施加到隧道器件 326, 以调整在晶体管 306 的浮栅上的电荷。在相同的时间上, 高电压控制器 204 将目标参考电平施加到浮栅晶体管 308 的栅极, 因此要提供特殊浮栅到源极的电压差, 该电压差确定了关于晶体管 308 的 DC 偏置点。对浮栅晶体管 306 的编程目的在于调整浮栅上的电荷, 以此方式生成关于晶体管 306 的浮栅到源极的电压差, 这与对晶体管 308 的编程的目的相类似。当差分对的两个晶体管 306 和 308 达到等效偏置状态时, 充当比较器的放大器 312 生成通过开关 324 提供至高电压控制器 204 的信号, 以便结束编程循环。

[0034] 在另一个例子中, 高电压控制器 204 还将高电压循环施加到隧道结构 328, 以便对浮栅晶体管 308 编程。高电压控制器 204 和控制逻辑 202 协作调整浮栅晶体管 306 和 308

的浮栅电荷,以调整它们的等效临界电压,以便产生所需的参考电压,该参考电压被提供至误差放大器 104 以控制输出电压。

[0035] 在所实施实施方式中,省略了可编程频率补偿电路 110。然而,应当理解的是,在其他的实施方式中能够包括可编程频率补偿电路 110。

[0036] 图 4 是 LDO 调节器比如关于图 1-3 中的 LDO 调节器的实施方式的输出电压与输入电压关系曲线的图示 400,该 LDO 调节器被配置成支持 1000mA 的负载电流,并且使用 0.25 μm 技术来实现。关系曲线 400 示出浮栅参考线性调节产生了实质上稳定的输出电压,甚至对于相对低的输入电压时也是如此。例如,当 LDO 调节器被编程以产生 2V 的额定输出电压时,该输出具有关于输入电压的、相对线性的变化,其在大约 0.25 伏特到大约 2.25 伏特的范围内,并且对于 2.25 伏特以上的输入电压, LDO 调节器产生稳定的 2.0 伏特的输出电压。类似于 4 伏特和 6 伏特的目标输出电压, LDO 调节器产生关于输入电压的、实质上线性的输出电压,其在大约 0.25 伏特到目标电压以上大约 0.25 伏特的范围内,并且随后产生稳定的输出电压,该输出电压为所期望的输出电压。因此,甚至是在输入-输出的差分电压相对较低时,都能提供稳定的输出电压。

[0037] 此外,图 1-3 的 LDO 调节器是稳定的,其稳定性能够通过测试在根轨迹图上极点和零点的位置来表明。由图 1-3 中的 LDO 调节器所提供的频率补偿的例子被提供在下面的图 5 和 6 的图示 500 和 600 中,它们分别具有和不具有频率补偿编程(或微调)。

[0038] 图 5 是在微调之前,对于各个负载电流,图 1-3 的 LDO 调节器的实施方式的频率响应的极点和零点位置的根轨迹图 500。在微调之前, LDO 调节器电路是稳定的,这意味着所有的极点和零点都在根轨迹图 500 的第 2 和 3 象限中;然而,对于近似 10mA 的负载电流 (I_L),极点 P2 和 P3 的轨迹靠近 Y 轴。虽然不危害稳定性,但是 LDO 调节器的频率响应变得略差于所期望的性能,带有更大的过冲和下冲,以及带有减小的相位容限。因此,期望调整极点和零点的位置以增强稳定性。

[0039] 图 6 是在微调之后(即在编程之后),对于各个负载电流,图 1-3 的 LDO 调节器的实施方式的频率响应的极点和零点位置的根轨迹图 600。在一个例子中,可使用在图 1-2 和 7 中所描绘的可编程频率补偿电路来配置频率响应。图示 600 示出第二和第三极点向左平移,从而增加了 LDO 调节器的稳定性。此外,频率响应的调整被用来增加瞬态响应的速度,和降低与所需输出电压相关的输出电压信号的过冲、下冲、和瞬变(ringing)。

[0040] 当与图 5 中的图示 500 进行比较时,根轨迹图 600 显示第二和第三极点向左平移,进一步远离 Y 轴,并且对于和未被微调的 LDO 调节器相同的负载电流,这些极点仍完全在虚域的左半平面内。因此,在微调之后, LDO 调节器具有被改进的瞬态响应和更好的相位容限,并且使得其与未被微调的 LDO 调节器相比较更加稳定。

[0041] 图 7 是可编程 LDO 调节器 700 比如图 1 的 LDO 调节器 100 的实施方式的部分原理图和部分框图,其包括可被配置成控制可编程频率补偿电路 110 的电流模式参考电路 710 的实施方式。可编程频率补偿电路 110 包括电容器 704,其连接到输出端子 126,并且连接到可调整的有源阻抗 702,该有源阻抗 702 连接到电流模式参考电路 710 以接收可编程电流 (I_{PROG})。此外,可编程频率补偿电路 110 连接到误差放大器 104。在一个实施方式中,可调整的有源阻抗 702 可包括可调整的增益级。

[0042] 误差放大器 104 包括第一放大器 706,其包括连接到可编程电压参考 102 的负输

入, 连接到反馈端子 128 的正输入, 以及连接到可调整的有源阻抗 702 的第一放大器输出。误差放大器 104 还包括第二放大器 708, 其包括连接到第一放大器输出的正输入, 连接到传输器件 106 的负输入, 以及连接到其负输入和连接到传输器件 106 的第二放大器。

[0043] 可调整的有源阻抗 702 回应来自电流模式参考电路 710 的可编程电流 (I_{PROG})。电流模式参考电路 710 包括 PMOS 晶体管 712、714、和 716, 这些晶体管具有公共栅极和连接到电源端子 (V_{DD}) 的公共源极。PMOS 晶体管 712 包括连接到本征晶体管 718 的漏极的漏极, 该本征晶体管 718 包括以二极管连接到其漏极的栅极, 并且包括源极。PMOS 晶体管 714 包括连接到 PMOS 晶体管 712、714、和 716 的公共栅极的漏极。此外, PMOS 晶体管 714 的漏极连接到本征 (或零值临界电压) 晶体管 720 的漏极, 该本征晶体管 720 包括连接到本征晶体管 718 的栅极的栅极, 并且包括源极。PMOS 晶体管 716 包括连接到可调整的有源阻抗 702 的漏极, 以提供可编程的电流 (I_{PROG}), 其控制与可调整的有源阻抗 702 相关的频率补偿参量, 比如阻抗或增益。

[0044] 电流模式参考电路 710 包括电阻器 722, 其具有连接到本征晶体管 718 的源极的第一端子, 和连接到双浮栅 MOS 器件 724 的漏极和第一控制栅极 728 的第二端子。MOS 器件 724 还包括连接到电阻器 722 的第一端子的第二控制栅极, 正如由线路 726 所指示的一样。MOS 器件 724 还包括可编程浮栅, 其具有由电容器 730 表示的可编程电荷。隧道结构 742 将 MOS 器件 724 的可编程浮栅耦合到高电压控制器 204, 以便允许控制电路 114 配置在浮栅上的可编程电荷。

[0045] 电流模式参考电路 710 还包括电阻器 732, 其具有连接到本征晶体管 720 的源极的第一端子, 和连接到双浮栅 MOS 器件 734 的漏极的第二端子。MOS 器件 734 包括连接到 MOS 器件 724 的第一控制栅极 728 的第一控制栅极, 连接到电阻器 732 的第二端子的第二控制栅极, 以及连接到接地端的源极。MOS 器件 734 还包括可编程浮栅, 其具有由电容器 738 表示的可编程电荷。隧道结构 744 将 MOS 器件 734 的可编程浮栅耦合到高电压控制器 204, 以允许控制电路 114 配置在浮栅上的可编程电荷。

[0046] 晶体管 712 和 714 以电流镜配置进行连接。本征晶体管 718 以二极管连接, 并且本征晶体管 720 所具有的栅极与本征晶体管 718 的栅极是共用的, 它们分别将电阻器 722 的第一端子和晶体管 732 的第一端子偏置到近似相等的电压电路上。第一电流 (I_1) 流过电阻器 722, 以产生从其第一端子上的电压到其第二端子上的漏极电压 (V_{D1}) 的差分的电压。相类似地, 第二电流 (I_2) 流过电阻器 732, 以产生从其第一端子上的电压到其第二端子上的漏极电压 (V_{D2}) 的差分的电压。MOS 晶体管 724 的第一控制栅极是以二极管连接的, 并且公共的漏极电压 (V_{D1}) 被施加到 MOS 晶体管 724 的第一栅极和 MOS 晶体管 734 的第一控制栅极这两者的栅极 728。与电阻器 722 的第一端子相关的第二电压被施加到 MOS 晶体管 724 的第二控制栅极。MOS 晶体管 734 的第二控制栅极是以二极管连接的, 并且由漏极电压 (V_{D2}) 偏置。

[0047] 操作在 MOS 晶体管 724 的第二栅电极和 MOS 晶体管 724 的第一栅电极之间的电压差以控制电流, 建立被反射通过 MOS 晶体管 734 的电流 I_1 。操作差分电压以调整通过 MOS 晶体管 724 的电流, 以便控制第二电流 (I_2) 和频率补偿编程电流 (I_{PROG})。假设 PMOS 晶体管 712、714、和 716 具有实质上相等的尺寸, 并且本征晶体管 718 和 720 具有实质上相等的尺寸, 则第一电流 (I_1) 实质上等于第二电流 (I_2), 该第二电流实质上等于可编程的电流

(I_{PROG})，该可编程的电流偏置频率补偿电路 110 以调整频率补偿参量。

[0048] 因此，电流模式参考电路 710 提供频率补偿的模拟调整。浮栅电荷配置 MOS 晶体管 724 和 734 的工作点，并且栅电极的互连偏置 MOS 晶体管 724 和 734，以提供频率补偿电路 710 的连续电流调整。虽然电流模式参考电路 710 被描绘为与可编程的频率补偿电路 110 分离，应当理解的是，电流模式参考电路 710 可以被包括在可编程频率补偿电路 110 内。

[0049] 另外，在可供选择的实施方式中，电流模式参考电路 710 可用电压模式参考来代替，比如在图 3 中所描绘的电压模式参考电路 102 的实施方式，其参考电压可被转换成可编程的电流并施加到频率补偿电路 110。

[0050] 结合以上根据图 1-7 公开的 LDO 调节器和编程方法，LDO 调节器包括可编程电压参考和可编程频率补偿电路，其包括能够被配置成控制输出电压的 DC 和 AC 参量的可编程浮栅 MOS 器件。

[0051] 在一方面，LDO 调节器包括控制电路和可编程电压参考，该可编程电压参考包括第一和第二浮栅晶体管。在特定情况下，控制电路可配置成有选择地对第一和第二浮栅晶体管进行编程，以便控制参考电压。在另一个特定情况下，控制电路包括高电压控制器和控制逻辑电路，高电压控制器可配置成对第一和第二浮栅晶体管中的至少一个执行编程操作，所述控制逻辑电路耦合到高电压控制器并可配置成控制编程操作以对输出电压进行编程。

[0052] 在另一方面，LDO 调节器包括可编程频率补偿电路，其包括可调整的有源阻抗。在一种情况下，可编程频率补偿电路包括电流模式的参考电路，其包括至少一个浮栅晶体管，该至少一个浮栅晶体管可配置成产生频率补偿参考电流。可调整的有源阻抗回应频率补偿参考电流，以产生对于输出电压的所需频率补偿。在另一种情况下，控制电路可配置成对至少一个浮栅晶体管的浮栅进行编程，以便控制频率补偿参考电流。

[0053] 在另一方面，LDO 调节器包括：传输器件、误差放大器、以及可编程频率补偿电路。可编程频率补偿电路包括：第一补偿端子，其耦合到传输器件的输出端子；第二补偿端子，其耦合到误差放大器；以及电容器，其包括耦合到第一补偿端子的第一电容性端子，并且包括第二电容性端子。可编程频率补偿电路还包括可调整的有源阻抗，该有源阻抗包括：第一阻抗端子，其耦合到第二电容性端子；第二阻抗端子，其耦合到第二补偿端子；以及补偿控制输入，其耦合到可编程参考电路。

[0054] 根据另一方面，LDO 调节器包括可编程电压参考，其具有第一浮栅晶体管、第二浮栅晶体管、以及参考放大器。第一浮栅晶体管包括：漏极，其用于接收第一电流；控制栅极，其耦合到接地端；以及源极。第二浮栅晶体管包括：漏极，其用于接收第二电流；控制栅极；以及源极，其耦合到第一浮栅晶体管的源极。参考放大器包括：第一参考放大器输入，其耦合到第一浮栅晶体管的漏极；第二参考放大器输入，其耦合到第二浮栅晶体管的漏极；以及参考放大器输出，其耦合到第二浮栅晶体管的控制栅极，用于提供参考电压。在一个特定情况下，LDO 调节器包括控制电路，其可配置有选择地对第一和第二浮栅晶体管进行编程，以便控制参考电压。

[0055] 根据另一方面，一种使用可编程低压降 (LDO) 调节器来提供输出电压的方法包括：在可编程 LDO 调节器的输入处接收电压输入信号；以及通过可编程 LDO 调节器的串行接口从控制电路接收配置数据。该方法还包括：使用根据配置数据进行编程的可编程参考电路来生成参考电压；使用串行传输器件调节电压输出信号，所述串行传输器件耦合到输

入,并且被配置成在输出端子上产生输出电压;以及使用反馈电路采样输出电压,所述反馈电路被配置成产生反馈电压。此外,该方法包括使用误差放大器将反馈电压与参考电压进行比较,所述误差放大器被配置成在误差放大器的放大器输出上产生误差信号。放大器输出耦合到串行传输器件以调整输出电压。所述方法还包括使用耦合到误差放大器上的可编程频率补偿电路来根据配置数据提供频率补偿。

[0056] 在一种特定情况下,该方法还包括根据配置数据对可编程 LDO 调节器的可编程参考电路的至少一个浮栅晶体管上的电荷进行编程,以便调整参考电压。另外,在这种情况下,该方法包括将参考电压提供至误差放大器以产生误差信号从而控制串行传输器件,并且将串行传输器件的输出信号提供到可编程 LDO 调节器的输出端子。

[0057] 虽然本发明已经根据优选的实施方式被描述,但本领域中的技术人员将认识到可以在形式和细节上做出改变而不偏离本发明的范围。

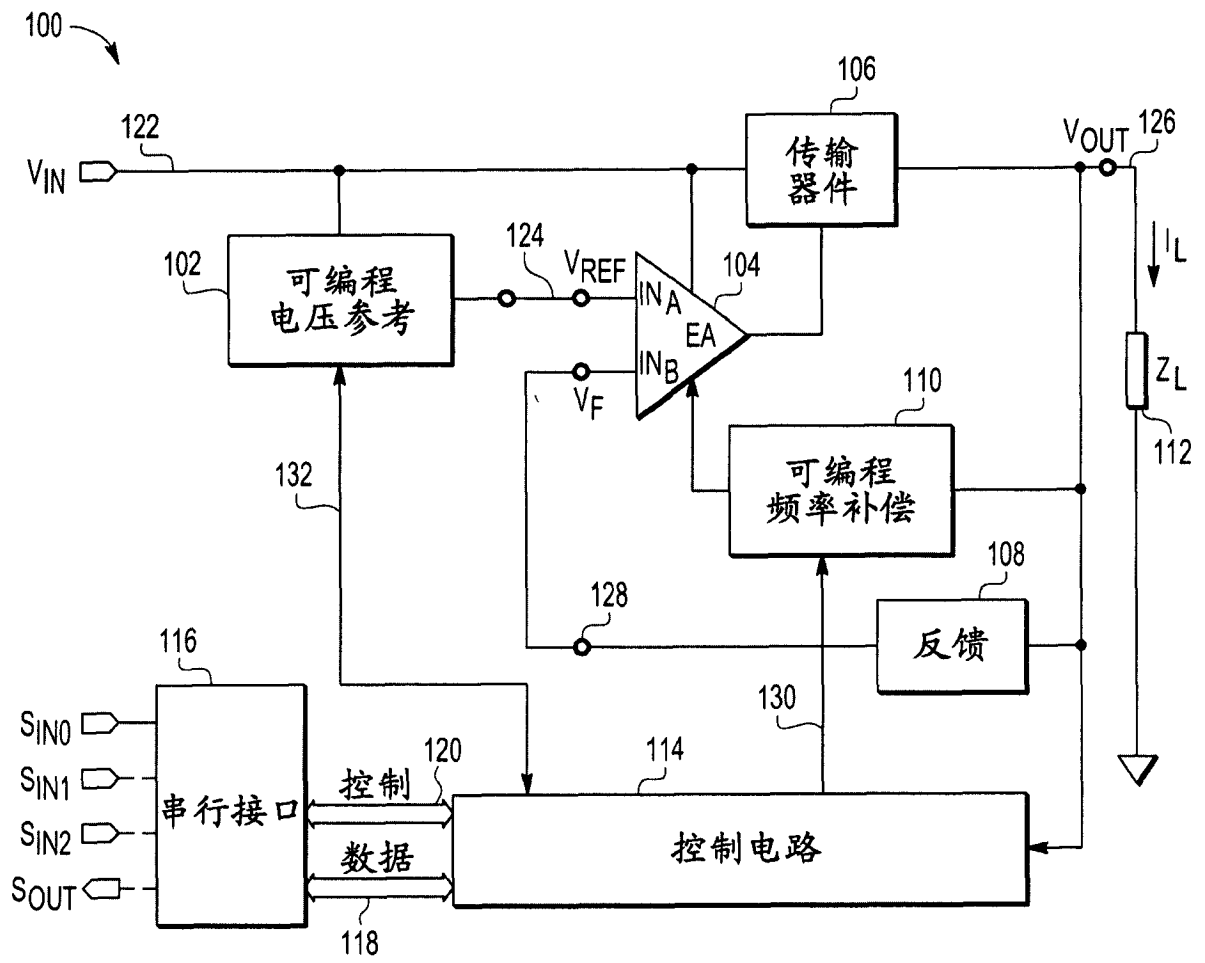


图 1

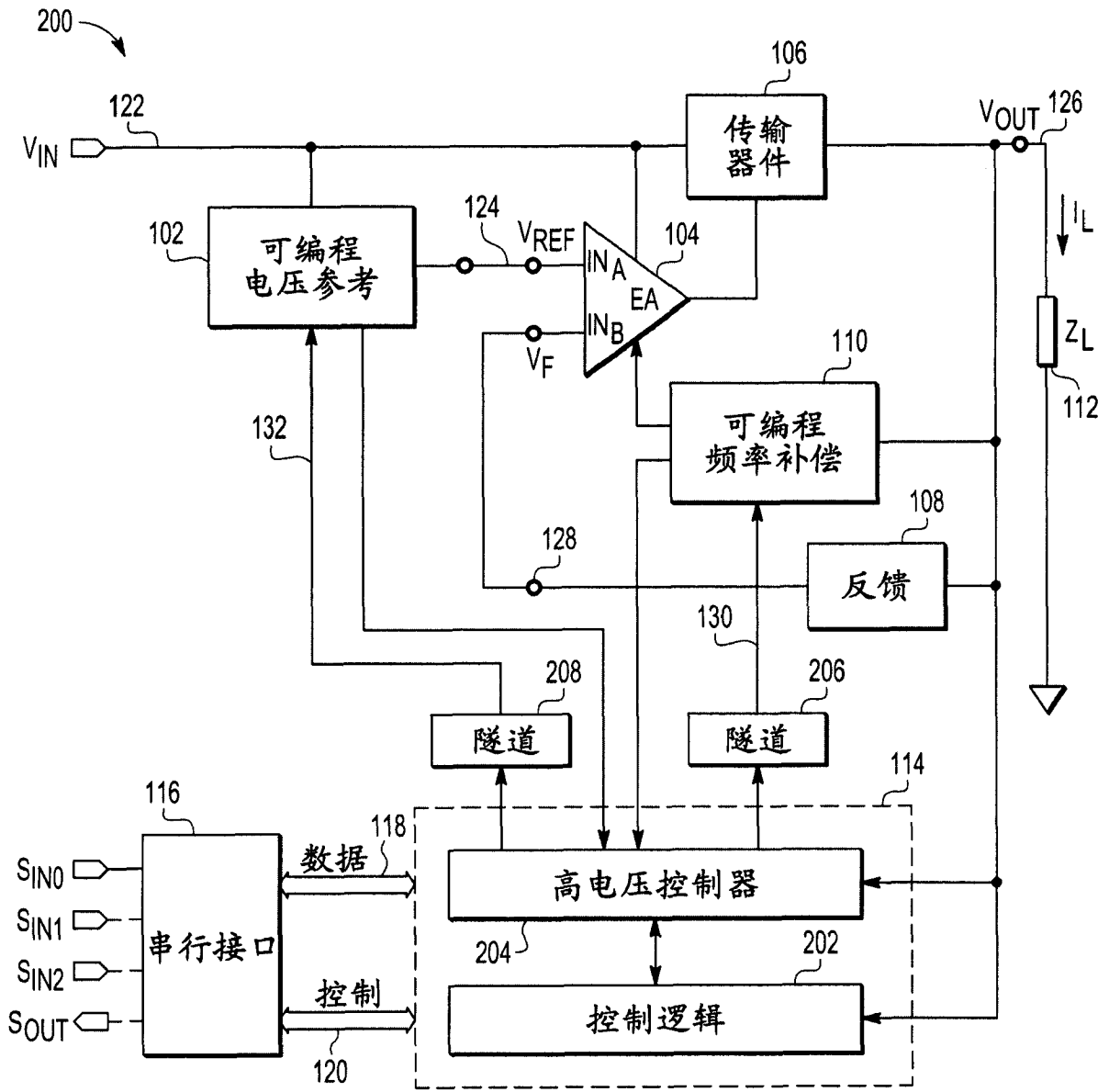


图 2

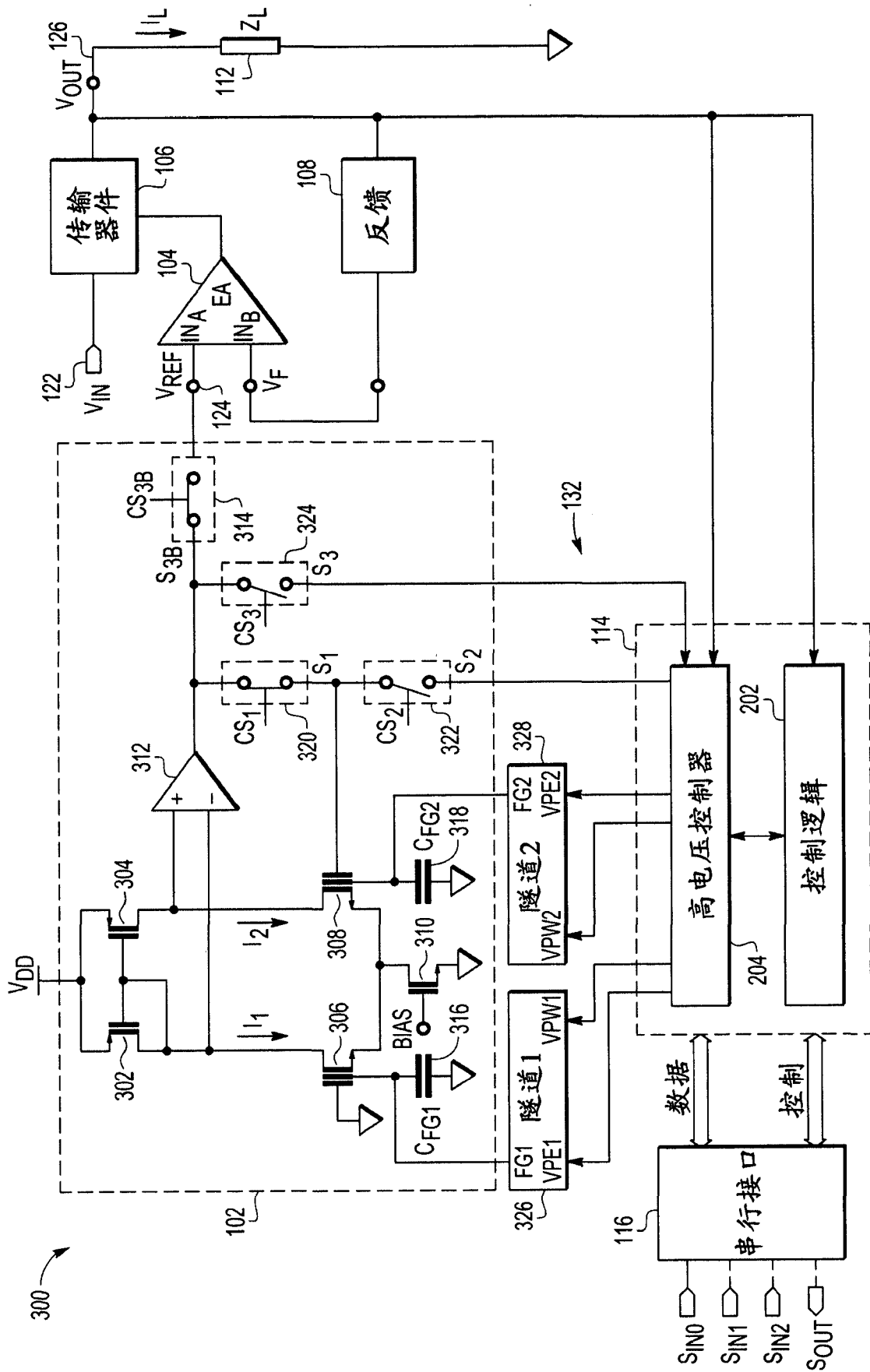


图 3

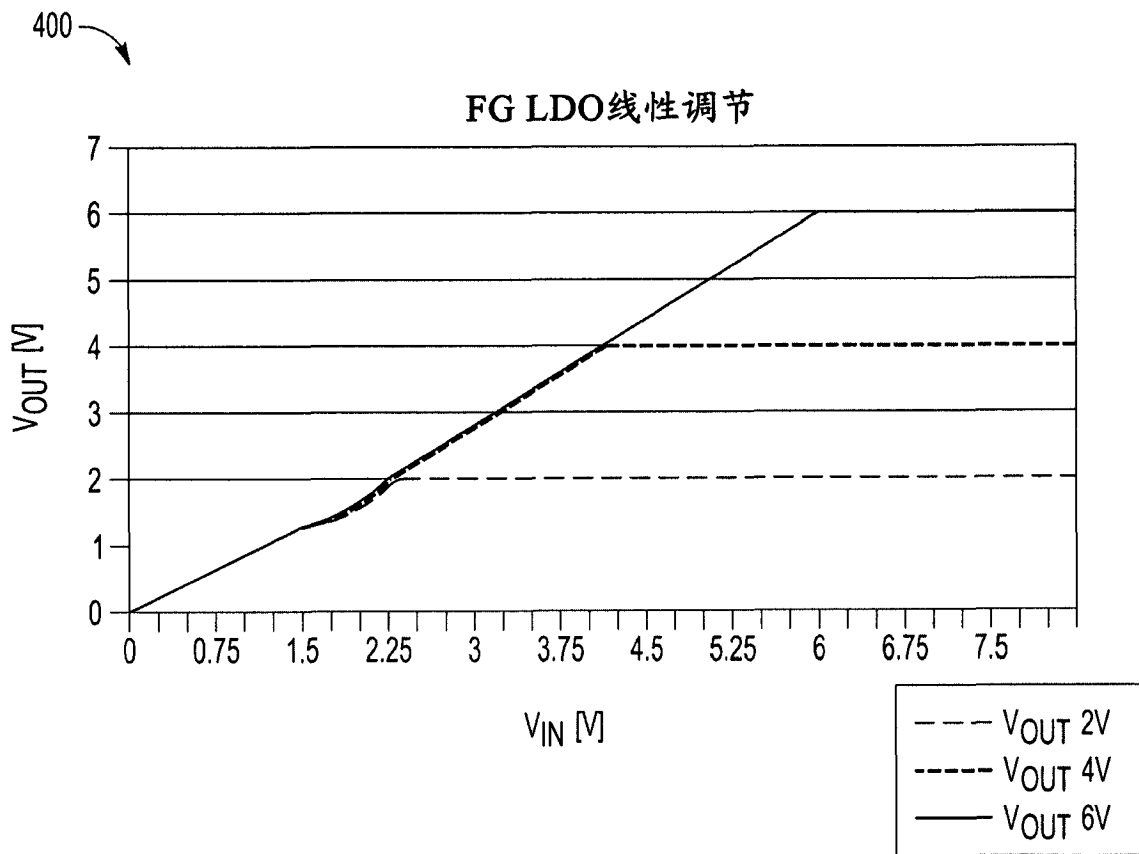


图 4

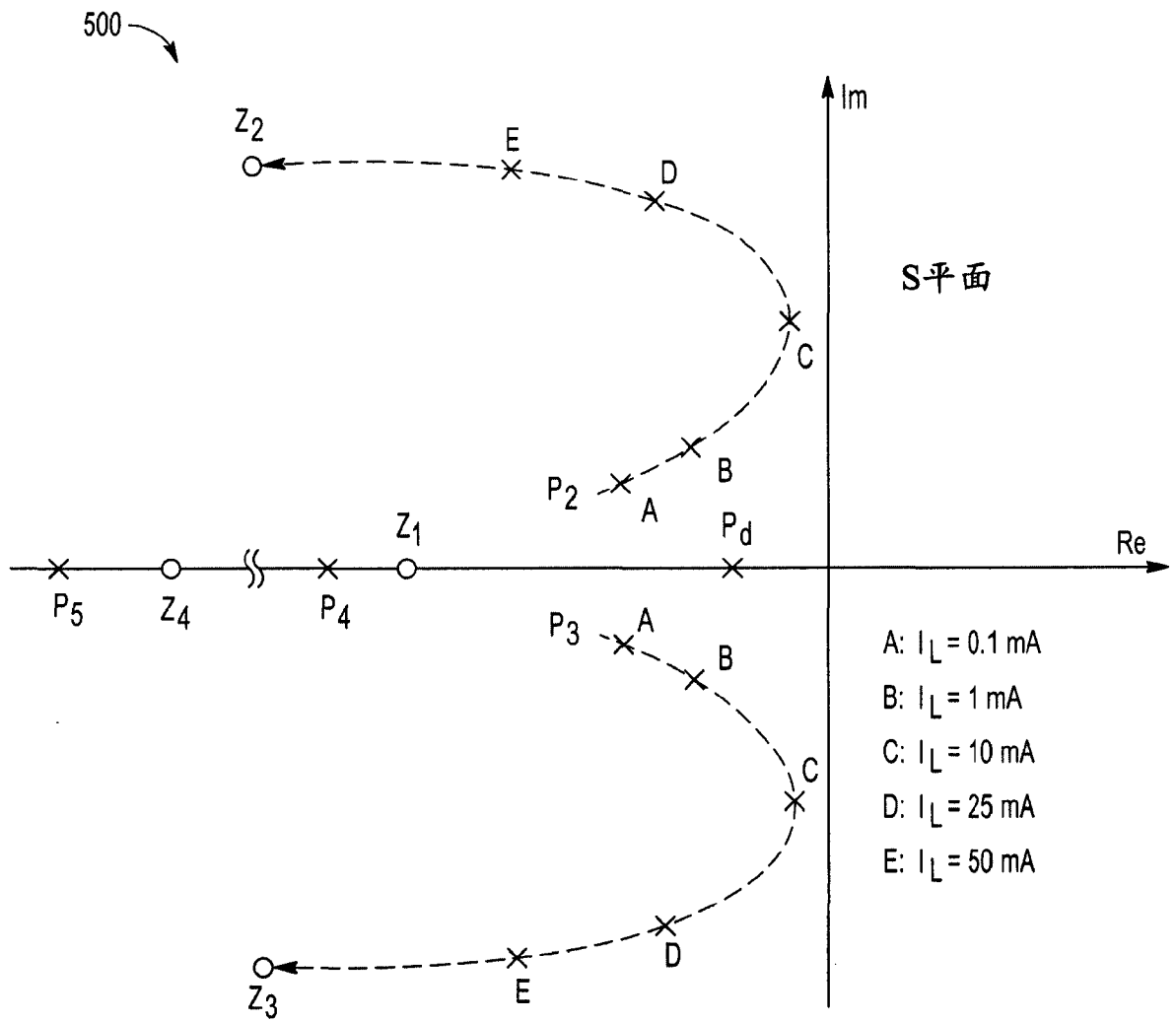


图 5

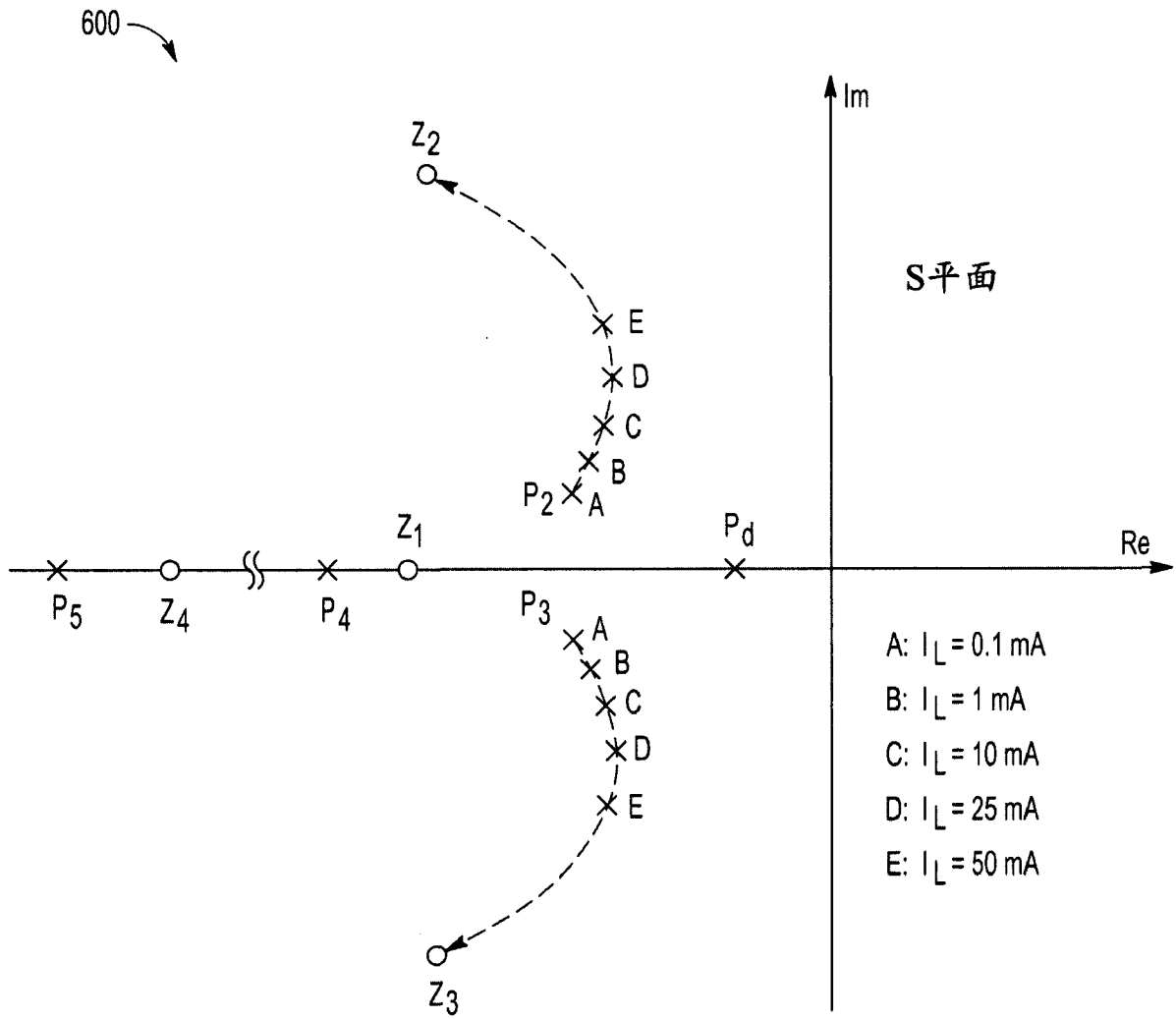


图 6

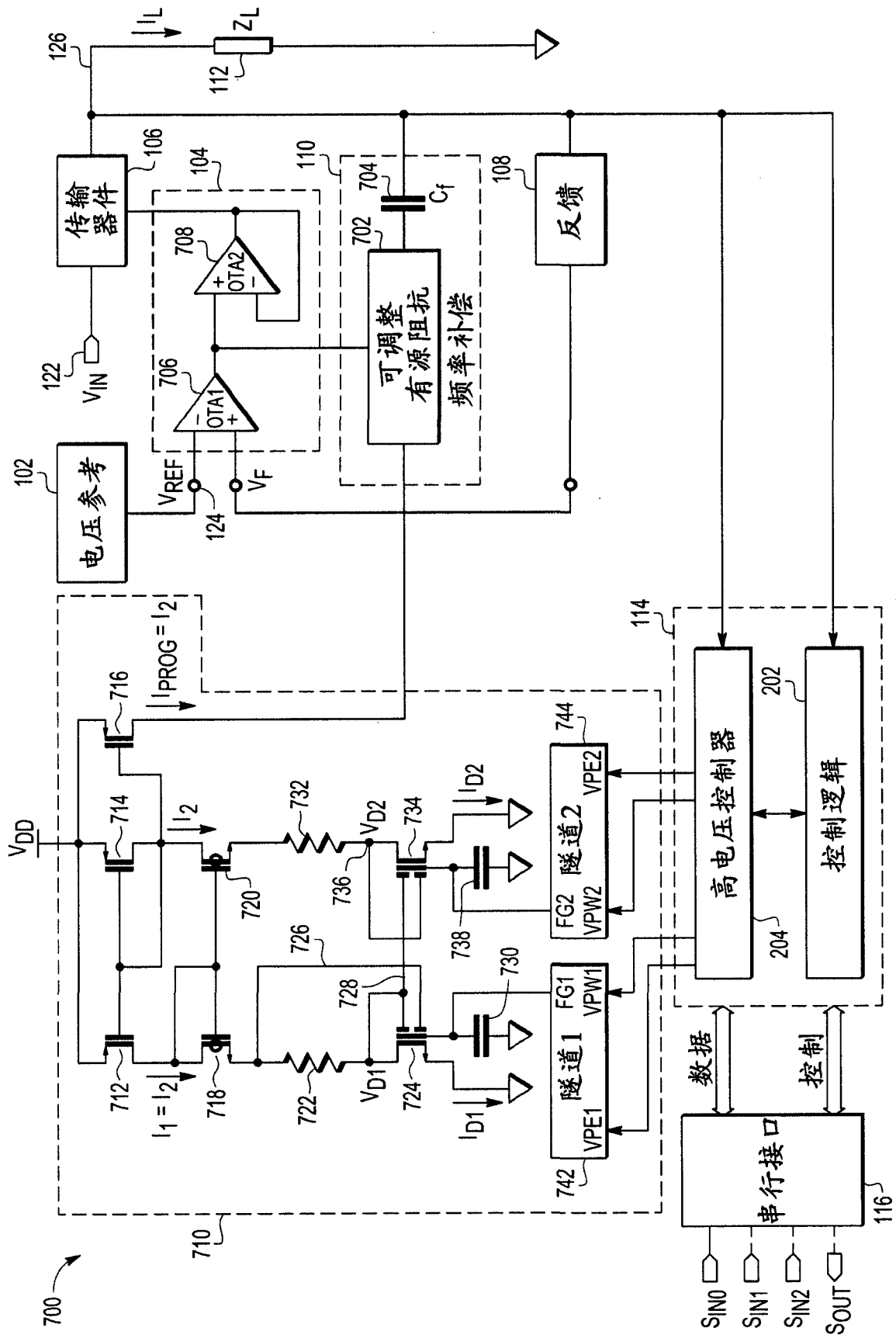


图 7