



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112865499 B

(45) 授权公告日 2022.05.17

(21) 申请号 202110126637.5

审查员 刘姝晗

(22) 申请日 2021.01.29

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112865499 A

(43) 申请公布日 2021.05.28

(73) 专利权人 成都芯源系统有限公司

地址 611731 四川省成都市成都高新综合
保税区科新路8号成都芯源系统有限
公司

(72) 发明人 姜礼节 许彬慈 刘超

(51) Int. Cl.

H02M 1/088 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 110224592 A, 2019.09.10

CN 109713644 A, 2019.05.03

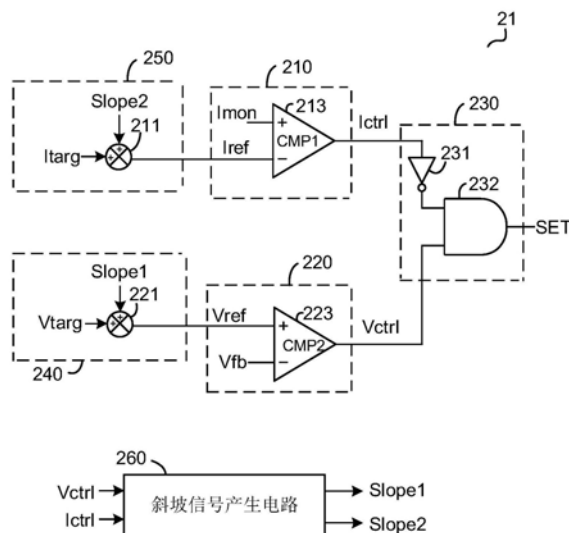
权利要求书2页 说明书8页 附图12页

(54) 发明名称

多相开关变换器及其控制器和控制方法

(57) 摘要

本发明公开了多相开关变换器及其控制电路和控制方法。多相开关变换器包括多个开关电路,控制器包括:置位信号产生电路、分频电路、以及多个子控制电路,置位信号产生电路根据输出电压和总输出电流产生置位信号,分频电路根据置位信号在多个输出端产生多个分频信号,每个子控制电路基于相应的分频信号产生相应的开关控制信号,使得当总输出电流大于一电流参考信号时,相应的开关电路维持关断,直至总输出电流小于电流参考信号时,基于输出电压和电压参考信号控制相应的开关电路导通。



1. 一种用于多相开关变换器的控制器,该多相开关变换器包括多个开关电路,该多个开关电路的输出端耦接在一起以提供输出电压,该控制器产生多个开关控制信号,以控制多个开关电路依次导通,该控制器包括:

置位信号产生电路,基于电压参考信号和输出电压产生电压控制信号,基于电流参考信号和多个开关电路的总输出电流产生电流控制信号,并根据电压控制信号和电流控制信号产生置位信号;

分频电路,具有输入端和多个输出端,其中输入端耦接至置位信号产生电路以接收置位信号,分频电路根据置位信号依次在多个输出端产生多个分频信号;

多个子控制电路,每个子控制电路均具有输入端和输出端,其中输入端耦接至分频电路的相应输出端以接收相应的分频信号,输出端基于相应的分频信号产生相应的开关控制信号,使得当总输出电流大于一电流参考信号时,相应的开关电路维持关断,直至总输出电流小于电流参考信号时,基于输出电压和电压参考信号控制相应的开关电路导通。

2. 如权利要求1所述的控制器,进一步包括:

多个过流检测电路,每个过流检测电路基于流过相应开关电路的电流检测相应开关电路是否过流;其中

每个子控制电路进一步耦接至相应的过流检测电路,当检测到相应的开关电路过流时,控制相应的开关电路维持关断。

3. 如权利要求2所述的控制器,其中所述多个子控制电路包括:

逻辑电路,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端耦接至分频电路的相应输出端以接收分频信号,第二输入端耦接至相应的过流检测电路的输出端以接收过流信号,输出端根据分频信号和过流信号产生子置位信号;以及

触发电路,具有置位端、复位端和输出端,其中置位端耦接至逻辑电路以接收子置位信号,复位端接收用于控制相应开关电路导通时长的导通时长控制信号,输出端耦接至相应开关电路以提供开关控制信号。

4. 如权利要求1所述的控制器,其中所述置位信号产生电路进一步包括:

电压控制电路,根据代表了输出电压的电压反馈信号和电压参考信号相比较,产生电压控制信号,所述电压参考信号根据预期电压信号和第一斜坡补偿信号产生;

总电流控制电路,根据代表了总输出电流的电流反馈信号和电流参考信号相比较,产生电流控制信号,所述电流参考信号根据预期总电流信号和第二斜坡补偿信号产生;以及

逻辑电路,根据电压控制信号和电流控制信号产生置位信号,其中当电流控制信号处于第一状态时,所述逻辑电路根据电压控制信号产生置位信号,以及当电流控制信号处于第二状态时,所述逻辑电路根据电流控制信号产生置位信号。

5. 如权利要求4所述的控制器,其中所述总电流控制电路包括:

第一运算电路,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端接收预期总电流信号,第二输入端接收第二斜坡补偿信号,输出端根据预期总电流信号和第二斜坡信号之和输出电流参考信号;以及

第一比较器,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端接收代表了多个开关电路的总输出电流的电流反馈信号,第二输入端接收电流参考信号,所述第一比较器根据电流反馈信号和电流参考信号,在输出端产生电流控制信号。

6. 如权利要求4所述的控制器,其中:

当控制器根据输出电压控制相应开关电路的导通时,第一斜坡补偿信号在接下来的第一时长内维持初始值,之后以第一斜率逐渐增大;以及

当控制器根据总输出电流控制相应开关电路的导通时,第二斜坡补偿信号在接下来的第二时长内维持初始值,之后以第二斜率逐渐增大。

7. 如权利要求4所述的控制器,其中所述电压控制电路包括:

第二运算电路,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端接收预期电压信号,第二输入端接收第一斜坡补偿信号,输出端根据预期电压信号和第一斜坡补偿信号之和输出电压参考信号;以及

第二比较器,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端接收代表了输出电压的电压反馈信号,第二输入端接收电压参考信号,所述第二比较器根据电压反馈信号和电压参考信号,在输出端产生电压控制信号。

8. 一种多相开关变换器,包括:

多个开关电路,所述多个开关电路的输出端耦接在一起以提供输出电压;以及
如权利要求1~7中任一项所述的控制器。

9. 一种用于多相开关变换器的控制方法,该多相开关变换器包括多个开关电路,该多个开关电路的输出端耦接在一起以提供输出电压,该控制方法包括:

基于电压参考信号和输出电压产生电压控制信号;

基于电流参考信号和多个开关电路的总输出电流产生电流控制信号;以及

基于电压控制信号和电流控制信号产生置位信号;

基于所述置位信号依次产生多个开关控制信号,以控制多个开关电路依次导通;以及

根据代表相应开关电路导通时长的导通时长信号,控制相应开关电路的关断时刻;其

中

当多个开关电路的总输出电流大于电流参考信号时,当前相开关电路维持关断,直至多个开关电路的总输出电流小于电流参考信号时,基于输出电压和电压参考信号控制当前相开关电路的导通时刻。

10. 如权利要求9所述的控制方法,进一步包括:

当检测到当前相开关电路过流时,当前相开关电路保持关断,进入对下一相开关电路的控制。

11. 如权利要求9所述的控制方法,其中电压参考信号等于预期电压信号和第一斜坡补偿信号之和再减去第一偏置信号,电流参考信号等于预期电压信号和第二斜坡补偿信号之和再减去第二偏置信号。

多相开关变换器及其控制器和控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电子电路,特别地,涉及多相开关变换器及其控制器和控制方法。

背景技术

[0002] 近年来,随着一些高性能处理器的出现,需要输出电压更小、输出电流更大的开关变换器,对开关变换器的热性能及动态响应性能的要求也越来越高。多相开关变换器以其优越的性能得到了越来越广泛的应用。多相开关变换器包括多个开关电路,该多个开关电路的输出端耦接在一起为负载提供能量。然而,需要设计一种多相开关变换器,既可以为各相开关电路提供过电流保护,也能够保证多相开关变化器的稳定运行。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于解决现有技术中的上述问题,提出一种多相开关变换器及其控制器和控制方法。

[0004] 依据本发明实施例的一种用于多相开关变换器的控制器,该多相开关变换器包括多个开关电路,该多个开关电路的输出端耦接在一起以提供输出电压,该控制器产生多个开关控制信号,以控制多个开关电路依次导通,该控制器包括:置位信号产生电路,根据输出电压和总输出电流产生置位信号;分频电路,具有输入端和多个输出端,其中输入端耦接至置位信号产生电路以接收置位信号,分频电路根据置位信号依次在多个输出端产生多个分频信号;多个子控制电路,每个子控制电路均具有输入端和输出端,其中输入端耦接至分频电路的相应输出端以接收相应的分频信号,输出端基于相应的分频信号产生相应的开关控制信号,使得当总输出电流大于一电流参考信号时,相应的开关电路维持关断,直至总输出电流小于电流参考信号时,基于输出电压和电压参考信号控制相应的开关电路导通。

[0005] 依据本发明实施例的一种多相开关变换器,包括多个开关电路,所述多个开关电路的输出端耦接在一起以提供输出电压;以及如上所述的控制器。

[0006] 依据本发明实施例的一种用于多相开关变换器的控制方法,该多相开关变换器包括多个开关电路,该多个开关电路的输出端耦接在一起以提供输出电压,该控制方法包括:基于电压参考信号和输出电压产生电压控制信号;基于电流参考信号和多个开关电路的总输出电流产生电流控制信号;以及基于电压控制信号和电流控制信号产生置位信号;基于所述置位信号依次产生多个开关控制信号,以控制多个开关电路依次导通;以及根据代表相应开关电路导通时长的导通时长信号,控制相应开关电路的关断时刻;其中当多个开关电路的总输出电流大于电流参考信号时,当前相开关电路维持关断,直至多个开关电路的总输出电流小于电流参考信号时,基于输出电压和电压参考信号控制当前相开关电路的导通时刻。

[0007] 在本发明的实施例,多相开关变换器对总输出电流的控制增加了系统的安全性,使多相开关变换器可以自动、且平滑的在调节输出电压和调节总输出电流之间切换,并且避免了总输出电流持续增大导致的各开关电路之间电流的不均衡。

附图说明

- [0008] 图1示出了根据本发明实施例的多相开关变换器100的电路框图；
- [0009] 图2示出了根据本发明实施例的图1所示置位信号产生电路21的电路原理图；
- [0010] 图3示出了根据本发明另一实施例的图1所示置位信号产生电路21的电路原理图；
- [0011] 图4示出了根据本发明另一实施例的图1所示置位信号产生电路21的电路原理图；
- [0012] 图5示出了根据本发明另一实施例的图1所示置位信号产生电路21的电路原理图；
- [0013] 图6示出了根据本发明实施例的图1所示多相开关变换器100的波形图；
- [0014] 图7示出了根据本发明另一实施例的图1所示多相开关变换器100的波形图；
- [0015] 图8A示出了根据本发明实施例的图1所示子控制电路25-i的电路原理图；
- [0016] 图8B示出了根据本发明另一实施例的图1所示子控制电路25-i的电路原理图；
- [0017] 图9示出了根据本发明实施例的图1所示总电流计算电路26的电路原理图；
- [0018] 图10示出了根据本发明实施例的图1所示分频电路22的状态转移图500；
- [0019] 图11示出了根据本发明另一实施例的多相开关变换器100的电路框图；
- [0020] 图12示出了根据本发明实施例的多相开关变换器的工作流程图800。

具体实施方式

[0021] 下面将详细描述本发明的具体实施例,应当注意,这里描述的实施例只用于举例说明,并不用于限制本发明。在以下描述中,为了提供对本发明的透彻理解,阐述了大量特定细节。然而,对于本领域普通技术人员显而易见的是:不必采用这些特定细节来实行本发明。在其他实例中,为了避免混淆本发明,未具体描述公知的电路、材料或方法。

[0022] 在整个说明书中,对“一个实施例”、“实施例”、“一个示例”或“示例”的提及意味着:结合该实施例或示例描述的特定特征、结构或特性被包含在本发明至少一个实施例中。因此,在整个说明书的各个地方出现的短语“在一个实施例中”、“在实施例中”、“一个示例”或“示例”不一定都指同一实施例或示例。此外,可以以任何适当的组合和/或子组合将特定的特征、结构或特性组合在一个或多个实施例或示例中。此外,本领域普通技术人员应当理解,在此提供的附图都是为了说明的目的,并且附图不一定是按比例绘制。应当理解,当称元件“连接到”或“耦接到”另一元件时,它可以是直接连接或耦接到另一元件或者可以存在中间元件。相反,当称元件“直接连接到”或“直接耦接到”另一元件时,不存在中间元件。相同的附图标记指示相同的元件。这里使用的术语“和/或”包括一个或多个相关列出的项目的任何和所有组合。

[0023] 本发明实施例提供一种包括多个开关电路的多相开关变换器,在正常工作状态下,各个开关电路基于多相开关变换器的输出电压和多个开关电路的总输出电流被依次导通。在多个开关电路的总输出电流大于电流参考信号时,多相开关变换器控制相应的开关电路暂时不导通,直至多个开关电路的总输出电流小于电流参考信号,多相开关变换器基于输出电压控制相应的开关电路导通。以及在检测到当前相开关电路过流时,多相开关变换器跳过当前相开关电路并保持其余相开关电路正常工作。本发明实施例中,“当前相开关电路”或“相应的开关电路”是指按次序应当被导通的开关电路。以下以使用恒定导通时间控制的多相开关变换器为例来描述各实施例。

[0024] 图1示出了根据本发明实施例的多相开关变换器100的电路框图。多相开关变换器

100包括控制器20以及多个开关电路10-1,10-2,……10-n,其中n是大于或等于2的整数。开关电路10-1,10-2……10-n的输入端接收输入电压 V_{in} ,输出端耦接在一起以提供输出电压 V_o ,为负载102供电。开关电路10-1,10-2,……10-n可采用任何直流/直流(DC/DC)或交流/直流(AC/DC)变换拓扑结构,例如同步或非同步的升压、降压变换器,以及正激、反激变换器等。输出电容105耦接在开关电路10-1,10-2,……10-n的输出端和参考地之间。

[0025] 控制器20产生多个控制信号PWM1,PWM2,……PWMn,以控制多个开关电路10-1,10-2,……10-n依次导通。控制器20包括置位信号产生电路21、分频电路22、以及多个子控制电路25-1,25-2,……25-n。置位信号产生电路21耦接至多个开关电路10-1,10-2,……10-n的输出端,基于输出电压 V_o 和总输出电流 I_o 产生置位信号SET,例如根据电压参考信号 V_{ref} 和代表了输出电压 V_o 的电压反馈信号 V_{fb} 的比较结果,以及根据电流参考信号 I_{ref} 和代表了总输出电流 I_o 的电流反馈信号 I_{mon} 的比较结果,产生置位信号SET。分频电路22具有输入端和多个输出端,其中分频电路22的输入端耦接至置位信号产生电路21以接收置位信号SET,分频电路22根据置位信号SET在其多个输出端产生多个分频信号FD1,FD2,……FDn。子控制电路25-i($i=1,2,……n$)耦接至分频电路22的相应输出端以接收分频信号FDi,并基于分频信号FDi在其输出端产生相应的开关控制信号PWMi,使得当总输出电流 I_o 或电流反馈信号 I_{mon} 大于电流参考信号 I_{ref} 时,相应的开关电路维持关断,直至总输出电流 I_o 或电流反馈信号 I_{mon} 小于电流参考信号 I_{ref} 时,基于输出电压 V_o 和电压参考信号 V_{ref} 控制相应的开关电路导通,例如当输出电压 V_o 或电压反馈信号 V_{fb} 小于电压参考信号 V_{ref} 时,控制当前相开关电路导通。

[0026] 在一个实施例中,控制器20进一步包括多个过流检测电路24-1,24-2,……24-n。每个过流检测电路24-i($i=1,2,……n$)均具有输入端和输出端,过流检测电路24-i的输入端耦接至相应的开关电路10-i,过流检测电路24-i基于流过相应开关电路10-i的电流检测相应开关电路10-i是否过流,在其输出端产生过流信号OCi。例如根据代表了流过相应开关电路10-i电流的电流采样信号 CS_i ($i=1,2,……n$),检测相应开关电路10-i是否过流,并产生过流信号OCi。在一个实施例中,当检测到当前相开关电路过流时,多相开关变换器100跳过当前相开关电路,例如控制当前相开关电路维持关断,并保持其余相开关电路正常工作。在一个实施例中,子控制电路25-i($i=1,2,……n$)进一步耦接至相应的过流检测电路24-i的输出端以接收过流信号OCi,子控制电路25-i基于分频信号FDi、以及过流信号OCi产生相应的开关控制信号PWMi。

[0027] 在一个实施例中,控制器20进一步包括总电流计算电路26,具有多个输入端和输出端,总电流计算电路26的多个输入端分别耦接至多个开关电路10-1,10-2,……10-n以接收多个电流采样信号 $CS_1,CS_2,……CS_n$,总电流计算电路26的输出端根据多个电流采样信号 $CS_1,CS_2,……CS_n$ 提供代表了多个开关电路10-1,10-2,……10-n的总输出电流的电流反馈信号 I_{mon} 。其中电流采样信号 $CS_1,CS_2,……CS_n$ 分别代表了流过相应开关电路的电流。

[0028] 在一个实施例中,多相开关变换器100进一步包括电压检测电路101。电压检测电路101采样输出电压 V_o ,并根据输出电压 V_o 产生电压反馈信号 V_{fb} 。

[0029] 根据本发明的实施例,多相开关变换器对总输出电流的控制增加了CPU负载的安全性,使多相开关变换器可以自动、且平滑的在调节输出电压和调节总输出电流之间切换,并且避免了总输出电流持续增大导致的各开关电路之间电流的不均衡。

[0030] 图2示出了根据本发明实施例的图1所示置位信号产生电路21的电路原理图。在图2所示的实施例中,置位信号产生电路21包括电压控制电路220、总电流控制电路210、以及逻辑电路230。电压控制电路220根据电压反馈信号Vfb和电压参考信号Vref相比较,产生电压控制信号Vctrl。总电流控制电路210根据电流反馈信号Imon和电流参考信号Iref相比较,产生电流控制信号Ictrl。逻辑电路230根据电压控制信号Vctrl和电流控制信号Ictrl置位信号SET。其中当电流控制信号Ictrl处于第一状态(例如低电平)时,逻辑电路230根据电压控制信号Vctrl产生置位信号SET,以及当电流控制信号Ictrl处于第二状态(例如高电平)时,逻辑电路230根据电流控制信号Ictrl产生置位信号SET。在一个实施例中,逻辑电路230包括非门电路231和与门电路232。非门电路231的输入端接收电流控制信号Ictrl,非门电路231的输出端提供电流控制信号Ictrl的反相信号。与门电路232具有第一输入端、第二输入端和输出端,与门电路232的第一输入端耦接至非门电路231的输出端,与门电路232的第二输入端接收电压控制信号Vctrl,与门电路232的输出端根据电压控制信号Vctrl和电流控制信号Ictrl提供置位信号SET。

[0031] 在图2所示的实施例中,置位信号产生电路21进一步包括参考电压产生电路240。在一个实施例中,参考电压产生电路240根据预期电压信号Vtarg和第一斜坡补偿信号Slope1之和($Vtarg+Slope1$)提供电压参考信号Vref。预期电压信号Vtarg代表了负载所需要的电压,例如等于1V。在图2所示的实施例中,参考电压产生电路240包括运算电路221,运算电路221接收预期电压信号Vtarg、和第一斜坡补偿信号Slope1,并在输出端提供电压参考信号Vref。

[0032] 在图2所示的实施例中,置位信号产生电路21进一步包括参考电流产生电路250。在一个实施例中,参考电流产生电路250根据预期总电流信号Itarg和第二斜坡补偿信号Slope2之和($Itarg+Slope2$)提供电流参考信号Iref。预期总电流信号Itarg代表了负载所需要的电流,例如等于200A。在图2所示的实施例中,参考电流产生电路250包括运算电路211。运算电路211接收预期总电流信号Itarg、和第二斜坡补偿信号Slope1,并在输出端提供电流参考信号Iref。

[0033] 在图2所示的实施例中,置位信号产生电路21进一步包括产生斜坡补偿信号Slope1和斜坡补偿信号Slope2的斜坡信号产生电路260。在一个实施例中,斜坡信号产生电路260根据电流控制信号Ictrl产生斜坡补偿信号Slope2,根据电压控制信号Vctrl产生斜坡补偿信号Slope1。

[0034] 图3示出了根据本发明另一实施例的图1所示置位信号产生电路21的电路原理图。在图3所示的实施例中,参考电压产生电路240进一步包括选择电路222。选择电路222根据电流控制信号Ictrl选择运算信号Vcal或预期电压信号Vtarg作为电压参考信号Vref,其中运算信号Vcal等于预期电压信号Vtarg和第一斜坡补偿信号Slope1之和($Vtarg+Slope1$)。在一个实施例中,当电流反馈信号Imon在一定时长内持续小于电流参考信号Iref时,电流控制信号Ictrl持续处于第一状态,例如低电平,参考电压产生电路240选择运算信号Vcal作为电压参考信号Vref,也就是电压参考信号Vref等于预期电压信号Vtarg和第一斜坡补偿信号Slope1之和($Vtarg+Slope1$),否则当电流反馈信号Imon大于电流参考信号Iref时,电流控制信号Ictrl变为第二状态,例如高电平,参考电压产生电路240选择预期电压信号Vtarg作为电压参考信号Vref。在图3所示的实施例中,参考电流产生电路250进一步包括选

择电路212。选择电路212根据电流控制信号Ictrl选择运算信号Ical或预期总电流信号Itarg作为电流参考信号Iref,其中运算信号Ical等于预期总电流信号Itarg和第二斜坡补偿信号Slope2之和($I_{targ}+Slope2$)。在一个实施例中,当电流反馈信号Imon在一定时长内持续小于电流参考信号Iref时,电流控制信号Ictrl持续处于第一状态,例如低电平,参考电流产生电路250选择预期总电流信号Itarg作为电压参考信号Iref,否则当电流反馈信号Imon大于电流参考信号Iref时,电流控制信号Ictrl变为第二状态,例如高电平,参考电流产生电路250选择运算信号Ical作为电流参考信号Iref,也就是电流参考信号Iref等于预期电流信号Itarg和第二斜坡补偿信号Slope2之和($I_{targ}+Slope2$)。

[0035] 图4示出了根据本发明另一实施例的图1所示置位信号产生电路21的电路原理图。在图4所示的实施例中,电压参考信号Vref等于预期电压信号Vtarg和第一斜坡补偿信号Slope1之和再减去偏置信号Bias1($V_{targ}+Slope1-Bias1$)。电流参考信号Iref等于预期总电流信号Itarg和第二斜坡补偿信号Slope2之和再减去偏置信号Bias2($I_{targ}+slope2-Bias2$)。运算电路221接收预期电压信号Vtarg、第一斜坡补偿信号Slope1、偏置信号Bias1,并在输出端根据预期电压信号Vtarg和第一斜坡补偿信号Slope1之和再减去偏置信号Bias1($V_{targ}+Slope1-Bias1$)提供电压参考信号Vref。运算电路211接收预期总电流信号Itarg、第二斜坡补偿信号Slope1、偏置信号Bias2,并在输出端根据预期总电流信号Itarg和第二斜坡补偿信号Slope2之和再减去偏置信号Bias2($I_{targ}+Slope2-Bias2$)提供电流参考信号Iref。

[0036] 在图4所示的实施例中,置位信号产生电路21进一步包括偏置信号产生电路270。在一个实施例中,偏置信号产生电路270根据第一斜坡补偿信号Slope1产生偏置信号Bias1,根据第二斜坡补偿信号Slope2产生偏置信号Bias2。偏置信号Bias1例如等于第一斜坡补偿信号Slope1的幅值,偏置信号Bias2例如等于第二斜坡补偿信号Slope2的幅值。

[0037] 图5示出了根据本发明另一实施例的图1所示置位信号产生电路21的电路原理图。在图5所示的实施例中,运算电路221接收预期电压信号Vtarg、第一斜坡补偿信号Slope1、偏置信号Bias1,并在输出端提供运算信号Vcal,运算信号Vcal等于预期电压信号Vtarg和第一斜坡补偿信号Slope1之和再减去偏置信号Bias1($V_{targ}+Slope1-Bias1$)。参考电压产生电路240进一步包括选择电路222。选择电路222根据电流控制信号Ictrl选择运算信号Vcal或预期电压信号Vtarg作为电压参考信号Vref。在一个实施例中,当电流反馈信号Imon在一定时长内持续小于电流参考信号Iref时,电流控制信号Ictrl持续处于第一状态,例如低电平,参考电压产生电路240选择运算信号Vcal作为电压参考信号Vref,也就是电压参考信号Vref等于预期电压信号Vtarg和第一斜坡补偿信号Slope1之和再减去偏置信号Bias1($V_{targ}+Slope1-Bias1$),否则当电流反馈信号Imon大于电流参考信号Iref时,参考电压产生电路240选择预期电压信号Vtarg作为电压参考信号Vref。在图5所示的实施例中,运算电路211接收预期总电流信号Itarg、第二斜坡补偿信号Slope1、偏置信号Bias2,并在输出端提供运算信号Ical,运算信号Ical等于预期总电流信号Itarg和第二斜坡补偿信号Slope2之和再减去偏置信号Bias2($I_{targ}+Slope2-Bias2$)。参考电流产生电路250进一步包括选择电路212。选择电路212根据电流控制信号Ictrl选择运算信号Ical或预期总电流信号Itarg作为电流参考信号Iref。在一个实施例中,当电流反馈信号Imon在一定时长内持续小于电流参考信号Iref时,电流控制信号Ictrl持续处于第一状态,例如低电平,参考电流产生电

路250选择预期总电流信号 I_{targ} 作为电压参考信号 I_{ref} ,否则当电流反馈信号 I_{mon} 大于电流参考信号 I_{ref} 时,参考电流产生电路250选择运算信号 I_{cal} 作为电流参考信号 I_{ref} ,也就是电流参考信号 I_{ref} 等于预期电流信号 I_{targ} 和第二斜坡补偿信号 $Slope2$ 之和再减去偏置信号 $Bias2$ ($I_{targ}+Slope2-Bias2$)。

[0038] 图6示出了根据本发明实施例的图1所示多相开关变换器100的波形图。图6所示波形图从上至下依次示出了电压反馈信号 V_{fb} 、电压参考信号 V_{ref} 、电压控制信号 V_{ctrl} 、第一斜坡补偿信号 $Slope1$ 、电流参考信号 I_{ref} 、电流反馈信号 I_{mon} 、电流控制信号 I_{ctrl} 、第二斜坡补偿信号 $Slope2$ 、置位信号 SET 。在图6所示的波形图中,电流反馈信号 I_{mon} 在一定时长内持续小于电流参考信号 I_{ref} ,例如在一个开关周期或多个开关周期内,电流控制信号 I_{ctrl} 保持低电平状态,第二斜坡补偿信号 $Slope2$ 保持初始值,例如等于零。电压参考信号 V_{ref} 等于预期电压信号 V_{targ} 和第一斜坡补偿信号 $Slope1$ 之和再减去偏置信号 $Bias1$,电流参考信号 I_{ref} 等于预期总电流信号 I_{targ} 。控制器20根据电压反馈信号 V_{fb} 和电压参考信号 V_{ref} 的比较结果产生置位信号 SET 。如图6的波形图所示,当电压反馈信号 V_{fb} 减小至小于电压参考信号 V_{ref} 时,电压控制信号 V_{ctrl} 变为高电平,置位信号 SET 变为高电平,控制器20控制相应的开关电路导通。

[0039] 在一个实施例中,当控制器20根据输出电压 V_o 控制相应开关电路的导通时(t_1 时刻),第一斜坡补偿信号 $Slope1$ 在接下来的第一时长内(t_1 时刻至 t_2 时刻)维持初始值,之后(t_2 时刻至 t_3 时刻)以第一斜率逐渐增大。直至 t_3 时刻,控制器20根据输出电压 V_o 控制下一相开关电路导通,第一斜坡补偿信号 $Slope$ 恢复初始值,并在接下来的第一时长内维持初始值。第一斜坡补偿信号 $Slope$ 的初始值例如等于零。

[0040] 图7示出了根据本发明另一实施例的图1所示多相开关变换器100的波形图。图7所示波形图从上至下依次示出了电压反馈信号 V_{fb} 、电压参考信号 V_{ref} 、电压控制信号 V_{ctrl} 、第一斜坡补偿信号 $Slope1$ 、电流反馈信号 I_{mon} 、电流参考信号 I_{ref} 、电流控制信号 I_{ctrl} 、第二斜坡补偿信号 $Slope2$ 、置位信号 SET 。在图7所示的波形图中,当电流反馈信号 I_{mon} 大于电流参考信号 I_{ref} 时,电压参考信号 V_{ref} 等于预期电压信号 V_{targ} ,电流参考信号 I_{ref} 等于预期总电流信号 I_{targ} 和第二斜坡补偿信号 $Slope2$ 之和再减去偏置信号 $Bias2$,控制器20控制置位信号 SET 保持低电平,控制器20控制相应的开关电路暂时不导通,也就是即使电压反馈信号 V_{fb} 小于电压参考信号 V_{ref} ,置位信号 SET 依然保持低电平以控制相应的开关电路保持关断,直至电流反馈信号 I_{mon} 减小至小于电流参考信号 I_{ref} 时,电流控制信号 I_{ctrl} 变为高电平,置位信号 SET 变为高电平,控制器20控制相应的开关电路导通。

[0041] 在一个实施例中,当控制器20根据总输出电流 I_o 控制相应开关电路的导通时(t_4 时刻),第二斜坡补偿信号 $Slope2$ 在接下来的第二时长内(t_4 时刻至 t_5 时刻)维持初始值,之后(t_5 时刻至 t_6 时刻)以第二斜率逐渐增大。直至 t_6 时刻,控制器20根据总输出电流 I_o 控制下一相开关电路导通,第二斜坡补偿信号 $Slope2$ 恢复初始值,并在接下来的第一时长内维持初始值。第二斜坡补偿信号 $Slope2$ 的初始值例如等于零。

[0042] 图8A示出了根据本发明实施例的图1所示子控制电路25-i的电路原理图。在图8A所示的实施例中,子控制电路25-i包括逻辑电路251以及触发电路252。逻辑电路251具有第一输入端、第二输入端和输出端,其第一输入端耦接至分频电路22的相应输出端以接收分频信号 FD_i ,其第二输入端接收过流信号 OC_i ,输出端根据分频信号 FD_i 、过流信号 OC_i 产生子

置位信号SET_i。触发电路252具有置位端S、复位端R、以及输出端Q,置位端S耦接至逻辑电路251以接收子置位信号SET_i,复位端R接收控制相应开关电路10-*i*导通时长的导通时长控制信号COT_i,输出端耦接至相应开关电路10-*i*以提供开关控制信号PWM_i,基于分频信号FD_i和过流信号OC_i控制相应开关电路的导通时刻,以及基于导通时长控制信号COT_i控制相应开关电路的关断时刻。当过流信号OC_i指示当前相开关电路过流时,相应的开关电路不导通。

[0043] 在一个实施例中,子控制电路25-*i*进一步包括导通时长控制电路253。导通时长控制电路253根据开关控制信号PWM_i和导通时长信号TON_i产生导通时长控制信号COT_i,以控制相应开关电路10-*i*的导通时长。开关电路10-*i*的导通时长TON_i可被设置为恒定值,也可以是与输入电压V_{in}和/或输出电压V_o有关的可变值。

[0044] 图8B示出了根据本发明另一实施例的图1所示子控制电路25-*i*的电路原理图。在图8B所示的实施例中,子控制电路25-*i*触发电路252。触发电路252具有置位端S、复位端R、以及输出端Q,置位端S耦接至分频电路22的相应输出端以接收分频信号FD_i,复位端R接收控制相应开关电路10-*i*导通时长的导通时长控制信号COT_i,输出端耦接至相应开关电路10-*i*以提供开关控制信号PWM_i,基于分频信号FD_i控制相应开关电路的导通时刻,以及基于导通时长控制信号COT_i控制相应开关电路的关断时刻。

[0045] 图9示出了根据本发明实施例的图1所示总电流计算电路26的电路原理图。在一个实施例中,总电流计算电路26包括电流加成电路261和输出电路262。电流加成电路261耦接至多个开关电路10-1,10-2,……10-*n*以接收多个电流采样信号CS₁,CS₂,……CS_{*n*},所述电流加成电路基于多个电流采样信号CS₁,CS₂,……CS_{*n*}提供电流加成信号I_{inh},代表了多个电流采样信号之和CS₁+CS₂+……+CS_{*n*}。输出电路262根据电流加成信号I_{inh},在其输出端提供代表了多个开关电路的总输出电流的电流反馈信号I_{mon}。在一个实施例中,电流加成电路261包括多个电阻26-1,26-2,……26-*n*,每个电阻26-*i* (*i*=1,2,……*n*)的一端接收相应的电流采样信号CS_{*i*},另一端耦接在一起提供电流加成信号I_{inh}。在一个实施例中,输出电路262包括电流镜263、偏置电路264、以及输出电阻265。电流镜263的输入端接收电流加成信号I_{inh},偏置端耦接至偏置电路264,输出端输出电流加成信号I_{inh}的镜像电流I_{exh}。镜像电流I_{exh}流过输出电阻265,在输出电阻265两端产生电压,作为电流反馈信号I_{mon}。在一个实施例中,电流反馈信号I_{mon}可由以下公式(1)表示。

[0046]
$$I_{mon} = Gain * (CS_1 + CS_2 + \dots + CS_n) + Bias \quad (1)$$

[0047] 其中Bias表示输出电路262偏置端的电压。Gain表示由电流加成电路261及电流镜263带来的增益。

[0048] 图10示出了根据本发明实施例的图1所示分频电路22的状态转移图500,包括状态50,状态50-1,50-2,……50-*n*。

[0049] 在状态50,分频电路22完成初始配置,之后转移至状态51-1。

[0050] 在状态51-1,当置位信号SET有效,例如为高电平时,分频信号FD₁有效,例如变为高电平。当开关控制信号PWM₁控制开关电路10-1导通,例如PWM₁=1,或检测到开关电路10-1过流时,转移至状态51-2。

[0051] 在状态51-2,当置位信号SET有效,例如为高电平时,分频信号FD₂有效,例如变为高电平。当开关控制信号PWM₂控制开关电路10-2导通,例如PWM₂=1,或检测到开关电路10-2过流时,转移至下一状态。直至进入状态51-*n*。

[0052] 在状态51-n,当置位信号SET有效,例如为高电平时,分频信号FDn有效,例如变为高电平。当开关控制信号PWMn控制开关电路10-n导通,例如 $PWMn=1$,或检测到开关电路10-n过流时,转移至状态51-1。以此反复。

[0053] 图11示出了根据本发明另一实施例的多相开关变换器100的电路框图。图6所示的实施例中,开关电路10-i ($i=1,2,\dots,n$) 包括驱动电路61-i,上侧开关管62-i、下侧开关管63-i、以及电感64-i,每个开关电路10-i进一步包括电流采样电路65-i,用于采样流过开关电路10-i的电流,例如采样流过电感64-i的电流,或采样流过上侧开关管62-i和/或下侧开关管63-i的电流,并提供电流采样信号CSi。

[0054] 图12示出了根据本发明实施例的多相开关变换器的工作流程图800,包括步骤S81~S85。

[0055] 在步骤S81,基于电压参考信号和输出电压产生电压控制信号。

[0056] 在步骤S82,基于电流参考信号和多个开关电路的总输出电流产生电流控制信号。

[0057] 在步骤S83,基于电压控制信号和电流控制信号产生多个开关控制信号,以控制多个开关电路依次导通。

[0058] 在步骤S84,当多个开关电路的总输出电流大于电流参考信号时,当前相开关电路维持关断,直至多个开关电路的总输出电流小于电流参考信号时,基于输出电压和电压参考信号控制当前相开关电路导通。

[0059] 在步骤S85,当检测到当前相开关电路过流时,当前相开关电路保持关断,进入对下一相开关电路的控制。

[0060] 注意,在上文描述的流程图中,框中所标注的功能也可以按照不同于图中所示的顺序发生。例如,两个接连地表示的方框实际上可以基本并行地执行,它们有时也可以按相反的顺序执行,这取决于所涉及的具体功能。

[0061] 虽然已参照几个典型实施例描述了本发明,但应当理解,所用的术语是说明和示例性、而非限制性的术语。由于本发明能够以多种形式具体实施而不脱离发明的精神或实质,所以应当理解,上述实施例不限于任何前述的细节,而应在随附权利要求所限定的精神和范围内广泛地解释,因此落入权利要求或其等效范围内的全部变化和改型都应随附权利要求所涵盖。

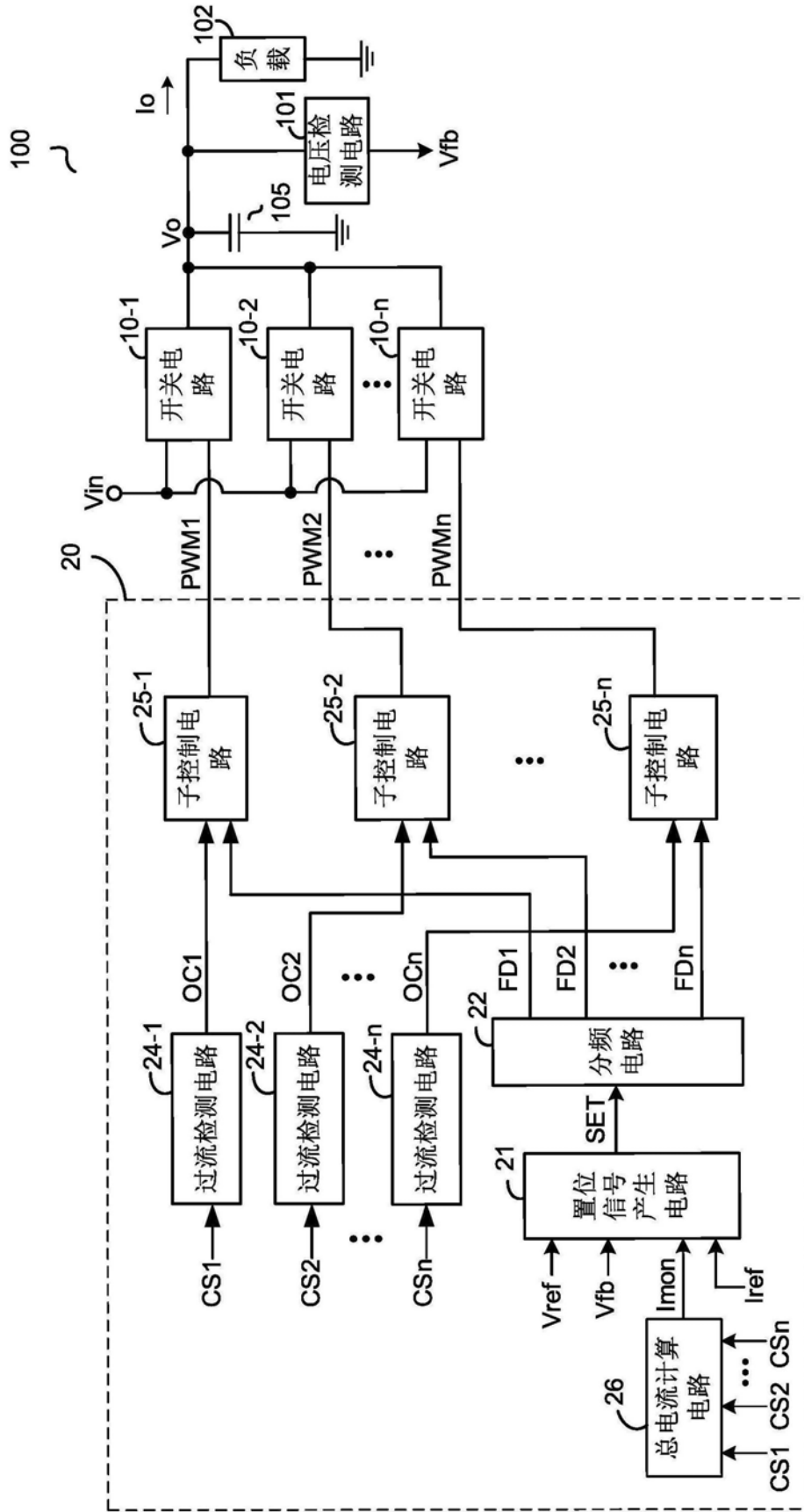


图1

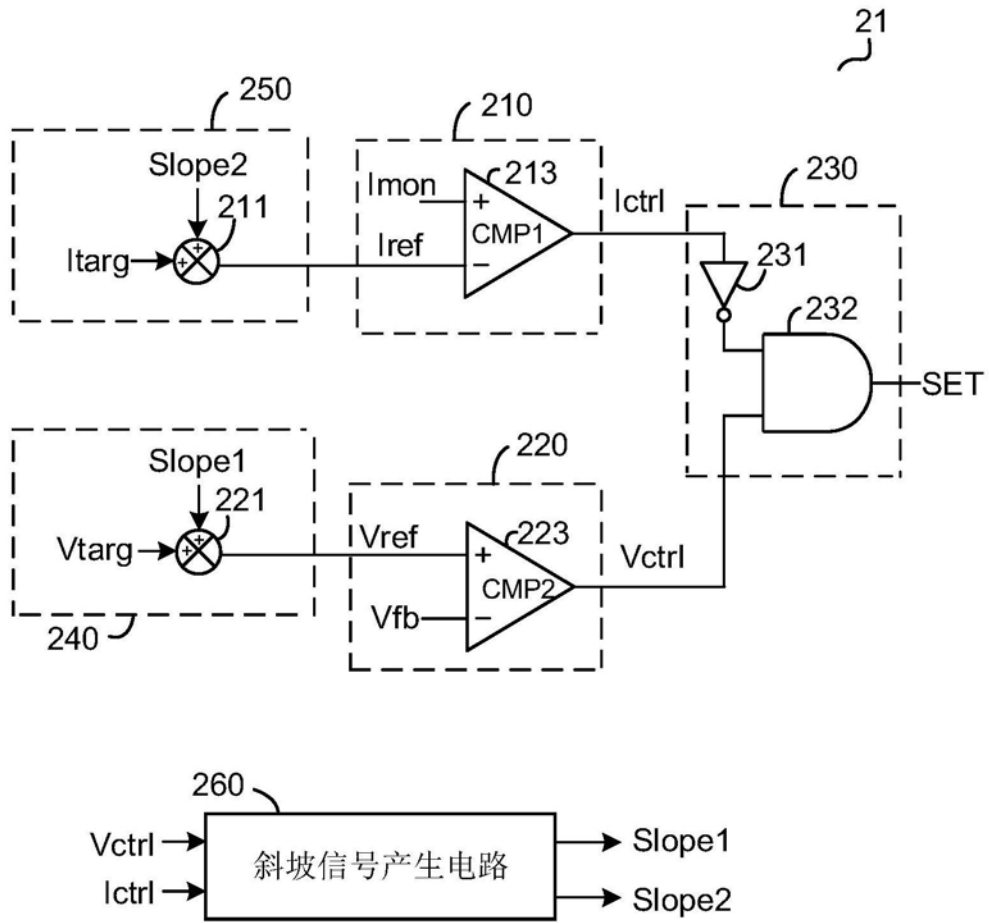


图2

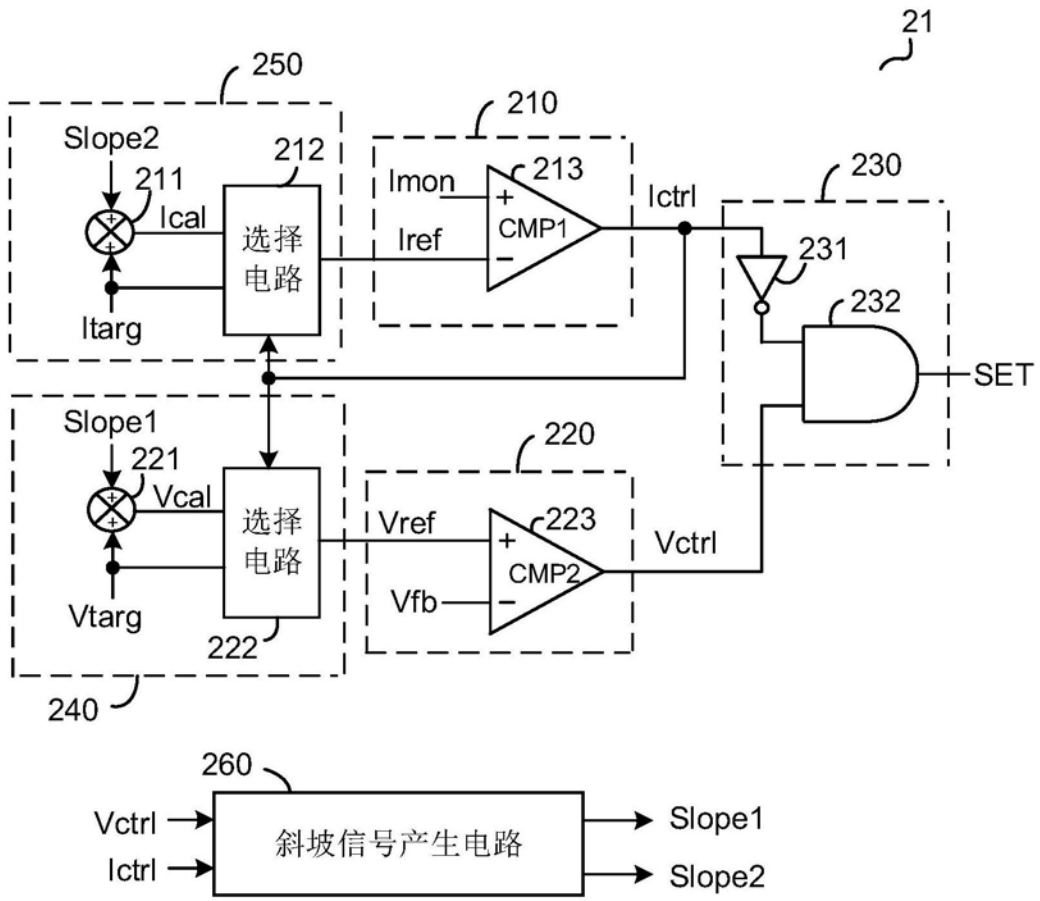


图3

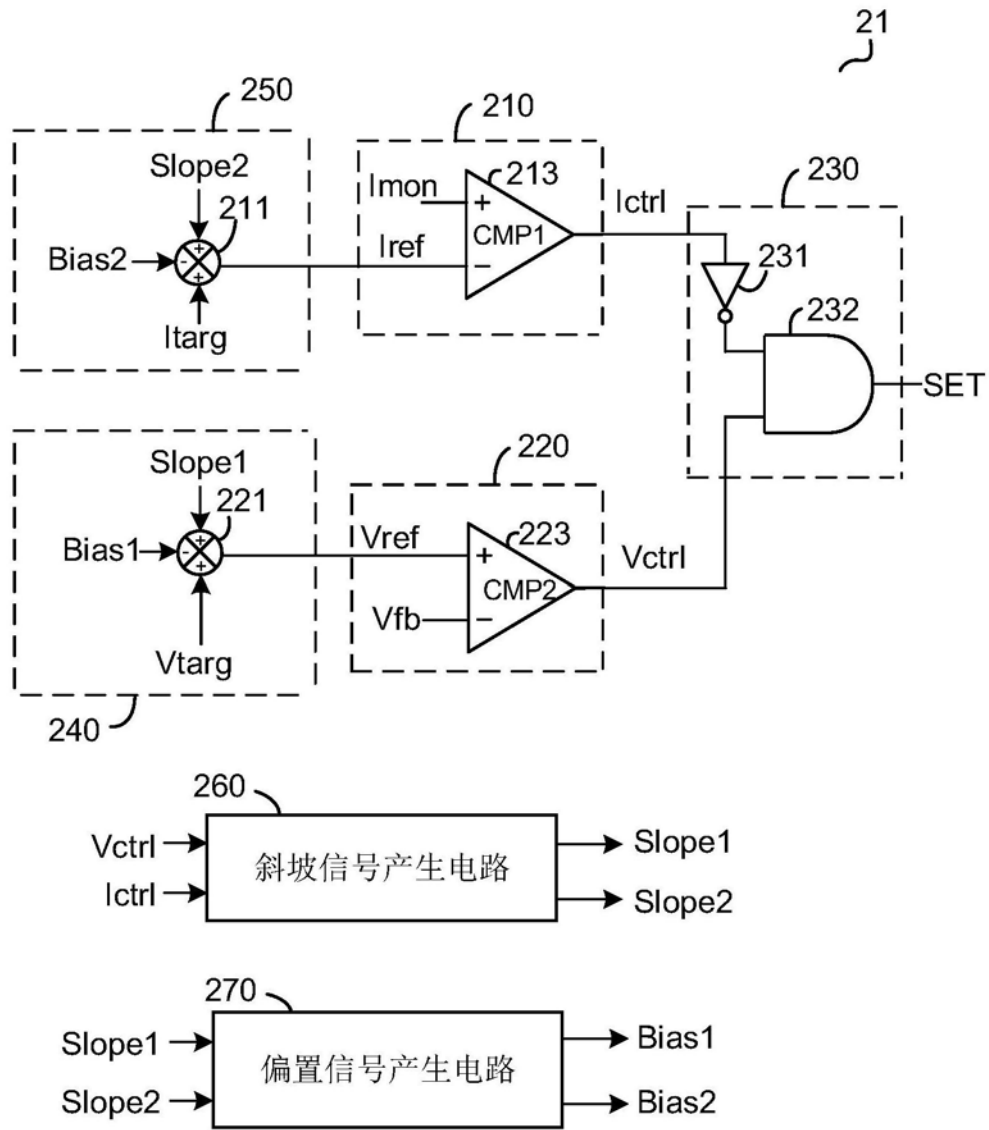


图4

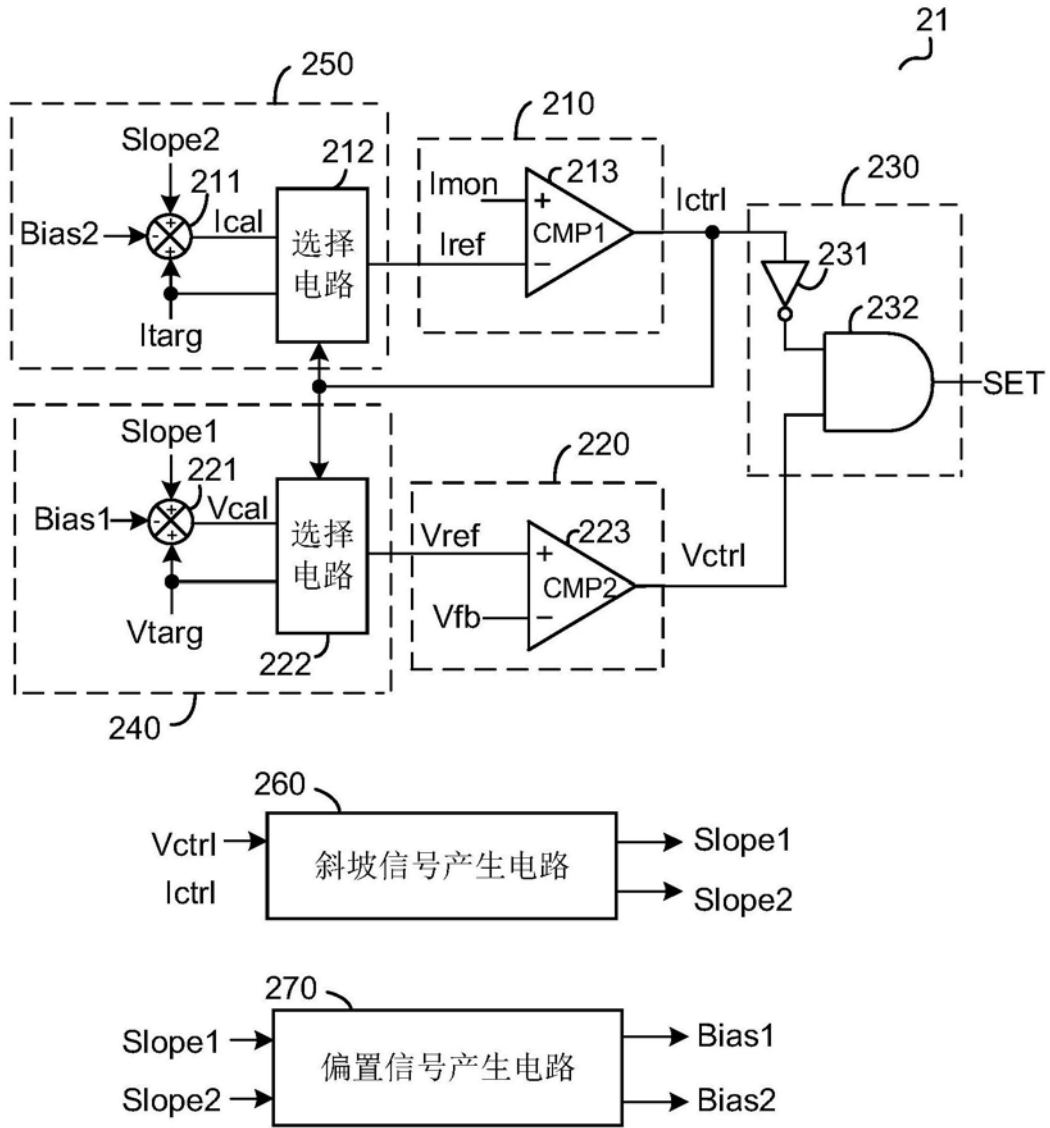


图5

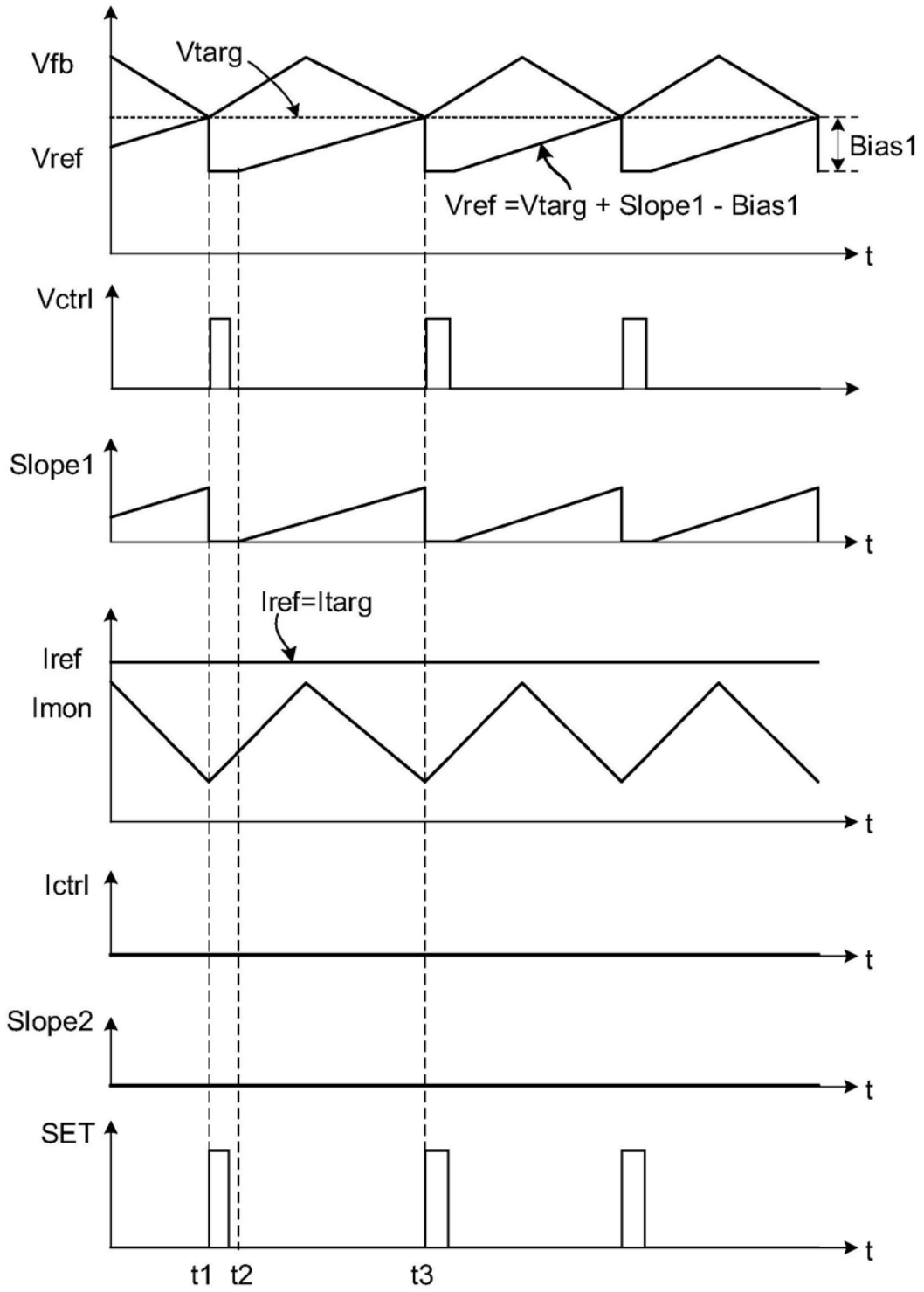


图6

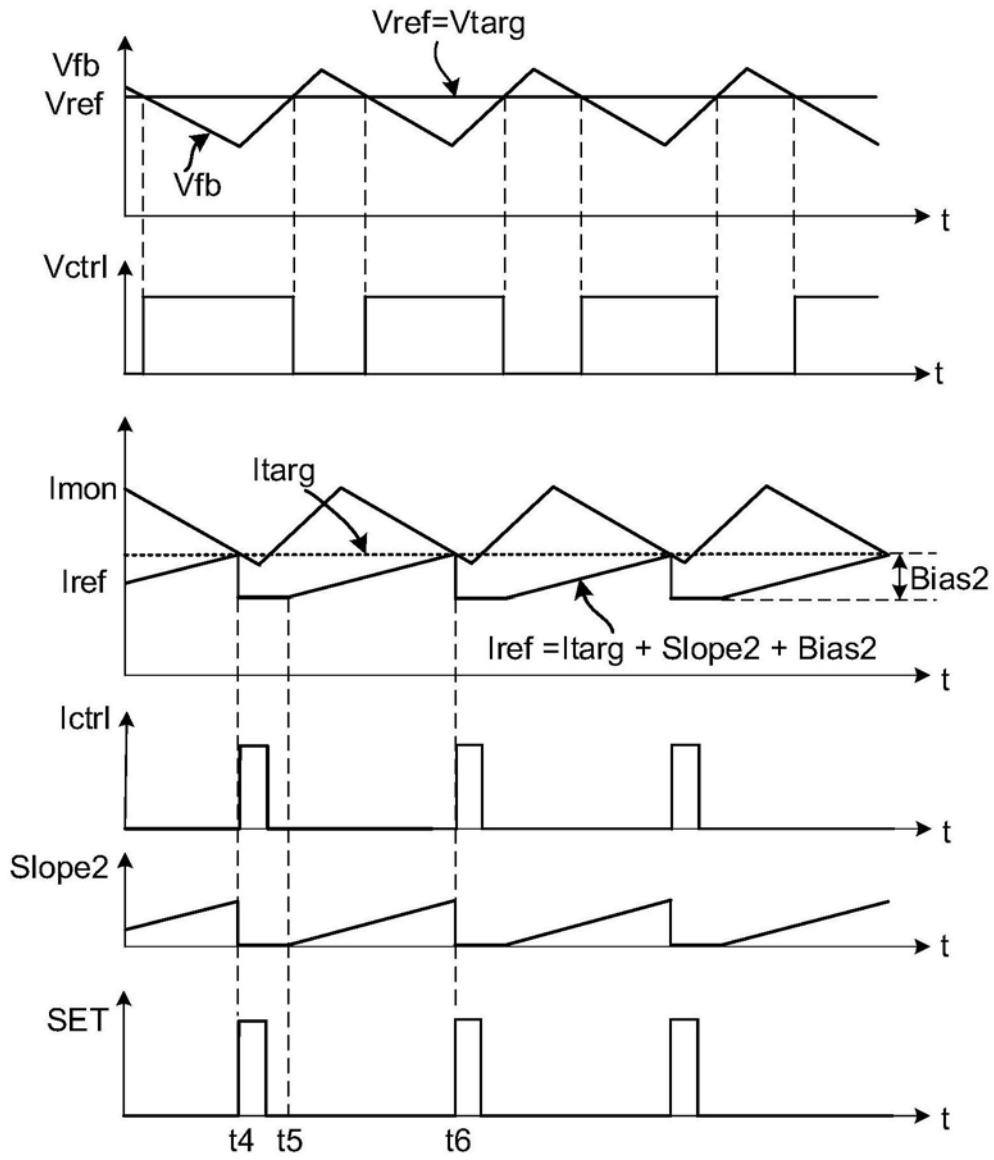


图7

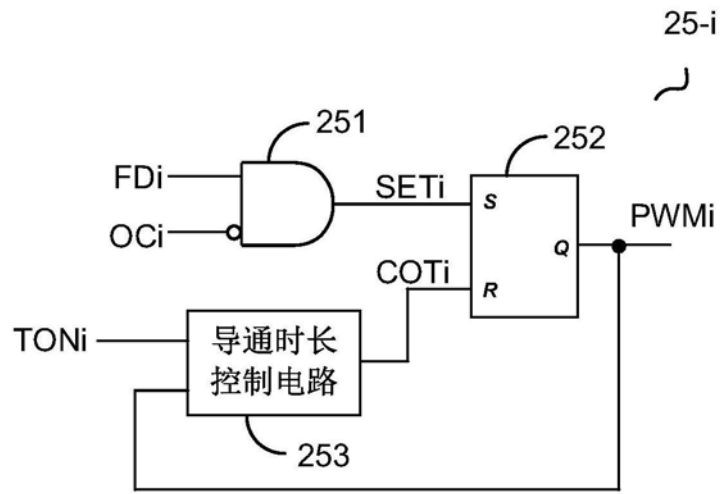


图8A

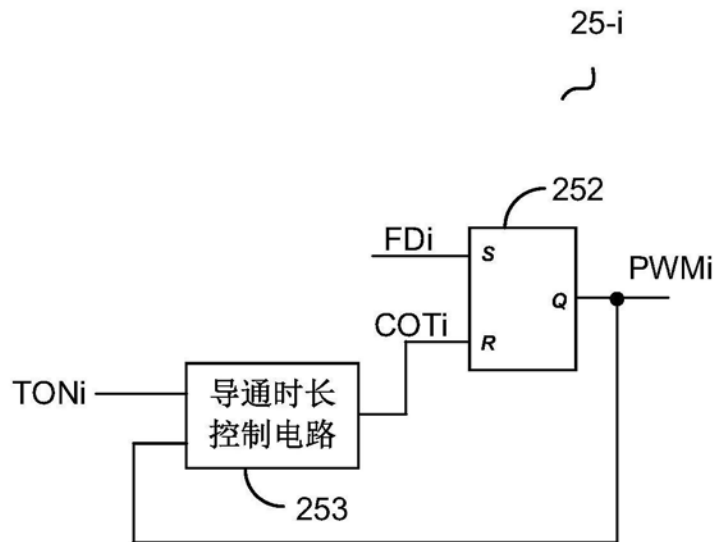


图8B

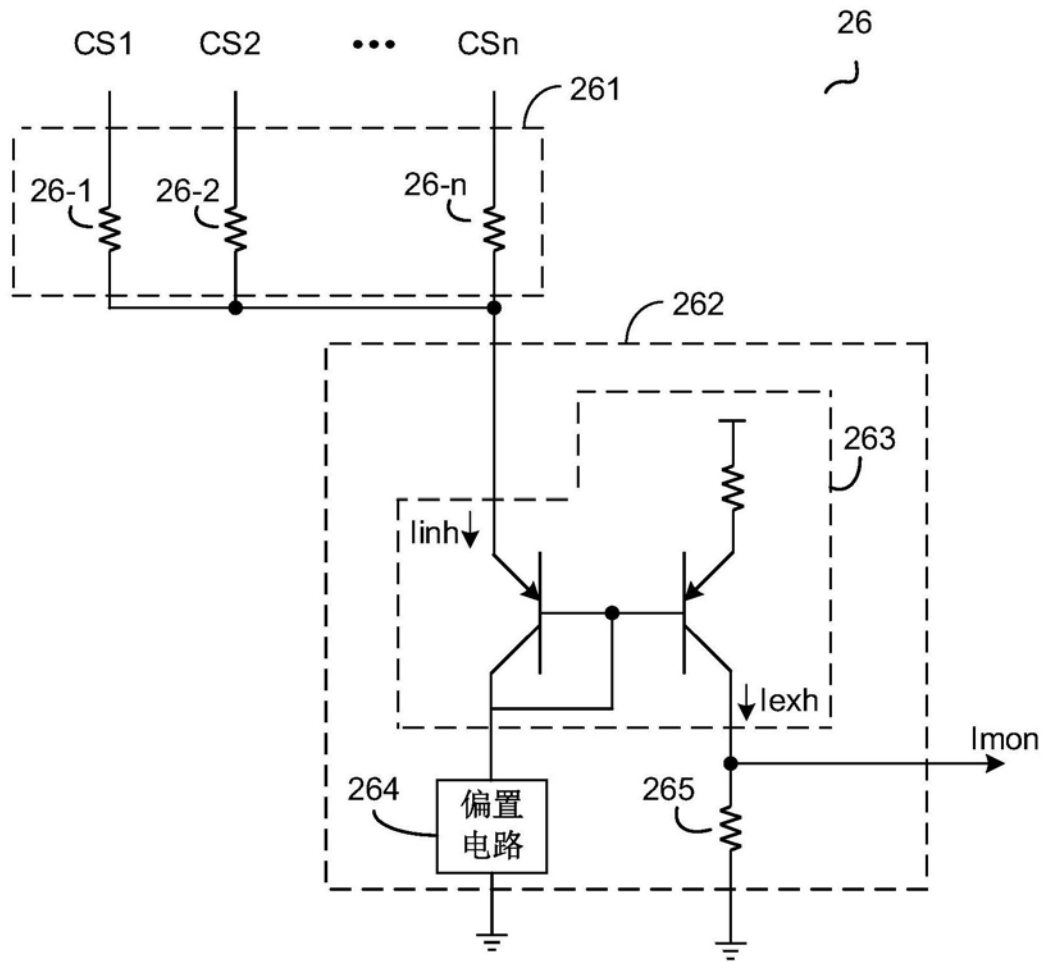


图9

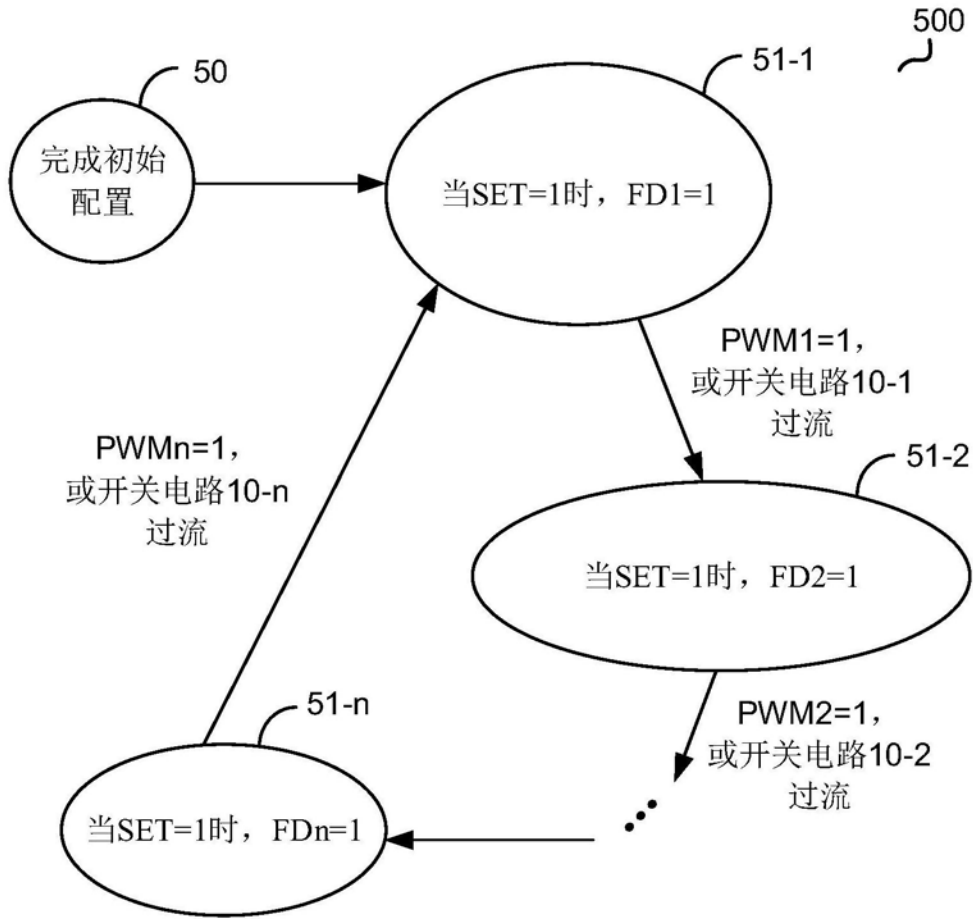


图10

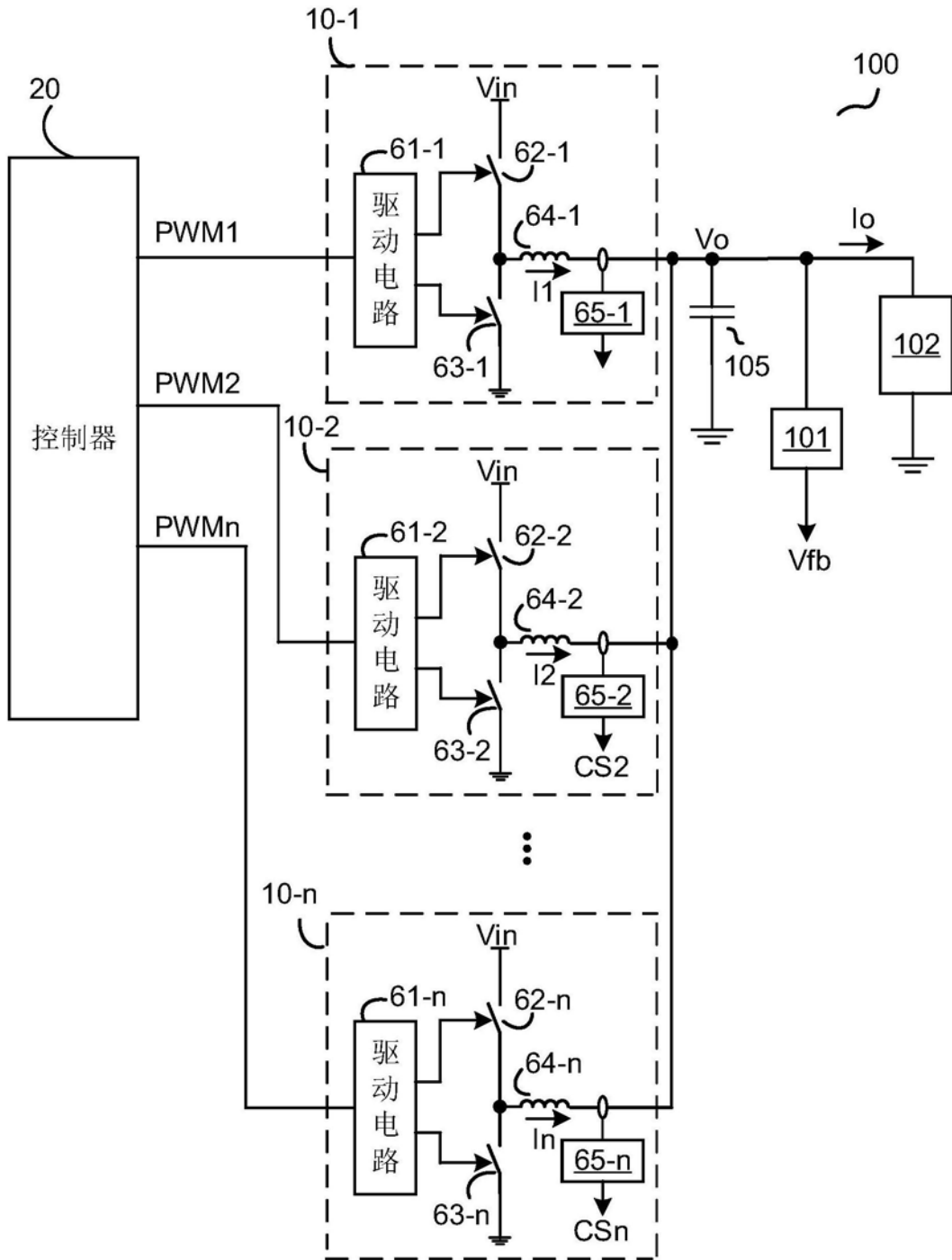


图11

800

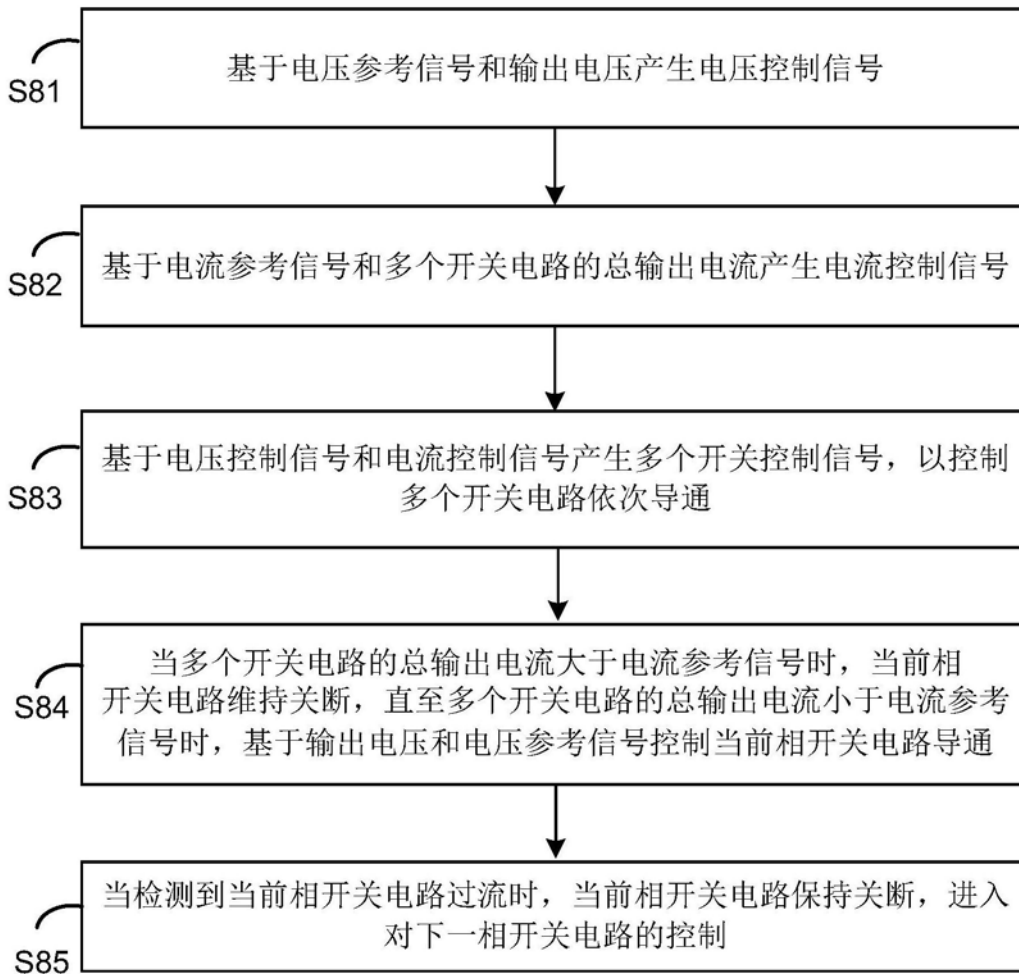


图12