



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104038066 B

(45)授权公告日 2018. 10. 12

(21)申请号 201410085973.X

(22)申请日 2014.03.10

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104038066 A

(43)申请公布日 2014.09.10

(30)优先权数据

13/791,732 2013.03.08 US

(73)专利权人 电力集成公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 B·巴拉克里什南

A·B·詹格里安 S·刘

(74)专利代理机构 北京超凡志成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11371

代理人 李丙林 曹桓

(51)Int.Cl.

H02M 3/28(2006.01)

H02M 3/335(2006.01)

(56)对比文件

US 2011305043 A1,2011.12.15,

CN 101826796 A,2010.09.08,

WO 2012061059 A1,2012.05.10,

CN 102946197 A,2013.02.27,

CN 102055351 A,2011.05.11,

审查员 王红

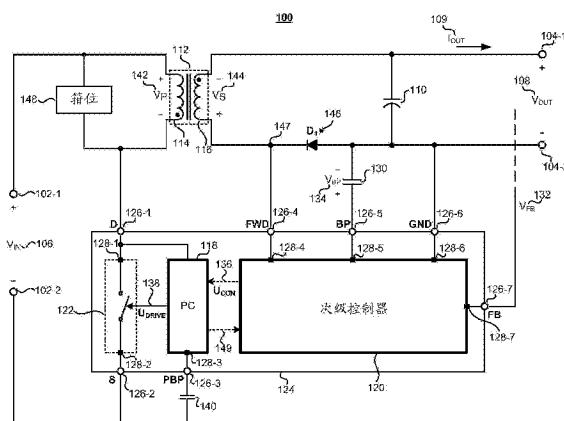
权利要求书4页 说明书24页 附图11页

(54)发明名称

用于使用多个控制器控制功率转换器的技术

(57)摘要

一种功率转换器控制器包含初级控制器,该初级控制器与次级控制器电流隔离。该初级控制器在第一运行模式期间根据由该初级控制器限定的切换模式控制功率开关的状态。在第二运行模式期间,该初级控制器响应于经由通信链路接收的控制信号控制该功率开关的状态。该次级控制器在该第一运行模式期间以掉电状态运行。该次级控制器发起与该初级控制器的过渡运行,该过渡运行将该初级控制器和该次级控制器从该第一运行模式过渡到该第二运行模式。在该第二运行模式中,该次级控制器经由该通信链路向该初级控制器传输控制信号。



1. 一种功率转换器控制器,包括:

初级控制器,被耦合到功率转换器的功率开关,其中该初级控制器被耦合以在第一运行模式期间根据由该初级控制器限定的初级切换模式来控制该功率开关的状态,且其中该初级控制器被耦合以在第二运行模式期间响应于经由通信链路接收的控制信号来控制该功率开关的状态;以及

次级控制器,与该初级控制器流电隔离,其中该次级控制器被耦合以在该第一运行模式期间发起与该初级控制器的过渡运行,其中该过渡运行将该初级控制器和该次级控制器从该第一运行模式过渡到该第二运行模式,且其中该次级控制器被耦合以在该第二运行模式期间经由该通信链路向该初级控制器传输该控制信号,

其中该初级控制器被耦合以在该过渡运行期间确认收到该一个或多个控制信号,

其中该初级控制器被耦合以响应于确认收到该一个或多个控制信号而过渡到该第二运行模式,并且

其中该次级控制器被耦合以响应于检测到该确认而过渡到该第二运行模式。

2. 根据权利要求1所述的功率转换器控制器,其中该功率转换器是非隔离式功率转换器。

3. 根据权利要求1所述的功率转换器控制器,其中该功率转换器是隔离式功率转换器,其中该初级控制器被配置为被耦合到该功率转换器的初级侧,其中该初级控制器被耦合以从该功率转换器的次级侧接收该控制信号,且其中该次级控制器被配置为被耦合到该功率转换器的次级侧。

4. 根据权利要求3所述的功率转换器控制器,其中该次级控制器在该第一运行模式期间初始以掉电状态运行,其中该功率开关根据该初级切换模式的切换将能量传递到该次级侧,其中该次级控制器响应于能量被传递到该次级侧而从该掉电状态过渡到运行状态,且其中当该次级控制器处于该运行状态中时该次级控制器发起该过渡运行。

5. 根据权利要求4所述的功率转换器控制器,其中该次级控制器被耦合以监测该次级侧的电压,且当所监测的电压大于阈值电压时发起该过渡运行。

6. 根据权利要求1所述的功率转换器控制器,其中该初级切换模式限定何时该初级控制器将该功率开关设置成接通状态以及何时该初级控制器将该功率开关设置成断开状态。

7. 根据权利要求1所述的功率转换器控制器,其中该次级控制器被耦合以在该第二运行模式期间感测该功率转换器的输出量,且其中该次级控制器被耦合以当所感测的输出量小于期望的输出量时向该初级控制器传输该控制信号。

8. 根据权利要求1所述的功率转换器控制器,其中该初级控制器被耦合以在该第二运行模式期间响应于接收的每个控制信号来将该功率开关设置成接通状态。

9. 根据权利要求8所述的功率转换器控制器,其中该初级控制器被耦合以在该第二运行模式期间响应于关断条件来将该功率开关设置成断开状态。

10. 根据权利要求9所述的功率转换器控制器,其中该关断条件包含下列之中的至少一个:经过该功率开关的阈电流限度,和该功率开关的阈值量的接通时间。

11. 根据权利要求1所述的功率转换器控制器,其中该次级控制器向该初级控制器传输单个控制信号,以发起该过渡运行,其中该初级控制器响应于接收到该单个控制信号而从该第一运行模式过渡到该第二运行模式,且其中该次级控制器响应于传输该单个控制信号

而从该第一运行模式过渡到该第二运行模式。

12. 根据权利要求1所述的功率转换器控制器, 其中该次级控制器被耦合以在该过渡运行期间传输一个或多个控制信号。

13. 根据权利要求12所述的功率转换器控制器, 其中该次级控制器被耦合以在该第一运行模式期间检测该功率开关的切换事件, 且其中该次级控制器被耦合以基于何时检测到该切换事件来调度该一个或多个控制信号的传输。

14. 根据权利要求13所述的功率转换器控制器, 其中该次级控制器被耦合以检测何时该功率开关从接通状态过渡到断开状态, 且其中该次级控制器被耦合以调度该一个或多个控制信号的传输, 使该传输发生在该次级控制器检测到该功率开关从接通状态到断开状态的过渡之后的一个时间段。

15. 根据权利要求1所述的功率转换器控制器, 其中该初级控制器被耦合以在该过渡运行期间通过将该功率开关的切换模式修改成与该初级切换模式不同, 来确认收到该一个或多个控制信号。

16. 根据权利要求15所述的功率转换器控制器, 其中该初级控制器被耦合以在该过渡运行期间通过在一个时间段内避免切换该功率开关, 来确认收到该一个或多个控制信号。

17. 根据权利要求1所述的功率转换器控制器, 其中该初级控制器被耦合以在该第二运行模式期间监测在第一时间段上接收到的控制信号的数目, 其中该初级控制器被耦合以在该第二运行模式期间基于在该第一时间段上接收到数目大于阈值数目的控制信号来检测潜在的异常运行状况, 且其中该初级控制器被耦合以在第二时间段内维持该功率开关处于断开状态以将该次级控制器掉电。

18. 根据权利要求1所述的功率转换器控制器, 其中该初级控制器被耦合以在该第二运行模式期间监测在一个时间段上接收到的控制信号的数目, 其中该初级控制器被耦合以在该第二运行模式期间基于在该时间段上没有接收到控制信号来检测潜在的异常运行状况, 且其中该初级控制器响应于检测到该潜在的异常运行状况而从该第二运行模式过渡到该第一运行模式。

19. 一种功率转换器, 包括:

能量传递元件, 包括该功率转换器的初级侧的初级绕组以及该功率转换器的次级侧的次级绕组;

功率开关, 被耦合到该初级绕组;

初级控制器, 被耦合到该功率开关, 其中该初级控制器被耦合以在第一运行模式期间根据由该初级控制器限定的初级切换模式来控制该功率开关的状态, 且其中该初级控制器被耦合以在第二运行模式期间响应于从该次级侧接收的控制信号来控制该功率开关的状态; 以及

次级控制器, 被耦合到该次级侧且与该初级控制器流电隔离, 其中该次级控制器被耦合以在该第一运行模式期间发起与该初级控制器的过渡运行, 其中该过渡运行将该初级控制器和该次级控制器从该第一运行模式过渡到该第二运行模式, 且其中该次级控制器被耦合以在该第二运行模式期间向该初级控制器传输该控制信号,

其中该初级控制器被耦合以在该过渡运行期间确认收到该一个或多个控制信号,

其中该初级控制器被耦合以响应于确认收到该一个或多个控制信号而过渡到该第二

运行模式,并且

其中该次级控制器被耦合以响应于检测到该确认而过渡到该第二运行模式。

20. 根据权利要求19所述的功率转换器,还包括通信链路,其中该次级控制器被耦合以经由该通信链路传输该控制信号,其中该初级控制器被耦合以经由该通信链路来接收该控制信号,且其中该通信链路包含光通信链路、电容性通信链路和磁性通信链路之中的至少一个。

21. 根据权利要求19所述的功率转换器,其中该初级切换模式限定何时该初级控制器将该功率开关设置成接通状态以及何时该初级控制器将该功率开关设置成断开状态。

22. 根据权利要求19所述的功率转换器,其中该次级控制器被耦合以当该功率转换器的输出量小于期望的输出量时向该初级控制器传输该控制信号,其中该初级控制器被耦合以在该第二运行模式期间响应于所接收的每个控制信号来将该功率开关设置成接通状态,且其中该初级控制器被耦合以在该第二运行模式期间响应于关断条件来将该功率开关设置成断开状态。

23. 根据权利要求19所述的功率转换器,其中该次级控制器被耦合以在该过渡运行期间向该初级控制器传输一个或多个控制信号。

24. 根据权利要求23所述的功率转换器,其中该次级控制器被耦合以在该第一运行模式期间检测该功率开关的切换事件,且其中该次级控制器被耦合以基于何时检测到该切换事件来调度该一个或多个控制信号的传输。

25. 一种用于控制功率转换器的方法,该方法包括:

在第一运行模式期间根据初级切换模式控制该功率转换器的初级侧的功率开关的状态,其中该初级切换模式由该功率转换器的初级侧的电路限定,并且其中该方法包括在该第一运行模式期间在该功率转换器的次级侧检测该功率开关的切换事件;

从该第一运行模式过渡到第二运行模式,其中过渡包括从该功率转换器的次级侧向该初级侧传输一个或多个控制信号,其中该方法包括基于何时检测到切换事件来调度该一个或多个控制信号的传输;

在该第二运行模式期间从该功率转换器的次级侧向该初级侧传输控制信号;以及

在该第二运行模式期间响应于从该次级侧接收到的控制信号来控制该功率开关的状态。

26. 根据权利要求25所述的方法,其中该初级切换模式限定何时该功率开关被设置成接通状态以及何时该功率开关被设置成断开状态。

27. 根据权利要求25所述的方法,还包括:

在该第二运行模式期间,当该功率转换器的输出量小于期望的输出量时,从该次级侧向该初级侧传输该控制信号;

在该第二运行模式期间,在该初级侧响应于接收到的每个控制信号来将该功率开关设置成接通状态;以及

在该第二运行模式期间,在该初级侧响应于检测到的关断条件来将该功率开关设置成断开状态。

28. 根据权利要求25所述的方法,其中过渡还包括:

在该初级侧通过将该功率开关的切换模式修改成与该初级切换模式不同,来确认收到

该一个或多个控制信号;以及

在该次级侧通过在该次级侧检测该功率开关的切换模式的修改,来检测确认。

29.一种功率转换器控制器,包括:

初级控制器,被耦合到功率转换器的功率开关,其中该初级控制器被耦合以在第一运行模式期间根据由该初级控制器限定的初级切换模式来控制该功率开关的状态,且其中该初级控制器被耦合以在第二运行模式期间响应于经由通信链路接收的控制信号来控制该功率开关的状态;以及

次级控制器,与该初级控制器流电隔离,其中该次级控制器被耦合以在该第二运行模式期间经由该通信链路向该初级控制器传输该控制信号,其中该初级控制器被耦合以响应于由该次级控制器发起的过渡运行而从该第一运行模式过渡到该第二运行模式,且其中该初级控制器被耦合以响应于下述中任一者从该第二运行模式过渡到该第一运行模式:在第一时间段上没有从该次级控制器接收到控制信号,或者在该第一时间段上从该次级控制器接收到数目大于阈值数目的控制信号。

30.根据权利要求29所述的功率转换器控制器,其中该初级控制器被耦合以在该第二运行模式期间当该初级控制器在该第一时间段上检测到数目大于阈值数目的控制信号时,从该第二运行模式过渡到该第一运行模式,其中所述阈值数目指示在该功率转换器的输出处的短路。

31.根据权利要求30所述的功率转换器控制器,其中该次级控制器被耦合以检测该初级控制器从该第二运行模式到该第一运行模式的过渡。

32.根据权利要求31所述的功率转换器控制器,其中该次级控制器被耦合以通过检测该功率开关的切换模式的变化,来检测该初级控制器从该第二运行模式到该第一运行模式的过渡。

33.根据权利要求31所述的功率转换器控制器,其中该次级控制器被耦合以确认该初级控制器从该第二运行模式到该第一运行模式的过渡。

34.根据权利要求33所述的功率转换器控制器,其中该次级控制器被耦合以通过修改控制信号向该初级控制器的传输来确认该初级控制器的过渡。

35.根据权利要求29所述的功率转换器控制器,其中该初级控制器被耦合以在该第二运行模式期间,当该初级控制器在第二时间段上没有检测到控制信号时,从该第二运行模式过渡到该第一运行模式。

36.根据权利要求35所述的功率转换器控制器,其中该次级控制器被耦合以检测该初级控制器从该第二运行模式到该第一运行模式的过渡。

37.根据权利要求36所述的功率转换器控制器,其中该次级控制器被耦合以通过检测该功率开关的切换模式的变化,来检测该初级控制器从该第二运行模式到该第一运行模式的过渡。

38.根据权利要求36所述的功率转换器控制器,其中该次级控制器被耦合以确认该初级控制器从该第二运行模式到该第一运行模式的过渡。

39.根据权利要求38所述的功率转换器控制器,其中该次级控制器被耦合以通过修改控制信号向该初级控制器的传输来确认该初级控制器的过渡。

用于使用多个控制器控制功率转换器的技术

技术领域

[0001] 本公开内容涉及功率转换器,且更具体地,涉及用于功率转换器的控制电路。

背景技术

[0002] 开关模式功率转换器被广泛地用在家庭或工业设施中,用于将低频(例如50Hz或60Hz)高电压交流(ac)输入电压转换成所要求水平的直流(dc)输出电压。例如,开关模式功率转换器可以被包含在普遍使用的电子设备(诸如用于移动电子设备的电池充电器)中。多种类型的开关模式功率转换器因为它们具有良好的经调节的输出、高效率和小尺寸而且具有安全和保护特征而普及。开关模式功率转换器的普及拓扑包含回扫(flyback)、前向(forward)、升压、降压、半桥和全桥,以及包含谐振类型的许多其他拓扑。

[0003] 开关模式功率转换器可以包含能量传递元件、功率开关和控制电路,它们运行以调节该功率转换器输出电压的值。该能量传递元件(例如耦合电感器)可以包含彼此流电隔离的初级绕组和次级绕组。该初级绕组可以被耦合到该功率转换器的输入侧的电路,诸如该功率开关。该次级绕组可以被耦合到该功率转换器的输出侧的电路,该电路将经调节的输出电压传送到电负载。

[0004] 该功率开关(例如高电压功率开关)可以被耦合到该能量传递元件的初级绕组,以控制经过该初级绕组的电流。该功率转换器的控制电路可以感测该输出电压,并响应于所感测的输出电压来控制该功率开关的状态,以控制能量从该初级绕组到该次级绕组的传递。

发明内容

[0005] 根据本发明的第一方面,提供一种功率转换器控制器,该功率转换器控制器包括:

[0006] 初级控制器,被耦合到功率转换器的功率开关,其中该初级控制器被耦合以在第一运行模式期间根据由该初级控制器限定的初级切换模式来控制该功率开关的状态,且其中该初级控制器被耦合以在第二运行模式期间响应于经由通信链路接收的控制信号来控制该功率开关的状态;以及

[0007] 次级控制器,与该初级控制器流电隔离,其中该次级控制器被耦合以在该第一运行模式期间发起与该初级控制器的过渡运行(transition operation),其中该过渡运行将该初级控制器和该次级控制器从该第一运行模式过渡到该第二运行模式,且其中该次级控制器被耦合以在该第二运行模式期间经由该通信链路向该初级控制器传输该控制信号。

[0008] 根据本发明的第二方面,提供一种功率转换器,该功率转换器包括:

[0009] 能量传递元件,包括该功率转换器的初级侧的初级绕组以及该功率转换器的次级侧的次级绕组;

[0010] 功率开关,被耦合到该初级绕组;

[0011] 初级控制器,被耦合到该功率开关,其中该初级控制器被耦合以在第一运行模式期间根据由该初级控制器限定的初级切换模式来控制该功率开关的状态,且其中该初级控

制器被耦合以在第二运行模式期间响应于从该次级侧接收的控制信号来控制该功率开关的状态;以及

[0012] 次级控制器,被耦合到该次级侧且与该初级控制器流电隔离,其中该次级控制器被耦合以在该第一运行模式期间发起与该初级控制器的过渡运行,其中该过渡运行将该初级控制器和该次级控制器从该第一运行模式过渡到该第二运行模式,且其中该次级控制器被耦合以在该第二运行模式期间向该初级控制器传输该控制信号。

[0013] 据本发明的第三方面,提供一种用于控制功率转换器的方法,该方法包括:

[0014] 在第一运行模式期间根据初级切换模式控制该功率转换器的初级侧的功率开关的状态,其中该初级切换模式由该功率转换器的初级侧的电路限定;

[0015] 从该第一运行模式过渡到第二运行模式,其中过渡包括从该功率转换器的次级侧向该初级侧传输一个或多个控制信号;

[0016] 在该第二运行模式期间从该功率转换器的次级侧向该初级侧传输控制信号;以及

[0017] 在该第二运行模式期间响应于从该次级侧接收到的控制信号来控制该功率开关的状态。

[0018] 据本发明的第四方面,提供一种功率转换器控制器,该功率转换器控制器包括:

[0019] 初级控制器,被耦合到功率转换器的功率开关,其中该初级控制器被耦合以在第一运行模式期间根据由该初级控制器限定的初级切换模式来控制该功率开关的状态,且其中该初级控制器被耦合以在第二运行模式期间响应于经由通信链路接收的控制信号来控制该功率开关的状态;以及

[0020] 次级控制器,与该初级控制器流电隔离,其中该次级控制器被耦合以在该第二运行模式期间经由该通信链路向该初级控制器传输该控制信号,其中该初级控制器被耦合以响应于由该次级控制器发起的过渡运行而从该第一运行模式过渡到该第二运行模式,且其中该初级控制器被耦合以响应于在第一时间段上从该次级控制器接收到的控制信号的数目或者响应于在第二时间段上从该次级控制器没有接收到控制信号,而从该第二运行模式过渡到该第一运行模式。

附图说明

[0021] 参照下列图来描述本公开内容的非限制性和非穷举性实施方案,其中在各个视图中,相同的参考数字可以指代相同的部分。

[0022] 图1是包含初级控制器、次级控制器和功率开关的一个示例性隔离式功率转换器的示意图。

[0023] 图2是包含初级控制器、次级控制器和功率开关的一个示例性集成电路封装件的功能框图。

[0024] 图3是描述一个示例性初级控制器的运行的流程图。

[0025] 图4是描述一个示例性次级控制器的运行的流程图。

[0026] 图5是描述一个初级控制器和一个次级控制器的运行的流程图。

[0027] 图6是描述一个初级控制器的运行的流程图,该初级控制器检测一个次级控制器中潜在的异常运行状况。

[0028] 图7A-7B例示了初级控制器和次级控制器在第一运行模式、过渡运行和第二运行

模式期间的运行。

[0029] 图8A是包含磁耦合通信链路的一个示例性集成电路封装件的功能框图。

[0030] 图8B是包含光耦合通信链路的一个示例性集成电路封装件的功能框图。

[0031] 图9是包含一个示例性初级控制器和一个示例性次级控制器的一个示例性非隔离式功率转换器的示意图。

[0032] 在附图的这几个视图中,对应的参考字符可以指示对应的部件。技术人员将意识到,这些图中的元件是为了简化和清楚而例示的,且未必是按比例绘制的。例如,在这些图中,一些元件的尺度可能相对于其他元件被夸大,以帮助增进对本公开内容的多种实施方案的理解。而且,在商业上可行的实施方案中有用或必要的常见但容易理解的元件通常未被描绘,以便于较不受妨碍地察看本公开内容的多种实施方案。

具体实施方式

[0033] 在下列描述中,阐述了众多具体细节,以提供对本发明的彻底理解。然而,对本领域普通技术人员来说明显的是,实践本发明不必采用该具体细节。在其他情况下,未详细描述广为人知的材料或方法,以免模糊本发明。

[0034] 本说明书全文提及“一个实施方案”、“一实施方案”、“一个实施例”或“一实施例”意味着,关于该实施方案或实施例描述的具体特征、结构或特性被包含在本发明的至少一个实施方案中。因而,在本说明书全文各处出现的短语“在一个实施方案中”、“在一实施方案”、“一个实施例”或“一实施例”未必全都指相同的实施方案或实施例。此外,所述具体特征、结构或特性可以在一个或多个实施方案或实施例中以任何合适的组合和/或子组合进行组合。具体特征、结构或特性可以被包含在集成电路、电子电路、组合逻辑电路、或提供所描述的功能的其他合适的部件中。

[0035] 根据本公开内容的功率转换器包含——例如通过通信链路——彼此流电隔离的初级控制器和次级控制器。取决于功率转换器拓扑,在一些实施例中,该初级控制器和次级控制器也可以通过能量传递元件(例如耦合电感器)彼此流电隔离。

[0036] 该初级控制器被耦合以驱动该功率转换器的初级侧的功率开关,以控制从该能量传递元件的初级绕组到该能量传递元件的次级绕组的能量传递。该次级控制器被耦合到该功率转换器的次级侧的电路部件,以感测该功率转换器的输出量。尽管该初级控制器和该次级控制器彼此流电隔离,但在一些情况下,该次级控制器可以经由通信链路向该初级控制器传输信号,以控制该初级控制器如何切换该功率开关。例如,当该功率转换器的输出量(例如电压和/或电流)小于期望的输出量时,该次级控制器可以传输一个或多个控制信号。该控制信号可以导致该初级控制器切换该功率开关,并向次级侧传递能量,以增大该功率转换器的输出量的值。

[0037] 一般,该初级控制器和该次级控制器可以运行以调节被传送到负载的该功率转换器的输出量(例如电压和/或电流)。例如,该初级控制器和该次级控制器可以运行,以响应于所感测的输出电压来将该功率转换器的输出电压调节到期望的输出电压值。尽管该初级控制器和该次级控制器可以响应于所感测的输出电压来调节该输出电压,但在一些实施例中,该初级控制器和该次级控制器可以响应于所感测的输出电压和/或所感测的输出电流来调节该功率转换器的输出电压和/或输出电流。

[0038] 该初级控制器可以从该功率转换器的输入接收运行功率。该功率转换器的次级侧包含从该功率转换器的初级侧接收能量并向该次级控制器提供运行功率的电路。例如，该功率转换器的次级侧可以包含向该次级控制器的电路提供运行功率的旁路电容器。在一些情况下（例如在启动期间），该次级控制器的一些电路可能没有接收足够的运行功率。在这些情况下，该初级控制器可以在一个时间段内在接通(ON)状态和断开(OFF)状态之间切换功率开关，以向该次级控制器提供足够的运行功率。

[0039] 本公开内容的功率转换器可以被描述为在第一运行模式（即“第一模式”）和第二运行模式（即“第二模式”）之一中运行。在该第一模式中，初级控制器控制功率开关的状态。例如，在该第一模式期间，该初级控制器可以控制何时该功率开关被设置成接通状态（例如短路）以及何时该功率开关被设置成断开状态（例如开路）。在一些实施例中，在该第一模式期间（例如在启动期间）次级控制器可能没有接收足够的运行功率。在这些实施例中，该次级控制器可以不向该初级控制器传输控制信号。因此，在该第一模式中，该初级控制器可以在未从该次级控制器接收控制信号的情况下控制该功率开关的状态。

[0040] 一般，在该第一模式期间，该初级控制器可以根据由该初级控制器的电路限定的切换模式来控制该功率开关的状态。由该初级控制器限定的切换模式在这里可以被称为“初级切换模式”。该初级切换模式可以限定切换频率、接通时间、占空比或其他切换参数。在一些实施例中，该初级切换模式可以包含固定值。在其他实施例中，该初级控制器可以在运行期间更新初级切换模式。

[0041] 在第二模式期间，次级控制器控制功率开关的状态。例如，该次级控制器可以控制何时该功率开关从断开状态过渡到接通状态。如这里描述的，该次级控制器向该初级控制器传输控制信号，这导致该初级控制器响应于该控制信号之中的每一个来将该功率开关设置成接通状态。换言之，该初级控制器可以被耦合以在该第二模式期间响应于从该次级控制器接收的每个控制信号来将该功率开关设置成接通状态。在该初级控制器响应于控制信号将该功率开关切换成接通状态后，该初级控制器可以响应于所检测到的关断条件来将该功率开关切换回断开状态。关断条件可以包含功率开关电流的阈值量和/或该功率开关的阈值接通时间。如这里描述的，在该第二模式期间，当该功率转换器的输出电压小于期望的输出电压值时，该次级控制器可以传输控制信号，以增大该功率转换器的输出电压。

[0042] 功率转换器可以在第一模式和第二模式之间过渡。由初级控制器和/或次级控制器执行的使该功率转换器在该第一模式和该第二模式之间过渡的运行在本文中可以被称为“过渡运行”。在一些实施例中，该初级控制器和该次级控制器可以实施过渡运行，以从该第一模式过渡到该第二模式。换言之，该初级控制器和该次级控制器可以实施过渡运行，以将对功率开关的控制从该初级控制器传递到该次级控制器。本文中描述了多种不同的过渡运行。

[0043] 现在描述初级控制器和次级控制器在功率转换器的启动期间和之后的运行。启动可以指从输入电压被施加到该功率转换器起直到该次级控制器开始运行的时间段。在启动的初期，该初级控制器可以从该功率转换器的输入接收运行功率，而该次级控制器可能没有接收足够的运行功率，因为次级侧的旁路电容器可能没有被足够地充电。因此，当该次级控制器掉电(power down)时，该初级控制器可以运行。

[0044] 在启动期间，功率转换器可以在第一模式中运行，其中初级控制器控制功率开关

的状态。例如,该初级控制器可以根据由该初级控制器的电路限定的初级切换模式来控制该功率开关的状态。在一些实施例中,该初级切换模式可以具有设定的切换频率、功率开关接通时间、占空比或其他切换参数。

[0045] 在启动期间,该初级控制器可以控制该功率开关的切换,以将能量传递到该功率转换器的次级侧,以将旁路电容器充电。在该初级控制器控制该功率开关的切换的一个时间段之后,该旁路电容器可以被充电到足以运行次级控制器的电压。当该旁路电容器两端的电压(即旁路电压)已经达到足以运行该次级控制器的电路(例如逻辑电路和/或模拟电路)的电压时,该次级控制器可以开始运行。

[0046] 在该次级控制器已经上电(power up)之后,该次级控制器可以决定从该初级控制器取得对功率开关的控制。在一些实施例中,该次级控制器可以感测次级侧的参数(例如旁路电压和/或输出电压),以确定是否功率转换器正在以允许该次级控制器可靠地执行过渡运行以取得对该功率开关的控制的方式运行。例如,当在过渡运行期间该旁路电压和/或该输出电压处于足以防止该次级控制器掉电的水平时,该次级控制器可以决定取得对该功率开关的控制,在过渡运行期间该初级控制器暂时避免根据初级切换模式来切换该功率开关。

[0047] 该次级控制器可以发起与该初级控制器的过渡运行,以从该初级控制器取得对该功率开关的控制。换言之,当该功率开关被设置成接通状态时,该次级控制器可以发起过渡运行以取得控制。该初级控制器和该次级控制器可以被配置为以多种不同方式将控制从该初级控制器传递到该次级控制器。

[0048] 用于从第一模式过渡到第二模式的过渡运行可以包含由该次级控制器传输一个或多个控制信号。在一些实施例中,该次级控制器可以检测该功率开关的切换,并相对于该功率开关的切换来调度该一个或多个控制信号的传输。在其他实施例中,该次级控制器可以不相对于该功率开关的切换来调度该一个或多个控制信号,而是该次级控制器可以在不监测该功率开关的切换的情况下传输该一个或多个控制信号。尽管本文所例示和所描述的过渡运行包含从该次级控制器向该初级控制器传输控制信号,但预期,在一些实施方式中,该次级控制器可以在过渡运行期间向该初级控制器传输不同于该控制信号的信号。例如,为了发起和/或完成该过渡运行,该次级控制器可以传输在振幅、持续时间、频率内容(frequency content)或其他参数方面不同于该控制信号的信号。

[0049] 在一些实施例中,该初级控制器可以确认收到该一个或多个传输的控制信号。例如,该初级控制器可以调整功率开关的切换模式,以向该次级控制器指示该一个或多个控制信号被收到。在该初级控制器可以经由通信链路与该次级控制器通信的实施例中,该初级控制器可以经由通信链路将一个或多个信号传输回该次级控制器,以确认收到由该次级控制器传输的一个或多个控制信号。现在描述多种不同的示例性过渡运行。

[0050] 在一个实施例中,该次级控制器可以向该初级控制器传输单个控制信号,以指示该次级控制器正在取得对功率开关的控制。在这个实施例中,该初级控制器可以响应于该单个控制信号来停止根据初级切换模式切换该功率开关。该初级控制器可以继而等待后续控制信号,并响应于每个后续控制信号来将该功率开关切换成接通状态。尽管在一些实施方式中该次级控制器可以使用单个控制信号来指示正取得对该功率开关的控制,但在其他实施方式中该次级控制器可以发送多个控制信号以指示它正在取得对该功率开关的控制。

在这些实施方式中,该初级控制器可以响应于该多个控制信号来停止根据初级切换模式切换该功率开关。该初级控制器可以继而响应于每个后续接收的控制信号来开始将该功率开关设置成接通状态。

[0051] 在一些实施例中,该次级控制器可以相对于所检测到的该功率开关的切换事件来调度该一个或多个控制信号的传输。例如,参照图7A-7B,该次级控制器可以检测何时该功率开关切换到断开状态,并在该功率开关已经被设置成断开状态之后的一个时间窗口内传输一个控制信号。在这些实施例中,该次级控制器可以监测在次级侧(例如在次级绕组的一个节点处)形成的电压,以确定何时该功率开关切换状态。在初级控制器接收相对于该功率开关的切换事件被调度的该一个或多个控制信号之后,该初级控制器可以停止根据初级切换模式进行切换,并等待后续控制信号。该初级控制器可以继而响应于每个后续控制信号来将该功率开关设置成接通状态。尽管如上所述在一些实施例中该次级控制器可以相对于该功率开关的切换事件来调度控制信号的传输,但在其他实施例中该次级控制器可以不相对于该功率开关的切换事件来调度控制信号的传输。

[0052] 在一些实施例中,初级控制器可以确认收到由次级控制器传输的控制信号。例如,该初级控制器可以通过将功率开关的切换模式调整为与初级切换模式不同来确认收到该控制信号。在一个实施例中,该初级控制器通过响应于从该次级控制器接收一个或多个控制信号而停止该功率开关的切换达一个安静时期(quiet period),来确认收到该控制信号。在其他实施例中,该初级控制器可以通过相对于根据初级切换模式该功率开关被切换的速率来提高或降低该功率开关被切换的速率,来确认收到该一个或多个控制信号。

[0053] 在该初级控制器确认收到该控制信号的实施例中,该初级控制器可以在确认收到该控制信号之后停止根据初级切换模式切换该功率开关。该初级控制器可以继而等待后续控制信号,并响应于每个后续控制信号来将该功率开关切换成接通状态。在次级控制器检测到该初级控制器的确认(例如修改的切换模式)之后,该次级控制器可以开始向该初级控制器传输控制信号。

[0054] 尽管该初级控制器可以通过修改该功率开关的切换模式来确认收到该一个或多个控制信号,但在一些实施例中,该初级控制器可以以其他方式来确认收到该一个或多个控制信号。例如,如果该初级控制器与该次级控制器之间的通信链路允许从该初级控制器传输信号到该次级控制器,则该初级控制器可以通过经由该通信链路将确认信号传输回该次级控制器来确认收到该一个或多个控制信号。在这个实施例中,该初级控制器可以一向该次级控制器发送该确认信号就停止切换该功率开关,并等待后续控制信号。在该次级控制器经由该通信链路从该初级控制器接收到该确认之后,该次级控制器可以开始生成控制信号以控制该功率开关的状态。该初级控制器可以响应于后续接收的控制信号来将该功率开关设置成接通状态。

[0055] 在自第一模式的过渡运行完成之后,功率转换器可以运行在第二模式中。如上所述,在该第二模式期间,次级控制器可以向初级控制器传输控制信号以控制功率开关的状态。响应于每个控制信号,该初级控制器可以将该功率开关设置成接通状态,并随后响应于检测到关断条件(例如开关电流的阈值量和/或该功率开关的阈值接通时间),将该功率开关设置成断开状态。当该功率转换器处于该第二模式中时,该次级控制器可以在该功率转换器的输出电压小于期望的输出电压值时传输控制信号,以增大该功率转换器的输出电

压。在该第二模式中,当该功率转换器的输出电压大于期望的输出电压值时,该次级控制器可以避免传输控制信号。

[0056] 在正常运行期间,在启动之后从第一模式过渡到第二模式之后,功率转换器可以保持处于该第二模式中。然而,在一些实施例中,该功率转换器可以从该第二模式过渡回该第一模式。换言之,在一些情况下,该初级控制器可以从该次级控制器取回对功率开关的控制。该初级控制器可以在下文描述的多种不同情况下从该次级控制器取得对该功率开关的控制。

[0057] 在一些实施例中,当初级控制器检测到次级控制器正在经历潜在的异常运行状况时,该初级控制器可以从该次级控制器取得对功率开关的控制。该初级控制器可以基于在一个时间段上接收到的控制信号的数目来确定该次级控制器正在经历潜在的异常运行状况。在一个实施例中,如果该初级控制器在一个时间段内没有接收到控制信号,则该初级控制器可以确定,该次级控制器可能正在经历异常运行状况,诸如不能工作的通信链路或导致输出电压在一个过长的时间段内维持在期望的输出电压值以上的状况。在另一个实施例中,如果该初级控制器在一个时间段上接收过多数目的控制信号,则该初级控制器可以确定,该次级控制器可能正在经历潜在的异常运行状况,诸如在该功率转换器的输出处的短路。

[0058] 在该初级控制器在阈值量的时间内没有接收到控制信号的情况下,该初级控制器可以取得对功率开关的控制。在一些实施例中,该初级控制器可以开始根据初级切换模式来控制功率开关。根据初级切换模式来控制功率开关可以向功率转换器的次级侧传递能量,并防止该功率转换器的输出电压下降到期望的输出电压值以下。另外,根据初级切换模式来控制功率开关可以防止次级控制器掉电。在该初级控制器从该次级控制器取得对功率开关的控制之后,该次级控制器可以在稍后的时间发起过渡运行,以从初级侧收回对功率开关的控制。

[0059] 在其他实施例中,当初级控制器在阈值量的时间内没有接收到控制信号时,该初级控制器可以将功率开关维持在断开状态。该初级控制器可以将功率开关维持在断开状态,以允许次级控制器损失运行功率。该初级控制器可以继而在足以使该次级控制器掉电的一个时间段已经过去之后恢复切换功率开关(例如根据初级切换模式)。该次级控制器可以继而在该次级控制器又被上电时发起过渡运行,以取回对功率开关的控制。

[0060] 在初级控制器在一个时间段上接收到过多数目的(例如大于阈值数目的)控制信号的情况下,该初级控制器可以忽略这些控制信号,并维持功率开关处于断开状态。换言之,当在一个时间段上接收到过多数目的控制信号时,初级控制器可以从次级侧取得对功率开关的控制,并维持功率开关处于断开状态。在足够量的时间内维持功率开关处于断开状态可以导致次级控制器损失运行功率。例如,如果功率开关被维持处于断开状态,则旁路电容器可以放电。在这些实施例中,在足以使次级控制器掉电的一个时间段已经过去之后,该初级控制器可以恢复切换功率开关(例如根据初级切换模式)。

[0061] 在初级控制器恢复切换功率开关之后,旁路电容器可以被再充电。一旦该旁路电容器已经被充电到足够的水平,次级控制器就可以开始运行。在次级控制器开始运行之后,该次级控制器可以如上所述决定取得对功率开关的控制。例如,次级控制器可以执行过渡运行,以取得对功率开关的控制。在一个实施例中,当次级控制器在又上电之后开始发送过

多信号时,初级控制器可以再次取得对功率开关的控制。这个过程可以被重复,直到功率转换器与电源断开且初级控制器掉电。

[0062] 在功率转换器的输出处出现短路的情况下,可能会在一个时间段上传输过多数目的控制信号。在其他实施例中,当该输出处不出现短路时,过多数目的控制信号被初级控制器接收到可能会导致该初级控制器向次级侧传递过多量的能量。因此,通过响应于在一个时间段上接收到过多数目的控制信号来取得对功率开关的控制并维持功率开关处于断开状态,初级控制器可以防止向次级侧传递过多量的能量。

[0063] 因此,如上所述,初级控制器可以被耦合以响应于从次级控制器接收到的控制信号的数目来从第二模式过渡到第一模式。例如,该初级控制器可以被耦合为当初级控制器在一个时间段上检测到过多数目的控制信号和/或在阈值量的时间内没有检测到控制信号时,从第二模式过渡到第一模式。在初级控制器从第一模式过渡到第二模式的实施例中,次级控制器可以检测该初级控制器从第一模式到第二模式的过渡。例如,当初级控制器从第一模式过渡到第二模式时,次级控制器可以检测到功率开关的切换模式的变化。

[0064] 在一些实施例中,次级控制器可以被耦合以确认初级控制器从第二模式到第一模式的过渡。例如,次级控制器可以被耦合以通过修改到初级控制器的控制信号的传输来确认该初级控制器的过渡。在次级控制器在一个时间段上发送过多数目的控制信号的一个实施例中,该次级控制器可以通过一检测到初级控制器过渡到第一模式就停止控制信号的传输,来确认该初级控制器从第二模式到第一模式的过渡。在初级控制器在阈值量的时间内检测到没有控制信号的一个实施例中,次级控制器可以通过发起一个接下来的过渡运行来确认该初级控制器到第一模式的过渡。

[0065] 尽管初级控制器和次级控制器可以被包含在隔离式功率转换器中,但在其他实施例中,该初级控制器和该次级控制器可以被包含在非隔离式功率转换器中,其中该非隔离式功率转换器的输入侧(例如输入端子)不与输出侧(例如输出端子)流电隔离。当用在非隔离式功率转换器中时,该初级控制器和该次级控制器可以彼此流电隔离(例如通过通信链路),尽管该非隔离式功率转换器的输入侧和输出侧彼此不流电隔离。该初级控制器和该次级控制器的一个示例性实施方式在参照图9的非隔离式降压转换器拓扑中被例示和描述。

[0066] 现在参照图1-9描述在第一运行模式和第二运行模式之一中运行的一个示例性功率转换器。图1示出了包含初级控制器和次级控制器的一个示例性隔离式功率转换器,该初级控制器和次级控制器运行以调节该隔离式功率转换器的输出量。图2例示了示例性初级控制器和次级控制器的更详细的视图。图3-6是例示了示例性初级控制器和次级控制器的运行的流程图。图7A-7B例示了在该第一模式、过渡运行和该第二模式期间生成的波形。图8A-8B示出了次级控制器和初级控制器可以借以通信的示例性通信链路。图9示出了包含示例性初级控制器和次级控制器的一个非隔离式功率转换器。

[0067] 图1是根据本公开内容的示例性功率转换器100的示意图,该功率转换器100可以在第一模式和第二模式之一中运行。示例性功率转换器100是具有回扫拓扑的隔离式开关模式功率转换器。尽管图1的初级侧控制电路118和次级侧控制电路120被包含在隔离式功率转换器中,但在其他实施例中,初级侧控制电路118和次级侧控制电路120可以被包含在非隔离式功率转换器(例如如图9中示出的非隔离式降压转换器)中。当用在非隔离式功率转换器中时,该初级侧控制电路与该次级侧控制电路之间的流电隔离允许输出与功率开关之

间的电压差。换言之,该流电隔离允许功率开关相对于输出端子浮置。在一些实施例中,这可以免除对复杂的电平移位电路系统的需要,这样的电路系统原本是在该次级侧控制电路与该初级侧控制电路之间会要求的。

[0068] 功率转换器100包含输入端子102-1、102-2(统称为“输入端子102”)和输出端子104-1、104-2(统称为“输出端子104”)。输入端子102被耦合以接收输入电压 V_{IN106} ,该输入电压可以是经整流、经滤波的交流电压。例如,输入端子102可以被耦合到全桥整流器(未示出)和滤波器电容(未示出),该全桥整流器和滤波器电容被耦合以对从交流电压源接收的交流电压进行整流和滤波。在一个实施例中,输入电压 V_{IN106} 可以是时变直流电压。如所示, V_{IN106} 以输入端子102-2为参考,输入端子102-2可以被称为“输入返回(input return)102-2”。

[0069] 输出端子104向电负载(未示出)提供输出电压 V_{OUT108} 。在功率转换器100启动之后,功率转换器100可以将输出电压 V_{OUT108} 的值调节到期望的输出电压值(例如5至12V直流)。启动可以从 V_{IN106} 被施加到功率转换器100起直到功率转换器100的控制电路(例如次级控制器120)开始运行以调节功率转换器100的输出电压 V_{OUT108} 为止的一个时间段。因此,输出电压 V_{OUT108} 可以被称为“经调节的输出电压”。输出端子104被耦合到输出电容器110,以使经调节的输出电压 V_{OUT108} 平滑。如所示,输出电压 V_{OUT108} 以输出端子104-2为参考,输出端子104-2可以被称为“输出返回(output return)104-2”。

[0070] 功率转换器100包含能量传递元件112。能量传递元件112包含初级绕组114和次级绕组116。能量传递元件112被耦合以从初级绕组114向次级绕组116传递能量。在一个实施例中,能量传递元件112可以是耦合电感器。电耦合在输入端子102与初级绕组114之间的电路可以被称为功率转换器100的“初级侧”。电耦合在次级绕组116与输出端子104之间的电路可以被称为功率转换器100的“次级侧”。能量传递元件112在功率转换器100的初级侧的电路与功率转换器100的次级侧的电路之间提供流电隔离。因此,被施加在功率转换器100的初级侧与次级侧之间的直流电压将产生基本为零的电流。

[0071] 功率转换器100包含初级侧控制电路118(下文称为“初级控制器118”)、次级侧控制电路120(下文称为“次级控制器120”)和功率开关122。初级控制器118、次级控制器120和功率开关122被包含在集成电路封装件124中,该集成电路封装件124在图1中被例示为一个盒子。

[0072] 在一个实施例中,集成电路封装件124可以在一个包封体内包含第一集成电路芯片和第二集成电路芯片。包封体可以指包围或包封一个或多个集成电路芯片和引线框架的一部分的壳或模制件。该第一集成电路芯片可以包含初级控制器118和功率开关122。该第二集成电路芯片可以包含次级控制器120。在另一个实施例中,集成电路封装件124可以在一个包封体内包含三个集成电路芯片。例如,集成电路封装件124可以包含:包含功率开关122的第一集成电路芯片,包含初级控制器118的第二集成电路芯片,和包含次级控制器120的第三集成电路芯片。

[0073] 包含初级控制器118的集成电路芯片和包含次级控制器120的集成电路芯片彼此流电隔离。因此,次级控制器120与初级控制器118和功率开关122流电隔离。尽管初级控制器118和次级控制器120彼此流电隔离,但初级控制器118和次级控制器120可以彼此通信。例如,次级控制器120可以经由通信链路与初级控制器118通信。在一个实施例中,该通信链

路可以是磁耦合通信链路。参照图8A描述了一个示例性磁耦合通信链路。在另一个实施例中,次级控制器120可以通过光耦合通信链路与初级控制器118通信。参照图8B描述了一个示例性光耦合通信链路。在其他实施例中,次级控制器120可以通过其他类型的通信链路(诸如电容性通信链路)与初级控制器118通信。

[0074] 尽管初级控制器118、次级控制器120和功率开关122被例示为被包含在单个集成电路封装件中,但在其他实施例中,初级控制器118、次级控制器120和功率开关122之中的一个或多个可以位于所例示的集成电路封装件之外。例如,功率开关122可以被包含在如下一个集成电路封装件中,这个集成电路封装件与包含初级控制器118和次级控制器120二者的另一个集成电路封装件分立。

[0075] 集成电路封装件124外部的电路可以电耦合到集成电路封装件124的封装件端子D126-1、S126-2、PBP126-3、FWD126-4、BP126-5、GND126-6和FB126-7(统称为“封装件端子126”)。集成电路封装件124的封装件端子126可以包含用于连接到集成电路封装件124外部的电路的导电引脚和/或导电盘。

[0076] 封装件端子126可以连接到被包含在集成电路封装件124的包封体内的功率开关122、初级控制器118和次级控制器120的端子(例如在集成电路芯片上)。功率开关122包含端子D128-1和S128-2。初级控制器118包含端子PBP128-3。次级控制器120包含端子FWD128-4、BP128-5、GND128-6和FB128-7。端子D128-1、S128-2、PBP128-3、FWD128-4、BP128-5、GND128-6和FB128-7可以是包括在包含功率开关122、初级控制器118和次级控制器120的集成电路芯片上的导电连接。GND端子128-6被耦合到输出端子104-2。在一个实施例中,GND端子128-6可以是用于次级控制器120的输出返回。

[0077] 初级控制器118被耦合到功率转换器100的初级侧的电路部件,诸如功率开关122。次级控制器120被耦合到功率转换器100的次级侧的电路部件。例如,次级控制器120可以被耦合到次级绕组116和旁路电容器130。次级控制器120也可以经由反馈电路(未示出)被耦合到输出端子104,该反馈电路允许次级控制器120感测功率转换器100的输出量(例如输出电压 V_{OUT108} 和/或输出电流 I_{OUT109})。例如,图1的功率转换器100可以在输出端子104与反馈端子FB126-7之间包含反馈电路,该反馈电路生成代表输出电压 V_{OUT108} 的反馈电压 V_{FB132} 。尽管图1的功率转换器100可以包含生成反馈电压 V_{FB132} 的反馈电路,但在其他实施例中,功率转换器100可以包含生成反馈电流的电路,该反馈电流代表输出电流 I_{OUT109} 。初级控制器118和次级控制器120控制功率转换器100的电路(例如功率开关122),以控制从输入端子102到输出端子104的能量传递。

[0078] 次级控制器120从功率转换器100的次级侧接收功率。例如,次级控制器120可以从旁路电容器130接收功率,该旁路电容器130在旁路端子BP128-5和接地端子GND128-6处被耦合到次级控制器120。旁路电容器130可以向次级控制器120的电路——诸如电压检测电路262(图2)和次级开关控制电路258(图2)——供应功率。次级控制器120可以包含从前向端子FWD128-4对旁路电容器130充电以及调节旁路电容器130两端的旁路电压 V_{BP134} 的电路(例如充电电路260)。

[0079] 尽管初级控制器118和次级控制器120彼此流电隔离,但次级控制器120可以向初级控制器118传输控制信号 U_{CON136} 。例如,次级控制器120可以经由通信链路(例如磁性通信链路、电容性通信链路或光通信链路)来传输控制信号 U_{CON136} 。如下文所述,在第二模式期

间,初级控制器118可以响应于从次级控制器120接收的控制信号 U_{CON136} 来将功率开关122设置成接通状态。

[0080] 功率开关122可以是高电压功率开关,该高电压功率开关可以具有在700-800V范围内的击穿电压。在一个实施例中,功率开关122可以是功率金属氧化物半导体场效应晶体管(功率MOSFET),如图2中例示的。功率开关122被耦合到初级绕组114和输入返回102-2。在功率开关122是功率MOSFET的实施例中,该功率MOSFET的漏极可以被耦合到漏极端子D128-1,且该功率MOSFET的源极可以被耦合到源极端子S128-2,如图2中例示的。

[0081] 初级控制器118通过控制功率开关122的状态来控制经过功率开关122和初级绕组114的电流。经过功率开关122的电流在这里可以被称为“开关电流”。一般,功率开关122可以响应于由初级控制器118生成的开关驱动信号 $U_{DRIVE138}$ 而处于“接通”状态(例如闭合的开关)或“断开”状态(例如断开的开关)。当功率开关122处于接通状态(例如闭合的开关)时,功率开关122可以传导电流。当功率开关122处于断开状态(例如断开的开关)时,当在功率开关122上施加电压时功率开关122可以不传导电流。

[0082] 初级控制器118生成开关驱动信号 $U_{DRIVE138}$,以控制功率开关122的状态。在功率开关122是功率MOSFET的一个实施例中,初级控制器118可以被耦合到该功率MOSFET的栅极,如图2中例示的。在这个实施例中,初级控制器118施加大于该功率MOSFET的阈值电压的栅极-源极电压,以将该功率MOSFET设置成接通状态。初级控制器118施加小于该功率MOSFET的阈值电压的栅极-源极电压,以将该功率MOSFET设置成断开状态。

[0083] 初级控制器118从输入端子102和/或初级旁路电容器140接收运行功率。在一个实施例中,初级控制器118也可以从形成能量传递元件112的一部分的一个低电压绕组(在图1中未示出)接收运行功率。当输入电压 V_{IN106} 在输入端子102处被提供时,初级旁路电容器140可以存储从输入端子102接收的能量。存储在初级旁路电容器140上的能量可以被初级控制器118用作运行功率,例如以生成开关驱动信号 $U_{DRIVE138}$ 。

[0084] 当功率开关122处于接通状态时,经过初级绕组114的电流增大,从而在能量传递元件112中存储能量。另外,当功率开关122处于接通状态时,在初级绕组114两端形成具有第一极性的初级绕组电压 V_P142 。当功率开关122处于接通状态时,在次级绕组116两端形成具有与初级绕组电压 V_P142 相反的极性的次级绕组电压 V_S144 。当功率开关122处于接通状态时,二极管 D_1146 可以被反向偏置。

[0085] 当功率开关122处于断开状态时,功率开关122可以充当开路,且基本防止电流经过功率开关122。当功率开关122从接通状态切换到断开状态时,次级绕组电压 V_S144 的极性反转,且能量被传递到输出电容器110,该输出电容器110向连接到输出端子104的电负载提供功率。在功率开关122过渡到断开状态之后,二极管 D_1146 可以允许输出电容器110的充电和能量向负载的传送。尽管图1中例示了无源整流部件(即二极管 D_1146),但在其他实施例中,功率转换器100可以包含可以被次级控制器120控制的同步整流开关(例如MOSFET)。在一些实施例中,同步整流开关可以作为一个分立的芯片被集成在集成电路封装件124内。箝位电路148被耦合到能量传递元件112的初级绕组114,以限制当功率开关122在接通状态和断开状态之间切换时功率开关122上的最大电压。

[0086] 次级控制器120可以感测功率转换器100的输出量(例如输出电流 I_{OUT109} 和/或输出电压 V_{OUT108})。例如,图1的次级控制器120感测反馈端子FB128-7处的反馈电压 V_{FB132} (例

如相对于GND端子128-6)。在一个实施例中,在反馈端子FB128-7处感测的反馈电压 V_{FB132} 是代表功率转换器100的输出电压 V_{OUT108} 的按比例缩小的(例如被电阻分压电路按比例缩小的)电压。尽管图1的示例性次级控制器120感测功率转换器100的输出电压 V_{OUT108} ,但预期,在一些实施例中,次级控制器120可以感测其他输出量,诸如输出电流 I_{OUT109} 和/或功率转换器100的输出电压 V_{OUT108} 与输出电流 I_{OUT109} 的组合。

[0087] 如这里描述的,初级控制器118和次级控制器120可以运行以在启动之后调节功率转换器100的输出量(例如输出电压 V_{OUT108} 和/或输出电流 I_{OUT109})。例如,初级控制器118和次级控制器120可以运行以响应于所感测的反馈电压 V_{FB132} 来将输出电压 V_{OUT108} 调节到期望的输出电压值。一般,在输出电压 V_{OUT108} 下降到小于期望的输出电压值的一个值的情况下,初级控制器118和次级控制器120可以运行以增大输出电压 V_{OUT108} ,直到输出电压 V_{OUT108} 已经达到期望的输出电压值。尽管初级控制器118和次级控制器120可以响应于反馈电压 V_{FB132} 来调节输出电压 V_{OUT108} ,但在一些实施例中,初级控制器118和次级控制器120可以响应于所感测的输出电流 I_{OUT109} 和/或反馈电压 V_{FB132} 来调节输出电压 V_{OUT108} 和/或输出电流 I_{OUT109} 。

[0088] 功率转换器100可以被描述为运行在第一模式和第二模式之一中。当功率转换器100运行在该第一模式中时,初级控制器118和次级控制器120也可以被描述为运行在该第一模式中。当功率转换器100处于该第二模式中时,初级控制器118和次级控制器120也可以被描述为运行在该第二模式中。下文描述在功率转换器100的启动和运行期间初级控制器118和次级控制器120在该第一模式和该第二模式中的运行。

[0089] 在该第一模式中,初级控制器118控制功率开关122的状态,而次级控制器120可以处于掉电状态。一般,初级控制器118可以根据由初级控制器118的电路限定的切换模式(下文称为“初级切换模式”)来控制功率开关122的状态。例如,初级控制器118可以根据该初级切换模式来控制何时功率开关122被设置成接通状态以及何时功率开关122被设置成断开状态。该初级切换模式可以限定多种不同的切换参数。例如,该初级切换模式可以限定切换频率、接通时间、占空比或其他切换参数。在一些实施例中,该初级切换模式可以限定何时初级控制器118将功率开关122设置成接通状态,继而初级控制器118可以响应于一个或多个关断条件来将功率开关122设置成断开状态。在一些实施例中,该初级切换模式可以包含固定值。在其他实施例中,初级控制器118可以在运行期间更新该初级切换模式。

[0090] 在一些实施例中,次级控制器120可能在该第一模式期间(例如在启动期间)没有接收到足够的运行功率。在这些实施例中,次级控制器120可以不向初级控制器118传输控制信号 U_{CON136} 。因此,在该第一模式中,初级控制器118可以在不从次级控制器120接收控制信号 U_{CON136} 的情况下控制功率开关122的状态。

[0091] 在该第一模式期间,在初级控制器118根据初级切换模式来控制功率开关122的同时,能量被传递到功率转换器100的次级侧。在该第一模式期间,旁路电容器130可以被充电,趋于达到足以运行次级控制器120的电压。在该第一模式期间的一个时间段之后,旁路电压 V_{BP134} 达到足以运行次级控制器120的电路(例如逻辑电路)的水平。在次级控制器120已经上电之后,次级控制器120可以决定从初级控制器118取得对功率开关122的控制。

[0092] 总之,在该第一模式期间,在次级控制器120处于掉电状态的同时,初级控制器118可以控制功率开关122的状态。功率开关122根据初级切换模式的切换可以向次级侧传递能

量,以使得旁路电容器130被充电到足以运行次级控制器120的电压。初级控制器118和次级控制器120可以在本文描述的多种不同情形下运行在第一模式中。在一些实施例中,在功率转换器100的启动期间,初级控制器118和次级控制器120可以运行在该第一模式中。在本文描述的其他实施例中,初级控制器118可以避免在运行期间切换功率开关122,以使次级控制器120掉电。在这些实施例中,在次级控制器120已经掉电之后初级控制器118开始切换功率开关122时,初级控制器118和次级控制器120可以开始运行在该第一模式中。

[0093] 当次级控制器120开始运行时,功率转换器100可以从该第一模式过渡到第二模式。由初级控制器118和/或次级控制器120执行的从该第一模式过渡到该第二模式的运行可以被称为“过渡运行”。下文描述了多种不同的过渡运行。

[0094] 在完成一个过渡运行之后,功率转换器100可以运行在第二模式中。在该第二模式期间,次级控制器120控制何时功率开关122被设置成接通状态。例如,次级控制器120向初级控制器118传输控制信号 U_{CON136} ,这使得初级控制器118响应于每个控制信号 U_{CON136} 来将功率开关122设置成接通状态。换言之,在该第二模式中,初级控制器118可以被耦合以响应于从次级控制器120接收的每个控制信号 U_{CON136} 来将功率开关122设置成接通状态。因此,在该第二模式期间,初级控制器118可以已经停止根据初级切换模式切换功率开关122。取而代之,初级控制器118响应于由次级控制器120传输的控制信号 U_{CON136} 来将功率开关122设置成接通状态。

[0095] 在初级控制器118响应于控制信号 U_{CON136} 来将功率开关122设置成接通状态之后,初级控制器118可以确定何时将功率开关122设置成断开状态。例如,初级控制器118可以响应于所检测到的关断条件来将功率开关122设置回断开状态。在一些实施例中,关断条件可以包含开关电流的阈值量和/或功率开关122的阈值接通时间。

[0096] 在第二模式期间,当输出电压 V_{OUT108} 小于期望的输出电压值时,次级控制器120可以传输控制信号 U_{CON136} ,以增大输出电压 V_{OUT108} 。如上所述,初级控制器118响应于从次级控制器120接收到控制信号 U_{CON136} 来将功率开关122设置成接通状态,并后续将功率开关122设置成断开状态,这可以继而导致向功率转换器100的次级侧传递能量。向该次级侧传递能量可以使输出电压 V_{OUT108} 朝着期望的输出电压值增大。功率开关122可以继而由初级控制器118维持在断开状态,直到初级控制器118接收到另一个控制信号 U_{CON136} 。在该第二模式期间,当输出电压 V_{OUT108} 大于期望的输出电压值时,次级控制器120可以避免传输控制信号 U_{CON136} 。

[0097] 在一些实施例中,控制信号 U_{CON136} 可以由次级控制器120传输并由初级控制器118检测的脉冲。在这些实施例中,次级控制器120可以传输多个相继脉冲,该多个相继脉冲可以间隔开相似的或不同的时间量。初级控制器118可以响应于这些相继脉冲之中的每个脉冲来将功率开关122设置成接通状态。对于每个脉冲,初级控制器118确定何时将功率开关122设置成断开状态。

[0098] 初级控制器118响应于检测到关断条件来将功率开关122设置成断开状态。在一个实施例中,关断条件可以包含经过功率开关122的一个量的开关电流。在这个实施例中,初级控制器118可以感测当功率开关122处于接通状态时的开关电流的量。当功率开关122处于接通状态时该开关电流达到阈值电流限度时,初级控制器118可以继而将功率开关122设置成断开状态。在另一个实施例中,关断条件可以包含阈值量的接通时间。在这个实施例中,

初级控制器118可以被耦合以响应于控制信号 U_{CON136} 来将功率开关122设置成接通状态达该阈值量的接通时间,继而在该阈值量的接通时间已经过去之后将功率开关122设置成断开状态。尽管关断条件可以包含阈电流限度和/或阈值量的接通时间,但预期,初级控制器118可以响应于其他条件来将功率开关122设置成断开状态。在一些实施例中,该关断条件可以是固定量。在其他实施例中,初级控制器118可以调整该关断条件。

[0099] 在启动期间,初级控制器118和次级控制器120可以运行在第一模式中。初级控制器118可以在启动期间接收运行功率,而次级控制器120可能初始不接收足够的运行功率,因为次级侧的旁路电容器130可能没有被足够地充电。在启动期间,当次级控制器120处于掉电状态时,初级控制器118可以控制功率开关122的状态。例如,初级控制器118可以根据初级切换模式来控制功率开关122的状态。初级控制器118可以在启动期间控制功率开关122的切换,以向该次级侧传递能量,以将旁路电容器130充电。当旁路电压 V_{BP134} 达到足以运行次级控制器120的电压时,次级控制器120可以开始运行。

[0100] 在次级控制器120已经开始运行(即处于运行状态)之后,次级控制器120可以从初级控制器118取得对功率开关122的控制。在一些实施例中,次级控制器120可以感测参数(例如旁路电压 V_{BP134} 和/或输出电压 V_{OUT108}),以确定是否取得对功率开关122的控制。例如,当在过渡运行期间旁路电压 V_{BP134} 和/或输出电压 V_{OUT108} 处于足以防止次级控制器120掉电的水平时,次级控制器120可以决定取得对功率开关122的控制,在过渡运行中初级控制器118暂时避免根据初级切换模式来切换功率开关122,如图7A-7B中例示的。

[0101] 次级控制器120可以发起与初级控制器118的过渡运行,以从初级控制器118取得对功率开关122的控制。初级控制器118和次级控制器120可以被配置为以多种不同方式将控制从初级控制器118传递到次级控制器120。

[0102] 用于将初级控制器118和次级控制器120从第一模式过渡到第二模式的过渡运行可以包含由次级控制器120传输一个或多个控制信号 U_{CON136} 。在一些实施例中,次级控制器120可以检测功率开关122的切换,并相对于功率开关122的切换事件(例如接通/断开或断开/接通过渡)来调度该一个或多个控制信号 U_{CON136} 的传输。在其他实施例中,次级控制器120可以不相对于功率开关122的切换事件来调度一个或多个控制信号 U_{CON136} 。取而代之,次级控制器120可以在不监测功率开关122的切换的情况下传输一个或多个控制信号 U_{CON136} 。

[0103] 尽管这里例示和描述的过渡运行包含从次级控制器120向初级控制器118传输控制信号 U_{CON136} ,但预期,在一些实施方式中,次级控制器120可以向初级控制器118传输与控制信号 U_{CON136} 不同的信号,以发起和完成过渡运行。例如,为了发起和/或完成过渡运行,次级控制器120可以传输在振幅、持续时间、频率内容或其他参数方面与控制信号 U_{CON136} 不同的信号。在一个实施例中,在过渡运行期间传输的信号可以不同于图7A-7B中用来例示控制信号 U_{CON136} 的示例性脉冲。

[0104] 在一些实施例中,初级控制器118可以在过渡运行期间确认收到传输的一个或多个控制信号 U_{CON136} 。例如,初级控制器118可以调整功率开关122的切换模式,以向次级控制器120指示已经接收到一个或多个控制信号 U_{CON136} 。在初级控制器118与次级控制器120之间的通信链路提供信号149从初级控制器118向次级控制器120的传输的实施例中,初级控制器118可以经由该通信链路将一个或多个信号传输回次级控制器120,以确认收到由次级

控制器120传输的一个或多个控制信号 U_{CON136} 。现在描述多种不同的示例性过渡运行。

[0105] 在一些实施方式中,次级控制器120可以在过渡运行期间向初级控制器118传输单个控制信号 U_{CON136} 。在这个实施例中,初级控制器118可以响应于该单个控制信号 U_{CON136} 来停止根据初级切换模式切换功率开关122。初级控制器可以继而等待后续控制信号 U_{CON136} ,并响应于每个后续控制信号 U_{CON136} 来将功率开关122切换成接通状态。

[0106] 在一些实施方式中,次级控制器120可以在过渡运行期间发送多个控制信号 U_{CON136} 。在这些实施方式中,初级控制器118可以响应于接收到多个控制信号 U_{CON136} 来停止根据初级切换模式切换功率开关122。初级控制器118可以继而响应于每个后续接收的控制信号 U_{CON136} 来开始将功率开关122设置成接通状态。

[0107] 在一些实施方式中,次级控制器120可以在过渡运行期间相对于所检测到的功率开关122的切换事件来调度一个或多个控制信号 U_{CON136} 的传输。在这些实施例中,次级控制器120可以监测在次级侧(例如在次级绕组116的节点147处)形成的电压,以确定功率开关122何时切换状态。在初级控制器118接收到相对于功率开关122的切换事件被安排时间的一个或多个控制信号 U_{CON136} 之后,初级控制器118可以停止根据初级切换模式进行切换,并等待后续控制信号 U_{CON136} 。初级控制器118可以继而响应于每个后续控制信号 U_{CON136} 来将功率开关122设置成接通状态。参照图7A-7B例示和描述了次级控制器120相对于功率开关122的切换事件来调度一个或多个控制信号 U_{CON136} 的传输的一个示例性实施方式。尽管如上所述,在一些实施方式中次级控制器120可以相对于功率开关122的切换事件来调度控制信号 U_{CON136} 的传输,但在其他实施方式中,次级控制器120可以不相对于功率开关122的切换事件来调度控制信号 U_{CON136} 的传输。

[0108] 在一些实施例中,初级控制器118可以在过渡运行期间确认收到由次级控制器120传输的控制信号 U_{CON136} 。例如,初级控制器118可以在过渡运行期间通过将功率开关122的切换模式调整为与第一模式的初级切换模式不同,来确认收到控制信号 U_{CON136} 。在一个实施例中,如图7A-7B中例示的,初级控制器118通过响应于从次级控制器120接收到一个或多个控制信号 U_{CON136} 来停止切换功率开关122达一个时间段(即“安静时期”),来确认收到控制信号 U_{CON136} 。在其他实施例中,初级控制器118可以在过渡运行期间通过相对于功率开关122根据初级切换模式被切换的速率提高或降低功率开关122被切换的速率,来确认收到一个或多个控制信号 U_{CON136} 。

[0109] 在初级控制器118在过渡运行期间确认收到控制信号 U_{CON136} 的实施例中,初级控制器118可以在确认收到控制信号 U_{CON136} 之后停止根据初级切换模式来切换功率开关122。初级控制器118可以继而等待后续控制信号 U_{CON136} 。在次级控制器120检测到初级控制器118的确认(例如安静时期或修改的切换模式)之后,当输出电压 V_{OUT108} 小于期望的输出电压值时,次级控制器120可以开始向初级控制器118传输控制信号 U_{CON136} 。初级控制器118可以继而响应于每个控制信号 U_{CON136} 来将功率开关122切换成接通状态。

[0110] 尽管初级控制器118可以通过修改功率开关122的切换模式来确认收到一个或多个控制信号,但在一些实施例中,初级控制器118可以以其他方式确认收到一个或多个控制信号 U_{CON136} 。例如,如果初级控制器118与次级控制器120之间的通信链路允许从初级控制器118向次级控制器120传输信号,则初级控制器118可以通过经由该通信链路将确认信号149传输回次级控制器120来确认收到一个或多个控制信号 U_{CON136} 。在这个实施例中,初级

控制器118可以向次级控制器120发送确认信号149就停止切换功率开关122,并等待后续控制信号 U_{CON136} 。在次级控制器120经由该通信链路从初级控制器118接收到确认信号149之后,次级控制器120可以开始生成控制信号 U_{CON136} ,以控制何时功率开关122被设置成接通状态。初级控制器118可以响应于后续接收的控制信号 U_{CON136} 来将功率开关122设置成接通状态。

[0111] 在从第一模式的过渡运行完成之后,功率转换器100可以运行在第二模式中。在该第二模式中,次级控制器120可以向初级控制器118传输控制信号 U_{CON136} ,以控制何时功率开关122被设置成接通状态。例如,当输出电压 V_{OUT108} 小于期望的输出电压值时,次级控制器120可以传输控制信号 U_{CON136} 。响应于每个控制信号 U_{CON136} ,初级控制器118可以将功率开关122设置成接通状态,并后续响应于检测到关断条件来将功率开关122设置成断开状态。在该第二模式中,当输出电压 V_{OUT108} 大于期望的输出电压值时,次级控制器120可以避免传输控制信号 U_{CON136} 。

[0112] 在正常运行期间,功率转换器100在启动之后从第一模式过渡到第二模式之后可以保持处于该第二模式中。然而,在一些情况下,功率转换器100可以从该第二模式过渡回到该第一模式。下文描述了功率转换器100从该第二模式过渡回到该第一模式的情形。

[0113] 在一些实施例中,当初级控制器118检测到次级控制器120正在经历潜在的异常运行状况时,初级控制器118可以从次级控制器120取得对功率开关122的控制。初级控制器118可以基于在一个时间段上接收到的控制信号 U_{CON136} 的数目来确定次级控制器120正在经历潜在的异常运行状况。在一个实施例中,当初级控制器118在一个时间段内没有接收到控制信号 U_{CON136} 时,初级控制器118可以确定次级控制器120正在经历潜在的异常运行状况。在另一个实施例中,当初级控制器118在一个时间段上在接收过多数目(例如大于阈值数目)的控制信号 U_{CON136} 时,初级控制器118可以确定次级控制器120正在经历潜在的异常运行状况。

[0114] 在一些实施例中,当初级控制器118在一阈值量的时间内没有接收到控制信号 U_{CON136} 时,初级控制器118可以取得对功率开关122的控制,并开始根据初级切换模式来控制功率开关122。根据初级切换模式来控制功率开关122可以向次级侧传递能量,并防止输出电压 V_{OUT108} 下降到期望的输出电压值以下。在其他实施例中,初级控制器118可以维持功率开关122处于断开状态,以使次级控制器120掉电。继而初级控制器118可以根据初级切换模式来控制功率开关122,以使次级控制器120再次开始运行。在次级控制器120进入运行状态之后,次级控制器120可以发起过渡运行,以收回对功率开关122的控制。

[0115] 在初级控制器118在一个时间段内接收到过多数目(例如大于阈值数目)的控制信号 U_{CON136} 的情况下,初级控制器118可以忽略后续控制信号 U_{CON136} ,并维持功率开关122处于断开状态。在足够量的时间内维持功率开关122处于断开状态可以使次级控制器120损失运行功率。在这些实施例中,在足以使次级控制器120掉电的一个时间段已经过去之后,初级控制器118可以恢复切换功率开关118(例如根据初级切换模式)。一旦旁路电容器130已经被再充电到足够的水平,次级控制器120就可以继而开始运行。如上所述,在次级控制器120开始运行之后,次级控制器120可以执行过渡运行以取得对功率开关122的控制。如果次级控制器120在又上电之后开始发送过多的控制信号 U_{CON136} ,初级控制器118可以再次取得对功率开关122的控制。这个过程可以被重复,直到功率转换器100与电源断开且初级控制

器118掉电。

[0116] 在一个时间段上的过多数目的控制信号 U_{CON136} 可以指示功率转换器100的次级侧的短路。在一个时间段上的过多数目的控制信号 U_{CON136} 也可以导致初级控制器118向次级侧传递过多量的能量。通过忽略该过多数目的控制信号 U_{CON136} ,初级控制器118可以防止向次级侧传递过多量的能量。

[0117] 因此,初级控制器118可以被耦合,以当初级控制器118在一个时间段上检测到过多数目的控制信号 U_{CON136} 和/或在一阈值量的时间内没有检测到控制信号 U_{CON136} 时,从第二模式过渡到第一模式。在初级控制器118从第一模式过渡到第二模式的实施例中,次级控制器120可以检测初级控制器118从该第一模式到该第二模式的过渡。例如,次级控制器120可以检测当初级控制器118从该第一模式过渡到该第二模式时功率开关122的切换模式的变化。在初级控制器118响应于在一个时间段上接收到过多数目的控制信号 U_{CON136} 而停止切换功率开关122的实施例中,次级控制器120一检测到功率开关122已经响应于所传输的控制信号 U_{CON136} 而停止切换,就可以检测到初级控制器118已经过渡到该第一模式。在初级控制器118在一阈值量的时间内没有接收到控制信号 U_{CON136} 之后开始切换功率开关122的实施例中,次级控制器120一检测到根据初级切换模式的切换,就可以检测到初级控制器118已经过渡到该第一模式。

[0118] 在一些实施例中,次级控制器120可以被耦合以确认初级控制器118从第二模式到第一模式的过渡。例如,次级控制器120可以被耦合以通过修改控制信号 U_{CON136} 向初级控制器118的传输来确认初级控制器118的过渡。在次级控制器120在一个时间段上在发送过多数目的控制信号 U_{CON136} 的一个实施例中,次级控制器120可以通过一检测到初级控制器118到第一模式的过渡就停止控制信号 U_{CON136} 的传输,来确认初级控制器118从第二模式到第一模式的过渡。在初级控制器118在一阈值量的时间内没有检测到控制信号 U_{CON136} 的一个实施例中,次级控制器120可以通过发起一个后续过渡运行来确认初级控制器118到第一模式的过渡。

[0119] 现在参照图2更详细地描述初级控制器118和次级控制器120中包含的示例性电路的运行。图2示出了示例性集成电路封装件224,该集成电路封装件224包含功率开关222(例如功率MOSFET222)、示例性初级控制器218和示例性次级控制器220。集成电路封装件224外部的电路可以电耦合到集成电路封装件224的封装件端子D226-1、S226-2、PBP226-3、FWD226-4、BP226-5、GND226-6和FB226-7(统称为“封装件端子226”)。

[0120] 封装件端子226可以连接到包含在集成电路封装件224内部的功率开关222、初级控制器218和次级控制器220的端子D228-1、S228-2、PBP228-3、FWD228-4、BP228-5、GND228-6和FB228-7。封装件端子226可以以与图1中例示的相似的方式被连接到功率转换器。因此,对集成电路封装件224的描述在下文中可以参照图1的功率转换器100的部件。

[0121] 初级控制器218包含初级开关控制电路250,该初级开关控制电路250生成开关驱动信号 $U_{DRIVE238}$ 以设置功率开关222的状态。初级控制器218还包含电流感测电路252、初级切换模式电路254和信号监测电路256。次级控制器220包含次级开关控制电路258、充电电路260和电压检测电路262。接地端子GND228-6可以是用于次级控制器220的电路的输出返回。

[0122] 初级控制器218可以包含图2中未例示的另外的电路。例如,初级控制器218可以包

含耦合到端子PBP228-3以向初级控制器218提供功率的电路。次级控制器220也可以包含图1-2中未例示的另外的电路和/或端子。例如,次级控制器220可以包含被耦合到输出端子104-1的额外的端子。该额外的端子可以被耦合到充电电路260,以从输出端子104-1对旁路电容器130充电。例如,充电电路260可以从前向端子FWD228-4和/或耦合到输出端子104-1的该额外的端子对旁路电容器130充电。在运行期间从输出端子104-1对旁路电容器130充电可以比从前向端子FWD228-4对旁路电容器130充电更有效率。

[0123] 电流感测电路252可以感测当功率开关222处于接通状态时经过功率开关222的开关电流 $I_{\text{SWITCH}264}$ 的量。初级开关控制电路250可以基于由电流感测电路252感测到的电流的量来确定,经过功率开关222的电流的量何时已经达到阈电流限度。在一些实施例中,在第一模式和/或第二模式中,当由电流感测电路252感测到的电流的量达到该阈电流限度时,初级开关控制电路250可以将功率开关222设置成断开状态。

[0124] 初级切换模式电路254代表限定初级切换模式的电路。该初级切换模式可以限定切换频率、功率开关接通时间、占空比或其他切换参数。在一些实施例中,该初级切换模式可以包含固定值。在其他实施例中,初级开关控制电路250可以在运行期间修改该初级切换模式。在一些实施例中,该功率开关接通时间可以是近似5微秒,最大占空比可以是近似65%,且该频率可以是近似132kHz。

[0125] 现在描述初级控制器218和次级控制器220在第一模式和第二模式中的运行。在该第一模式中,初级开关控制电路250根据初级切换模式来控制功率开关222的状态。换言之,初级开关控制电路250在该第一模式中根据该初级切换模式来生成开关驱动信号 $U_{\text{DRIVE}238}$ 。在一些实施例中,初级开关控制电路250可以在该第一模式中根据该初级切换模式以及由电流感测电路252感测到的电流的量来控制功率开关222的状态。例如,该初级切换模式可以限定何时将功率开关222设置成接通状态,且初级开关控制电路250可以响应于经过功率开关222的开关电流 $I_{\text{SWITCH}264}$ 的量来将功率开关222设置成断开状态。

[0126] 当在第一模式中初级控制器218控制功率开关222的状态时,次级控制器220可以处于掉电状态。在该第一模式期间(例如在启动期间或在损失功率之后)次级控制器220可以处于掉电状态,是因为次级控制器220可能没有从旁路电容器130接收到足够的运行功率。例如,在该第一模式中,次级开关控制电路258可能不具有足够的运行功率来向初级开关控制电路250传输控制信号 $U_{\text{CON}236}$ 。因此,在该第一模式中,初级开关控制电路250可以在不从次级开关控制电路258接收控制信号 $U_{\text{CON}236}$ 的情况下控制功率开关222的状态。

[0127] 在该第一模式期间,当初级开关控制电路250根据初级切换模式来控制功率开关222时,能量被传递到功率转换器100的次级侧。充电电路260可以被耦合以在初级开关控制电路250切换功率开关222时,使用前向端子FWD228-4对旁路电容器130充电。因此,在该第一模式期间,充电电路260可以运行以将旁路电容器130充电使其趋于达到足以运行次级控制器220的电路(例如电压检测电路262和/或次级开关控制电路258)的电压。在该第一模式期间的一个时间段之后,旁路电压 $V_{\text{BP}134}$ 达到足以运行次级控制器220的电路的电压。

[0128] 充电电路260可以将旁路电压 $V_{\text{BP}134}$ 调节在足以运行次级控制器220的电路的电压。在一些实施例中,次级控制器220可以包含被耦合到输出端子104-1的额外的端子。在这些实施例中,充电电路260可以被耦合以使用前向端子FWD228-4和/或被耦合到输出端子104-1的该额外的端子来调节旁路电压 $V_{\text{BP}134}$ 。

[0129] 在次级控制器220开始运行之后,次级开关控制电路258可以决定从初级开关控制电路250取得对功率开关222的控制。电压检测电路262可以感测次级侧的参数,以确定功率转换器100是否正在以允许次级开关控制电路258可靠地执行过渡运行的方式运行。在一些实施例中,电压检测电路262可以基于旁路电压 V_{BP134} 和/或输出电压 V_{OUT108} 之中的至少一个来向次级开关控制电路258指示何时发起过渡运行。例如,当旁路电压 V_{BP134} 大于阈旁路电压时,电压检测电路262可以向次级开关控制电路258指示发起过渡运行。作为另一个实施例,当输出电压 V_{OUT108} 大于阈输出电压时,电压检测电路262可以向次级开关控制电路258指示发起过渡运行。在其他实施例中,当旁路电压 V_{BP134} 大于阈旁路电压和当输出电压 V_{OUT108} 大于阈输出电压时,电压检测电路262可以向次级开关控制电路258指示发起过渡运行。

[0130] 当电压检测电路262向次级开关控制电路258指示过渡运行可以被可靠地执行时,次级开关控制电路258可以发起过渡运行。初级开关控制电路250和次级开关控制电路258可以如上所述实施针对初级控制器218和次级控制器220的过渡运行。下文中参照图7A-7B例示和描述可以由初级开关控制电路250和次级开关控制电路258实施的一个示例性过渡运行。

[0131] 在次级开关控制电路258和初级开关控制电路250实施过渡运行之后,初级控制器218和次级控制器220可以运行在第二模式中。在该第二模式期间,初级开关控制电路250可以停止根据初级切换模式切换功率开关222。取而代之,初级开关控制电路250响应于由次级开关控制电路258传输的控制信号 U_{CON236} 来将功率开关222设置成接通状态。例如,在该第二模式中,次级开关控制电路258向初级开关控制电路250传输控制信号 U_{CON236} ,这导致初级开关控制电路250响应于每个控制信号 U_{CON236} 来将功率开关222设置成接通状态。因此,在该第二模式期间,次级开关控制电路258可以控制何时功率开关222被初级开关控制电路250设置成接通状态。

[0132] 在初级开关控制电路250响应于控制信号 U_{CON236} 来将功率开关222切换成接通状态之后,初级开关控制电路250可以响应于所检测到的关断条件来将功率开关222切换回断开状态。在一些实施例中,关断条件可以包含开关电流 $I_{SWITCH264}$ 的阈值量和/或功率开关222的阈值接通时间。初级开关控制电路250可以继而维持功率开关222处于断开状态,直到初级开关控制电路250接收到另一个控制信号 U_{CON236} 。

[0133] 次级开关控制电路258接收代表输出电压 V_{OUT108} 的反馈电压 V_{FB132} 。在第二模式期间,当次级开关控制电路258确定功率转换器100的输出电压 V_{OUT108} 小于期望的输出电压值时,次级开关控制电路258可以传输控制信号 U_{CON236} 。当输出电压 V_{OUT108} 大于期望的输出电压值时,次级开关控制电路258可以避免传输控制信号 U_{CON236} 。

[0134] 如上所述,当初级控制器218检测到次级控制器220正在经历潜在的异常运行状况时,初级控制器218可以从次级控制器220取得对功率开关222的控制。潜在的异常运行状况可以由初级控制器218接收的控制信号 U_{CON236} 的数目来指示。初级控制器218包含监测控制信号 U_{CON236} 的数目的信号监测电路256。

[0135] 信号监测电路256可以基于在一个时间段期间接收到的控制信号 U_{CON236} 的数目来检测潜在的异常运行状况。信号监测电路256可以向初级开关控制电路250指示何时检测到潜在的异常运行状况。在一个实施例中,当信号监测电路256在一个时间段内没有接收到控

制信号 U_{CON236} 时,信号监测电路256可以确定次级控制器220正在经历潜在的异常运行状况。在另一个实施例中,当信号监测电路256在一个时间段上在接收过多数目(例如大于阈值数目)的控制信号 U_{CON236} 时,信号监测电路256可以确定次级控制器220正在经历潜在的异常运行状况。

[0136] 下文参照图3-7B描述初级控制器218和次级控制器220在功率转换器100的启动期间和之后的运行。图6例示了初级控制器218可以取回对功率开关222的控制的情形。图7A-7B例示了一个示例性过渡运行。

[0137] 图3是描述初级控制器218从启动直到初级控制器218运行在第二模式中的运行的流程图。在方法300开始之前,可以假定旁路电容器130被放电到不足以运行次级控制器220的电压水平。在块302中,输入电压 V_{IN106} 被引入到功率转换器100。在块304中,初级开关控制电路250根据初级切换模式来控制功率开关222。

[0138] 当在块304中初级开关控制电路218正在控制功率开关222时,次级控制器220可以在次级控制器220从掉电状态过渡到运行状态之后发起过渡运行。在块306中,初级开关控制电路250确定是否过渡运行已经被发起和是否该过渡运行已被完成。如上所述,在一些实施例中,过渡运行可以包含由初级开关控制电路250接收一个或多个控制信号 U_{CON236} 。在一些实施例中,初级开关控制电路250可以确定是否所接收的控制信号 U_{CON236} 是相对于切换事件被接收的,以确定是否过渡运行被完成。在上述一些实施例中,初级开关控制电路250可以在过渡运行期间生成确认(例如修改的切换模式)。

[0139] 在初级开关控制电路250在块306中确定过渡运行完成之后,初级开关控制电路250可以运行在第二模式中。在该第二模式中,在块308中初级开关控制电路250可以等待接收控制信号 U_{CON236} 。在块310中,初级开关控制电路250响应于所接收的控制信号 U_{CON236} 来将功率开关222设置成接通状态。在块312中,初级开关控制电路250响应于检测到关断条件来将功率开关222设置成断开状态。在块308中,初级开关控制电路250可以继而等待另一个控制信号 U_{CON236} 。

[0140] 图4是描述次级控制器220从启动直到次级控制器220运行在第二模式中的运行的流程图。在方法400开始之前,可以假定旁路电容器130被放电到不足以运行次级控制器220的电压水平。在块402中,电压检测电路262感测次级侧的电压(例如旁路电压 V_{BP134} 和/或输出电压 V_{OUT108}),并确定是否所感测到的电压足以发起过渡运行。如果所感测到的电压不足以发起过渡运行,在块402中电压检测电路262继续感测该电压。

[0141] 如果所感测到的电压足以发起过渡运行,则电压检测电路262向次级开关控制电路258指示发起过渡运行。在块404中,次级开关控制电路258发起过渡运行。在块406中,次级开关控制电路258确定是否过渡运行被完成。在一些实施例中,次级开关控制电路258可以通过在不接收确认的情况下传输一个或多个控制信号 U_{CON236} 来发起并完成过渡运行。在其他实施例中,当次级开关控制电路258检测到确认时,次级开关控制电路258可以确定过渡运行被完成。在一些实施例中,次级开关控制电路258可以通过检测功率开关222的切换模式的修改来检测确认。在这些实施例中,次级开关控制电路258可以监测次级侧的指示功率开关222的切换的电压,诸如次级绕组116的节点147处的电压。

[0142] 如果过渡运行失败,则在块402中次级控制器220可以继续运行。如果过渡运行成功,则在块408中次级控制器220运行在第二模式中。在块408中,次级开关控制电路258感测

功率转换器100的输出量(例如输出电压 V_{OUT108})。在块408中,次级开关控制电路258确定是否所感测到的输出量(例如输出电压 V_{OUT108})小于期望的输出量(例如期望的输出电压值)。如果在块410中所感测到的输出量小于期望的输出量,则次级开关控制电路258在块412中传输控制信号 U_{CON236} ,并返回以在块408中感测功率转换器100的输出量。如果在块410中所感测到的输出量不小于期望的输出量,则次级开关控制电路258返回以在块408中感测该输出量。

[0143] 图5是描述初级控制器218和次级控制器220从启动直到初级控制器218和次级控制器220运行在第二模式中的运行的流程图。在方法500开始之前,可以假定旁路电容器130被放电到不足以运行次级控制器220的电压水平。在块502中,输入电压 V_{IN106} 被施加到功率转换器100。在块504中,初级开关控制电路250根据初级切换模式来控制功率开关222。

[0144] 当在块504中初级开关控制电路250正在控制功率开关222时,电压检测电路262感测次级侧的电压(例如旁路电压 V_{BP134} 和/或输出电压 V_{OUT108}),并确定是否所感测到的电压足以发起过渡运行。如果所感测到的电压不足以发起过渡运行,则在块506中电压检测电路262继续感测该电压。

[0145] 如果所感测到的电压足以发起过渡运行,则电压检测电路262向次级开关控制电路258指示发起过渡运行。在块508中,初级控制器218和次级控制器220执行过渡运行。在块508中执行过渡运行之后,初级控制器218和次级控制器220运行在第二模式中。

[0146] 在第二模式中,次级开关控制电路258感测功率转换器100的输出量,并在所感测到的输出量小于期望的输出量时,向初级开关控制电路250传输控制信号 U_{CON236} 。在第二模式中,在块510中初级开关控制电路250可以等待接收控制信号 U_{CON236} 。在块512中,初级开关控制电路250响应于所接收到的控制信号 U_{CON236} 来将功率开关222设置成接通状态。在块514中,初级开关控制电路250响应于检测到关断条件来将功率开关222设置成断开状态。在块510中,初级开关控制电路250可以继而等待另一个控制信号 U_{CON236} 。

[0147] 图6是描述初级控制器218在第二模式中的运行的流程图。具体地,图6是方法600,它例示了初级控制器218对潜在的异常运行状况的检测。在方法600的开始,可以假定初级控制器218运行在第二模式中。因此,在块602中,初级开关控制电路250接收控制信号 U_{CON236} ,响应于该控制信号 U_{CON236} 来将功率开关222设置成接通状态,并响应于关断条件来将功率开关222设置成断开状态。

[0148] 在块604中,信号监测电路256确定是否接收到一个控制信号 U_{CON236} 。如果在块604中尚未接收到控制信号 U_{CON236} ,则在块606中,信号监测电路256确定自从最后的控制信号被接收到起是否已经过去第一时间段(例如阈时间段)。在一些实施例中,该第一时间段可以是近似1秒。如果自从接收到控制信号起已经过去了该第一时间段,则信号监测电路256可以向初级开关控制电路250指示,自从最后接收的控制信号起已经过去了该第一时间段。响应于来自信号监测电路256的指示,在块607中初级开关控制电路250可以开始切换功率开关222(例如根据初级切换模式)达第二时间段,以维持输出电压 V_{OUT108} 处于足以运行次级控制器220的水平。如果在块606中没有检测到控制信号是因为次级控制器220掉电,则在块607中功率开关222的切换可以将次级控制器220上电并允许次级控制器220发起过渡运行。如果在块607中因功率开关222的切换过渡运行被发起和完成,则方法600可以被重启以在块602中继续。如果在块607中没有因功率开关222的切换而发起过渡运行,则方法600可

以在块612中继续。

[0149] 在块612中,初级开关控制电路250可以在第三时间段内避免切换功率开关222。在该第三时间段期间——其中初级开关控制电路250避免切换功率开关222,次级控制器220可以掉电。在块614中,初级开关控制电路250可以继而根据初级切换模式来开始切换功率开关222,以使得次级控制器220被上电。在次级控制器220被上电之后,次级控制器220可以发起过渡运行,以取回对功率开关222的控制。

[0150] 如果在块604中接收到控制信号 U_{CON236} ,则在块608中初级开关控制电路250可以响应于控制信号 U_{CON236} 来将功率开关222设置成接通状态,继而响应于所检测到的关断条件来将功率开关222设置成断开状态。在块610中,信号监测电路256确定是否在一个时间段上已经接收到过多数目的控制信号 U_{CON236} 。例如,如果在一个时间段上已经接收到大于阈值数目的控制信号 U_{CON236} ,则信号监测电路256可以确定已经接收到过多数目的控制信号 U_{CON236} 。作为另一个实施例,如果在一个时间段上已经以接近最大速率接收到控制信号 U_{CON236} ,则信号监测电路256可以确定已经接收到过多数目的控制信号 U_{CON236} 。在一个实施方式中,过多数目的控制信号可以是在64毫秒的时间段内近似8000个控制信号(例如 2^{13} 个控制信号)。

[0151] 如果在块610中信号监测电路256确定已经接收到过多数目的控制信号 U_{CON236} ,则在块612中初级开关控制电路250可以在一个时间段内避免切换功率开关222,即使接收到另外的控制信号 U_{CON236} 。在初级开关控制电路250避免切换功率开关222的该时间段期间,次级控制器220可以掉电。在该时间段已经过去之后,在块614中初级开关控制电路250开始根据初级切换模式来控制功率开关222。在方法600的结束处,初级控制器218和次级控制器220运行在第一模式中。

[0152] 图7A例示了初级控制器218和次级控制器220在第一模式、过渡运行和第二模式期间的运行。图7B示出了在该过渡运行期间发送的、相对于功率开关222的切换事件被安排时间的控制信号的放大视图。可以假定在时间零处或之前输入电压 V_{IN106} 已经被施加。

[0153] 图7的过渡运行可以包含下列运行。在图7A-7B中例示的过渡运行期间,次级控制器220传输多个(例如2个)控制信号 U_{CON765} 、 U_{CON766} 。该多个控制信号 U_{CON765} 、 U_{CON766} 之中的每个都相对于功率开关222的一个切换事件(例如关断事件)被调度。附加地,初级控制器218通过改变功率开关222的切换模式来确认收到控制信号 U_{CON765} 、 U_{CON766} 。具体地,初级控制器218在“安静时期”内避免切换功率开关222,以确认收到控制信号 U_{CON765} 、 U_{CON766} 。

[0154] 现在参照图7A,在时间零,初级控制器218和次级控制器220运行在第一模式中。因此,初级控制器218在根据初级切换模式控制功率开关222。开关电流 $I_{SWITCH264}$ 的波形例示了何时功率开关222被设置成接通状态(例如在767处)以及何时功率开关222被设置成断开状态(例如在768处)。

[0155] 次级控制器220通过传输控制信号 U_{CON765} 来发起过渡运行。具体地,在功率开关222在769处被设置成断开状态之后,次级控制器220在时间窗口(即“接收窗口”)期间传输控制信号 U_{CON765} 。在图7A-7B中例示的实施例中,初级控制器218可以被配置为将一个控制信号识别为过渡运行的开始,如果该控制信号在接收窗口770期间被接收的话。由于控制信号 U_{CON765} 是在接收窗口770期间被接收,该过渡运行在771处开始。

[0156] 响应于检测到功率开关222在772处切换成断开状态,次级控制器220传输第二控

制信号 U_{CON766} 。具体地,次级控制器220检测到功率开关222切换成断开状态,并在接收窗口773内传输控制信号766。初级控制器218在接收窗口773内检测控制信号766。初级控制器218确认收到在接收窗口770、773内接收的两个相继控制信号 U_{CON765} 、766,并开始运行在第二模式中。如图7A中例示的,初级控制器218通过在图7A中被称为“安静时期”的一段持续时间内避免切换功率开关222来确认收到控制信号 U_{CON765} 、766。

[0157] 次级控制器220检测由初级控制器218生成的修改的切换模式(即安静时期),并将该修改的切换模式识别为确认。具体地,次级控制器220检测到在传输控制信号766之后没有切换事件,并将这个安静时期识别为确认。次级控制器220继而过渡到第二模式。在该第二模式期间,当输出电压 V_{OUT108} 下降到期望的输出电压值以下时,次级控制器220生成控制信号 U_{CON774} 、775。初级控制器218响应于接收到控制信号 U_{CON774} 、775在776和777处将功率开关222设置成接通状态。初级控制器218可以响应于检测到关断条件在778和779处将功率开关222设置成断开状态。

[0158] 图7B用图形例示了接收窗口770、773。接收窗口770、773可以是如下时间窗口:该时间窗口被设置为在功率开关222被设置成断开状态之后的一个时间段出现。从功率开关222被设置成断开状态起直到接收窗口770、773开始的时间段可以被称为“消隐时期780、781”。消隐时期780、781可以是其间初级控制器218被配置为忽略从次级控制器220传输的控制信号的时间段。消隐时期780、781可以由初级控制器218实施,以防止将切换噪声解释为有效的控制信号。在功率开关222的切换可以在初级控制器218和/或通信链路中引起噪声的情形中,这样的噪声可以在消隐时期780、781内出现,因此可以被初级控制器218忽略。在一些实施例中,图7A的安静时期的持续时间可以是近似10微秒。在一些实施例中,接收窗口770、773之中的每一个的持续时间都可以是近似2微秒。在一些实施例中,消隐时期780、781的持续时间可以是近似0.7微秒。尽管参照图7A-7B描述和例示了该安静时期、接收窗口770、773和消隐时期780、781的示例性持续时间,但预期,在其他实施例中可以实施其他持续时间。

[0159] 图8A-8B示出了可以借以传输控制信号 U_{CON236} 的示例性通信链路。图8A-8B中例示的通信链路可以被包含在集成电路封装件224中。图8A示出了集成电路封装件224中包含的一个示例性磁耦合通信链路。集成电路封装件224包含彼此流电隔离的初级导电回路882和次级导电回路883。在一些实施例中,初级导电回路882和次级导电回路883可以是集成电路封装件224的引线框架的隔离导体。

[0160] 初级导电回路882可以被耦合到初级开关控制电路250。次级导电回路883可以被耦合到次级开关控制电路258。尽管初级导电回路882和次级导电回路883彼此流电隔离,但初级导电回路882和次级导电回路883可以被磁耦合,以使得经过次级导电回路883的电流的变化可以引起初级导电回路882中的电压/电流的变化。次级开关控制电路258可以通过引起经过次级导电回路883的电流的变化来向初级开关控制电路250传输控制信号 U_{CON236} 。初级开关控制电路250可以通过检测初级导电回路882中的感应电压和/或电流来检测控制信号 U_{CON236} 。在一些实施例中,初级控制器218可以通过经由通信链路将确认信号149传输回次级控制器220来确认收到一个或多个控制信号 U_{CON236} 。

[0161] 图8B示出了集成电路封装件224中包含的一个示例性光耦合通信链路。集成电路封装件224包含彼此流电隔离的光发射器884(例如发光二极管)和光接收器885(例如光电

晶体管)。光接收器885可以被耦合到初级开关控制电路250。光发射器884可以被耦合到次级开关控制电路258。光发射器884可以发射光,该光被光接收器885检测。次级开关控制电路258可以通过激励光发射器884发射光来向初级开关控制电路250传输控制信号 U_{CON236} 。通过检测光接收器885响应于光发射器884发射的光而生成的感应电压和/或电流,初级开关控制电路250可以检测控制信号 U_{CON236} 。预期,可以使用不同于磁耦合通信链路和光耦合通信链路的通信链路技术。例如,电容性耦合可以被用作初级控制器218与次级控制器220之间的通信链路。

[0162] 图9示出了本公开内容的一个示例性非隔离式功率转换器985,该功率转换器985包含初级控制器986和次级控制器987。尽管初级控制器986和次级控制器987被例示为被包含在具有降压转换器拓扑的非隔离式功率转换器985中,但预期,初级控制器986和次级控制器987可以被包含在具有其他拓扑的非隔离式功率转换器中。初级控制器986和次级控制器987可以以与上述初级控制器218和次级控制器220相似的方式运行。

[0163] 功率转换器985包含输入端子988-1、988-2(统称为“输入端子988”)和输出端子989-1、989-2(统称为“输出端子989”)。输入端子988被耦合以接收输入电压 V_{IN990} ,该输入电压可以是经整流、经滤波的交流电压。输出端子989向负载(未示出)提供输出电压 V_{OUT991} 。

[0164] 功率转换器985包含输入电容器992、输出电容器993、电感器994、二极管995和功率开关996。如图9中例示的,功率开关996、二极管995和电感器994被耦合以作为降压转换器电路运行。次级控制器987可以被耦合以从节点997和/或旁路电容器998接收运行功率。次级控制器987还可以经由反馈电路999被耦合到输出端子989,该反馈电路999允许次级控制器987感测功率转换器985的输出量(例如输出电压 V_{OUT991})。

[0165] 初级控制器986和次级控制器987彼此流电隔离。尽管在图9中的实施例中示出的功率转换器985的输出未与输入隔离,但初级控制器986与次级控制器987之间的流电隔离允许功率开关996相对于输出接地浮置,这可以免除对复杂的电平移位电路的需要。次级控制器987可以经由通信链路(例如磁耦合通信链路、电容性耦合通信链路或光耦合通信链路)向初级控制器986传输控制信号 $U_{CON1000}$ 。初级控制器986可以通过生成开关驱动信号 $U_{DRIVE1001}$ 来控制功率开关996的状态。

[0166] 初级控制器986和次级控制器987可以运行,以按照与上文针对初级控制器218和次级控制器220所述的相似的方式调节功率转换器985的输出量。例如,初级控制器986和次级控制器987可以运行在第一模式中,在第一模式中初级控制器986根据初级切换模式来控制功率开关996的状态。初级控制器986和次级控制器987可以实施过渡运行,以从该第一模式过渡到第二模式。在该第二模式中,次级控制器987可以传输控制信号 $U_{CON1000}$,该控制信号促使初级控制器986将功率开关996设置成接通状态。

[0167] 上面对本发明的所例示的实施例的描述,包含在摘要中描述的,不旨在是穷举性的或是对所公开的精确形式进行限制。尽管在本文中为了例示的目的描述了本发明的具体实施方案和实施例,但在不偏离本发明的较宽泛的主旨和范围的前提下,多种等同变体是可能的。实际上,应意识到,具体的示例性电压、电流、时间等是为了解释的目的而被提供的,且根据本公开内容的教导在其他实施方案和实施例中也可以采用其他值。

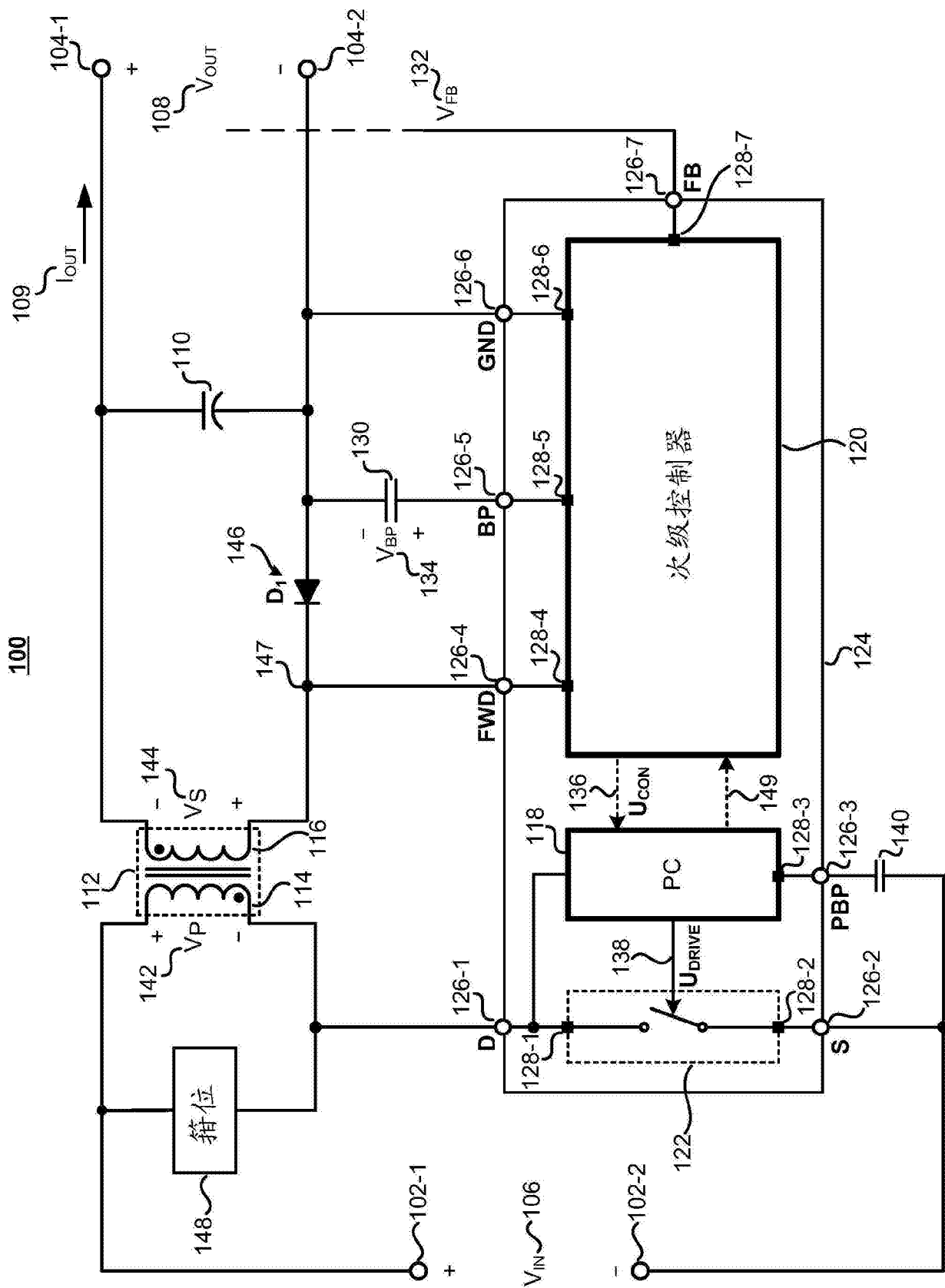


图 1

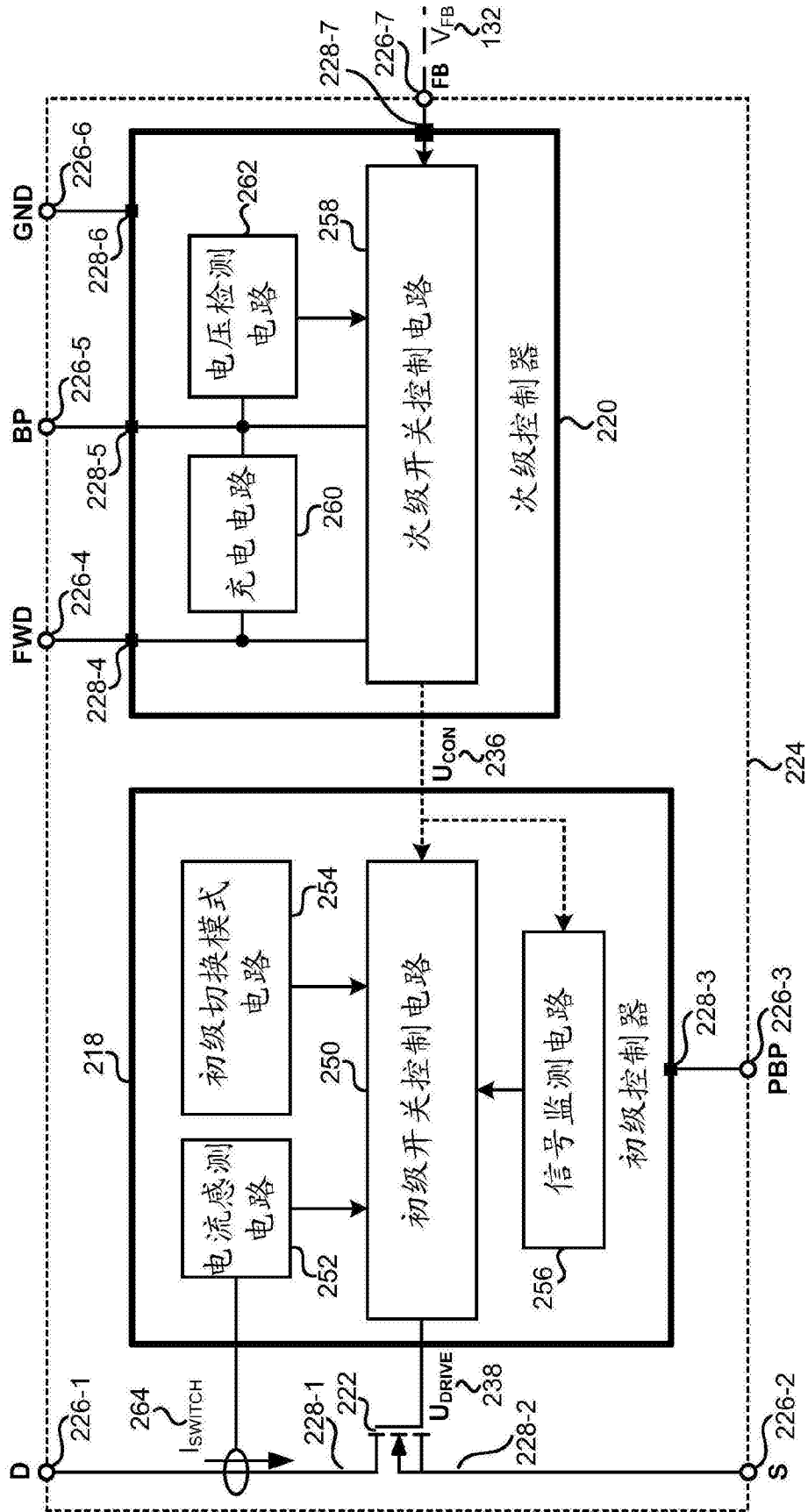


图2

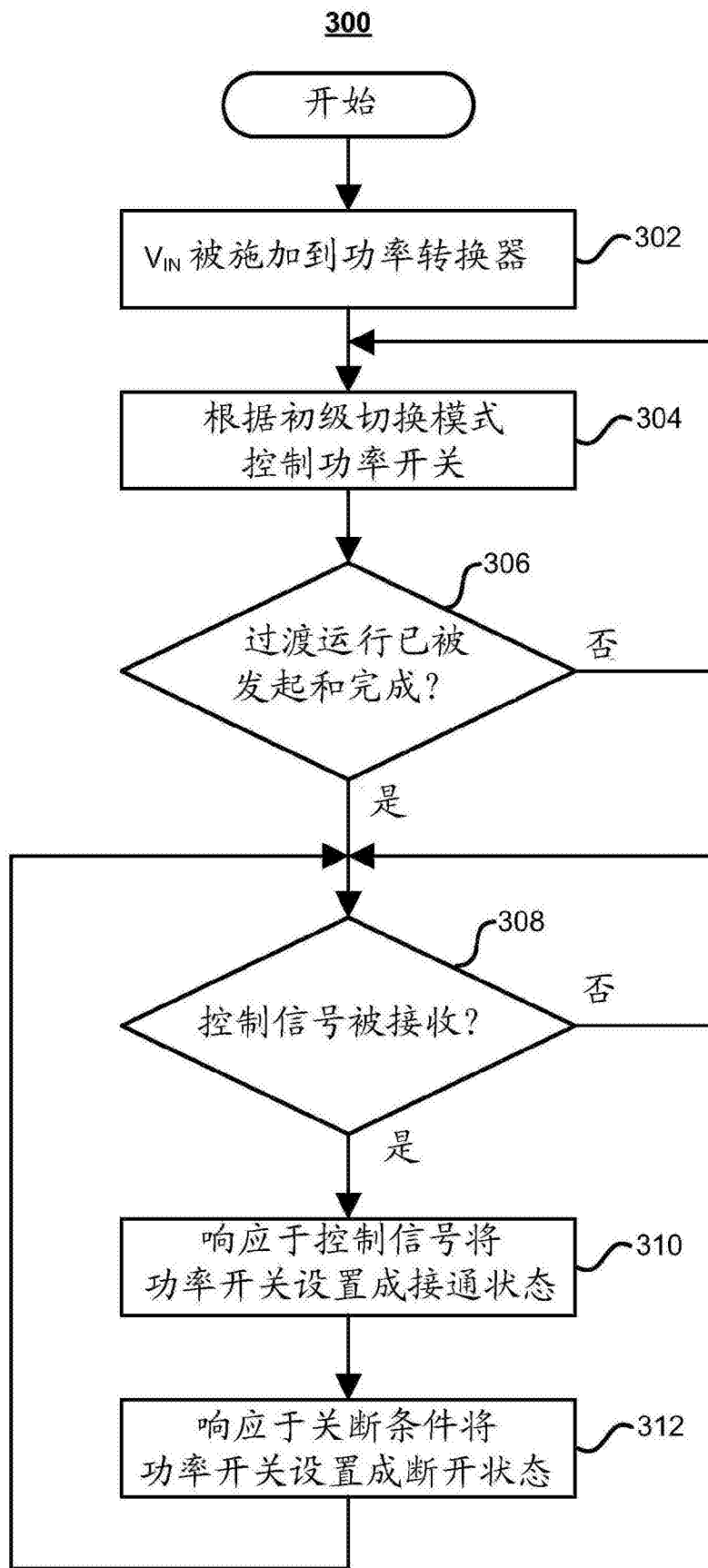


图3

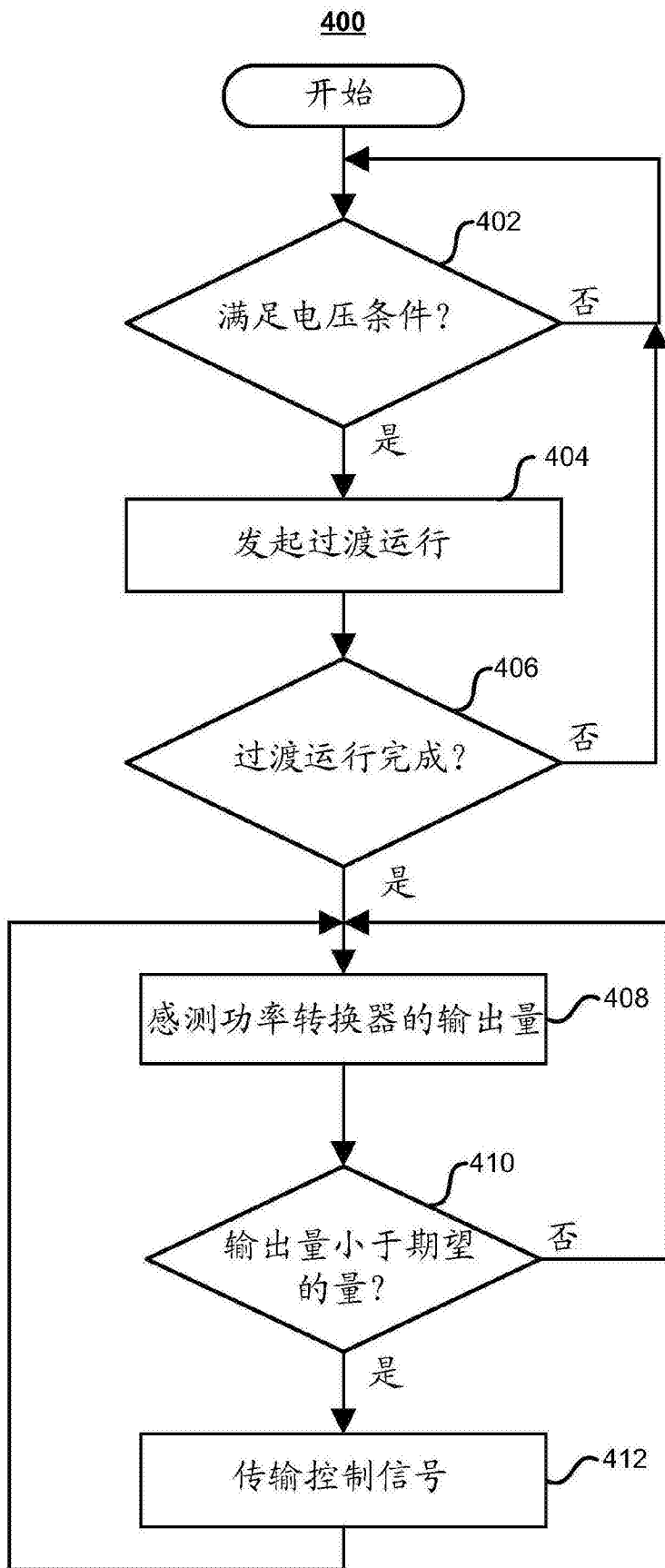


图4

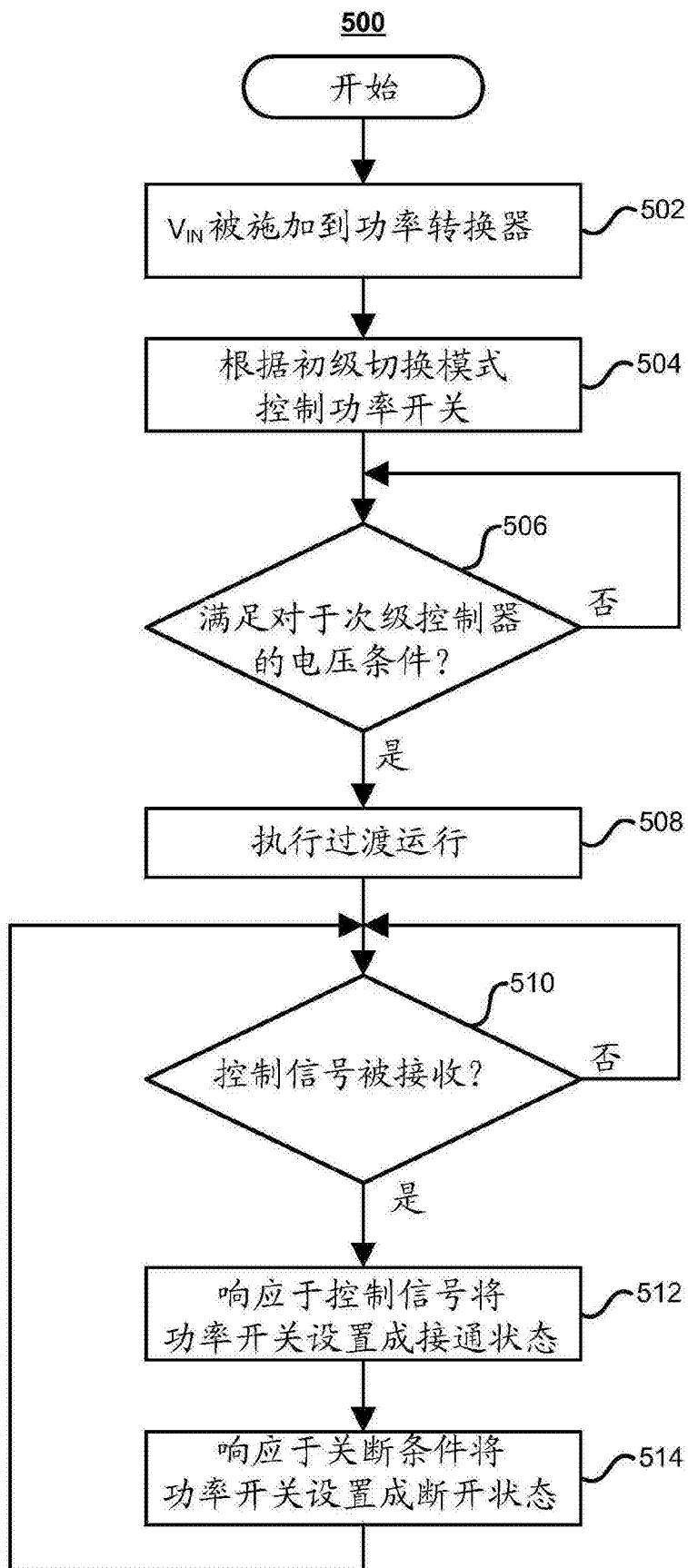


图5

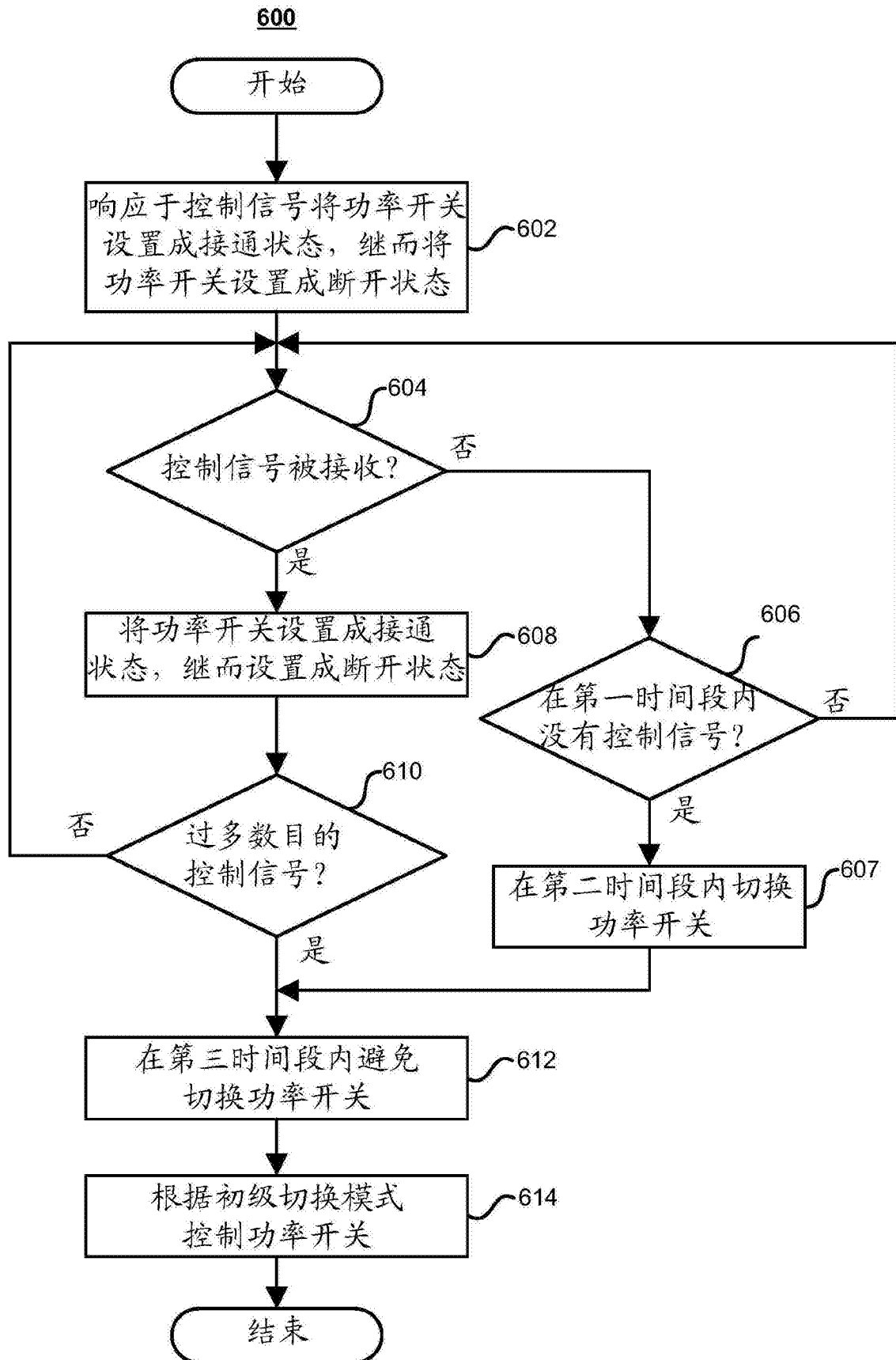


图6

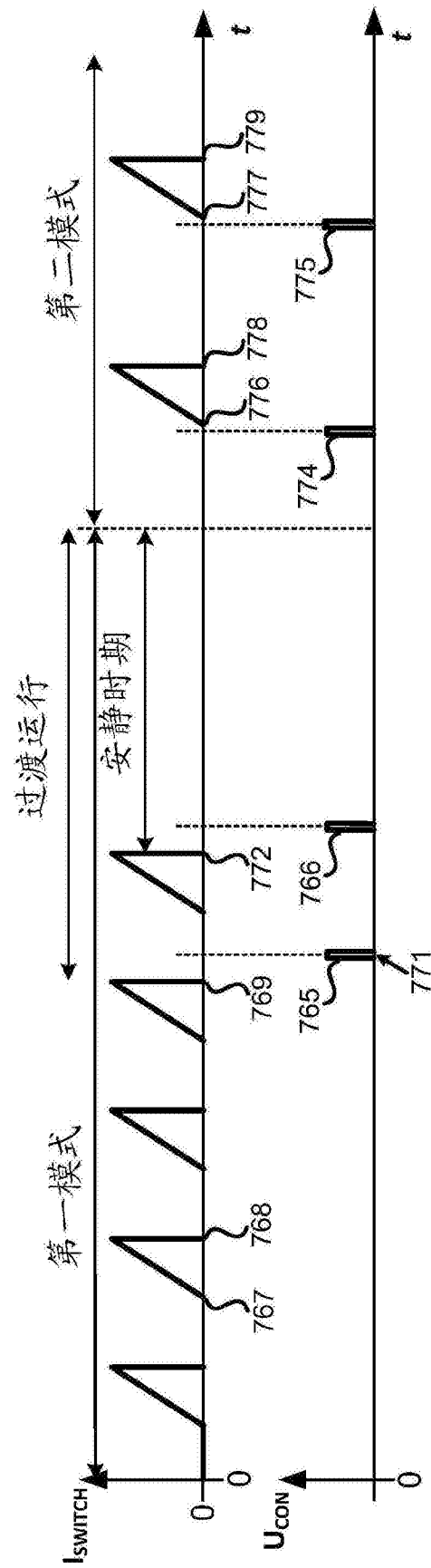


图7A

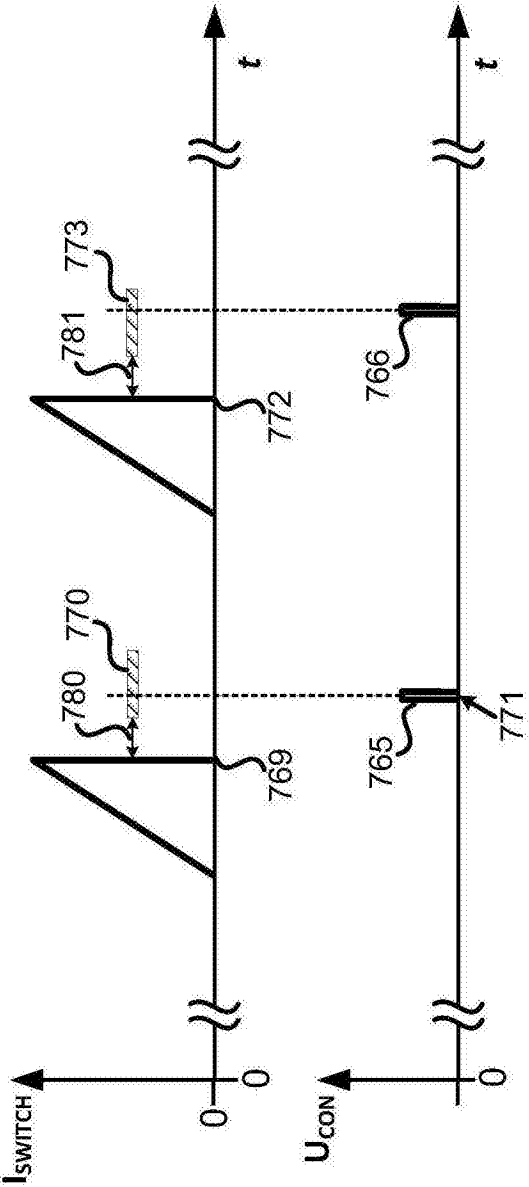


图7B

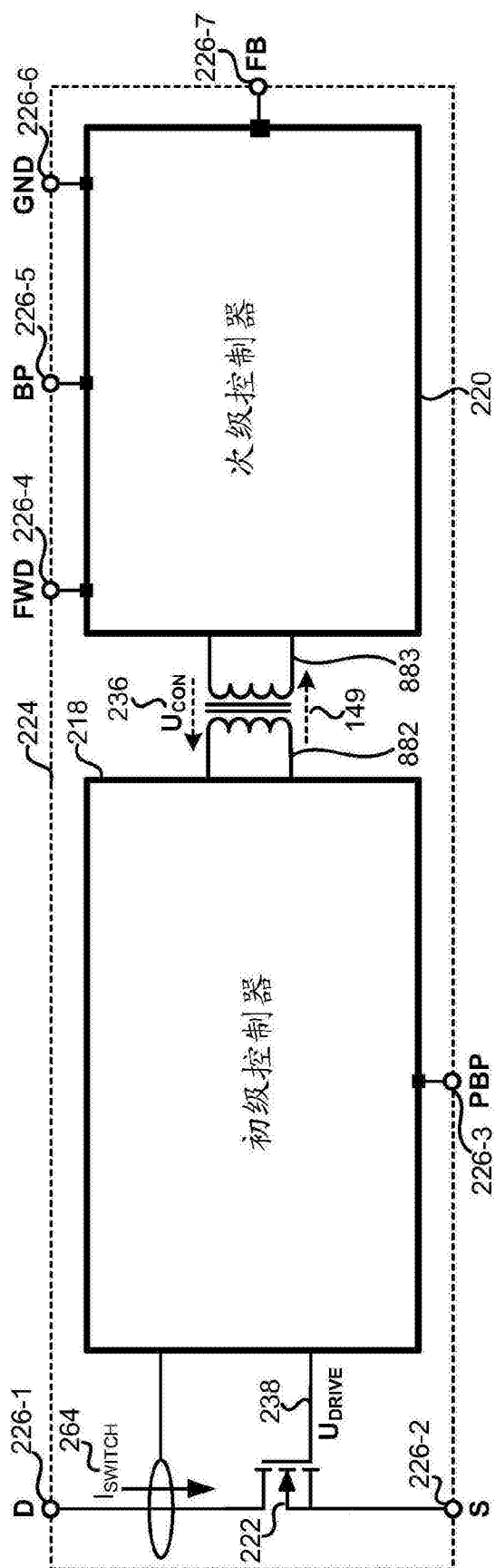


图8A

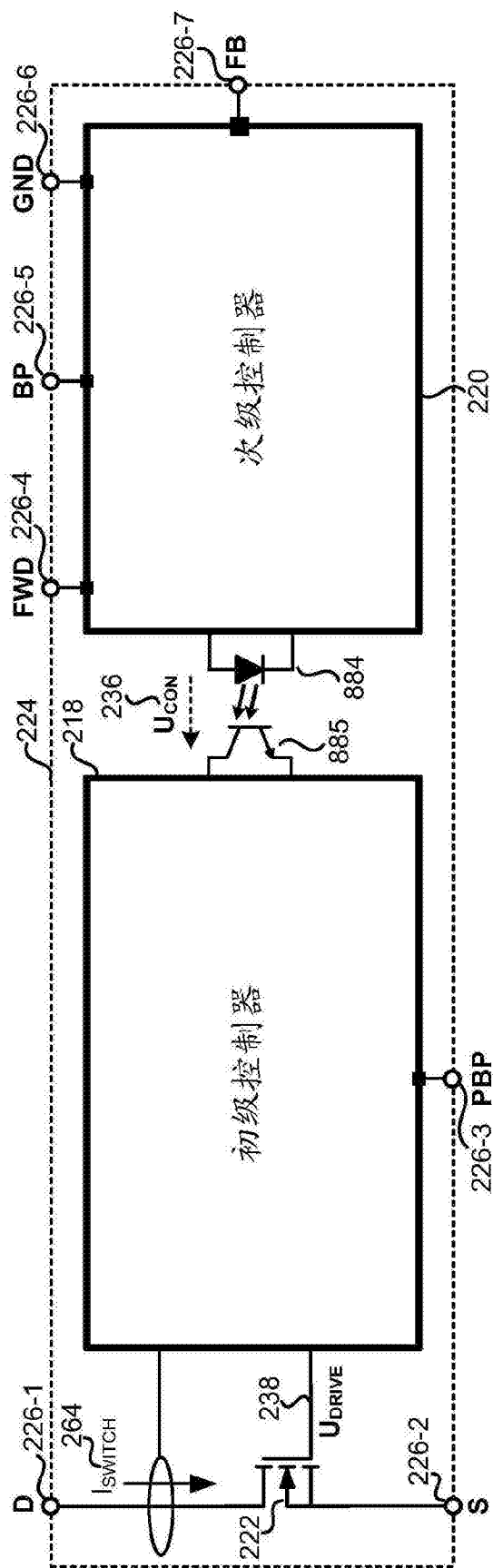


图8B

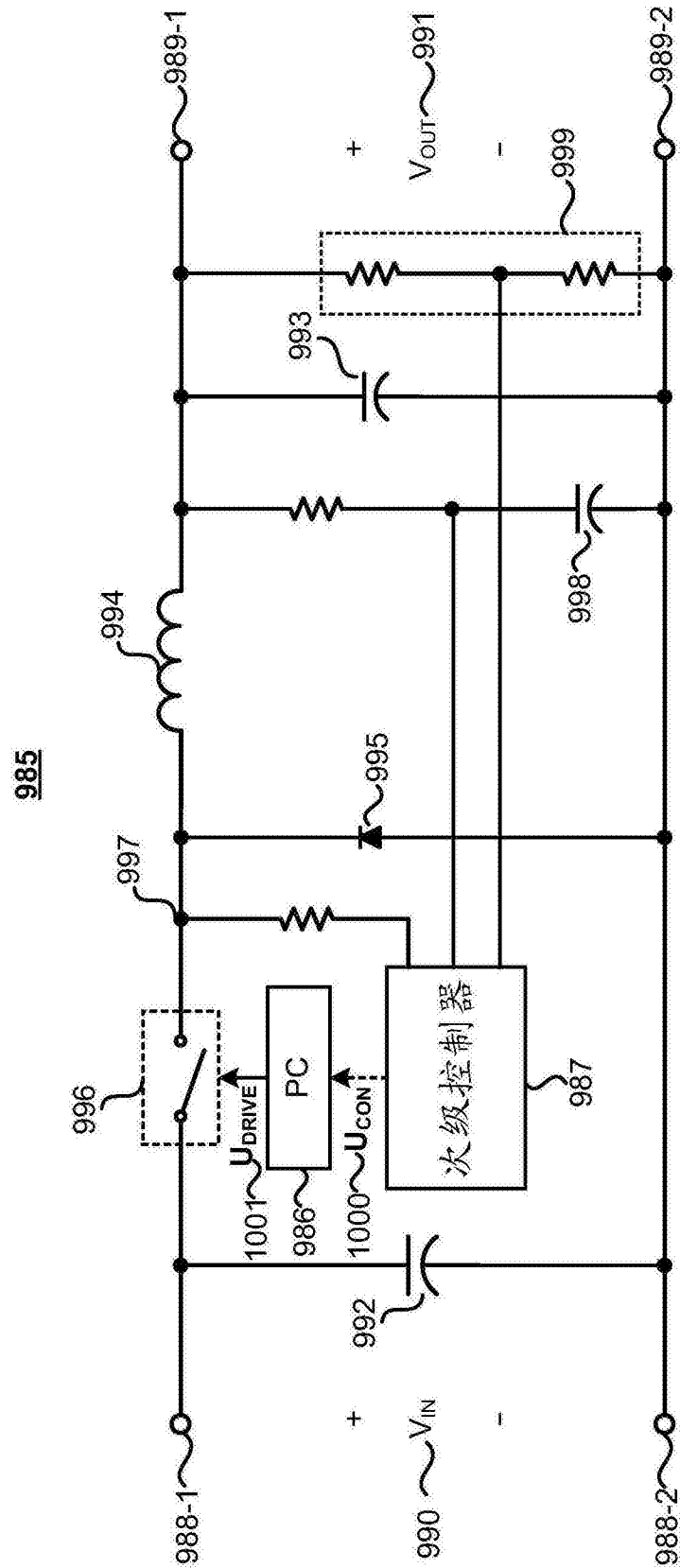


图9