



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117642979 A

(43) 申请公布日 2024. 03. 01

(21) 申请号 202280046147.7

(22) 申请日 2022.08.29

(30) 优先权数据

17/460,804 2021.08.30 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.12.28

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2022/041837 2022.08.29

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/034191 EN 2023.03.09

(71) 申请人 德州仪器公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 A·夏尔马

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限公司 11287

专利代理师 林斯凯

(51) Int.Cl.

H03F 1/12 (2006.01)

H02M 3/145 (2006.01)

H02M 3/04 (2006.01)

H03F 1/34 (2006.01)

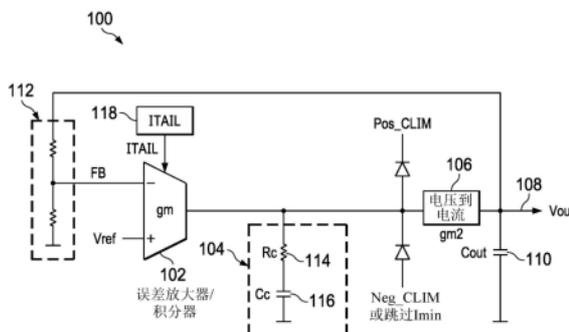
权利要求书3页 说明书4页 附图4页

## (54) 发明名称

具有减小的静态电流的2型补偿

## (57) 摘要

一种补偿电路包含尾电流源 (118)、误差放大器 (102)、补偿电阻器 (114) 和电压电流转换器电路 (106)。所述尾电流源 (118) 经配置以产生尾电流。所述误差放大器 (102) 耦合到所述尾电流源 (118) 且通过所述尾电流偏置。所述补偿电阻器 (114) 耦合到所述误差放大器 (102)。所述电压电流转换器电路 (106) 耦合到所述误差放大器 (102)。所述补偿电阻器 (114) 经配置以响应于所述尾电流的变化而改变电阻,或所述电压电流转换器电路 (106) 经配置以响应于所述尾电流的所述变化而改变跨导。



1. 一种补偿电路,其包括:  
尾电流源;  
误差放大器,其耦合到所述尾电流源且包含输入和输出;  
可变补偿电阻器,其耦合到所述尾电流源和所述误差放大器的所述输出;  
电压电流转换器电路,其包含:  
输入,其耦合到所述误差放大器的所述输出;以及  
输出,其耦合到所述误差放大器的所述输入。
2. 根据权利要求1所述的补偿电路,其中:  
所述尾电流源经配置以产生尾电流;且  
所述可变补偿电阻器经配置以响应于所述尾电流的减小而增加电阻,且响应于所述尾电流的增加而减小电阻。
3. 根据权利要求2所述的补偿电路,其中所述尾电流源经配置以:  
响应于所述电压电流转换器电路的电流输出的增加而增加所述尾电流;以及  
响应于所述电压电流转换器电路的电流输出的减小而减小所述尾电流。
4. 根据权利要求2所述的补偿电路,其中所述误差放大器的单位增益带宽与所述尾电流无关。
5. 根据权利要求1所述的补偿电路,其中所述可变补偿电阻器包含:  
第一晶体管,其包含:  
漏极,其耦合到所述误差放大器的所述输出;  
栅极,其耦合到所述尾电流源;和  
源极;以及  
第二晶体管,其包含:  
漏极,其耦合到所述第一晶体管的所述源极;  
栅极,其耦合到所述尾电流源;和  
源极,其耦合到接地。
6. 一种补偿电路,其包括:  
尾电流源;  
误差放大器,其耦合到所述尾电流源且包含输入和输出;  
电压电流转换器电路,其包含:  
第一输入,其耦合到所述误差放大器的所述输出;  
第二输入,其耦合到所述尾电流源;和  
输出,其耦合到所述误差放大器的所述输入。
7. 根据权利要求6所述的补偿电路,其中:  
所述尾电流源经配置以产生尾电流;且  
所述电压电流转换器电路经配置以响应于所述尾电流的减小而增加跨导,且响应于所述尾电流的增加而减小跨导。
8. 根据权利要求7所述的补偿电路,其中所述尾电流源经配置以:  
响应于所述电压电流转换器电路的电流输出的增加而增加所述尾电流;以及  
响应于所述电压电流转换器电路的电流输出的减小而减小所述尾电流。

9. 根据权利要求7所述的补偿电路,其中:

所述电压电流转换器电路包含耦合到所述电压电流转换器电路的所述输出的可变电阻器;且

所述可变电阻器经配置以响应于所述尾电流的减小而增加电阻,且响应于所述尾电流的增加而减小电阻。

10. 根据权利要求9所述的补偿电路,其还包括:

放大器,其包含:

第一输入,其耦合到所述电压电流转换器电路的所述输出;

第二输入;和

输出;以及

固定电阻器,其耦合到所述放大器的所述输出和所述放大器的所述第二输入。

11. 根据权利要求10所述的补偿电路,其中所述跨导是通过所述固定电阻器的电阻划分的所述可变电阻器的电阻。

12. 一种补偿电路,其包括:

尾电流源,其经配置以产生尾电流;

误差放大器,其耦合到所述尾电流源且通过所述尾电流偏置;

补偿电阻器,其耦合到所述误差放大器;以及

电压电流转换器电路,其耦合到所述误差放大器;

其中:

所述补偿电阻器经配置以响应于所述尾电流的变化而改变电阻;或

所述电压电流转换器电路经配置以响应于所述尾电流的所述变化而改变跨导。

13. 根据权利要求12所述的补偿电路,其中所述尾电流源经配置以:

响应于所述电压电流转换器电路的电流输出的增加而增加所述尾电流;以及

响应于所述电压电流转换器电路的电流输出的减小而减小所述尾电流。

14. 根据权利要求12所述的补偿电路,其中所述补偿电阻器经配置以响应于所述尾电流的减小而增加电阻,且响应于所述尾电流的减小而增加电阻。

15. 根据权利要求12所述的补偿电路,其中所述电压电流转换器电路经配置以响应于所述尾电流的减小而增加跨导,且响应于所述尾电流的增加而减小跨导。

16. 一种开关模式电源,其包括:

输出端子;

分压器,其耦合到所述输出端子;

尾电流源,其经配置以产生尾电流;

误差放大器,其耦合到所述分压器和所述尾电流源;

补偿网络,其耦合到所述误差放大器;以及

电压电流转换器电路,其耦合到所述误差放大器和所述输出端子;

其中:

所述补偿网络经配置以响应于所述尾电流的变化而改变电阻;或

所述电压电流转换器电路经配置以响应于所述尾电流的所述变化而改变跨导。

17. 根据权利要求16所述的开关模式电源,其中:

所述补偿网络包含耦合到补偿电容器的补偿电阻器;且

所述补偿电阻器经配置以响应于所述尾电流的减小而增加电阻,且响应于所述尾电流的减小而增加电阻。

18. 根据权利要求17所述的开关模式电源,其中所述补偿电阻器包含:

第一晶体管,其包含:

漏极,其耦合到所述误差放大器的输出;

栅极,其耦合到所述尾电流源;和

源极;以及

第二晶体管,其包含:

漏极,其耦合到所述第一晶体管的所述源极;

栅极,其耦合到所述尾电流源;和

源极,其耦合到接地。

19. 根据权利要求16所述的开关模式电源,其中所述电压电流转换器电路经配置以响应于所述尾电流的减小而增加跨导,且响应于所述尾电流的增加而减小跨导。

20. 根据权利要求16所述的开关模式电源,其中:

所述电压电流转换器电路包含耦合到所述电压电流转换器电路的输出的可变电阻器;  
且

所述可变电阻器经配置以响应于所述尾电流的减小而增加电阻,且响应于所述尾电流的增加而减小电阻。

## 具有减小的静态电流的2型补偿

### 背景技术

[0001] 开关模式电源是将输入直流 (DC) 电源电压转换成在量值方面高于或低于所述输入 DC 电源电压的一或多个 DC 输出电压的电子电路。产生低于输入电压的输出电压的开关模式电源被称为降压或步降转换器。产生高于输入电压的输出电压的开关模式电源被称为升压或步升转换器。开关模式电源的稳定性可能因电源的控制环路中引入的增益和相移而受损。可在开关模式电源中应用补偿以抵消增益和相移。

### 发明内容

[0002] 本文中描述允许静态电流减小的同时维持单位增益带宽的2型补偿电路。在一个实例中,一种补偿电路包含尾电流源、误差放大器、可变补偿电阻器和电压电流转换器电路。所述误差放大器耦合到所述尾电流源,且包含输入和输出。所述可变补偿电阻器耦合到所述尾电流源和所述误差放大器的所述输出。所述电压电流转换器电路包含耦合到所述误差放大器的所述输出的输入,以及耦合到所述误差放大器的所述输出的输出。

[0003] 在另一实例中,一种补偿电路包含尾电流源、误差放大器和电压电流转换器。所述误差放大器耦合到所述尾电流源,且包含输入和输出。所述电压电流转换器电路包含耦合到所述误差放大器的所述输出的第一输入、耦合到所述尾电流源的第二输入,以及耦合到所述误差放大器的所述输出的输出。

[0004] 在另一实例中,一种补偿电路包含尾电流源、误差放大器、补偿电阻器和电压电流转换器电路。所述尾电流源经配置以产生尾电流。所述误差放大器耦合到所述尾电流源且通过所述尾电流偏置。所述补偿电阻器耦合到所述误差放大器。所述电压电流转换器电路耦合到所述误差放大器。所述补偿电阻器经配置以响应于所述尾电流的变化而改变电阻,或所述电压电流转换器电路经配置以响应于所述尾电流的所述变化而改变跨导。

[0005] 在又一实例中,一种开关模式电源包含输出端子、分压器、尾电流源、误差放大器、补偿网络和电压电流转换器电路。所述分压器耦合到所述输出端子。所述尾电流源经配置以产生尾电流。所述误差放大器耦合到所述分压器和所述尾电流源。所述补偿网络耦合到所述误差放大器。所述电压电流转换器电路耦合到所述误差放大器和所述输出端子。所述补偿网络经配置以响应于所述尾电流的变化而改变电阻,或所述电压电流转换器电路经配置以响应于所述尾电流的所述变化而改变跨导。

### 附图说明

[0006] 图1是本文所描述的包含具有减小的静态电流的2型补偿的实例电路的框图。

[0007] 图2是适用于图1的电路中的实例补偿电阻器的示意图。

[0008] 图3是在高静态电流的情况下误差放大器的阶跃响应的图示。

[0009] 图4是在低静态电流和补偿调适的情况下误差放大器的阶跃响应的图示。

[0010] 图5是包含具有减小的静态电流和通过变化的跨导进行补偿调适的2型补偿的实例电路的框图。

## 具体实施方式

[0011] 补偿电路被用来稳定开关模式电源电路和其它反馈环路控制的电路中的控制环路。基于被控制的电路的各种参数(例如,输出滤波器组件类型和大小、开关频率、带宽等),选择所采用的补偿电路的类型(例如,1型、2型或3型)。2型补偿广泛用于DC-DC开关模式电源电路和其它电路中。举例来说,2型补偿可用于其中由电路输出电容器和其等效串联电阻引起的零点的频率小于控制环路的闭环带宽的应用中。

[0012] 开关模式电源中使用的控制环路包含误差放大器,所述误差放大器产生表示电源输出电压和基准电压的差的误差信号。误差放大器是电路的静态电流消耗的关键促成部分。举例来说,虽然一些开关模式电源电路实施用于轻负载情形的低功率模式(例如,时钟跳过),但误差放大器在低功率模式中保持活动,这会限制静态电流减小。用于基于负载或动态偏置减小静态电流(例如,减小误差放大器尾电流)的各种技术不适用于使用2型补偿的电路,因为改变尾电流还会改变电路的单位增益带宽,这会改变系统动态和稳定性。

[0013] 本文所描述的2型补偿电路在不改变电路的动态特性的情况下减小误差放大器的静态电流。所述补偿电路使单位增益带宽与尾电流无关,这允许在轻负载情况下减小尾电流以减小电路静态电流消耗。

[0014] 图1是本文所描述的包含具有减小的静态电流的2型补偿的实例电路100的框图。电路100可被包含在开关模式电源(例如,降压转换器、升压转换器等)中。电路100包含误差放大器102、补偿网络104、电压电流转换器电路106、输出端子108、输出电容器110和分压器112。输出端子108耦合到输出电容器110和电压电流转换器电路106的输出。电流从电压电流转换器电路106流出以对输出电容器110充电且为电路100外部的电路系统供电。分压器112耦合到输出端子108电压( $V_{out}$ )。分压器112划分 $V_{out}$ 且将所划分的 $V_{out}$ 提供到误差放大器102。误差放大器102的第一输入耦合到分压器112,且分压器112的第二输入耦合到电压参考。误差放大器102比较从分压器112接收的所划分的 $V_{out}$ 与从电压参考接收的基准电压以产生表示基准电压与所划分的输出电压之间的差的误差信号。误差放大器102的第三输入耦合到产生用于偏置误差放大器102的尾电流的尾电流源118。误差放大器102的输出耦合到补偿网络104。补偿网络104包含补偿电阻器114和补偿电容器116。补偿电阻器114耦合到补偿电容器116。补偿电阻器114的电阻( $R_c$ )是可变的,而不是固定的。

[0015] 误差放大器102的输出耦合到电压电流转换器电路106的输入。电压电流转换器电路106基于从误差放大器102接收的误差信号产生输出电流。电压电流转换器电路106可包含各种组件以执行电压到电流转换。举例来说,电压电流转换器电路106可包含电感器、耦合到电感器的驱动晶体管,以及耦合到驱动晶体管的脉冲产生电路(例如,脉宽调制器)。脉冲产生电路可基于由误差放大器102产生的误差信号而产生脉冲以激活驱动晶体管。

[0016] 电路100的单位增益带宽可表达为:

$$[0017] \quad UGB = \frac{g_m * g_{m2} * R_c * V_{ref}}{C_{out} * V_{out}} \quad (1)$$

[0018] 其中:

[0019]  $g_m$ 是误差放大器102的跨导;

[0020]  $g_{m2}$ 是电压电流转换器电路106的跨导;

[0021]  $R_c$ 是补偿电阻器114的电阻;

[0022]  $V_{ref}$ 是提供到误差放大器102的基准电压;以及

[0023]  $C_{out}$ 是补偿电容器116的电容。

[0024] 在电路100中,尾电流源118基于从电压电流转换器电路106的输出流到输出端子108的电流而改变提供到误差放大器102的电流 $I_{TAIL}$ 。在等式(1)中,为在变化的 $I_{TAIL}$ (和误差放大器102的变化的跨导)的情况下维持电路100的单位增益带宽,电路100改变补偿电阻器114的电阻( $R_c$ )或改变电压电流转换器电路106的跨导( $g_{m2}$ )。举例来说,当 $I_{TAIL}$ 减小(且误差放大器102的跨导响应于 $I_{TAIL}$ 而减小)时,补偿电阻器114的电阻或电压电流转换器电路106的跨导增加以维持电路100的单位增益带宽。

[0025] 图2是适合用于维持电路100中的单位增益带宽的实例补偿电阻器114(可变补偿电阻器)的示意图。补偿电阻器114包含以源极到漏极方式连接的多个晶体管。在图2中,将补偿电阻器114展示为包含四个晶体管208、210、212和214。补偿电阻器114的其它实施方案可包含不同数目的晶体管,或电阻器的任何其它实施方案,其中电阻器值( $R_c$ )随着减小的电流( $I_{TAIL}$ )而增加。晶体管208的漏极耦合到误差放大器102的输出。晶体管208的源极耦合到晶体管210的漏极。晶体管210的源极耦合到晶体管212的漏极。晶体管212的源极耦合到晶体管214的漏极。晶体管208、晶体管210、晶体管212和晶体管214的栅极耦合到电流源206,所述电流源提供对应于 $I_{TAIL}$ 的偏置电流207。

[0026] 当电路100以高输出电流操作时,补偿电阻器114在三极管区域中偏置。当减小来自电流源206的电流以减小静态电流消耗时,会减小提供到晶体管208-214的偏置电压,且补偿电阻器114的电阻增加。因此,补偿电阻器114可以是可变电阻器,其电阻随着 $I_{TAIL}$ 减小而增加。补偿电阻器114的一些实施方案可包含与图2的电路系统不同的电路系统,以基于误差放大器102的静态电流而改变补偿电阻。

[0027] 图3是在高静态电流的情况下误差放大器102的阶跃响应的图示。所说明的响应指示电路100的所要单位增益带宽。施加在误差放大器102的第一输入处的反馈信号302被说明为下降到低于1伏基准电压的阶跃电压。误差信号304由误差放大器102在具有补偿调适的情况下产生,且误差信号306由误差放大器在无补偿调适的情况下产生。图3展示在高静态电流下,电路100的带宽与包含2型补偿且无补偿调适的电路的带宽大致相同。

[0028] 图4是在低静态电流(例如,图3中所提供的静态电流的1/10)的情况下误差放大器102的阶跃响应的图示。误差信号402展示在低静态电流且没有针对减小的静态电流的补偿调适的情况下误差放大器的响应。误差信号404展示在低静态电流和通过基于提供到误差放大器102的尾电流而增加补偿电阻器114的电阻来进行补偿调适的情况下误差放大器102的响应。误差信号404极为类似于图3中展示的误差信号306,指示具有低静态电流的电路100的带宽类似于具有高静态电流的电路100的带宽。图4展示在无补偿调适的情况下,误差放大器的带宽在低静态电流下减小(因为响应是缓慢的和迟缓的,其指示低带宽),而当使用本文中所述的补偿调适时,误差放大器102的带宽得以维持。

[0029] 图5是包含具有减小的静态电流和通过变化的跨导进行补偿调适的2型补偿的实例电路500的框图。电路500包含误差放大器102、补偿网络104、电压电流转换器电路106、可变电阻器502、放大器504、电阻器506、晶体管508和电流镜电路510。电阻器506是固定电阻器(固定的电阻值)。电压电流转换器电路106的输出耦合到可变电阻器502且耦合到放大器504的第一输入。放大器504的第二输入耦合到电阻器506和晶体管508的源极。放大器504的

输出耦合到晶体管508的栅极。晶体管508的漏极耦合到电流镜电路510。电流镜电路510产生对应于流经晶体管508的电流的电流 $I_{gm2}$ 。在开关调节器中,电流比较器(未展示)可比较 $I_{gm2}$ 与电感器(未展示)中流动的电流以控制调节器中的开关。

[0030] 在电路500中,跨导( $gm2$ )表示为:

$$[0031] \quad gm2 = \frac{Rv}{R} \quad (2)$$

[0032] 其中:

[0033]  $Rv$ 是可变电阻器502的电阻;以及

[0034]  $R$ 是电阻器506的电阻。

[0035] 在电路500中,可变电阻器502的电阻( $Rv$ )随着误差放大器102的静态电流减小(随着 $ITAIL$ 减小)而增加。增加 $Rv$ 会增加放大器504的输入处的电压( $V1$ ),增加 $I_{gm2}$ ,且根据等式(2)增加跨导 $gm2$ 。因此,跨导 $gm2$ 随着静态电流减小而增加,且根据等式(1),在静态电流变化的情况下维持单位增益带宽。可变电阻器502可类似于图2中所展示的补偿电阻器114而实施。

[0036] 电路500的其它实施方案可包含不同电路系统以基于误差放大器102的静态电流来改变跨导 $gm2$ 。

[0037] 在此描述中,术语“耦合”可涵盖使得功能关系能够与此描述一致的连接、通信或信号路径。举例来说,如果装置A产生信号以控制装置B执行动作,则:(a)在第一实例中,装置A直接耦合到装置B;或(b)在第二实例中,如果中间组件C基本上没有改变装置A与装置B之间的功能关系,则装置A通过中间组件C间接耦合到装置B,因此装置B经由装置A产生的控制信号而由装置A控制。

[0038] 在权利要求书的范围内,所描述实施例的修改是可能的,且其它实施例是可能的。

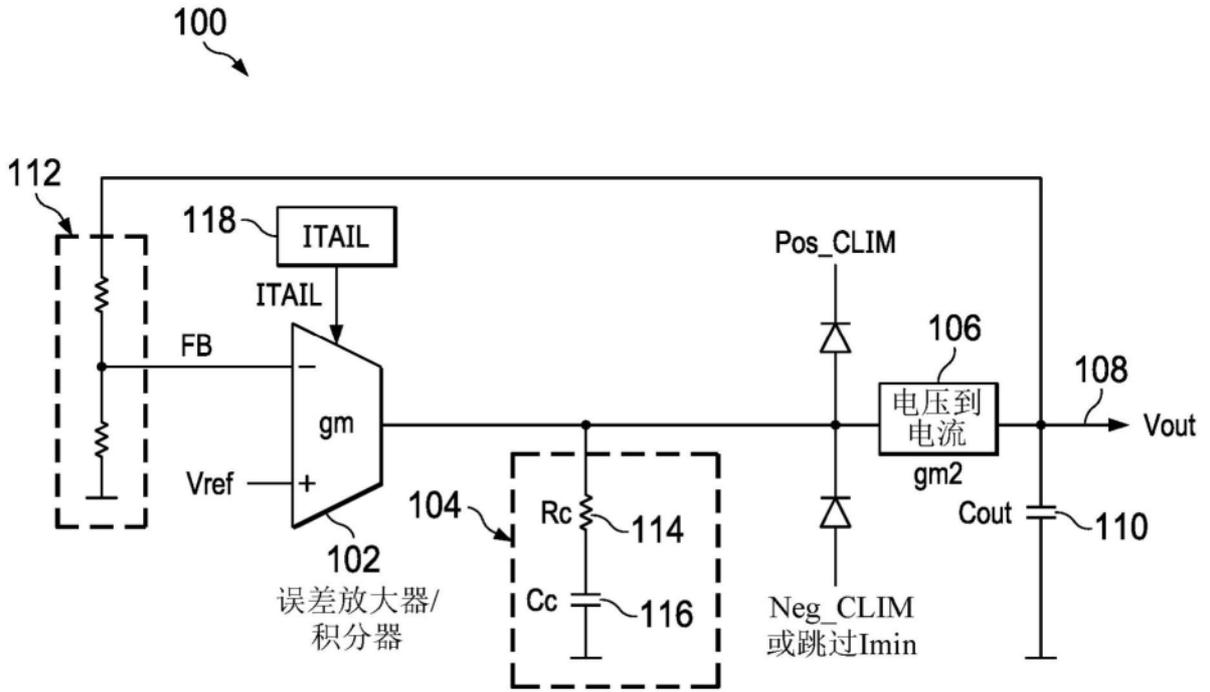


图1

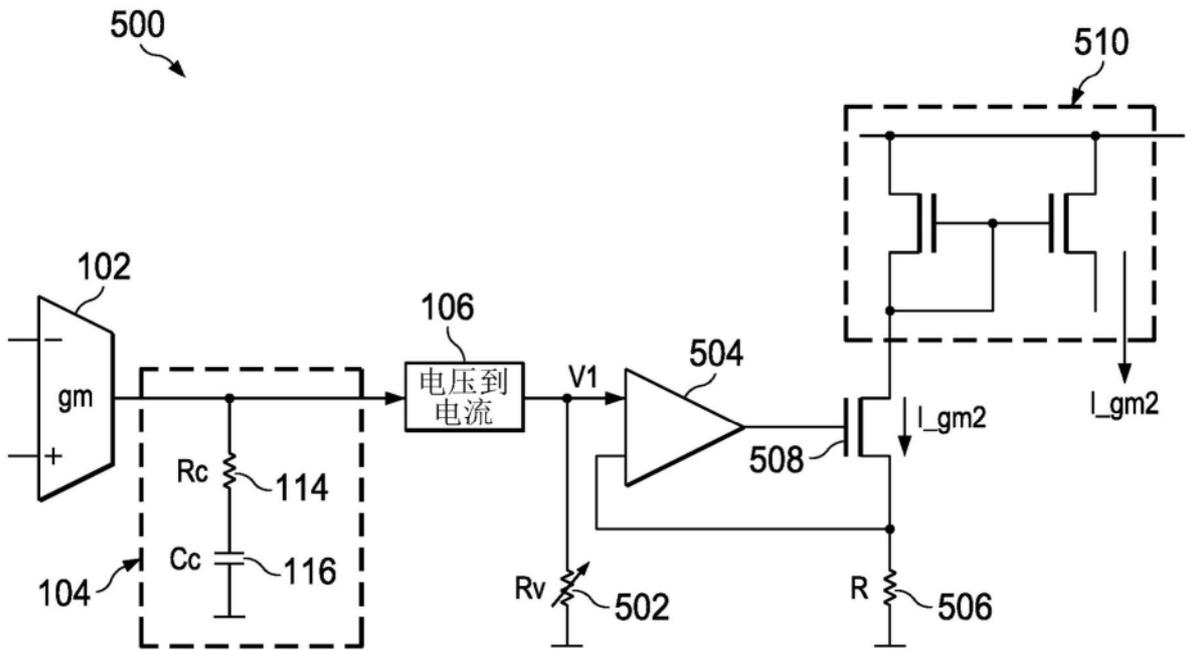


图5

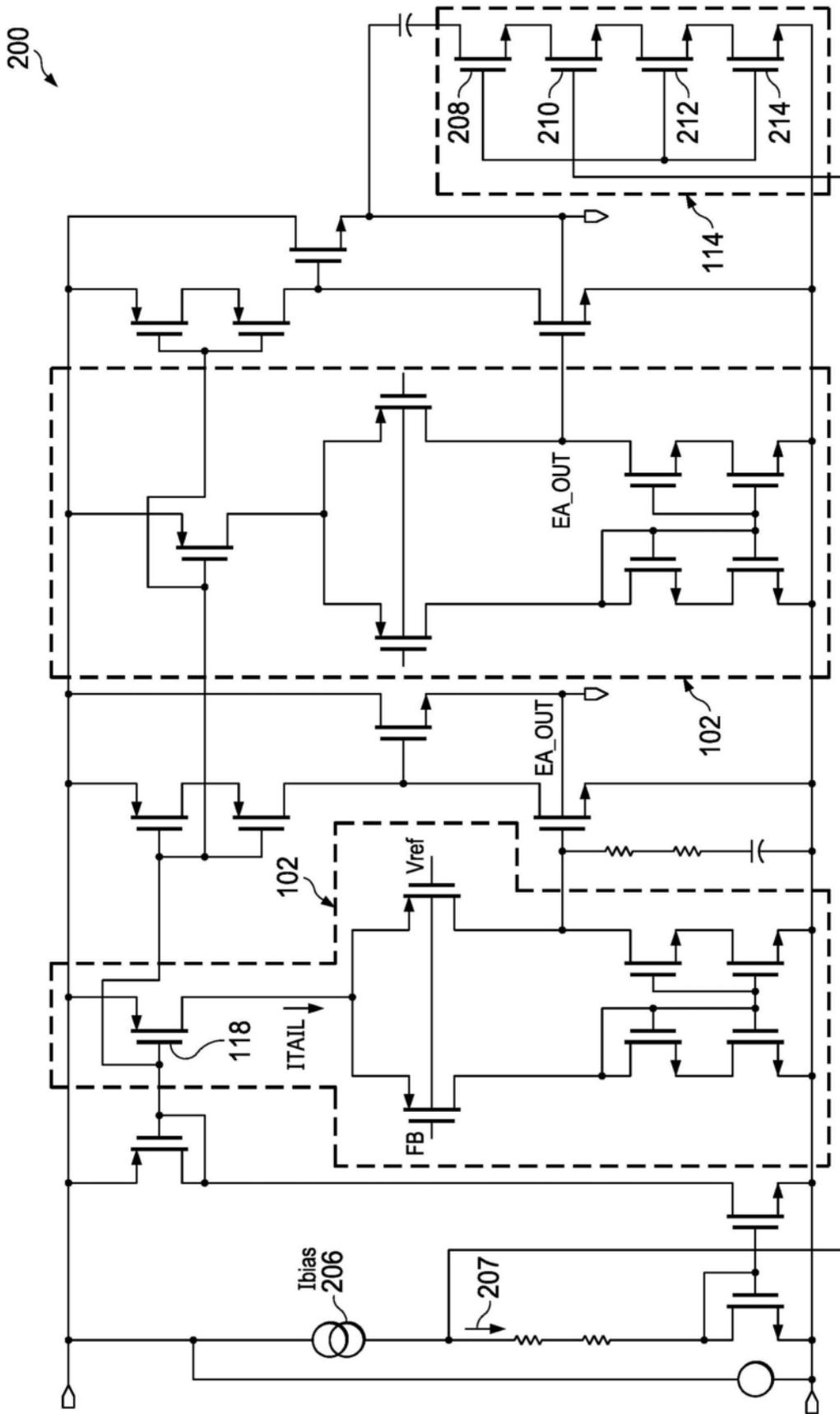


图2

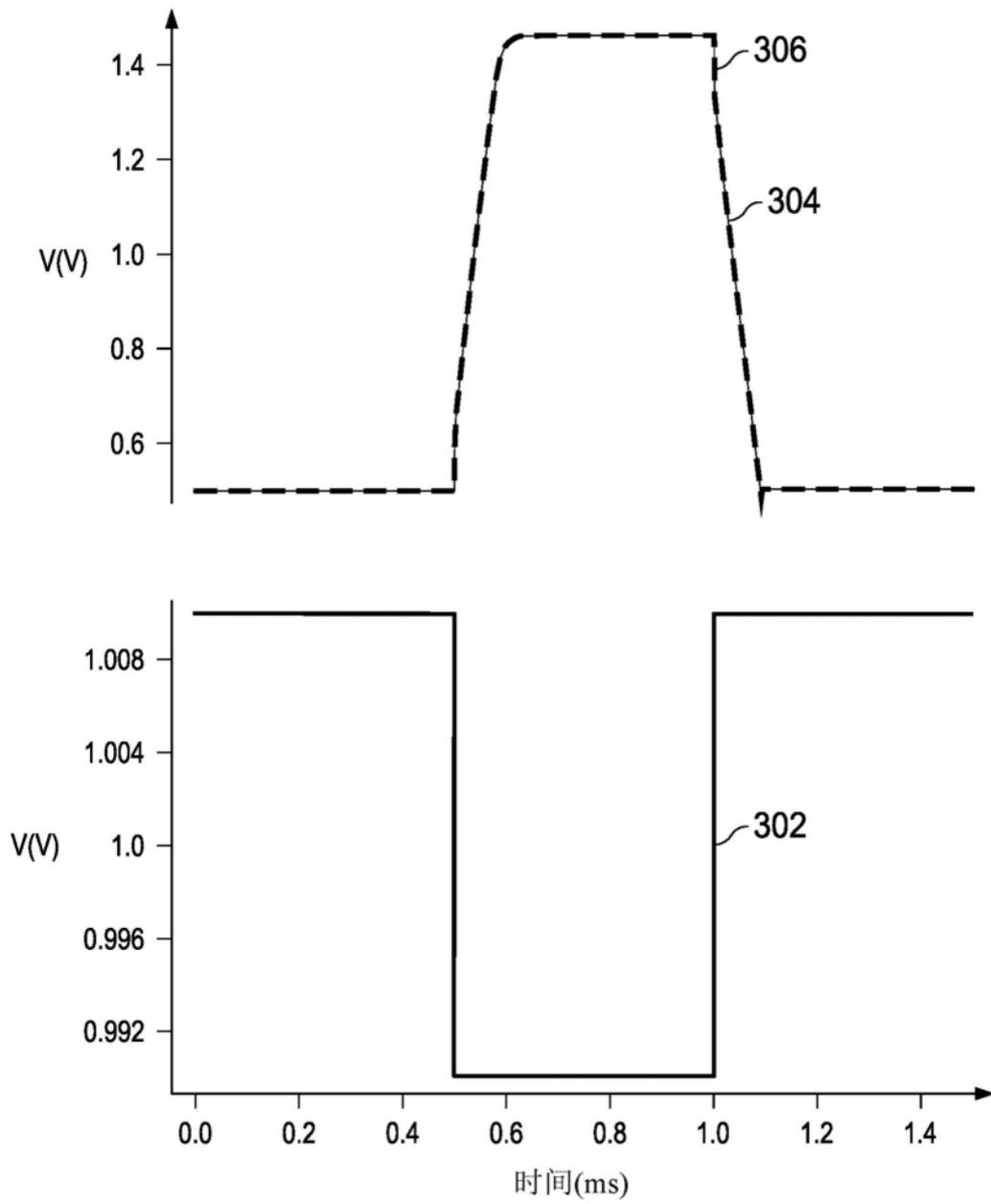


图3

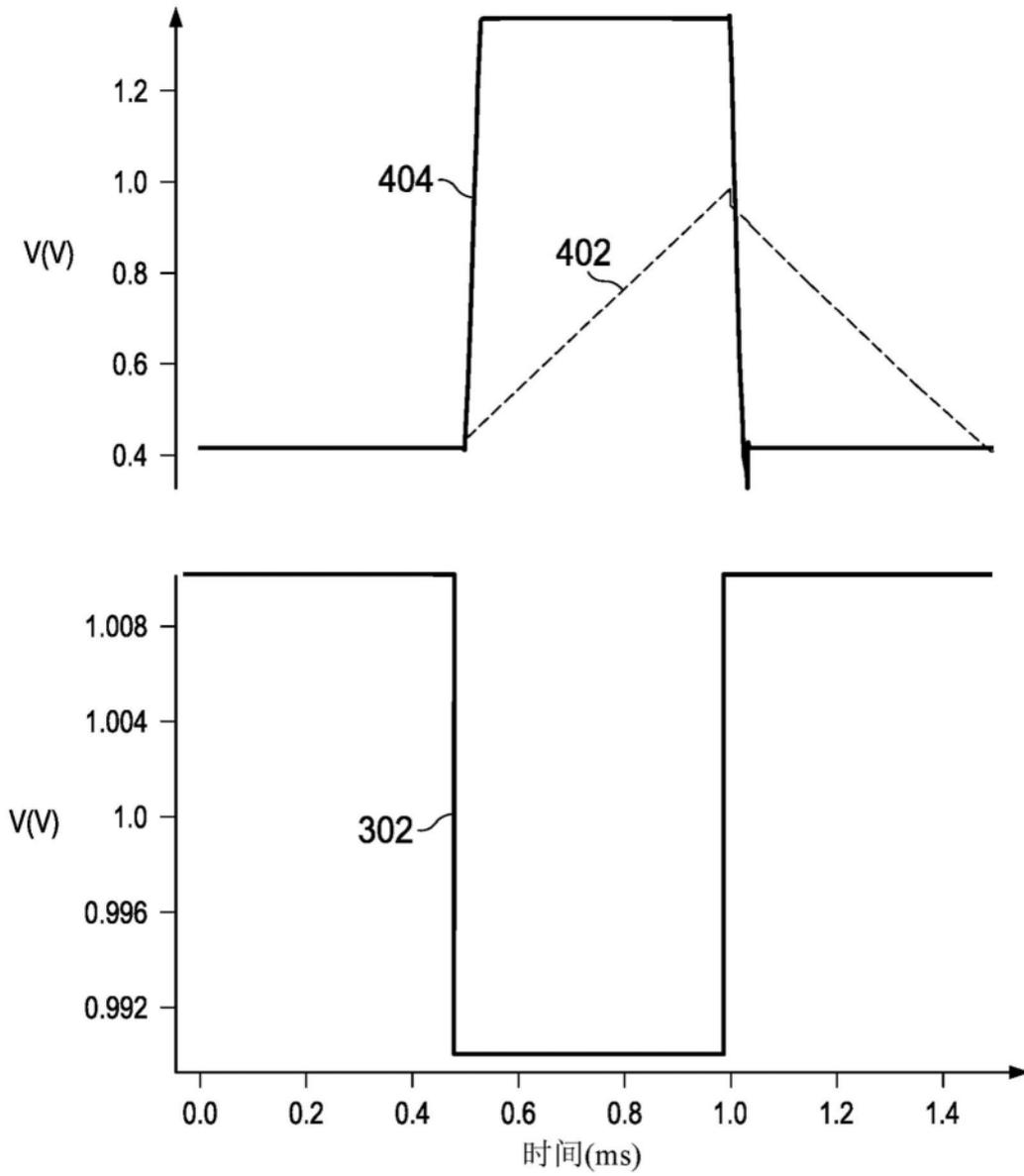


图4