(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 102832810 A
(43)申请公布日 2012.12.19

(21)申请号 201210315162.5

(22)申请日 2012.08.30

(71)申请人 成都芯源系统有限公司
地址 611731 四川省成都市高新西区出口加工区(西区)科新路8号

(72)发明人 李伊珂

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021
代理人 王波波

(51)Int.Cl.
H02M 3/10(2006.01)
H02M 3/07(2006.01)

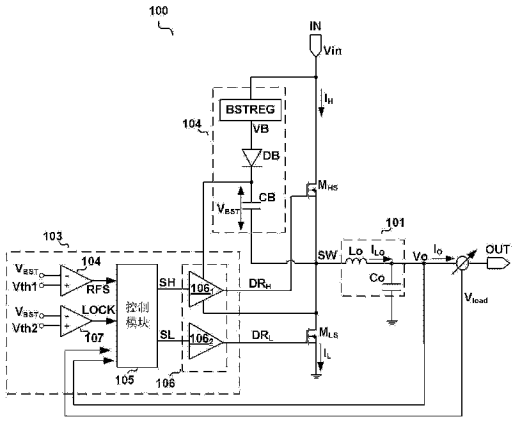
权利要求书 6 页 说明书 15 页 附图 5 页

(54)发明名称

自举电压刷新控制电路、电压转换电路及相关控制方法

(57)摘要

提出了一种自举电压刷新控制电路、电压转换电路及其控制方法。自举电压刷新控制电路检测电压转换电路中的自举电压，基于该自举电压为该电压转换电路的高侧开关提供增强的导通与关断驱动信号，并基于该自举电压通过控制该电压转换电路的高侧开关和低侧开关的导通和关断切换来控制该自举电压的充电。该自举电压刷新控制电路可以在自举电压不足时通过调整高侧开关和低侧开关的导通与关断切换及时使该自举电压恢复，无需增加更多开关器件便可实现。包括该自举电压刷新控制电路的电压转换电路具有良好的工作稳定性，在其输入电压和输出电压比较接近时仍可以正常工作，且功耗较小。



CN 102832810 A

REED EX1008
IPR2024-00871

1. 一种自举电压刷新控制电路，用于电压转换电路，其中所述电压转换电路包括高侧开关和低侧开关以及用于为所述高侧开关提供自举电压的自举电容，所述电压转换电路基于所述高侧开关和低侧开关的导通和关断切换提供输出电压和输出电流，所述自举电压刷新控制电路包括：

第一比较模块，具有第一比较输入端、第二比较输入端和第一比较输出端，其中所述第一比较输入端用于接收所述自举电压，所述第二比较输入端用于接收自举电压刷新阈值，所述第一比较模块用于将所述自举电压与所述自举电压刷新阈值进行比较并在所述第一比较输出端提供自举电压刷新信号；以及

控制模块，具有第一控制输入端用于接收所述自举电压刷新信号，基于所述自举电压刷新信号控制所述高侧开关和所述低侧开关的导通与关断切换以控制所述自举电容的充电。

2. 根据权利要求 1 的自举电压刷新控制电路，其特征在于：

所述控制模块还具有第二控制输入端和第三控制输入端，其中所述第二控制输入端用于检测所述电压转换电路的输出电压，所述第三控制输入端用于检测所述电压转换电路的输出电流；

若所述自举电压低于所述自举电压刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第一逻辑状态，若所述自举电压高于所述自举电压刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第二逻辑状态；

若所述自举电压刷新信号具有第一逻辑状态，所述控制模块基于所述自举电压刷新信号控制所述高侧开关和所述低侧开关以大致恒定的频率互补地进行导通和关断切换，以为所述自举电容充电；若所述自举电压刷新信号具有第二逻辑状态，所述控制模块基于所述自举电压刷新信号控制所述高侧开关和所述低侧开关根据所述输出电压和所述输出电流进行导通和关断切换。

3. 根据权利要求 2 所述的自举电压刷新控制电路，其特征在于：

所述自举电压刷新阈值包括第一刷新阈值和第二刷新阈值，其中所述第一刷新阈值小于所述第二刷新阈值；

若所述自举电压低于所述第一刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第一逻辑状态；

若所述自举电压高于所述第二刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第二逻辑状态。

4. 根据权利要求 1 至 3 其中之一所述的自举电压刷新控制电路，其特征在于，所述控制模块包括：

第二比较模块，具有使能输入端、第三比较输入端、第四比较输入端和第二比较输出端，其中所述使能输入端用于接收所述自举电压刷新信号，所述第三比较输入端用于接收表征所述电压转换电路的输出电流的负载信号，所述第四比较输入端用于接收轻载阈值，所述第二比较模块用于将所述负载信号与所述轻载阈值进行比较并在所述第二比较输出端提供负载比较信号；

若所述自举电压低于所述自举电压刷新阈值，所述自举电压刷新信号控制所述第二比较模块不使能，若所述自举电压高于所述自举电压刷新阈值，所述自举电压刷新信号控制所述第二比较模块使能；

若所述第二比较模块使能，当所述负载信号高于所述轻载阈值时，所述负载比较信号

Page 2 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

具有第一逻辑状态，当所述负载信号低于所述轻载阈值时，所述负载比较信号具有第二逻辑状态；

若所述第二比较模块不使能，所述负载比较信号大致恒定地具有所述的第一逻辑状态；

若所述负载比较信号具有所述的第一逻辑状态，所述控制模块基于该负载比较信号控制所述高侧开关和所述低侧开关进行脉冲宽度调制的定频导通与关断切换；

若所述负载比较信号具有所述的第二逻辑状态，所述控制模块基于该负载比较信号控制所述高侧开关和所述低侧开关进行脉冲频率调制的变频导通与关断切换。

5. 根据权利要求 4 所述的自举电压刷新控制电路，其特征在于，所述负载比较信号具有所述的第一逻辑状态时，所述高侧开关和所述低侧开关的导通与关断切换频率为大致恒定的第一切换频率；所述负载比较信号具有所述的第二逻辑状态时，所述高侧开关和所述低侧开关的导通与关断切换频率为变化的第二切换频率；其中所述第二切换频率根据所述负载信号的变化而变化。

6. 根据权利要求 4 所述的自举电压刷新控制电路，其特征在于所述控制模块进一步包括：

脉冲宽度调制模块，具有第一调制输入端、第二调制输入端、第三调制输入端和调制输出端，其中所述第一调制输入端用于接收所述负载比较信号，所述第二调制输入端用于检测所述输出电压，所述第三调制输入端用于检测所述输出电流，所述调制输出端基于所述输出电压和所述输出电流提供高侧开关控制信号和低侧开关控制信号；并且

所述脉冲宽度调制模块根据所述负载比较信号调节所述高侧开关控制信号和所述低侧开关控制信号，当所述当负载比较信号具有第一逻辑状态时，所述高侧开关控制信号和所述低侧开关控制信号保持脉冲宽度调制或者由脉冲频率调制转换为脉冲宽度调制，使所述高侧开关和所述低侧开关进行脉冲宽度调制的定频导通与关断切换；当所述负载比较信号具有第二逻辑状态时，所述高侧开关控制信号和所述低侧开关控制信号由脉冲宽度调制转换为脉冲频率调制，使所述高侧开关和所述低侧开关进行脉冲频率调制的变频导通与关断切换。

7. 根据权利要求 6 所述的自举电压刷新控制电路，其特征在于：

当所述负载比较信号具有第一逻辑状态时，所述脉冲宽度调制模块控制高侧开关和低侧开关进行脉冲宽度调制的定频导通和关断切换；

当所述负载比较信号具有第二逻辑状态时，所述脉冲宽度调制模块控制所述高侧开关和所述低侧开关关断，停止导通和关断切换。

8. 根据权利要求 6 所述的自举电压刷新控制电路，其特征在于，所述脉冲宽度调制模块包括：

脉冲宽度调制信号发生电路，接收表征所述输出电压的第一反馈信号和表征所述输出电流的第二反馈信号，并基于所述第一反馈信号和所述第二反馈信号提供脉冲宽度调制信号；

切换频率控制电路，接收所述负载比较信号，并基于该负载比较信号提供切换频率调制信号，当该负载比较信号具有第一逻辑状态时，切换频率调制信号具有大致恒定的第一切换频率，当该负载比较信号具有第二逻辑状态时，切换频率调制信号具有随所述负载信

Page 3 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

号变化的第二切换频率；和

逻辑控制电路，接收所述脉冲宽度调制信号和所述切换频率调制信号，并基于所述脉冲宽度调制信号和所述切换频率调制信号提供所述高侧开关控制信号和所述低侧开关控制信号；当所述负载比较信号具有第一逻辑状态时，所述高侧开关控制信号和所述低侧开关控制信号为具有所述第一切换频率的脉冲宽度调制信号，用于控制所述高侧开关和所述低侧开关进行脉冲宽度调制的定频导通与关断切换；当所述负载比较信号具有第二逻辑状态时，所述高侧开关控制信号和所述低侧开关控制信号为具有所述第二切换频率的脉冲频率调制信号，用于控制高侧开关和低侧开关进行脉冲频率调制的变频导通与关断切换。

9. 根据权利要求 1 所述的自举电压刷新控制电路，其特征在于进一步包括：

过零检测模块，具有第一检测输入端、第二检测输入端和检测输出端，其中所述第一检测输入端用于接收表征流过所述低侧开关的电流的第三反馈信号，所述第二检测输入端用于接收低侧开关限流阈值，所述检测输出端用于根据所述第三反馈信号与所述低侧开关限流阈值的比较结果提供过零比较信号；

当所述第三反馈信号高于所述低侧开关限流阈值时，所述过零比较信号具有第一逻辑状态，当所述第三反馈信号低于所述低侧开关限流阈值时，所述过零比较信号具有第二逻辑状态；

当所述过零比较信号具有第一逻辑状态时，所述自举电压刷新控制电路基于该过零比较信号允许所述低侧开关进行导通和关断切换，当所述过零比较信号具有第二逻辑状态时，所述自举电压刷新控制电路基于该过零比较信号将所述低侧开关关断，使其停止导通和关断切换。

10. 根据权利要求 9 所述的自举电压刷新控制电路，其特征在于所述低侧开关限流阈值具有设定的低于零且接近于零的补偿值。

11. 根据权利要求 1 所述的自举电压刷新控制电路，其特征在于进一步包括：

自举欠压阀锁电路，具有第一阀锁输入端、第二阀锁输入端和阀锁输出端，其中所述第一阀锁输入端用于接收所述自举电压，所述第二阀锁输入端用于接收自举电压欠压阈值，且所述自举电压欠压阈值小于所述自举电压刷新阈值，所述自举欠压阀锁电路用于将所述自举电压与所述自举电压欠压阈值相比较，并在所述阀锁输出端提供自举欠压信号；

若所述自举电压低于所述自举电压欠压阈值，所述自举欠压信号具有第一逻辑状态，若所述自举电压高于所述自举电压欠压阈值，所述自举欠压信号具有第二逻辑状态；

当所述自举欠压信号具有第一逻辑状态时，所述自举电压刷新控制电路基于该自举欠压信号将所述高侧开关和所述低侧开关关断，停止导通与关断切换；当所述自举欠压信号具有第二逻辑状态时，所述自举电压刷新控制电路基于该自举欠压信号允许所述高侧开关和所述低侧开关进行导通和关断切换。

12. 一种电压转换电路，包括：

输入端，用于接收输入电压；

输出端，用于提供输出电压及输出电流；

高侧开关和低侧开关，串联耦接于所述输入端和参考地之间，并且所述高侧开关和所述低侧开关的耦接点形成切换电压输出端；

输出滤波电路，耦接于所述切换电压输出端和所述输出端之间，用于将所述切换电压

Page 4 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

输出端处的切换电压转化为所述输出电压；

自举电路，包括自举电容，耦接所述输入端和所述低侧开关，使得所述自举电容在所述低侧开关导通时充电以产生自举电压；以及

控制电路，接收所述自举电压，基于该自举电压为所述高侧开关提供增强的导通与关断驱动信号，并基于该自举电压通过控制所述高侧开关和所述低侧开关的导通和关断切换来控制所述自举电容的充电。

13. 根据权利要求 12 所述的电压转换电路，其特征在于，所述控制电路包括：

第一比较模块，具有第一比较输入端、第二比较输入端和第一比较输出端，其中所述第一比较输入端用于接收所述自举电压，所述第二比较输入端用于接收自举电压刷新阈值，所述第一比较模块用于将所述自举电压与所述自举电压刷新阈值进行比较并在所述第一比较输出端提供自举电压刷新信号；以及

控制模块，具有第一控制输入端用于接收所述自举电压刷新信号，基于所述自举电压刷新信号控制所述高侧开关和所述低侧开关的导通与关断切换以控制所述自举电容的充电。

14. 根据权利要求 13 所述的电压转换电路，其特征在于：

所述控制模块还具有第二控制输入端和第三控制输入端，其中所述第二控制输入端用于检测所述电压转换电路的输出电压，所述第三控制输入端用于检测所述电压转换电路的输出电流；

若所述自举电压低于所述自举电压刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第一逻辑状态，若所述自举电压高于所述自举电压刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第二逻辑状态；

若所述自举电压刷新信号具有第一逻辑状态，所述控制模块基于所述自举电压刷新信号控制所述高侧开关和所述低侧开关以大致恒定的频率互补地进行导通和关断切换，以为所述自举电容充电；若所述自举电压刷新信号具有第二逻辑状态，所述控制模块基于所述自举电压刷新信号控制所述高侧开关和所述低侧开关根据所述输出电压和所述输出电流进行导通和关断切换。

15. 根据权利要求 13 所述的电压转换电路，其特征在于：

所述自举电压刷新阈值包括第一刷新阈值和第二刷新阈值，其中所述第一刷新阈值小于所述第二刷新阈值；

若所述自举电压低于所述第一刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第一逻辑状态；

若所述自举电压高于所述第二刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第二逻辑状态。

16. 根据权利要求 13 至 15 其中之一所述的自举电压刷新控制电路，其特征在于，所述控制模块包括：

第二比较模块，具有使能输入端、第三比较输入端、第四比较输入端和第二比较输出端，其中所述使能输入端用于接收所述自举电压刷新信号，所述第三比较输入端用于接收表征所述电压转换电路的输出电流的负载信号，所述第四比较输入端用于接收轻载阈值，所述第二比较模块用于将所述负载信号与所述轻载阈值进行比较并在所述第二比较输出端提供负载比较信号；其特征还在于，

若所述自举电压低于所述自举电压刷新阈值，所述自举电压刷新信号控制所述第二比

REED EX1008
IPR2024-00871

较模块不使能，若所述自举电压高于所述自举电压刷新阈值，所述自举电压刷新信号控制所述第二比较模块使能；其特征还在于，

若所述第二比较模块使能，当所述负载信号高于所述轻载阈值时，所述负载比较信号具有第一逻辑状态，当所述负载信号低于所述轻载阈值时，所述负载比较信号具有第二逻辑状态；

若所述第二比较模块不使能，所述负载比较信号大致恒定地具有所述的第一逻辑状态；其特征还在于，

若所述负载比较信号具有所述的第一逻辑状态，所述控制模块基于该负载比较信号控制所述高侧开关和所述低侧开关进行脉冲宽度调制的定频导通与关断切换；

若所述负载比较信号具有所述的第二逻辑状态，所述控制模块基于该负载比较信号控制所述高侧开关和所述低侧开关进行脉冲频率调制的变频导通与关断切换。

17. 根据权利要求 12 所述的电压转换电路，其特征在于，进一步包括：

过零检测模块，具有第一检测输入端、第二检测输入端和检测输出端，其中所述第一检测输入端用于接收表征流过所述低侧开关的电流的第三反馈信号，所述第二检测输入端用于接收低侧开关限流阈值，所述检测输出端用于根据所述第三反馈信号与所述低侧开关限流阈值的比较结果提供过零比较信号；其特征还在于，

当所述第三反馈信号高于所述低侧开关限流阈值时，所述过零比较信号具有第一逻辑状态，当所述第三反馈信号低于所述低侧开关限流阈值时，所述过零比较信号具有第二逻辑状态；其特征还在于

当所述过零比较信号具有第一逻辑状态时，所述控制电路基于该过零比较信号允许所述低侧开关进行导通和关断切换，当所述过零比较信号具有第二逻辑状态时，所述控制电路基于该过零比较信号将所述低侧开关关断，使其停止导通和关断切换。

18. 根据权利要求 17 所述的电压转换电路，其特征在于，所述低侧开关限流阈值具有设定的低于零且接近于零的补偿值。

19. 一种控制电压转换电路的方法，其中所述电压转换电路具有高侧开关和低侧开关以及用于为所述高侧开关提供自举电压的自举电容，所述电压转换电路基于所述高侧开关和低侧开关的导通和关断切换提供输出电压和输出电流，所述控制电压转换电路的方法包括：

检测所述自举电压；

将所述自举电压与自举电压刷新阈值相比较，以提供自举电压刷新信号；

基于所述自举电压刷新信号控制所述高侧开关和所述低侧开关的导通与关断切换以控制所述自举电容的充电。

20. 根据权利要求 19 所述的方法，其特征在于：

若所述自举电压低于所述自举电压刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第一逻辑状态，若所述自举电压高于所述自举电压刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第二逻辑状态；

若所述自举电压刷新信号具有第一逻辑状态，使所述高侧开关和所述低侧开关以大致恒定的频率互补地进行导通和关断切换，以为所述自举电容充电；若所述自举电压刷新信号具有第二逻辑状态，使所述高侧开关和所述低侧开关根据所述输出电压和所述输出电流

REED EX1008
IPR2024-00871

进行导通和关断切换。

REED EX1008
IPR2024-00871

自举电压刷新控制电路、电压转换电路及相关控制方法

技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及功率变换器，尤其涉及功率变换器中的自举电压的刷新。

背景技术

[0002] 功率变换器，例如开关型电压转换器，已经被广泛应用于各种工业电子设备及消费电子设备中。以降压型直流电压转换器为例，由于其具有较高的转换效率、较大的带宽并且易于实现稳定性补偿，而经常被应用于需要将相对较高的直流输入电压转换为相对较低的直流输出电压的场合。图 1 示出了一种典型的降压型直流电压转换电路 50 的简化示意图。简言之，降压型直流电压转换电路 50 通过输入端 IN 接收输入电压 Vin，并通过控制电路 51 控制高侧开关 M_{HS}（图 1 中示意为 MOSFET）和低侧开关 M_{LS}（图 1 中示意为 MOSFET）的导通与关断，以实现将输入电压 Vin 转换为合适的输出电压 Vo 在其输出端 OUT 输出的目的。其中，高侧开关 M_{HS}（图 1 中示意为 MOSFET）和低侧开关 M_{LS} 串联耦接在输入端 IN 和参考地 GND 之间，并且高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 的耦接点 SW（即切换电压输出端 SW）通过感性储能元件 Lo 耦接至输出端 OUT，容性储能元件 Co 耦接在输出端 OUT 与参考地 GND 之间以平滑输出电压 Vo。

[0003] 高侧开关 M_{HS} 可以包括 N 沟道功率开关器件，例如 N 沟道 FET、N 沟道 DMOS 等以节约芯片面积、降低电压转换电路 50 的尺寸并改善电压转换电路 50 的工作性能。在这种情况下，为了使高侧开关 M_{HS} 能够很好地导通（意味着使 M_{HS} 工作在饱和区，这样 M_{HS} 的导通电阻很小），高侧开关 M_{HS} 的控制端（例如 FET/DMOS 的栅端）与其耦接 SW 节点的一端（例如 FET/DMOS 的源端）之间的电压差应该足够大，至少大于高侧开关 M_{HS} 的导通阈值电压。然而，若高侧开关 M_{HS} 导通，SW 节点的电压可以是输入电压 Vin，这时，需要为高侧开关 M_{HS} 的控制端提供高于 SW 节点的电压，即高于输入电压 Vin，的电压才能使高侧开关 M_{HS} 充分导通。

[0004] 为了在降压型直流电压转换电路 50 中获得高于输入电压 Vin 的电压，通常降压型直流电压转换电路 50 还包括自举电路 52，用于以 SW 节点的电压为参考电势产生自举电压 V_{BST}，该自举电压 V_{BST} 可以用于提升 / 增强由控制电路 51 为高侧开关 M_{HS} 的控制端提供的控制信号 DR_H 的驱动能力，从而很好地控制高侧开关 M_{HS} 的导通和关断。图 1 中将自举电路 52 示意为包括二极管 DB 和自举电容 CB，串联耦接于自举供电输入端 VB 和切换电压输出端 SW 之间，其中二极管 DB 的阴极耦接自举供电输入端 VB，二极管 DB 的阳极耦接自举电容 CB 的第一端，自举电容 CB 的第二端耦接切换电压输出端 SW，自举供电输入端 VB 接收自举供电电压，自举电容 CB 第一端和第二端之间的电压即为自举电压 V_{BST}。自举电路 52 的工作原理是本领域的普通技术人员所熟知的，即，当高侧开关 M_{HS} 关断时，低侧开关 M_{LS} 导通，自举供电电压通过二极管 DB 为自举电容 CB 充电，使得自举电容 CB 第一端和第二端之间具有自举电压 V_{BST}；当高侧开关 M_{HS} 导通时，低侧开关 M_{LS} 关断，电压转换电路 50 中的输入电压 Vin 被传输至切换电压输出端 SW，即自举电容第二端的电压变为 Vin，则此时自举电容 CB 第一端的电压被抬升为输入电压 Vin 叠加上自举电压 V_{BST}，从而实现了在降压型直流电压转换电路 50 中获得高于输入电压 Vin 的电压的目的。自举电容 CB 第一端的电压被抬升为输入电压 Vin

Page 8 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

叠加上自举电压 V_{BST} 后，二极管 DB 反向偏置而被关断，从而可以保护提供自举供电电压的电源不受相对较高的输入电压 Vin 的损坏。

[0005] 可见，自举电路 52 通过在低侧开关 M_{LS} 导通时将自举电容 CB 第二端的电压拉低至参考地，而获得为自举电容 CB 充电的机会，以提供自举电压 V_{BST}。然而在某些工作状态下，可能由于自举电容 CB 上的电荷不足而又不能及时被充电到足够的水平，而导致自举电路 52 提供的自举电压 V_{BST} 下降，不足以使高侧开关 M_{HS} 正常导通和关断，那么电压转换电路 50 也因此不能正常工作。例如：若电压转换电路 50 工作在负载较轻或者空载的情况下，则控制电路 51 会降低高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 的导通时间和 / 或者切换频率以提高转换效率，这样可能由于低侧开关 M_{LS} 的导通时间很短或者高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 在较长时间内没有进行导通和关断切换而无法使自举电容 CB 及时充电。另外，若电压转换电路 50 的输出电压 Vo 接近输入电压 Vin，则可能需要高侧开关 M_{HS} 以很高、甚至 100％的占空比工作（即，高侧开关 M_{HS} 的导通时间可能占整个切换周期的相当大的比例、甚至是满周期），那么低侧开关 M_{LS} 的导通时间就非常短、甚至没有导通机会，而使自举电容 CB 无法及时充电。这样要等到输出电压 Vo 降低后，自举电容 CB 才有机会被充电以使自举电压 V_{BST} 恢复，这会引起输出电压 Vo 出现波动尖峰。例如，若输入电压 Vin 为 6V，输出电压 Vo 为 3.3V，而自举电压 V_{BST} 至少为 3V 才足够让高侧开关 M_{HS} 正常导通与关断。这种情况下，如果电压转换电路 50 的输出电流较小或者为零（即，电压转换电路 50 工作在负载较轻或者空载的情况下），自举电压 V_{BST} 必然会降至低于 2.7V，而使高侧开关 M_{HS} 无法正常导通。那么，电压转换电路 50 需要等到输出电压 Vo 降低至小于 3V 后，才有机会使自举电容 CB 充电以让自举电压 V_{BST} 恢复至 3V。然后电压转换电路 50 正常工作使输出电压 Vo 回到 3.3V 的期望值。每次输出电压 Vo 由低于 3V 恢复至 3.3V 的过程中都会出现较大的波动尖峰，这不仅对电压转换电路 50 不利更有可能损害负载，因而是不希望出现的。

发明内容

[0006] 针对现有技术中的一个或多个问题，本发明的实施例提供一种自举电压刷新控制电路、电压转换电路及其控制方法。

[0007] 在本发明的一个方面，提出了一种自举电压刷新控制电路，用于电压转换电路，该电压转换电路可以包括高侧开关和低侧开关以及用于为所述高侧开关提供自举电压的自举电容，该电压转换电路基于所述高侧开关和低侧开关的导通和关断切换提供输出电压和输出电流。根据本发明的实施例，该自举电压刷新控制电路可以包括：第一比较模块，具有第一比较输入端、第二比较输入端和第一比较输出端，该第一比较模块在其第一比较输入端接收所述自举电压，在其第二比较输入端接收自举电压刷新阈值，并将所述自举电压与所述自举电压刷新阈值进行比较，在其第一比较输出端提供自举电压刷新信号；以及控制模块，具有第一控制输入端用于接收所述自举电压刷新信号，基于所述自举电压刷新信号控制所述高侧开关和所述低侧开关的导通与关断切换以控制所述自举电容的充电。

[0008] 在本发明的另一方面，提出了一种电压转换电路，包括：输入端，用于接收输入电压；输出端，用于提供输出电压及输出电流；高侧开关和低侧开关，串联耦接于所述输入端和参考地之间，并且所述高侧开关和所述低侧开关的耦接点形成切换电压输出端；输出滤波电路，耦接于所述切换电压输出端和所述输出端之间，用于将所述切换电压输出端处的

Page 9 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

切换电压转化为所述输出电压；自举电路，包括自举电容，耦接所述输入端和所述低侧开关，使得所述自举电容在所述低侧开关导通时充电以产生自举电压；以及控制电路，接收所述自举电压，基于该自举电压为所述高侧开关提供增强的导通与关断驱动信号，并基于该自举电压通过控制所述高侧开关和所述低侧开关的导通和关断切换来控制所述自举电容的充电。

[0009] 在本发明的再一方面，提出了一种控制电压转换电路的方法，其中该电压转换电路具有高侧开关和低侧开关以及用于为该高侧开关提供自举电压的自举电容，该电压转换电路基于该高侧开关和低侧开关的导通和关断切换提供输出电压和输出电流，该控制电压转换电路的方法可以包括：检测所述自举电压；将所述自举电压与自举电压刷新阈值相比较，以提供自举电压刷新信号；基于所述自举电压刷新信号控制所述高侧开关和所述低侧开关的导通与关断切换以控制所述自举电容的充电。

[0010] 利用上述方案，根据本发明实施例的自举电压刷新控制电路在自举电压不足时通过调整高侧开关和低侧开关的导通与关断切换及时使该自举电压恢复，无需增加更多开关器件便可实现。包括该自举电压刷新控制电路的电压转换电路具有良好的工作稳定性，在其输入电压和输出电压比较接近时仍可以正常工作，且功耗较小。

附图说明

[0011] 下面的附图有助于更好地理解接下来对本发明不同实施例的描述。这些附图并非按照实际的特征、尺寸及比例绘制，而是示意性地示出了本发明一些实施方式的主要特征。这些附图和实施方式以非限制性、非穷举性的方式提供了本发明的一些实施例。为简明起见，不同附图中具有相同功能的相同或类似的组件或结构采用相同的附图标记。

[0012] 图 1 示出了一种典型的降压型直流电压转换电路 50 的简化示意图；

[0013] 图 2 示出了根据本发明一个实施例的电压转换电路 100 的电路架构示意图；

[0014] 图 3 示出了根据本发明一个实施例的电压转换电路 200 的电路架构示意图；

[0015] 图 4 示出了根据本发明一个实施例的切换频率控制电路的架构示意图；

[0016] 图 5 示出了根据本发明一个实施例的如图 3 所示电压转换电路 200 的主要工作波形示意图。

[0017] 图 6 示出了根据本发明一个实施例的控制电压转换电路的方法的示意图。

具体实施方式

[0018] 下面将详细说明本发明的一些实施例。在接下来的说明中，一些具体的细节，例如实施例中的具体电路结构和这些电路元件的具体参数，都用于对本发明的实施例提供更好的理解。本技术领域的技术人员可以理解，即使在缺少一些细节或者其他方法、元件、材料等结合的情况下，本发明的实施例也可以被实现。

[0019] 在本发明的说明书中，提及“一个实施例”时均意指在该实施例中描述的具体特征、结构或者参数、步骤等至少包含在根据本发明的一个实施例中。因而，在本发明的说明书中，若采用了诸如“根据本发明的一个实施例”、“在一个实施例中”等用语并不用于特指在同一个实施例中，若采用了诸如“在另外的实施例中”、“根据本发明的不同实施例”、“根据本发明另外的实施例”等用语，也并不用于特指提及的特征只能包含在特定的不同的实

Page 10 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

施例中。本领域的技术人员应该理解，在本发明说明书的一个或者多个实施例中公开的各具体特征、结构或者参数、步骤等可以以任何合适的方式组合。另外，在本发明的说明书及权利要求中，“耦接”一词意指通过电气或者非电气的方式实现直接或者间接的连接。“一个”并不用于特指单个，而是可以包括复数形式。“在……中”可以包括“在……中”和“在……上”的含义。除非特别明确指出，“或”可以包括“或”、“和”及“或 / 和”的含义，并不用于特指只能选择几个并列特征中的一个，而是意指可以选择其中的一个或几个或其中某几个特征的组合。除非特别明确指出，“基于”一词不具有排它性，而是意指除了基于明确描述的特征之外，还可以基于其它未明确描述的特征。“电路”意指至少将一个或者多个有源或无源的元件耦接在一起以提供特定功能的结构。“信号”至少可以指包括电流、电压、电荷、温度、数据、压力或者其它类型的信号。若“晶体管”的实施例可以包括“场效应晶体管”或者“双极结型晶体管”，则“栅极 / 栅区”、“源极 / 源区”、“漏极 / 漏区”分别可以包括“基极 / 基区”、“发射极 / 发射区”、“集电极 / 集电区”，反之亦然。本领域的技术人员应该理解，以上罗列的对本发明中描述用语的解释仅仅是示例性的，并不用于对各用语进行绝对的限定。

[0020] 图 2 示出了根据本发明一个实施例的电压转换电路 100 的电路架构示意图。该电压转换电路 100 包括 ：输入端 IN，用于接收输入电压 Vin ；输出端 OUT，用于提供输出电压 Vo 和输出电流 Io ；高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS}，串联耦接于输入端 IN 和参考地 GND 之间，并且高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 的耦接点形成切换电压输出端 SW ；输出滤波电路 101 耦接于切换电压输出端 SW 和输出端 OUT 之间，用于将切换电压输出端 SW 处的切换电压 V_{SW} 转化为输出电压 Vo ；自举电路 102，包括自举电容 CB，耦接输入端 IN 和低侧开关 M_{LS}，使得自举电容 CB 在低侧开关 M_{LS} 导通时被充电以产生自举电压 V_{BST} ；控制电路 103，接收自举电压 V_{BST}，基于该自举电压 V_{BST} 为高侧开关 M_{HS} 提供增强的导通与关断驱动信号 DR_H，并基于该自举电压 V_{BST} 通过控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 的导通和关断切换来控制自举电容 CB 的充电。

[0021] 根据本发明的一个实施例，控制电路 103 将自举电压 V_{BST} 与自举电压刷新阈值 Vth1（第一阈值电压 Vth1）相比较，输出自举电压刷新信号 RFS。若自举电压 V_{BST} 低于自举电压刷新阈值 Vth1，则表明自举电压 V_{BST} 太低，以致控制电路 103 基于该自举电压 V_{BST} 提供的导通与关断驱动信号 DR_H 的驱动能力下降，不能驱动高侧开关 M_{HS} 正常导通。这时，控制电路 103 基于该自举电压刷新信号 RFS 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 以大致恒定的频率互补地进行导通和关断切换，这样可以使低侧开关 M_{LS} 在每一个切换周期具有合适的导通时间，以为自举电容 CB 充电。如此，经过一定数量的切换周期后，自举电压 V_{BST} 逐渐增大，直到自举电压 V_{BST} 高于自举电压刷新阈值 Vth1。若自举电压 V_{BST} 高于自举电压刷新阈值 Vth1，则表明该自举电压 V_{BST} 已足够大，控制电路 103 能够基于该自举电压 V_{BST} 提供增强的导通与关断驱动信号 DR_H，驱动高侧开关 M_{HS} 充分导通，这时，控制电路 103 基于该自举电压刷新信号 RFS 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 根据输出电压 Vo 和输出端 OUT 的负载状态（例如重载、轻载以及空载等状态）进行导通和关断切换。

[0022] 根据本发明的一个实施例，若自举电压 V_{BST} 高于自举电压刷新阈值 Vth1，则控制电路 103 基于该自举电压刷新信号 RFS 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 根据输出电压 Vo 和输出电流 Io 进行导通和关断切换。这是因为输出电流 Io 事实上可以表征输出端 OUT 的负载状态，输出电流 Io 越大则表明输出端 OUT 的负载越重，输出电流 Io 越小则表明输出端

Page 11 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

OUT 的负载越轻。例如，若输出电流 Io 较大，则表明输出端 OUT 的负载较重，若输出电流 Io 较小，则表明输出端 OUT 的负载较轻，若输出电流 Io 为零，则表明输出端 OUT 的负载为空载。

[0023] 因而，根据本发明基于图 2 描述的各示例性实施例及其变型实施方式，控制电路 103 基于自举电压 V_{BST} 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 的导通和关断切换，以控制自举电容 CB 的充电，从而保证自举电压 V_{BST} 足够大，使控制电路 103 能够基于该自举电压 V_{BST} 提供增强的导通与关断驱动信号 DR_H，驱动高侧开关 M_{HS} 充分导通。由于控制电路 103 对高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 的导通和关断切换控制基于自举电压 V_{BST}，因而可以根据自举电压 V_{BST} 的状态及时调整高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 的导通和关断切换（例如：调整高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 的导通时间以及导通和关断切换频率），从而在自举电压 V_{BST} 太低时，及时为自举电容 CB 充电，以使自举电压 V_{BST} 能够及时恢复。并且根据本发明的各实施例，无需增加更多开关器件及相应的控制电路，而是通过基于自举电压 V_{BST} 调整高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 的导通和关断切换，便可实现及时为自举电容 CB 充电，以保证自举电压 V_{BST} 能够用于增强高侧开关 M_{HS} 的导通与关断驱动。

[0024] 根据本发明基于图 2 描述的各示例性实施例及其变型实施方式，控制电路 103 检测自举电压 V_{BST}，并通过将自举电压 V_{BST} 与自举电压刷新阈值 Vth1 相比较判断自举电压 V_{BST} 是否太低；若自举电压 V_{BST} 太低（即低于自举电压刷新阈值 Vth1），不论电压转换电路 100 的负载状态如何，例如重载、轻载或者空载等，控制电路 103 均控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 以大致恒定的频率互补地进行导通和关断切换，以使低侧开关 M_{LS} 在每一个切换周期具有合适的导通时间，从而为自举电容 CB 充电；若自举电压 V_{BST} 正常（即高于自举电压刷新阈值 Vth1），则控制电路 103 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 根据输出电压 Vo 和输出端 OUT 的负载进行导通和关断切换。例如：根据本发明的一个实施例，若自举电压 V_{BST} 高于自举电压刷新阈值 Vth1，当输出端 OUT 的负载较重或者正常时，控制电路 103 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 根据输出电压 Vo 和输出端 OUT 的负载进行脉冲宽度调制的大致恒定频率导通和关断切换；当输出端 OUT 的负载较轻或者为空载时，控制电路 103 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 根据输出电压 Vo 和输出端 OUT 的负载状态进行脉冲频率调制的变频导通和关断切换，以降低高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 的切换频率，从而降低电压转换电路 100 的功耗。

[0025] 根据本发明的一个实施例，自举电压刷新阈值 Vth1（第一阈值 Vth1）可以包括第一刷新阈值 $Vth1_L$ 和第二刷新阈值 $Vth1_H$，其中所述第一刷新阈值 $Vth1_L$ 小于所述第二刷新阈值 $Vth1_H$。若自举电压 V_{BST} 低于第一刷新阈值 $Vth1_L$，则控制电路 103 基于所述自举电压刷新信号 RFS 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 以大致恒定的频率互补地进行导通和关断切换。若自举电压 V_{BST} 高于第二刷新阈值 $Vth1_H$，则控制电路 103 基于所述自举电压刷新信号 RFS 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 根据输出电压 Vo 和输出端 OUT 的负载状态进行导通和关断切换。这样在第一刷新阈值 $Vth1_L$ 和第二刷新阈值 $Vth1_H$ 之间具有一定的迟滞，可以避免由于自举电压 V_{BST} 的微小波动而引起误触发，从而改善电压转换电路 100 的工作稳定性。

[0026] 根据本发明的一个实施例，自举电容 CB，耦接于输入端 IN 和切换电压输出端 SW 之间，用于以切换电压输出端 SW 处的切换电压 V_{SW} 为参考电势产生自举电压 V_{BST}，当低侧开关 M_{LS} 导通时，自举电容 CB 被充电以刷新自举电压 V_{BST}。

Page 12 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

[0027] 根据本发明的一个实施例，自举电路 102 还可以包括自举开关 DB，耦接于输入端 IN 和自举电容 CB 之间，自举开关 DB 与低侧开关 M_{LS} 同步地导通与关断。当低侧开关 M_{LS} 导通时，自举开关 DB 导通，为自举电容 CB 提供从输入端 IN 到参考地 GND 的充电通路。当低侧开关 M_{LS} 关断时，自举开关 DB 关断，以保证自举电容 CB 充电通路的安全性。在如图 2 的示意性实施例中，自举开关 DB 被示意为包括二极管 DB，然而本领域的普通技术人员应该理解自举开关 DB 的实现方式并不限于二极管，自举开关 DB 还可以包括 MOSFET，JFET，BJT 等可控开关器件。在这种情况下，可以由控制电路 103 为自举开关 DB 提供开关控制信号，以驱动其与低侧开关 M_{LS} 同步地导通与关断。

[0028] 根据本发明的一个实施例，自举电路 102 还可以包括自举供电调节模块 BSTREG，耦接输入端 IN 和自举电容 CB，用于将输入电压 Vin 调整为合适的自举充电供电电压 VB 以为自举电容 CB 充电。这样，给自举电容 CB 充电获得的自举电压 V_{BST} 的最大值可以被限定在自举充电供电电压 VB。例如 :若输入电压 Vin 为 12V，希望获得 5V 的自举电压 V_{BST}，则可以通过自举供电调节模块 BSTREG 将 12V 的输入电压 Vin 调整为 5V 的自举充电供电电压以为自举电容 CB 充电。根据本发明的一个实施例，自举供电调节模块 BSTREG 包括低压差电压调节器。

[0029] 根据本发明的一个实施例，控制电路 103 可以包括第一比较模块 104，该第一比较模块 104 具有第一比较输入端、第二比较输入端和第一比较输出端，并且在该第一比较输入端接收自举电压 V_{BST}，在该第二比较输入端接收自举电压刷新阈值 Vth1，并将自举电压 V_{BST} 与自举电压刷新阈值 Vth1（第一阈值电压 Vth1）相比较，从而在该第一比较输出端提供所述的自举电压刷新信号 RFS。若自举电压 V_{BST} 低于自举电压刷新阈值 Vth1，则自举电压刷新信号 RFS 具有第一逻辑状态（比如高电平逻辑状态）。若自举电压 V_{BST} 高于自举电压刷新阈值 Vth1，则自举电压刷新信号 RFS 具有第二逻辑状态（比如低电平逻辑状态）。

[0030] 根据本发明的一个实施例，自举电压刷新阈值 Vth1（第一阈值 Vth1）可以包括第一刷新阈值 $Vth1_L$ 和第二刷新阈值 $Vth1_H$，其中所述第一刷新阈值 $Vth1_L$ 小于所述第二刷新阈值 $Vth1_H$。若自举电压 V_{BST} 低于第一刷新阈值 $Vth1_L$，则自举电压刷新信号 RFS 具有第一逻辑状态（比如高电平逻辑状态）。若自举电压 V_{BST} 高于第二刷新阈值 $Vth1_H$，则自举电压刷新信号 RFS 具有第二逻辑状态（比如低电平逻辑状态）。这样在第一刷新阈值 $Vth1_L$ 和第二刷新阈值 $Vth1_H$ 之间具有一定的迟滞，可以避免由于自举电压 V_{BST} 的微小波动而引起误触发。

[0031] 根据本发明的一个实施例，控制电路 103 还可以包括控制模块 105，具有第一控制输入端，用于接收自举电压刷新信号 RFS，该控制模块 105 基于自举电压刷新信号 RFS 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 的导通与关断切换，从而控制自举电容 CB 的充电。

[0032] 根据本发明的一个实施例，该控制模块 105 还具有第二控制输入端和第三控制输入端，其中所述第二控制输入端用于检测输出电压 Vo，所述第三控制输入端用于检测表征输出端 OUT 的负载状态的输出电流 Io。该控制模块 105 基于自举电压刷新信号 RFS、输出电压 Vo 和输出电流 Io 提供高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL。当自举电压刷新信号 RFS 具有第一逻辑状态时，控制模块 105 提供的高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL 用于控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 以大致恒定的频率互补地进行导通和关断切换，使低侧开关 M_{LS} 在每一个切换周期具有合适的导通时间，以为自举电容 CB 充电。当自

Page 13 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

举电压刷新信号 RFS 具有第二逻辑状态时，控制模块 105 提供的高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL 用于控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 根据输出电压 Vo 和输出电流 Io 进行导通和关断切换。

[0033] 根据本发明的一个实施例，控制模块 105 可以通过检测流过输出电感 Lo 的电流 I_{LO} 或者流过高侧开关 M_{HS} 的电流 I_H 来检测输出电流 Io，以提供表征输出端 OUT 的负载状态的信号，即负载信号 V_{load}。

[0034] 根据本发明的一个实施例，控制电路 103 还可以包括驱动模块 106，接收自举电压 V_{BST}、高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL，并基于自举电压 V_{BST} 和高侧开关控制信号 SH 提供增强的高侧开关驱动信号 DR_H，用于驱动高侧开关 M_{HS} 的导通和关断，同时，基于低侧开关控制信号 SL 提供增强的低侧开关驱动信号 DR_L，用于驱动低侧开关 M_{LS} 的导通和关断。

[0035] 根据本发明的一个实施例，驱动模块 106 可以包括高侧开关驱动器 106_H 和低侧开关驱动器 106_L。高侧开关驱动器 106_H 接收自举电压 V_{BST} 和高侧开关控制信号 SH，并基于自举电压 V_{BST} 和高侧开关控制信号 SH 提供增强的高侧开关驱动信号 DR_H，用于驱动高侧开关 M_{HS} 的导通和关断。低侧低侧开关驱动器 106_L 接收低侧开关控制信号 SL，并基于低侧开关控制信号 SL 提供增强的低侧开关驱动信号 DR_L，用于驱动低侧开关 M_{LS} 的导通和关断。根据本发明的一个实施例，所述高侧开关驱动器 106_H 可以包括一个或多个反相器，所述自举电压 V_{BST} 用作所述一个或多个反相器的供电电源。类似地，所述低侧开关驱动 106_L 也可以包括一个或多个反相器。

[0036] 根据本发明的一个实施例，控制电路 103 还可以包括自举欠压阀锁电路 107，具有第一阀锁输入端、第二阀锁输入端和阀锁输出端。该第一阀锁输入端用于接收自举电压 V_{BST}，该第二阀锁输入端用于接收自举电压欠压阈值 Vth2（第二阈值电压 Vth2）。所述自举欠压阀锁电路用于将自举电压 V_{BST} 与自举电压欠压阈值 Vth2 相比较，并在所述阀锁输出端提供自举欠压信号 LOCK。若自举电压 V_{BST} 低于自举电压欠压阈值 Vth2，则自举欠压信号 LOCK 具有第一逻辑状态（比如高电平逻辑状态）。这时控制电路 103 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 关断，停止导通与关断切换。若自举电压 V_{BST} 高于自举电压欠压阈值 Vth2，则自举欠压信号 LOCK 具有第二逻辑状态（比如低电平逻辑状态），这时控制电路 103 允许控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 进行导通和关断切换。根据本发明的一个实施例，所述自举电压欠压阈值 Vth2 小于所述自举电压刷新阈值 Vth1。自举欠压阀锁电路 107 有助于在所述自举电压 V_{BST} 已经低于自举电压欠压阈值 Vth2，而且未能及时被刷新（即，自举电容 CB 未能被及时充电使该自举电压 V_{BST} 恢复至高于该自举电压欠压阈值 Vth2）时，将所述高侧开关 M_{HS} 和所述低侧开关 M_{LS} 均关断，以改善电压转换电路 100 的工作安全性能。

[0037] 图 3 示出了根据本发明一个实施例的电压转换电路 200 的电路架构示意图。为了简明且便于理解，电压转换电路 200 中的那些功能上与在电压转换电路 100 中相同的同样或类似的组件或结构沿用了相同的附图标记。

[0038] 如图 3 所示，根据本发明的一个实施例，控制模块 105 可以包括第二比较模块 201，具有第三比较输入端、第四比较输入端和第二比较输出端。所述第三比较输入端用于接收表征所述输出电流 Io（即表征输出端 OUT 的负载状态）的负载信号 V_{load}，所述第四比较输入端用于接收轻载阈值 Vth3（第三阈值电压 Vth3）。所述第二比较模块用于将负载信号 V_{load}

Page 14 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

与轻载阈值 Vth3 进行比较，并在所述第二比较输出端提供负载比较信号 CMP。若负载信号 V_{load} 高于轻载阈值 Vth3，则表明电压转换电路 200 工作在非轻载及非空载状态，这时负载比较信号 CMP 具有第一逻辑状态（比如高电平逻辑状态）。若负载信号 V_{load} 低于轻载阈值 Vth3，则表明电压转换电路 200 工作在轻载或者空载状态，这时负载比较信号 CMP 具有第二逻辑状态（比如低电平逻辑状态）。

[0039] 根据本发明的一个实施例，若负载比较信号 CMP 具有第一逻辑状态（即，负载信号 V_{load} 高于轻载阈值 Vth3，输出端 OUT 的负载状态为非轻载及空载），则控制电路 103 基于该负载比较信号 CMP 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 工作在脉冲宽度调制 (PWM) 的定频导通与关断切换模式。若负载比较信号 CMP 具有第二逻辑状态（即，负载信号 V_{load} 低于轻载阈值 Vth3，输出端 OUT 的负载状态为轻载或空载），则控制电路 103 基于该负载比较信号 CMP 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 工作在脉冲频率调制 (PFM) 的变频导通与关断切换模式。根据本发明的一个实施例，若负载比较信号 CMP 具有第一逻辑状态，高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 工作在脉冲宽度调制 (PWM) 的定频切换模式时，所述高侧开关 M_{HS} 和所述低侧开关 M_{LS} 的导通与关断切换频率基本为恒定的第一切换频率 F_C。若负载比较信号 CMP 具有第一逻辑状态，高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 工作在脉冲频率调制 (PFM) 的变频切换模式时，所述高侧开关 M_{HS} 和所述低侧开关 M_{LS} 的导通与关断切换频率为变化的第二切换频率 F_S，其根据输出端 OUT 的负载状态，即根据负载信号 V_{load} 的变化而变化，输出端 OUT 的负载越小（例如，负载信号 V_{load} 越小），该第二切换频率 F_S 也越小，以降低电压转换电路 200 在轻载或空载情况下（即，负载信号 V_{load} 低于轻载阈值 Vth3 时）的功耗。

[0040] 根据本发明的一个实施例，第二比较模块 201 还具有使能输入端用于接收所述的自举电压刷新信号 RFS，该自举电压刷新信号 RFS 用于控制所述第二比较模块 201 的使能与不使能。当自举电压刷新信号 RFS 具有第一逻辑状态（即，自举电压 V_{BST} 低于自举电压刷新阈值 Vth1）时，第二比较模块 201 不使能，其输出的负载比较信号 CMP 大致恒定地具有第一逻辑状态。当自举电压刷新信号 RFS 具有第二逻辑状态（即，自举电压 V_{BST} 高于自举电压刷新阈值 Vth1）时，第二比较模块 201 使能，其输出的负载比较信号 CMP 根据表征输出端 OUT 的负载状态的负载信号 V_{load} 与轻载阈值 Vth3 的比较结果具有第一逻辑状态或者第二逻辑状态。这样，若自举电压 V_{BST} 低于自举电压刷新阈值 Vth1，则自举电压刷新信号 RFS 使第二比较模块 201 不使能，即使负载信号 V_{load} 已经低于轻载阈值 Vth3（即输出端 OUT 的负载状态为轻载或空载），第二比较模块 201 输出的负载比较信号 CMP 仍具有第一逻辑状态，控制电路 103 将控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 工作在脉冲宽度调制 (PWM) 的定频导通与关断切换模式，高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 以大致恒定的频率（例如所述第一频率 F_C）周期性地、互补地进行导通和关断切换，使低侧开关 M_{LS} 在每一个切换周期具有合适的导通时间，以为自举电容 CB 充电。直到自举电容 CB 上的电荷量被充到足够多，使得自举电压 V_{BST} 被刷新到高于自举电压刷新阈值 Vth1，则自举电压刷新信号 RFS 使第二比较模块 201 使能，控制电路 103 根据负载信号 V_{load} 与轻载阈值 Vth3 的比较结果（即负载比较信号 CMP）控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 工作在脉冲频率调制 (PFM) 的变频切换模式或者脉冲宽度调制 (PWM) 的定频切换模式。

[0041] 根据本发明的一个示例性实施例，当自举电压刷新信号 RFS 具有第一逻辑状态时，其控制轻载阈值 Vth3 降低（例如，控制轻载阈值 Vth3 耦接至参考地 GND），以使第二比

Page 15 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

较模块 201 不使能，使第二比较模块 201 输出的负载比较信号 CMP 大致恒定地具有第一逻辑状态。当自举电压刷新信号 RFS 具有第二逻辑状态时，其控制轻载阈值 Vth3 复原，以使第二比较模块 201 使能，使第二比较模块 201 输出的负载比较信号 CMP 根据负载信号 V_{load} 与轻载阈值 Vth3 的比较结果具有第一逻辑状态或者第二逻辑状态。

[0042] 根据本发明的一个实施例，控制模块 105 还可以包括脉冲宽度调制模块 202，具有第一调制输入端、第二调制输入端、第三调制输入端和调制输出端，其中所述第一调制输入端用于接收所述负载比较信号 CMP，所述第二调制输入端用于检测输出电压 Vo，所述第三调制输入端用于检测输出电流 Io，所述调制输出端基于所述输出电压 Vo 和所述输出电流 Io 提供脉冲宽度调制的高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL。

[0043] 根据本发明的一个实施例，脉冲宽度调制模块 202 还根据负载比较信号 CMP 调节所述脉冲宽度调制的高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL，当负载比较信号 CMP 具有第一逻辑状态（即，负载信号 V_{load} 高于轻载阈值 Vth3）时，高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL 保持脉冲宽度调制或者由脉冲频率调制转换为脉冲宽度调制，使得高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 进行脉冲宽度调制的定频导通与关断切换。当负载比较信号 CMP 具有第二逻辑状态（即，负载信号 V_{load} 低于轻载阈值 Vth3）时，高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL 由脉冲宽度调制转换为脉冲频率调制，使得高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 进行脉冲频率调制的变频导通与关断切换。

[0044] 根据本发明的一个实施例，当负载比较信号 CMP 具有第一逻辑状态（即，负载信号 V_{load} 高于轻载阈值 Vth3）时，脉冲宽度调制模块 202 使高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 保持 / 恢复脉冲宽度调制的定频导通和关断切换。当负载比较信号 CMP 具有第二逻辑状态（即，负载信号 V_{load} 低于轻载阈值 Vth3）时，脉冲宽度调制模块 202 使高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 关断，停止导通和关断切换。这样，脉冲宽度调制模块 202 便实现了根据负载比较信号 CMP 使高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL 在脉冲宽度调制和脉冲频率调制之间的转换，进而实现了控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 在脉冲宽度调制的定频导通与关断切换和脉冲频率调制的变频导通与关断切换之间的转换。

[0045] 根据本发明的一个实施例，脉冲宽度调制模块 202 可以包括脉冲宽度调制信号发生电路 203、切换频率控制电路 204 和逻辑控制电路 205。脉冲宽度调制信号发生电路 203 接收表征输出电压 Vo 的第一反馈信号 V_{FB} 和表征输出端 OUT 的负载电流的第二反馈信号 Vcs1，并基于第一反馈信号 V_{FB} 和第二反馈信号 Vcs1 提供脉冲宽度调制信号 C_{PWM}。切换频率控制电路 204 接收由第二比较模块 201 输出的负载比较信号 CMP，并基于该负载比较信号 CMP 提供切换频率调制信号 Clk，当负载比较信号 CMP 具有第一逻辑状态时，切换频率调制信号 Clk 具有大致恒定的第一切换频率 F_C，当负载比较信号 CMP 具有第二逻辑状态时，切换频率调制信号 Clk 具有随表征输出端 OUT 的负载状态的负载信号 V_{load} 变化的第二切换频率 F_S。逻辑控制电路 205 接收脉冲宽度调制信号 C_{PWM} 和切换频率调制信号 Clk，并基于所述的脉冲宽度调制信号 C_{PWM} 和切换频率调制信号 Clk 提供高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL。当负载比较信号 CMP 具有第一逻辑状态时，高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL 为具有大致恒定的第一切换频率 F_C 的脉冲宽度调制信号，用于控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 进行脉冲宽度调制的定频导通与关断切换。当负载比较信号 CMP 具有第二

Page 16 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

逻辑状态时，高侧开关控制信号 SH 和低侧开关控制信号 SL 为具有随输出端 OUT 的负载状态（即随负载信号 V_{load}）变化的第二切换频率 F_S 的脉冲频率调制信号，用于控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 进行脉冲频率调制的变频导通与关断切换。

[0046] 根据本发明的一个示例性实施例，脉冲宽度调制信号发生电路 203 可以包括误差放大器 206 和脉冲宽度调制比较器 207，其中，误差放大器 206 的第一输入端（例如，图 3 中示意的“-”端）接收表征输出电压 Vo 的第一反馈信号 V_{FB}，其第二输入端（例如，图 3 中示意的“+”端）接收表征输出电压 Vo 的期望值的基准电压 Vref，其输出端用于提供表征输出电压 Vo 与其期望值间差值的差值放大信号 Ve；脉冲宽度调制比较器 207 的第一输入端（例如，图 3 中示意的“-”端）接收所述的差值放大信号 Ve，其第二输入端（例如，图 3 中示意的“+”端）接收表征输出端 OUT 的负载电流 Io 的第二反馈信号 Vcs1，其输出端用于提供脉冲宽度调制信号 C_{PWM}。

[0047] 根据本发明的一个示例性实施例，控制电路 103 通过检测流过高侧开关 M_{HS} 的电流 I_H 获得表征输出端 OUT 的负载电流 Io 的第二反馈信号 Vcs1。根据本发明的一个示例性实施例，控制电路 103 还可以包括高侧开关电流检测电路 208，用于检测流过高侧开关 M_{HS} 的电流 I_H 并提供所述的第二反馈信号 Vcs1。

[0048] 根据本发明的一个示例性实施例，所述的表征输出端 OUT 的负载状态的负载信号 V_{load} 可以包括所述的差值放大信号 Ve。

[0049] 根据本发明的一个示例性实施例，切换频率控制电路 204 可以包括振荡器 OSC 和逻辑电路 LOGIC，如图 4 所示。振荡器 OSC 用于产生频率大致恒定的时钟信号 CLOCK，根据本发明的一个实施例，时钟信号 CLOCK 的频率即为所述的第二频率 F_C。逻辑电路 LOGIC 具有第一逻辑输入端、第二逻辑输入端和逻辑输出端，该第一逻辑输入端用于接收所述时钟信号 CLOCK，该第二逻辑输入端用于接收所述负载比较信号 CMP，该逻辑电路基于所述时钟信号 CLOCK 和所述负载比较信号 CMP 提供所述的切换频率调制信号 Clk。当所述负载比较信号具有第一逻辑状态（例如高电平逻辑状态）时，所述逻辑电路 LOGIC 将所述时钟信号 CLOCK 作为切换频率调制信号 Clk 输出，当所述负载比较信号具有第二逻辑状态（例如低电平逻辑状态）时，所述逻辑电路 LOGIC 输出的切换频率调制信号 Clk 为低电平逻辑状态，也就是说，这时所述时钟信号 CLOCK 被屏蔽（所述逻辑电路 LOGIC 跳过了所述时钟信号 CLOCK 的一部分脉冲）。图 4 示意的示例性实施例中，逻辑电路 LOGIC 包括与电路。

[0050] 下面仍参照图 3 所示，根据本发明的一个实施例，控制电路 103 还可以包括过零检测模块 209，其第一输入端（例如，图 3 中示意的“+”端）接收表征流过低侧开关 M_{LS} 的电流 I_L 的第三反馈信号 Vcs2，其第二输入端（例如，图 3 中示意的“-”端）接收低侧开关限流阈值 Vth4（第四阈值电压 Vth4），其输出端根据第三反馈信号 Vcs2 与低侧开关限流阈值 Vth4 的比较结果提供过零比较信号 C_{ZCD}。当第三反馈信号 Vcs2 高于低侧开关限流阈值 Vth4 时，过零比较信号 C_{ZCD} 具有第一逻辑状态（例如：高电平逻辑状态），控制电路 103 基于该过零比较信号 C_{ZCD} 允许低侧开关 M_{LS} 进行导通和关断切换。当第三反馈信号 Vcs2 低于低侧开关限流阈值 Vth4 时，过零比较信号 C_{ZCD} 具有第二逻辑状态（例如：低电平逻辑状态），控制电路 103 基于该过零比较信号 C_{ZCD} 将低侧开关 M_{LS} 关断，使其停止导通和关断切换。

[0051] 根据本发明的一个实施例，所述控制电路 103 通过将所述过零比较信号 C_{ZCD} 耦接至所述低侧开关驱动器 106_L 来实现根据所述过零比较信号 C_{ZCD} 对所述低侧开关 M_{LS} 的控制。

Page 17 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

例如，根据本发明的一个实施例，所述低侧开关驱动器 106_L 具有使能输入端，用于接收所述过零比较信号 C_{ZCD}。当所述过零比较信号 C_{ZCD} 具有第一逻辑状态时，该低侧开关驱动器 106_L 使能并驱动低侧开关 M_{LS} 进行导通和关断切换。当所述过零比较信号 C_{ZCD} 具有第二逻辑状态时，该低侧开关驱动器 106_L 不使能，将低侧开关 M_{LS} 关断，使其停止导通和关断切换。

[0052] 根据本发明的一个实施例，低侧开关限流阈值 Vth4 为零，以便在第三反馈信号 Vcs2 低于零时（即流过低侧开关 M_{LS} 的电流 I_L 低于零时）将低侧开关 M_{LS} 关断，从而降低低侧开关 M_{LS} 的导通损耗和切换损耗，提高电压转换电路 200 的转换效率。

[0053] 根据本发明的一个实施例，低侧开关限流阈值 Vth4 可以具有设定的低于零并且接近于零的补偿值 V_{OS}，该补偿值 V_{OS} 的幅值比较小，可以根据实际设计及应用需求选择合适的值。例如，补偿值 V_{OS} 可以参考在电压转换电路 200 工作在超轻载或空载时流过高侧开关的电流 I_H 需要保持的最小峰值来选择。将低侧开关限流阈值 Vth4 设定为低于零并且接近于零的补偿值 V_{OS}，意味着允许流过低侧开关 M_{LS} 的电流 I_L 小于零但却接近于零。这样有助于在电压转换电路 200 工作在超轻载或空载时，仍能够保证流过高侧开关 M_{HS} 的电流 I_H 大于零，用于对流过低侧开关 M_{LS} 的电流 I_L 的小于零的部分进行补偿。在这种情况下，当自举电压刷新信号 RFS 具有第一逻辑状态（即，自举电压 V_{BST} 低于自举电压刷新阈值 Vth1）时，如果电压转换电路 200 工作在轻载或空载状态（即，负载比较信号 CMP 具有第一逻辑状态），那么以第一频率 F_C 进行脉冲宽度调制的导通与关断互补切换的高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 都可以具有相对较大的导通时间，从而使自举电容 CB 在一个切换周期内具有合适的充电时间，以便尽快将自举电压 V_{BST} 刷新到至少高于自举电压刷新阈值 Vth1，保证高侧开关 M_{HS} 的正常导通与关断切换，从而增强电压转换电路 200 的工作稳定性。同时，由于补偿值 V_{OS} 低于零并且接近于零，其幅值比较小，因而允许流过低侧开关 M_{LS} 的电流 I_L 低于零的部分很小，不会明显增大低侧开关 M_{LS} 的导通损耗和切换损耗，对电压转换电路 200 的转换效率也不会造成消极影响。

[0054] 图 5 示出了根据本发明一个实施例的如图 3 所示电压转换电路 200 的主要工作波形示意图。接下来将结合图 3 和图 5 对电压转换电路 200 作进一步的解释。在图 5 的示例性示意中，控制电路 103 通过检测流过高侧开关 M_{HS} 的电流 I_H 以获得表征负载电流 Io 的所述第二反馈信号 Vcs1，所述表征输出端 OUT 的负载状态的负载信号 V_{load} 包括所述的差值放大信号 Ve。由于差值放大信号 Ve 限定了流过高侧开关 M_{HS} 的电流 I_H 的峰值，因而差值放大信号 Ve 可以被用作表征输出端负载状态的负载信号 V_{load}。当然，选用差值放大信号 Ve 作为负载信号 V_{load} 只是根据本发明的一种示例性实施方式，本领域的普通技术人员应该理解，根据本发明的不同实施例，负载信号 V_{load} 还可以选用其它合适的信号，比如负载电流 Io、输出电感电流 I_L，高侧开关 M_{HS} 的电流 I_H，或者它们的峰值、平均值，及其采样信号，等等。如图 5 所示，负载电流 Io 在 t_0 到 t_3 时间内较低，可以认为输出端 OUT 的负载较轻，在 t_3 时刻后负载电流 Io 突然增大，可以认为输出端 OUT 的负载变得较重。

[0055] 在 t_0 至 t_1 时刻，自举电压 V_{BST} 高于第一刷新阈值 $Vth1_L$，则第一比较模块 104 输出的自举电压刷新信号 RFS 具有第二逻辑状态（图 5 中示意为低电平逻辑状态），此时第二比较模块 201 是使能的，其输出的负载比较信号 CMP 的逻辑状态取决于负载信号 Ve 和轻载阈值 Vth3 的比较结果，控制电路 103 根据负载比较信号 CMP 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 工作在脉冲频率调制的变频切换模式。具体地，结合本发明如图 3 和图 4 所示的示例性实施

Page 18 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

例，当负载信号 Ve 高于轻载阈值 Vth3 时，负载比较信号 CMP 具有第一逻辑状态（图 5 中示意为高电平逻辑状态），振荡器 OSC 产生的时钟信号 CLOCK 作为频率切换控制信号 Clk（可以认为，此时频率切换控制信号 Clk 复制了时钟信号 CLOCK 的部分脉冲，具有大致恒定的第一切换频率 F_C）。当负载信号 Ve 低于轻载阈值 Vth3 时，负载比较信号 CMP 具有第二逻辑状态（图 5 中示意为低电平逻辑状态），频率切换控制信号 Clk 为低电平（可以认为，此时频率切换控制信号 Clk 跳过了时钟信号 CLOCK 的部分脉冲）。因此，切换频率调制信号 Clk 具有随负载信号 Ve 变化的第二切换频率 F_S，从而控制模块 105 基于该切换频率控制信号 Clk 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 工作在脉冲频率调制的变频切换模式。在 t_1 时刻，自举电压 V_{BST} 下降到低于第一刷新阈值 $Vth1_L$，第一比较模块 104 输出的自举电压刷新信号 RFS 跳变为具有第一逻辑状态（图 5 中是以为高电平逻辑状态），此时自举电压刷新信号 RFS 控制第二比较模块 201 不使能（图 5 中示意为通过将轻载阈值 Vth3 降低至耦接至参考地 GND 来实现），则负载比较信号 CMP 大致恒定地具有第一逻辑状态（图 5 中示意为高电平逻辑状态），此时可以认为频率切换控制信号 Clk 又复制了时钟信号 CLOCK 的一部分脉冲，具有第一切换频率 F_C；那么控制模块 105 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 以该第一切换频率 F_C 互补地进行导通和关断切换，在每一个切换周期的低侧开关 M_{LS} 的导通时间内为自举电容 CB 充电。经过几个切换周期，直到 t_2 时刻，自举电压 V_{BST} 被充电至高于第二刷新阈值 $Vth1_H$，则自举电压刷新信号 RFS 恢复到具有第二逻辑状态（图 5 中示意为低电平逻辑状态），使第二比较模块 201 恢复使能。在 t_2 至 t_3 时刻内，自举电压 V_{BST} 持续高于第一刷新阈值 $Vth1_L$，电压转换电路 200 的工作过程与 t_0 至 t_1 时刻相同，控制电路 103 根据负载比较信号 CMP 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 工作在脉冲频率调制的变频切换模式。在 t_3 时刻，输出电流 Io 突然增大（输出端 OUT 的负载加重），表征该输出电流 Io 的负载信号 Ve 持续高于轻载阈值 Vth3，从而负载比较信号 CMP 具有第一逻辑状态（图 5 中示意为高电平逻辑状态），频率切换控制信号 Clk 复制了时钟信号 CLOCK 的一部分脉冲，具有大致恒定的第一切换频率 F_C；那么控制模块 105 控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 以该第一切换频率 F_C 进行脉冲频率调制的定频导通与关断切换，在每一个切换周期的低侧开关 M_{LS} 的导通时间，自举电容 CB 充电，自举电压 V_{BST} 逐渐增大，直到稳定在自举充电供电电压 VB（通过自举供电调节模块 BSTREG 的调整实现）。

[0056] 根据本发明基于图 3 至图 5 所描述的各示例性实施例及其变形实施方式，控制电路 103 基于自举电压 V_{BST} 通过控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 的导通和关断切换来控制自举电容 CB 的充电，以便在自举电压 V_{BST} 不足时（即，在自举电压 V_{BST} 低于自举电压刷新阈值 Vth1 时），将自举电压 V_{BST} 及时刷至足够大（即，使自举电压 V_{BST} 刷新至高于自举电压刷新阈值 Vth1），从而保证高侧开关 M_{HS} 的正常导通与关断驱动，使电压转换电路 200 正常工作。

[0057] 根据本发明基于图 3 至图 5 所描述的各示例性实施例及其变形实施方式，第一比较模块 104 将自举电压 V_{BST} 与自举电压刷新阈值 Vth1 相比较提供自举电压刷新信号 RFS，以控制第二比较模块 201 的使能与不使能；若第二比较模块 201 使能，则在负载电流 Io 较小时（即，表征输出电流 Io 的负载信号 V_{load} 低于轻载阈值 Vth3 时，输出端 OUT 的负载较轻），控制电路 103 将控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 工作在脉冲频率调制的变频切换模式，在负载电流 Io 较大时（即，表征输出电流 Io 的负载信号 V_{load} 高于轻载阈值 Vth3 时，输出端 OUT 的负载较重），控制电路 103 将控制高侧开关 M_{HS} 和低侧开关 M_{LS} 工作在脉冲宽度

Page 19 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

调制的定频切换模式；若第二比较模块201不使能，则无论负载电流Io的状态（输出端OUT的负载状态）如何，控制电路103都使高侧开关M_{HS}和低侧开关M_{LS}工作在脉冲宽度调制的定频切换模式，以为自举电容CB充电。因此，在自举电压V_{BST}低于自举电压刷新阈值Vth1时（即，自举电压V_{BST}不足时），控制电路103通过自举电压刷新信号RFS将第二比较模块不使能，以使高侧开关M_{HS}和低侧开关M_{LS}进行脉冲宽度调制的定频导通与关断切换，从而使自举电容CB在每个切换周期的低侧开关M_{LS}的导通时间内充电，以刷新自举电压V_{BST}。

[0058] 根据本发明基于图3至图5所描述的各示例性实施例及其变形实施方式，即使输出端OUT的负载较轻（即，负载电流Io较小，表征输出电流Io的负载信号V_{load}已低于轻载阈值Vth3）、高侧开关M_{HS}和低侧开关M_{LS}本应工作在脉冲频率调制的变频切换模式时（例如图5所示的t_0至t_3时刻内），一旦自举电压V_{BST}低于自举电压刷新阈值Vth1（例如图5所示的t_1时刻），则控制电路103使高侧开关M_{HS}和低侧开关M_{LS}恢复脉冲宽度调制的定频导通与关断切换，以使自举电容CB充电（例如图5所示的t_1至t_2时刻内），自举电压V_{BST}开始恢复。在t_1至t_2时刻内，由于高侧开关的电流I_H的峰值电流较小，输出电压Vo的电压纹波也相对较小，而且电压转换电路的转换效率仍然较高。高侧开关M_{HS}和低侧开关M_{LS}经过一定数量周期的小峰值电流脉冲宽度调制的定频导通与关断切换，直到自举电压V_{BST}恢复至高于自举电压刷新阈值Vth1（例如图5所示的t_2时刻），控制电路103使高侧开关M_{HS}和低侧开关M_{LS}继续本应进行的脉冲频率调制的变频导通与关断切换。这样根据本发明各示例性实施例及其变形实施方式的电压转换电路可以工作在输出电压Vo与输出电压Vin较接近的情况下，控制电路103不仅可以使自举电压V_{BST}能够及时恢复至足够驱动高侧开关M_{HS}的水平，而且不会引起输出电压Vo的较大波动，还可以确保电压转换电路具有较高的转换效率。

[0059] 根据本发明各实施例及其变形实施方式的自举电压刷新控制电路103其包括自举电压刷新控制电路103的电压转换电路的有益效果不应该被认为仅仅局限于以上所述的。根据本发明各实施例的这些及其它有益效果可以通过阅读本发明的详细说明及研究各实施例的附图被更好地理解。

[0060] 图6示出了根据本发明一个实施例的控制电压转换电路的方法示意图。所述电压转换电路可以包括高侧开关和低侧开关以及用于为所述高侧开关提供自举电压的自举电容，所述电压转换电路基于所述高侧开关和低侧开关的导通和关断切换提供输出电压和输出电流。所述控制电压转换电路的方法包括：步骤601，检测所述自举电压；步骤602，将所述自举电压与自举电压刷新阈值相比较，以提供自举电压刷新信号；步骤603，基于所述自举电压刷新信号控制所述高侧开关和所述低侧开关的导通与关断切换以控制所述自举电容的充电。

[0061] 根据本发明的一个实施例，在步骤602，若所述自举电压低于所述自举电压刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第一逻辑状态，若所述自举电压高于所述自举电压刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第二逻辑状态；在步骤603，若所述自举电压刷新信号具有第一逻辑状态，使所述高侧开关和所述低侧开关以大致恒定的频率互补地进行导通和关断切换，以为所述自举电容充电；若所述自举电压刷新信号具有第二逻辑状态，使所述高侧开关和所述低侧开关根据所述输出电压和所述输出电流进行导通和关断切换。

[0062] 根据本发明的一个实施例，在步骤602，所述自举电压刷新阈值可以包括第一刷新

Page 20 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

阈值和第二刷新阈值，其中所述第一刷新阈值小于所述第二刷新阈值；若所述自举电压低于所述第一刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第一逻辑状态；若所述自举电压高于所述第二刷新阈值，所述自举电压刷新信号具有第二逻辑状态。

[0063] 根据本发明的一个实施例，步骤 603 可以包括：步骤 604，检测所述电压转换电路的输出电流并提供表征该输出电流的负载信号；步骤 605，将所述负载信号与轻载阈值进行比较以提供负载比较信号，其中，所述负载信号具有第一逻辑状态和第二逻辑状态；步骤 606，基于所述自举电压刷新信号调节所述负载比较信号，其中，若所述自举电压低于所述自举电压刷新阈值，使所述负载比较信号具有第一逻辑状态，若所述自举电压高于所述自举电压刷新阈值，则使所述负载比较信号在所述负载信号高于所述轻载阈值时具有第一逻辑状态，在所述负载信号低于所述轻载阈值时具有第二逻辑状态；步骤 607，基于所述负载比较信号控制所述高侧开关和所述低侧开关的导通与关断切换，其中，若所述负载比较信号具有所述的第一逻辑状态，使所述高侧开关和所述低侧开关进行脉冲宽度调制的定频导通与关断切换；若所述负载比较信号具有所述的第二逻辑状态，使所述高侧开关和所述低侧开关进行脉冲频率调制的变频导通与关断切换。

[0064] 根据本发明的一个实施例，在步骤 607，当负载比较信号具有所述的第一逻辑状态时，所述高侧开关和所述低侧开关的导通与关断切换频率为大致恒定的第一切换频率；当所述负载比较信号具有所述的第二逻辑状态时，所述高侧开关和所述低侧开关的导通与关断切换频率为变化的第二切换频率；其中所述第二切换频率根据所述负载信号的变化而变化。根据本发明的一个实施例，所述负载信号越小则所述第二切换频率也越小。

[0065] 根据本发明的一个实施例，在步骤 607，若所述负载比较信号具有所述的第一逻辑状态，使所述高侧开关和所述低侧开关进行脉冲宽度调制的定频导通与关断切换；若所述负载比较信号具有所述的第二逻辑状态，使所述高侧开关和所述低侧开关关断，使其停止导通和关断切换。

[0066] 根据本发明的一个实施例，步骤 607 可以包括：步骤 608，检测所述输出电压并提供表征所述输出电压的第一反馈信号以及检测所述输出电流并提供表征所述输出电流的第二反馈信号；步骤 609，基于所述第一反馈信号和所述第二反馈信号提供脉冲宽度调制信号；步骤 610，基于所述负载比较信号产生切换频率调制信号，其中，若该负载比较信号具有第一逻辑状态，所述切换频率调制信号具有大致恒定的第一切换频率，若该负载比较信号具有第二逻辑状态，所述切换频率调制信号具有随所述负载信号变化的第二切换频率；步骤 611，基于所述脉冲宽度调制信号和所述切换频率调制信号提供高侧开关控制信号和低侧开关控制信号；当所述负载比较信号具有第一逻辑状态时，所述高侧开关控制信号和所述低侧开关控制信号为具有所述第一切换频率的脉冲宽度调制信号，用于控制所述高侧开关和所述低侧开关进行脉冲宽度调制的定频导通与关断切换；当所述负载比较信号具有第二逻辑状态时，所述高侧开关控制信号和所述低侧开关控制信号为具有所述第二切换频率的脉冲频率调制信号，用于控制高侧开关和低侧开关进行脉冲频率调制的变频导通与关断切换。

[0067] 根据本发明一个实施例的控制电压转换电路的方法还可以包括：步骤 612，检测流过所述低侧开关的电流，并产生表征流过该低侧开关的电流的第三反馈信号；步骤 613，将所述第三反馈信号与低侧开关限流阈值比较产生过零比较信号，其中，当所述第三反馈

Page 21 of 27
REED EX1008
IPR2024-00871

信号高于所述低侧开关限流阈值时，所述过零比较信号具有第一逻辑状态，当所述第三反馈信号低于所述低侧开关限流阈值时，所述过零比较信号具有第二逻辑状态；步骤 614，基于所述过零比较信号控制所述低侧开关的导通与关断，当所述过零比较信号具有第一逻辑状态时，使所述低侧开关可以进行导通和关断切换，当所述过零比较信号具有第二逻辑状态时，使所述低侧开关关断，使其停止导通和关断切换。

[0068] 根据本发明的一个实施例，所述低侧开关限流阈值具有设定的低于零且接近于零的补偿值。

[0069] 根据本发明一个实施例的控制电压转换电路的方法还可以包括：步骤 615，检测所述自举电压，并将所述自举电压与自举电压欠压阈值相比较，以提供自举欠压信号，其中，所述自举电压欠压阈值小于所述自举电压刷新阈值，若所述自举电压低于所述自举电压欠压阈值，所述自举欠压信号具有第一逻辑状态，若所述自举电压高于所述自举电压欠压阈值，所述自举欠压信号具有第二逻辑状态；步骤 616，基于所述自举欠压信号控制所述高侧开关和所述低侧开关的导通与关断，当所述自举欠压信号具有第一逻辑状态时，将所述高侧开关和所述低侧开关关断，使其停止导通与关断切换，当所述自举欠压信号具有第二逻辑状态时，允许所述高侧开关和所述低侧开关进行导通和关断切换。

[0070] 以上对根据本发明各实施例及其变形实施方式的控制电压转换电路的方法及步骤的描述仅为示例性的，并不用于对本发明进行限定。另外，一些公知的控制步骤及所用控制参数等并未给出或者并未详细描述，以使本发明清楚、简明且便于理解。发明所属技术领域的技术人员应该理解，以上对根据本发明各实施例的控制电压转换电路的方法及步骤的描述中所述使用的步骤编号并不用于表示各步骤的绝对先后顺序，这些步骤并不按照步骤编号顺序实现，而可能采用不同的顺序实现，也可能同时并列地实现，并不仅仅局限于所描述的实施例。

[0071] 虽然本说明书中以降压型电压转换电路为例对根据本发明各实施例的自举电压刷新控制电路、包含该自举电压刷新控制电路的电压转换电路及其控制方法进行了示意与描述，但这并不意味着对本发明的限定，本领域的技术人员应该理解这里给出的结构及原理也可以适用于具有其它拓扑结构的电压转换电路，例如：升压型电压转换电路、降压 - 升压型电压转换电路等等。

[0072] 因此，上述本发明的说明书和实施方式仅仅以示例性的方式对本发明实施例的自举电压刷新控制电路、包含该自举电压刷新控制电路的电压转换电路及其控制方法进行了说明，并不用于限定本发明的范围。对于公开的实施例进行变化和修改都是可能的，其他可行的选择性实施例和对实施例中元件的等同变化可以被本技术领域的普通技术人员所了解。本发明所公开的实施例的其他变化和修改并不超出本发明的精神和保护范围。

REED EX1008
IPR2024-00871

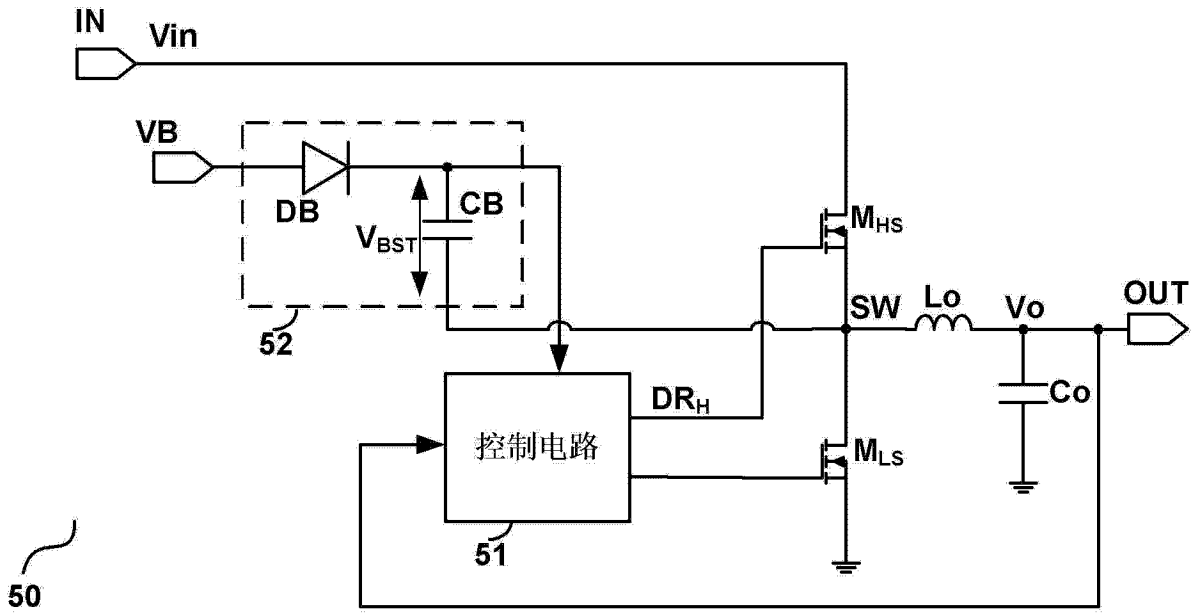


图 1

REED EX1008
IPR2024-00871

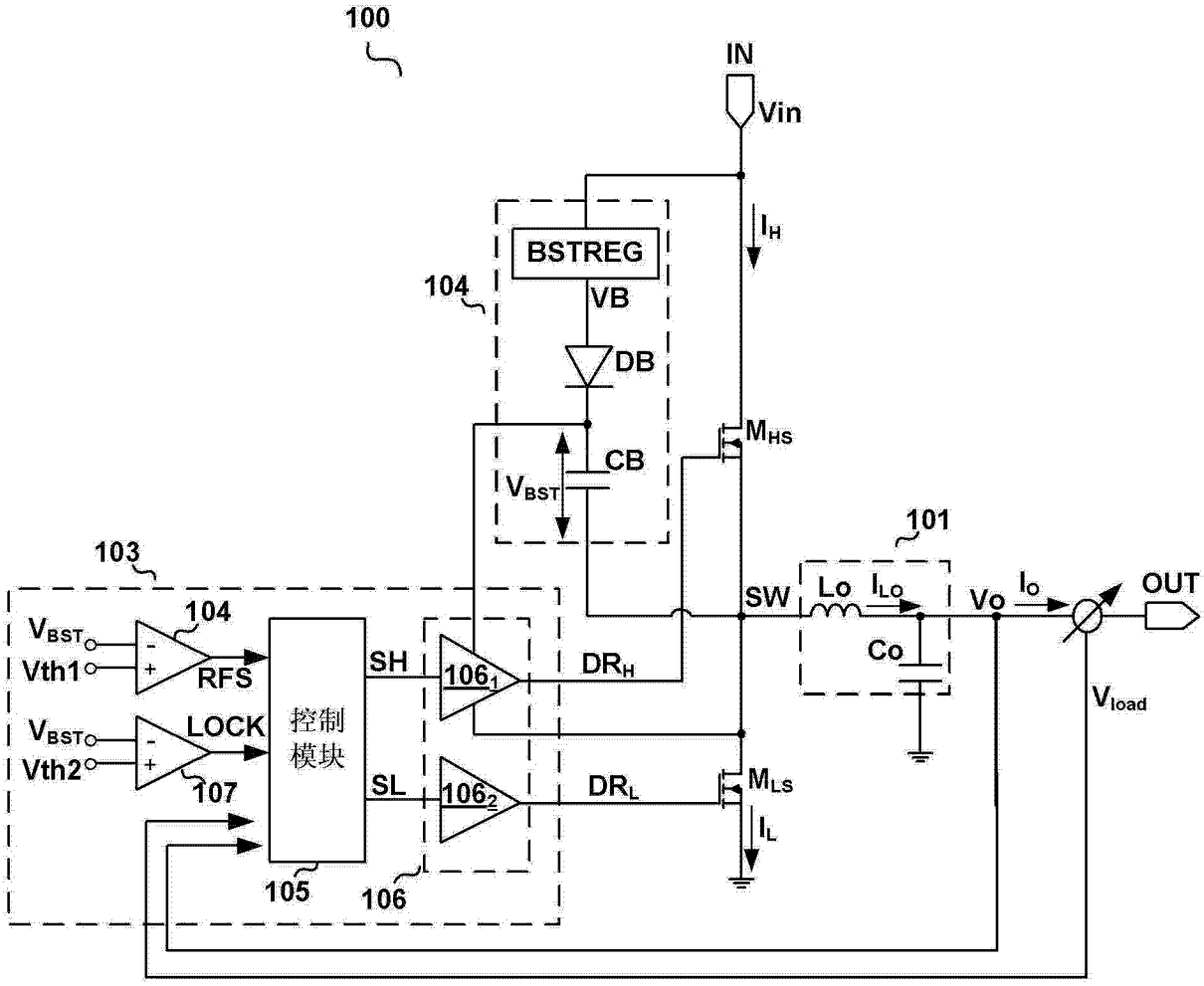

100
IN
Vin
I_H
BSTREG
104
VB
DB
CB
V_{BST}
M_{HS}
101
103
104
V_{BST}
Vth1
RFS
V_{BST}
Vth2
LOCK
107
控制
模块
SH
SL
106_1
106_2
DR_H
DR_L
M_{LS}
I_L
105
106
SW
Lo
I_{LO}
Co
Vo
Io
OUT
V_{load}

图 2

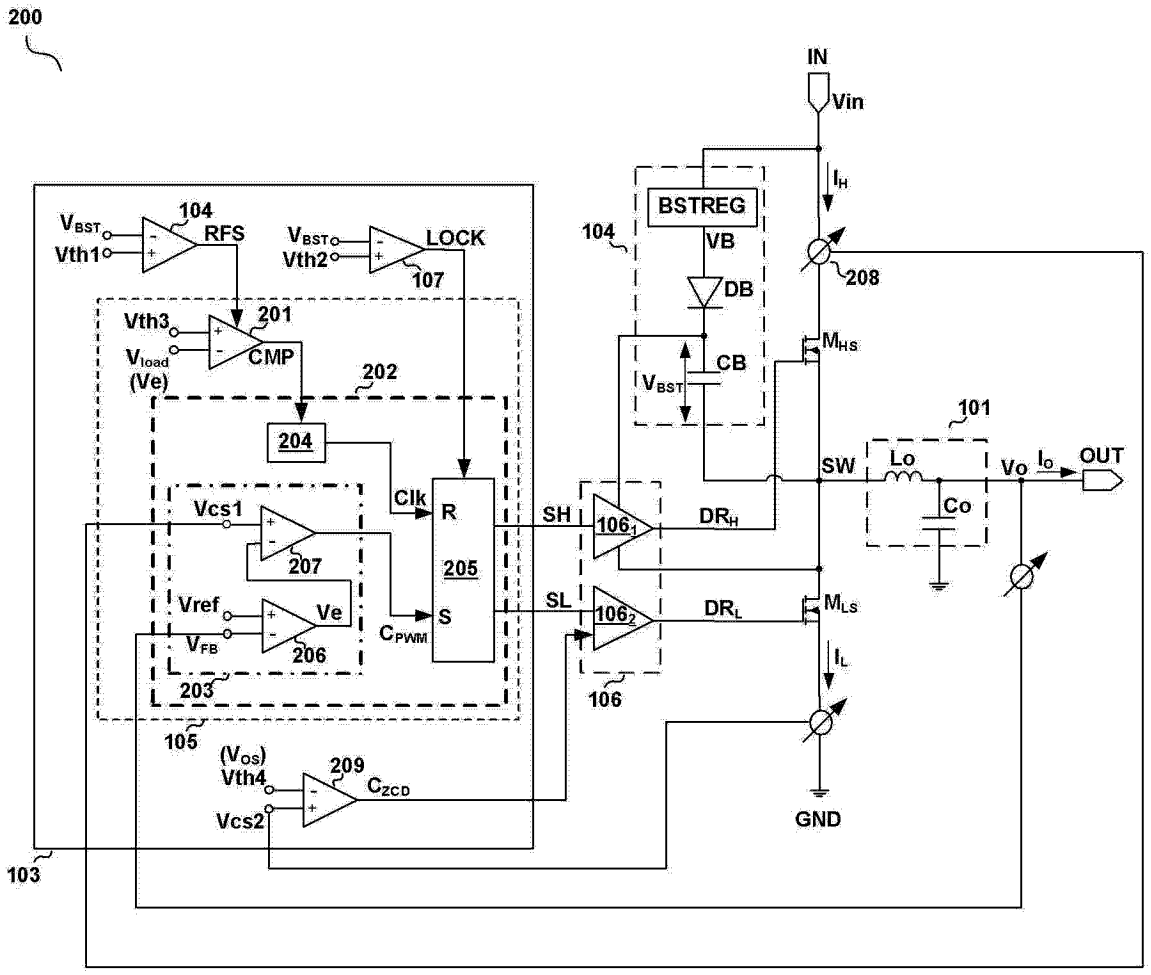

200
IN
Vin
I_H
BSTREG
104
VB
DB
208
M_{HS}
CB
V_{BST}
101
SW
Lo
Vo
I_o
OUT
Co
V_{BST}
Vth1
RFS
LOCK
Vth2
107
Vth3
201
V_{load}
(Ve)
CMP
202
204
Clk
R
205
S
Vcs1
207
Vref
Ve
V_{FB}
206
C_{PWM}
203
105
SH
SL
106_1
106_2
DR_H
DR_L
M_{LS}
I_L
106
GND
(V_{OS})
Vth4
209
C_{ZCD}
Vcs2
103

图 3

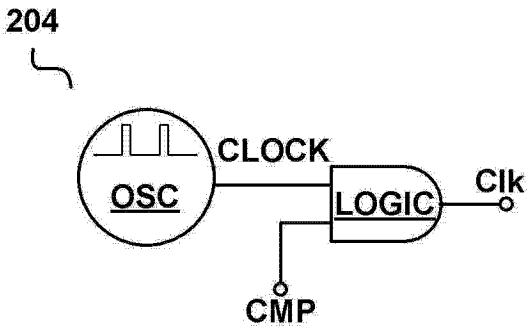

204
CLOCK
OSC
LOGIC
Clk
CMP

图 4

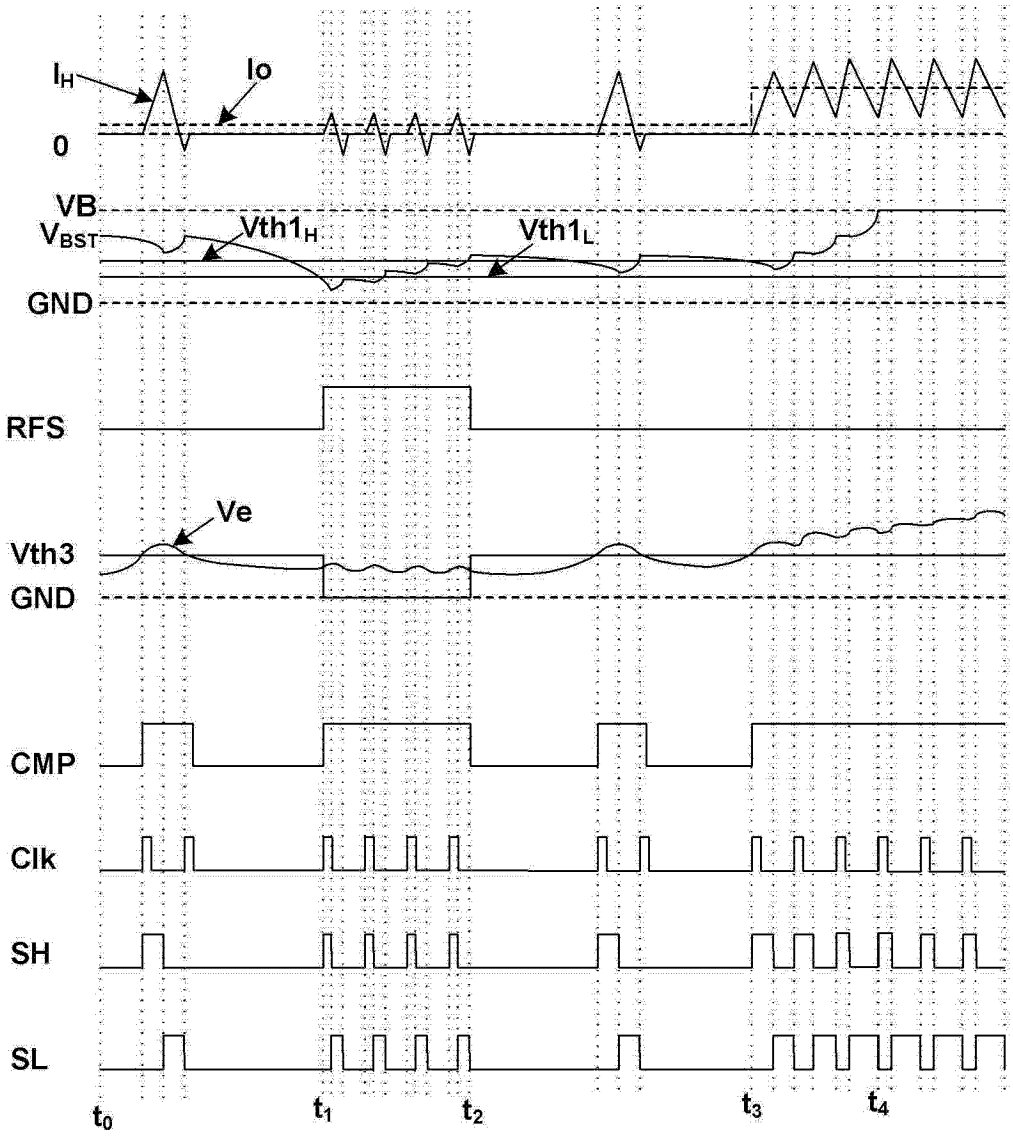


图 5

REED EX1008
IPR2024-00871

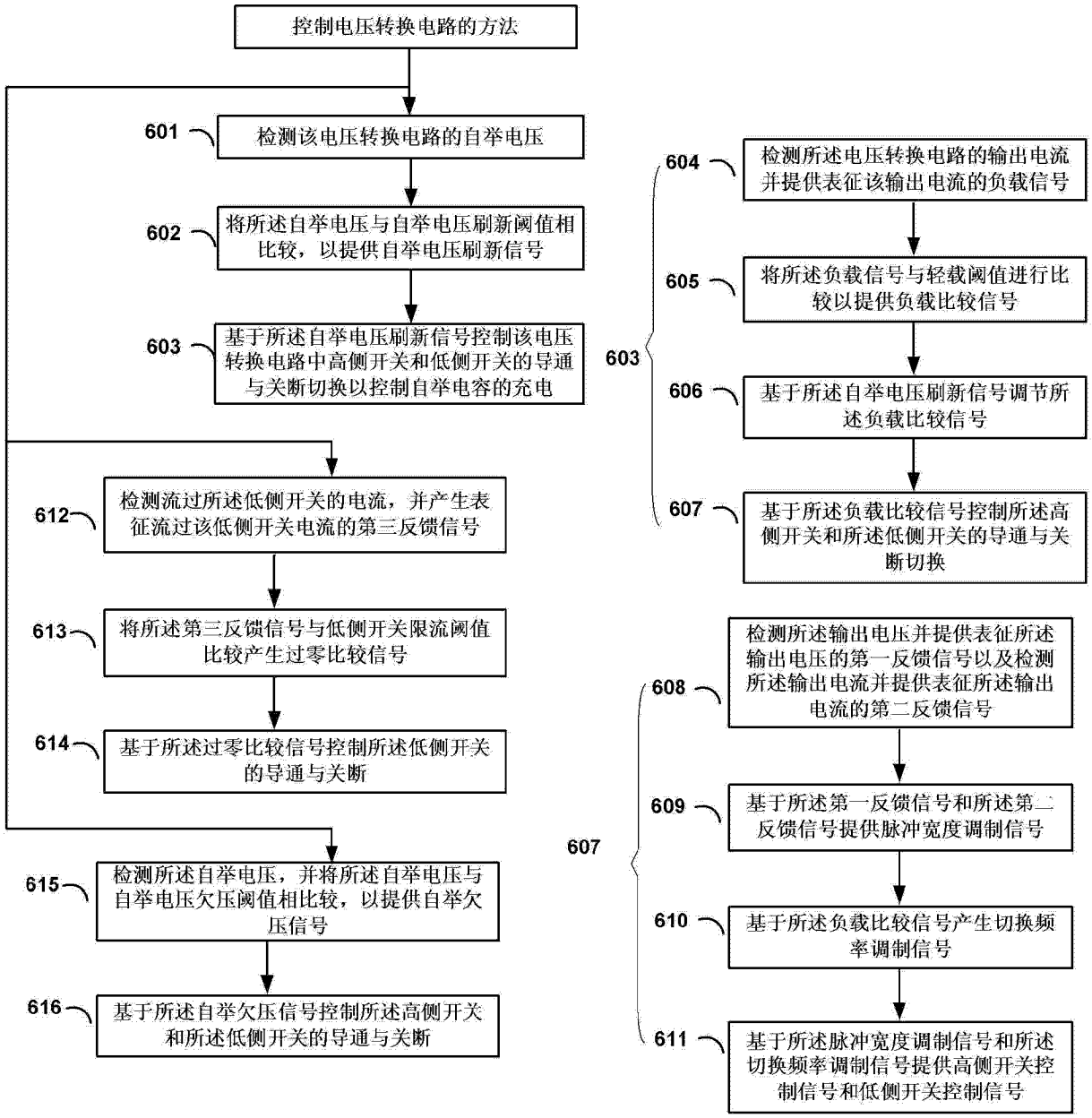


图 6

REED EX1008
IPR2024-00871