



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107834853 B

(45) 授权公告日 2021.07.02

(21) 申请号 201710833781.6

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2017.09.15

H02M 3/28 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107834853 A

(56) 对比文件

(43) 申请公布日 2018.03.23

CN 105226953 A, 2016.01.06

(30) 优先权数据

US 2014268922 A1, 2014.09.18

62/395,874 2016.09.16 US

CN 102780392 A, 2012.11.14

15/408,714 2017.01.18 US

US 2011175584 A1, 2011.07.21

(73) 专利权人 电力集成公司

CN 102570794 A, 2012.07.11

地址 美国加利福尼亚州

CN 102664525 A, 2012.09.12

(72) 发明人 范乔明 维克拉姆·巴拉克里希南

CN 101645656 A, 2010.02.10

(74) 专利代理机构 北京汇知杰知识产权代理有限公司 11587

审查员 王金金

代理人 李洁 董江虹

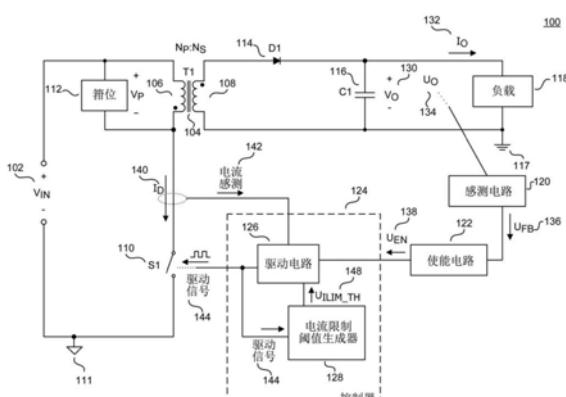
权利要求书2页 说明书12页 附图4页

## (54) 发明名称

以抖动频率进行斜坡时间调制的开关式功率转换器控制器

## (57) 摘要

一种用于功率转换器的控制器，该控制器包括驱动电路，该驱动电路被耦接以生成驱动信号以控制功率开关的切换，从而控制能量从功率转换器输入到功率转换器输出的传递。还包括输入端，以接收响应于功率转换器输出的包括使能事件的使能信号。驱动电路被耦接以响应于使能事件使功率开关导通，并响应于功率开关电流达到电流限制阈值使功率开关关断。电流限制阈值生成器被耦接以从驱动电路接收驱动信号，以响应于使能信号的使能事件使电流限制阈值以可变的速率改变。



1. 一种用于功率转换器的控制器,包括:

驱动电路,所述驱动电路被耦接以生成驱动信号以控制功率开关的切换,从而控制能量从功率转换器输入到功率转换器输出的传递;

输入端,所述输入端用于接收响应于所述功率转换器输出的包括使能事件的使能信号,其中,所述驱动电路被耦接以生成所述驱动信号以响应于所述使能事件使所述功率开关导通,并且响应于功率开关电流达到电流限制阈值使所述功率开关关断;以及

电流限制阈值生成器,所述电流限制阈值生成器被耦接以从所述驱动电路接收所述驱动信号,并在每个切换周期期间使所述电流限制阈值以从切换周期到切换周期改变的速率改变,其中,所述电流限制阈值生成器响应于所述驱动信号和所述使能信号的所述使能事件改变所述电流限制阈值。

2. 根据权利要求1所述的控制器,其中,所述电流限制阈值以可变的速率增大,并以固定速率减小。

3. 根据权利要求1所述的控制器,其中,所述使能信号的连续使能事件之间的时间响应于所述功率转换器输出。

4. 根据权利要求1所述的控制器,其中,所述使能事件包括所述使能信号中从一个逻辑状态到另一逻辑状态的转变。

5. 根据权利要求1所述的控制器,其中,所述电流限制阈值生成器被耦接以响应于关于耦接至所述功率转换器输出的一系列输出负载的所述使能信号的连续使能事件之间的时间来改变所述电流限制阈值。

6. 根据权利要求1所述的控制器,其中,所述电流限制阈值生成器被耦接以响应于所述功率开关的每次导通时间的结束使所述电流限制阈值以可变的速率增大。

7. 根据权利要求1所述的控制器,其中,所述电流限制阈值生成器被耦接以响应于所述功率开关的每次导通时间的结束,在固定时间段期间使所述电流限制阈值的速率以连续的方式在电流限制阈值范围内增大。

8. 根据权利要求1所述的控制器,其中,所述电流限制阈值生成器包括抖动生成器。

9. 根据权利要求8所述的控制器,其中,所述抖动生成器被耦接以使所述电流限制阈值在所述电流限制阈值范围内以可变的速率增大。

10. 根据权利要求1所述的控制器,其中,所述电流限制阈值生成器包括单稳态多谐振荡器,所述单稳态多谐振荡器被耦接以生成用于确定固定时间段的单触发脉冲,其中,所述单稳态多谐振荡器被耦接以接收所述驱动信号,以响应于所述功率开关的每次导通时间的结束生成所述单触发脉冲。

11. 一种用于功率转换器的控制器,包括:

驱动电路,所述驱动电路被耦接以生成驱动信号以控制功率开关的切换,从而控制能量从功率转换器输入到功率转换器输出的传递;

输入端,所述输入端用于接收响应于所述功率转换器输出的包括使能事件的使能信号,其中,所述驱动电路被耦接以响应于所述使能事件使所述功率开关导通,并且其中,所述驱动电路被耦接以响应于功率开关电流达到电流限制阈值使所述功率开关关断;以及

电流限制阈值生成器,所述电流限制阈值生成器被耦接以从所述驱动电路接收所述驱动信号以生成所述电流限制阈值,其中,所述电流限制阈值生成器被耦接以在所述功率开

关的每次导通时间结束后的、每个切换周期期间的固定时间段期间使所述电流限制阈值在电流限制阈值范围内以从切换周期到切换周期改变的速率增大，并且其中，所述电流限制阈值生成器被耦接以在所述固定时间段之后使所述电流限制阈值在所述电流限制阈值范围内以固定的减小速率减小，直到所述功率开关电流达到所述电流限制阈值。

12. 根据权利要求11所述的控制器，其中，所述驱动电路包括锁存器，所述锁存器被耦接以生成所述驱动信号，并且被耦接以响应于所述使能事件而被置位，其中，所述驱动电路还包括可变电流源，所述可变电流源被耦接以使所述锁存器响应于代表所述功率开关电流的电流感测信号与所述电流限制阈值的比较复位。

13. 根据权利要求11所述的控制器，其中，所述电流限制阈值生成器包括单稳态多谐振荡器，所述单稳态多谐振荡器被耦接以生成用于确定所述固定时间段的单触发脉冲，其中，所述单稳态多谐振荡器被耦接以接收所述驱动信号，以响应于所述功率开关的每次导通时间的结束生成所述单触发脉冲。

14. 根据权利要求11所述的控制器，其中，所述电流限制阈值生成器包括电容器，所述电容器被耦接以生成所述电流限制阈值，其中，所述电容器被耦接以在所述固定时间段期间当所述电流限制阈值在所述电流限制阈值范围内时通过第一电流源进行充电，并且其中，所述电容器被耦接以在所述固定时间段之后当所述电流限制阈值在所述电流限制阈值范围内时通过第二电流源放电。

15. 根据权利要求14所述的控制器，其中，所述第二电流源被耦接以响应耦接至所述功率转换器输入的输入电压。

16. 根据权利要求15所述的控制器，其中，所述第二电流源被耦接以响应于所述输入电压的第一值使所述电容器以第一速率放电，并且其中，所述第二电流源被耦接以响应于所述输入电压的第二值使所述电容器以第二速率放电。

17. 根据权利要求14所述的控制器，其中，所述第一电流源包括耦接在所述电容器与最大电流限制阈值基准电压之间的第一电流镜，并且其中，所述第二电流源包括耦接在所述电容器与最小电流限制阈值基准电压之间的第二电流镜。

18. 根据权利要求17所述的控制器，其中，所述第一电流镜包括耦接在所述电容器与所述最大电流限制阈值基准电压之间的p型金属氧化物半导体场效应晶体管，并且其中，所述第二电流镜包括耦接在所述电容器与所述最小电流限制阈值基准电压之间的n型金属氧化物半导体场效应晶体管。

19. 根据权利要求14所述的控制器，其中，第一镜像源被耦接以经由晶体管接收可变电流。

20. 根据权利要求19所述的控制器，其中，所述晶体管的控制端子被耦接以响应于抖动生成器的抖动信号而改变。

21. 根据权利要求14所述的控制器，其中，增加速率的大小大于减小速率的大小。

## 以抖动频率进行斜坡时间调制的开关式功率转换器控制器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2016年9月16日提交的美国临时申请No.62/395,874的权益。

### 发明领域

[0003] 本发明大体上涉及功率转换器,更具体地涉及用于开关式功率转换器的控制器。

### 背景技术

[0004] 电子设备使用功率运行。开关式功率转换器由于其效率高、尺寸小以及重量轻而通常用于对现今的许多电子产品供电。传统的壁式插座提供高压交流电。在开关功率转换器中,对高压交流(ac)输入进行转换以通过能量传递元件提供良好调节的直流(dc)输出。在运行中,在开关式功率转换器中利用开关以通过改变该开关的占空比(通常为开关的导通(ON)时间与总切换周期之比)、改变该开关的切换频率或改变该开关的每单位时间脉冲数来提供期望的输出。

[0005] 开关式功率转换器还包括控制器。可以通过以闭环的方式感测和控制输出来实现输出调节。控制器可以接收代表输出的信号,并且控制器响应于该信号改变一个或多个参数以将输出调节到期望量。可以利用各种控制模式,诸如脉宽调制(PWM)控制或通/断(ON/OFF)控制。

### 发明内容

[0006] 一方面,提供了一种用于功率转换器的控制器,包括:驱动电路,所述驱动电路被耦接以生成驱动信号以控制功率开关的切换,从而控制能量从功率转换器输入到功率转换器输出的传递;输入端,所述输入端用于接收响应于所述功率转换器输出的包括使能事件的使能信号,其中,所述驱动电路被耦接以响应于所述使能事件使所述功率开关导通,并且响应于功率开关电流达到电流限制阈值使所述功率开关关断;以及电流限制阈值生成器,所述电流限制阈值生成器被耦接以从所述驱动电路接收所述驱动信号,并响应于所述使能信号的所述使能事件使所述电流限制阈值以可变的速率改变。

[0007] 另一方面,也提供了一种用于功率转换器的控制器,包括:驱动电路,所述驱动电路被耦接以生成驱动信号以控制功率开关的切换,从而控制能量从功率转换器输入到功率转换器输出的传递;输入端,所述输入端用于接收响应于所述功率转换器输出的包括使能事件的使能信号,其中,所述驱动电路被耦接以响应于所述使能事件使所述功率开关导通,并且其中,所述驱动电路被耦接以响应于功率开关电流达到电流限制阈值使所述功率开关关断;以及电流限制阈值生成器,所述电流限制阈值生成器被耦接以从所述驱动电路接收所述驱动信号以生成所述电流限制阈值,其中,所述电流限制阈值生成器被耦接以在所述功率开关的每次导通时间结束后的固定时间段期间使所述电流限制阈值在电流限制阈值范围内以可变的速率增大,并且其中,所述电流限制阈值生成器被耦接以在所述固定时间段之后使所述电流限制阈值在所述电流限制阈值范围内以固定的减小速率减小,直到所述

功率开关电流达到所述电流限制阈值。

## 附图说明

[0008] 参照以下附图描述本发明的非限制性和非穷举性实施方案,其中除非另有说明,否则贯穿各视图相同的附图标记指代相同的部件。

[0009] 图1是示出了根据本发明的教导的利用控制器的示例开关式功率转换器的图。

[0010] 图2是示出了根据本发明的教导的图1中的控制器的实施例的图。

[0011] 图3是示出了根据本发明的教导的表示图2的示例控制器的信号的各种示例波形的时序图。

[0012] 图4是示出了根据本发明的教导的表示图2的示例控制器的信号的各种示例波形的另一时序图。

[0013] 贯穿附图的若干视图,对应的附图标记指示对应的部件。技术人员将理解,附图中的元件是为了简单和清楚而示出的,并且不一定是按比例绘制的。例如,附图中的一些元件的尺寸可能相对于其他元件被夸大以帮助增进对本发明的各实施方案的理解。此外,在商业上可行的实施方案中有用或必需的常见但容易理解的元件通常未被描绘,以便较少地妨碍对本发明的各个实施方案的观察。

## 具体实施方式

[0014] 在下面的描述中,阐述了许多具体细节以便提供对本发明的透彻理解。然而,对于本领域普通技术人员将明了的是,不一定需要采用这些具体细节来实践本发明。在其他情况下,为了避免使本发明模糊不清,没有详细描述公知的材料或方法。

[0015] 整个本说明书中对“一个实施方案”、“一实施方案”、“一个实施例”或“一实施例”的提及意指结合该实施方案或实施例描述的特定的特征、结构或特性包括在本发明的至少一个实施方案中。因此,整个本说明书中在不同位置出现的措辞“在一个实施方案中”、“在一实施方案中”、“一个实施例”或“一实施例”不一定全部都指相同的实施方案或实施例。此外,特定的特征、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。特定的特征、结构或特性可以包括在提供所描述的功能的集成电路、电子电路、组合逻辑电路或其他合适的部件中。另外,要理解,本文提供的附图是用于向本领域普通技术人员进行说明的目的,并且附图不一定是按比例绘制的。

[0016] 可以利用各种控制模式来调节功率转换器的输出。在PWM峰值电流模式控制下,开关保持导通,直到开关中的电流达到调节阈值。一旦达到调节阈值,控制器使开关在切换周期的剩余时间内关断。通常,控制器通过更改开关的占空比来调节功率转换器的输出。控制器可以通过更改调节阈值的大小来更改占空比。较大的调节阈值对应于开关的较长导通时间和较大占空比。然而,应理解,对于单个切换循环,调节阈值通常是固定的。对于PWM峰值电流模式控制,控制器通常接收代表功率转换器的输出的模拟信号。在一个实施例中,由控制器接收的信号可以传达所感测的功率转换器的输出距离期望量有多远。然后,控制器基于所接收的模拟信号更改开关的占空比。

[0017] 已知的另一种控制模式是启用或停用(disable,禁用)切换循环的通/断控制。当循环被启用时,开关可以传导电流,而在停用循环期间,开关不能传导电流。控制器产生一

系列启用和停用的切换循环,以调节功率转换器的输出。对于通/断控制,控制器通常接收代表功率转换器的输出的逻辑信号。在一个实施例中,由控制器接收的信号可以是将启用或停用开关的一系列逻辑电平脉冲。在另一实施例中,由控制器接收的信号可以是用于启用或停用开关的数字信号。

[0018] 在一种类型的通/断控制中,控制器使开关在启用循环期间的固定导通时间内导通。在被称为电流限制通/断控制的另一种类型的通/断控制中,控制器使开关在启用循环期间导通,并且一旦该开关中的电流达到电流限制阈值就关断该开关。通常,利用逻辑状态形式的使能信号来代表功率转换器的输出可能是有益的,原因在于使能信号与代表输出的模拟信号相比可能更不受噪声影响。然而,由于循环的启用和停用,功率转换器的有效切换频率可能落入可听噪声范围内。另外,对于使用通/断控制的功率转换器而言,均方根 (RMS) 电流可能较高,照此,这种功率转换器的效率可能较低。

[0019] 如将要讨论的,根据本发明的教导的实施例提供了具有可变电流限制阈值的电流限制通/断控制方案。关于所讨论的实施例,控制器接收代表功率转换器的输出的使能信号。使能信号包括启用或停用功率开关的一系列事件。在一个实施例中,控制器响应于使能信号的事件使功率开关导通,并且当功率开关中的电流达到可变电流限制阈值时使功率开关关断。可变电流限制阈值响应于使能信号的连续事件之间的时间而变化。

[0020] 此外,可变电流限制阈值可以响应于关于耦接至功率转换器的输出的一系列负载的使能信号的事件之间的时间而变化。在一个实施例中,可变电流限制阈值可以是斜坡信号,并且该斜坡信号连同使能信号的事件之间的时间一起可以用于调制驱动信号,该驱动信号控制功率开关的切换以调节功率转换器的输出。

[0021] 在一个实施例中,在功率开关的每次导通时间结束时,可变电流限制阈值以一增加速率增大,这样的增大过程持续固定的时间段或者直到达到最大电流限制阈值。在另一实施例中,响应于功率开关的导通时间的结束,可变电流限制以固定的增加量增大。然后,可变电流限制阈值以一减小速率减小,直到功率开关中的电流达到电流限制阈值或者可变电流限制阈值达到最小电流限制阈值。在一个实施例中,电流限制阈值以可变的速率增大而以固定的速率减小。照此,根据本发明的教导的实施例可以使效率提高并且可以降低产生可听噪声的可能性,同时保留代表功率转换器的输出的逻辑或数字使能信号的益处。

[0022] 此外,根据本发明的一个方面,将频率抖动 (jitter) 加入到可变电流中,这有助于降低可听噪声。

[0023] 为了说明,图1示出了示例功率转换器100,该示例功率转换器包括输入 $V_{IN}$  102、能量传递元件T1 104、能量传递元件T1 104的初级绕组106、能量传递元件T1 104的次级绕组108、开关S1 110、输入返回111、箝位电路112、整流器D1 114、输出电容器C1 116、输出返回117、负载118、感测电路120、使能电路122以及控制器124。控制器124还包括驱动电路块126和电流限制阈值生成器128。在一个实施例中,使能电路122和感测电路120也可以包括在控制器124中。图1还示出了输出电压 $V_0$  130、输出电流 $I_0$  132、输出量 $U_0$  134、反馈信号 $U_{FB}$  136、使能信号 $U_{EN}$  138、开关电流 $I_D$  140、电流感测信号142、驱动信号144以及电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148。图1所示的示例开关式功率转换器100以反激式配置进行耦接,这仅仅是受益于本发明的教导的开关式功率转换器的一个示例。要理解,开关式功率转换器的其他已知的拓扑结构和配置也可以受益于本发明的教导。

[0024] 在所示的实施例中,功率转换器100从未经调节的输入 $V_{IN}$  102向负载118提供输出功率。在一个实施例中,输入 $V_{IN}$  102是经整流和滤波的ac线电压。在另一实施例中,输入电压 $V_{IN}$  102是dc输入电压。输入 $V_{IN}$  102耦接至能量传递元件T1 104。在一些实施例中,能量传递元件T1 104可以是耦合电感器。在其他实施例中,能量传递元件T1 104可以是变压器。在图1的实施例中,能量传递元件T1 104包括两个绕组:初级绕组106和次级绕组108。 $N_p$ 和 $N_s$ 分别是初级绕组106和次级绕组108的匝数。在图1的实施例中,初级绕组106可以被视为输入绕组,而次级绕组108可以被视为输出绕组。初级绕组106还耦接至功率开关S1 110,该功率开关又进一步耦接至输入返回111。另外,箝位电路112并联耦接在能量传递元件T1 104的初级绕组106上。

[0025] 能量传递元件T1 104的次级绕组108耦接至整流器D1 114。在图1所示的实施例中,整流器D1 114被例示为二极管,并且次级绕组108耦接至该二极管的阳极。在一些实施例中,整流器D1 114可以是用作同步整流器的晶体管。当使用晶体管作为同步整流器时,可以使用另一控制器(被称为次级控制器)来控制该晶体管的导通和关断。在实施例中,使能电路122和/或感测电路120可以包括在次级控制器(未示出)中。如所描述的实施例中示出的,输出电容器C1 116和负载118耦接至整流器D1 114。在图1的实施例中,输出电容器C1 116和负载118两者均耦接至上述二极管的阴极。输出被提供至负载118,并且该输出可以被提供为输出电压 $V_o$  130、输出电流 $I_o$  132或这两者的组合。

[0026] 功率转换器100还包括调节输出的电路,该输出被例示为输出量 $U_o$  134。感测电路120被耦接以感测输出量 $U_o$  134,并且提供代表输出量 $U_o$  134的反馈信号 $U_{FB}$  136。反馈信号 $U_{FB}$  136可以是电压信号或电流信号。在一个实施例中,感测电路120可以从包括在能量传递元件T1 114中的附加绕组感测输出量。在另一实施例中,在控制器124与使能电路122之间或在使能电路122与感测电路120之间可以存在电流隔离(未示出)。电流隔离可以通过使用诸如光耦合器、电容器或磁耦合等器件来实现。在又一实施例中,感测电路120可以利用分压器从功率转换器100的输出感测输出量 $U_o$  134。通常,输出量 $U_o$  134是输出电压 $V_o$  130、输出电流 $I_o$  132或这两者的组合。

[0027] 如所描述的实施例示出的,使能电路122耦接至感测电路120,并且从感测电路120接收代表功率转换器100的输出的反馈信号 $U_{FB}$  136。使能信号 $U_{EN}$  138可以是电压信号或电流信号。在一个实施例中,使能信号 $U_{EN}$  138也代表功率转换器100的输出,并且向控制器124提供信息以启用或停用功率开关S1 110。此外,使能信号 $U_{EN}$  138可以包括使功率开关S1 110被启用(或停用)的一个或多个使能事件。例如,当接收到使能信号 $U_{EN}$  138中的使能事件时,可以启用功率开关S1 110。在一个实施例中,使能电路122输出使能信号 $U_{EN}$  138,该使能信号在一个实施例中是具有变化长度的逻辑高部分和逻辑低部分的矩形脉冲波形。在另一实施例中,使能信号 $U_{EN}$  138可以是逻辑信号或数字信号。使能信号 $U_{EN}$  138中的使能事件可以是启用(或停用)功率开关S1 110的脉冲或一系列脉冲。在另一实施例中,使能信号 $U_{EN}$  138中的使能事件可以是启用(或停用)功率开关S1 110的、从一个逻辑状态到另一逻辑状态的转变。在又一实施例中,使能信号 $U_{EN}$  138可以是模拟信号,并且可以用使能信号 $U_{EN}$  138越过阈值来指示使能事件。

[0028] 控制器124耦接至使能电路122并且从使能电路122接收使能信号 $U_{EN}$  138。控制器124还包括用于接收电流感测信号142的端子和用于将驱动信号144提供给功率开关S1 110

的端子。电流感测信号142可以代表功率开关S1 110中的开关电流 $I_D$  140。电流感测信号142可以是电压信号或电流信号。另外,控制器124向功率开关S1 110提供驱动信号144以控制各种切换参数,从而控制能量从功率转换器100的输入到功率转换器100的输出的传递。这样的参数的示例可以包括切换频率、切换周期、占空比或功率开关S1 110的相应的导通和关断时间。

[0029] 如图1所描绘的实施例示出的,控制器124包括驱动电路126和电流限制阈值生成器128。驱动电路126被耦接以接收使能信号 $U_{EN}$  138。在一个实施例中,驱动电路126响应于使能信号 $U_{EN}$  138输出驱动信号144。在一些实施例中,驱动电路126还接收电流感测信号142并且还响应于电流感测信号142输出驱动信号144。电流限制阈值生成器128被耦接以从驱动电路126接收驱动信号144,并且还向驱动电路126输出电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148。在一个实施例中,电流限制阈值生成器128被耦接以响应于使能信号 $U_{EN}$  138的使能事件之间的时间来改变电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148。在一个实施例中,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148可以是斜坡信号,并且该斜坡信号连同使能事件之间的时间一起可以用于调制驱动信号144,以调节功率转换器的输出。

[0030] 例如,在一个实施例中,电流限制阈值生成器128被耦接以在功率开关S1 110的每次导通时间结束后的固定时间段期间使电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148在电流限制阈值范围内以一增加速率增大。在该实施例中,电流限制阈值生成器128被耦接以在功率开关S1 110的每次导通时间结束后经过上述固定时间段之后,使电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148在电流限制阈值范围内以一减小速率减小,直到通过功率开关S1 110的电流达到电流限制阈值。在一个实施例中,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148可以是电压信号或电流信号。如所示出的,驱动电路126还响应于电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148输出驱动信号144。

[0031] 在图1的实施例中,输入电压 $V_{IN}$  102相对于输入返回111为正,并且输出电压 $V_0$  130相对于输出返回117为正。在图1所示出的实施例中,输入返回111与输出返回117电流隔离。换言之,施加在输入返回111与输出返回117之间的dc电压将产生基本上零电流。因此,电耦接至初级绕组106的电路与电耦接至次级绕组108的电路电流隔离。例如,可以通过在控制器124与使能电路122之间或在使能电路122与感测电路120之间使用光耦合器、电容耦合器或磁耦合器来实现电流隔离。

[0032] 在一个实施例中,图1的功率转换器100从未经调节的输入 $V_{IN}$  102向负载118提供经调节的输出功率。功率转换器100利用能量传递元件T1 104在初级绕组106与次级绕组108之间传递能量。箝位电路112耦接至能量传递元件T1 104的初级绕组106以限制功率开关S1 110上的最大电压。在图1所示的示例功率转换器100中,箝位电路112在功率开关S1 110关断之后限制由初级绕组106的漏电感引起的电压尖峰。响应于从控制器124接收的驱动信号144,功率开关S1 110断开和闭合,以控制能量从功率转换器100的输入到功率转换器100的输出的传递。通常要理解,闭合的开关可以传导电流并且被视为是导通的,而断开的开关不能传导电流并且被视为是关断的。在图1的实施例中,功率开关S1 110响应于控制器124控制电流 $I_D$  140,以满足功率转换器100的规定性能。在一些实施例中,功率开关S1 110可以是晶体管,并且控制器124可以包括集成电路和/或分立的电气部件。在一个实施例中,控制器124和功率开关S1 110一起包括在单个集成电路中。在一个实施例中,集成电路是单片集成电路。在另一实施例中,集成电路是混合集成电路。

[0033] 功率开关S1 101的运行还在初级绕组106上产生了随时间变化的电压 $V_p$ 。通过变压器作用,在次级绕组108上产生了电压 $V_p$ 的比例副本,比例因子是次级绕组108的匝数 $N_s$ 除以初级绕组106的匝数 $N_p$ 的比。功率开关S1 110的切换还在整流器D1 114处产生脉动电流。整流器D1 114中的电流通过输出电容器C1 116进行滤波,以在负载118处产生基本上恒定的输出电压 $V_0$  130、输出电流 $I_0$  132或这两者的组合。

[0034] 在所示出的实施例中,感测电路120感测输出量 $U_0$  134以将代表功率转换器100的输出的反馈信号 $U_{FB}$  136提供给使能电路122。使能电路122接收反馈信号 $U_{FB}$  136并产生使能信号 $U_{EN}$  138。使能信号 $U_{EN}$  138代表功率转换器100的输出,并且(使用使能事件)向控制器124提供信息以启用或停用功率开关S1 110。此外,使能信号 $U_{EN}$  138的使能事件之间的时间响应于功率转换器输出。在实施例中,当输出量 $U_0$  134或反馈信号 $U_{FB}$  136下降到阈值以下时,可以生成使能事件。在一个实施例中,使能信号 $U_{EN}$  138可以利用脉冲(使能信号增加到逻辑高值和降低到逻辑低值)作为使能事件以控制功率开关S1 110。

[0035] 在图1的实施例中,控制器124接收使能信号 $U_{EN}$  138,并且还接收代表所感测的功率开关S1 110中的开关电流 $I_D$  140的电流感测信号142。可以以各种方式感测开关电流 $I_D$  140,诸如例如通过当晶体管传导时感测分立电阻器上的电压或晶体管上的电压来进行。控制器124响应于各种输入输出驱动信号144以操作功率开关S1 110,从而将输出量 $U_0$  134基本上调节到期望值。根据本发明的教导,通过使用感测电路120、使能电路122和控制器124,以闭环的方式对功率转换器100的输出进行调节。

[0036] 如所描绘的实施例示出的,控制器124还包括驱动电路126,该驱动电路接收使能信号 $U_{EN}$  138和电流感测信号142。驱动电路126响应于使能信号 $U_{EN}$  138和电流感测信号142输出驱动信号144以控制功率开关S1 110的切换,从而控制能量从功率转换器100的输入到功率转换器100的输出的传递。在一个实施例中,驱动电路126响应于使能事件使功率开关S1 110导通。在一个实施例中,当使能信号 $U_{EN}$  138脉动到逻辑高值时,驱动电路126使功率开关S1 110导通。在一个实施例中,当电流感测信号142代表的开关电流 $I_D$  140达到电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148时,驱动电路126使功率开关S1 110关断。在一个实施例中,驱动信号144是具有变化长度的逻辑高部分和逻辑低部分的矩形脉冲波形。驱动信号144可以是电压信号或电流信号。在一个实施例中,当驱动信号144为逻辑高时,功率开关S1 110导通,而当驱动信号144为逻辑低时,功率开关S1 110关断。

[0037] 如所描绘的实施例中示出的,驱动信号144还被耦接以由电流限制阈值生成器128接收。在一个实施例中,电流限制阈值生成器128响应于驱动信号144生成电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148。如将进一步讨论的,在功率开关S1 110的导通时间结束之后的固定时间段内,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148在电流限制阈值范围内以可变的增加速率增大。换言之,在功率开关S1 110的导通时间结束时,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148在电流限制阈值范围内以可变的速率增大固定量。因此,在一个实施例中,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148不会增大为超过最大电流限制阈值。在上述固定时间段之后,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148在电流限制阈值范围内以固定的减小速率减小。在一个实施例中,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148减小,直到由电流感测信号142指示的开关电流 $I_D$  140达到电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148或直到电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148达到最小电流限制阈值。

[0038] 如上所述,响应于使能信号 $U_{EN}$  138生成驱动信号144。因此,在一个实施例中,电流

限制阈值生成器128还响应于使能信号 $U_{EN}$  138生成电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148。具体地，电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148响应于关于耦接至功率转换器100的输出的一系列负载的使能信号 $U_{EN}$  138的使能事件之间的时间。在另一实施例中，电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  148可以是斜坡信号，并且该斜坡信号连同使能事件之间的时间一起可以用于调制驱动信号144，以调节功率转换器的输出。照此，根据本发明的教导的实施例可以使效率提高并且可以降低产生可听噪声的可能性，同时保留代表功率转换器100的输出的逻辑或数字使能信号的益处。

[0039] 图2示出了示例控制器200，其在一个实施例中可以是图1的控制器124。应理解，下面提到的类似命名和编号的元件可以如上所述的进行耦接和运作。如上所述，驱动电路226被耦接以接收使能信号 $U_{EN}$  238、电流感测信号242以及电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  248。在所示的实施例中，驱动电路226被示为包括锁存器266，该锁存器在所示的实施例中被耦接以通过比较器268复位(reset)。在该实施例中，锁存器266被耦接以在其S输入端处接收使能信号 $U_{EN}$  238，同时比较器的输出被耦接至锁存器266的R输入端。从锁存器266输出驱动信号244。如所示出的，从锁存器266的Q输出端输出驱动信号244。如将进一步讨论的，如果使能信号 $U_{EN}$  238为逻辑高，则锁存器266的Q输出端为逻辑高。在一个实施例中，使能信号 $U_{EN}$  238是一矩形脉冲波形，该矩形脉冲波形转变为逻辑高值并且快速下降到逻辑低值。在一个实施例中，使能信号 $U_{EN}$  238的逻辑高脉冲的出现可以被称为使能事件。当在锁存器266的S输入端处接收到使能事件时，驱动信号244转变为逻辑高值。当在锁存器266的R输入端处接收到逻辑高值时，驱动信号244转变为逻辑低值。

[0040] 如所描绘的实施例示出的，比较器268被耦接以接收电流感测信号242和电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  248。在图2所示的实施例中，在比较器268的非反相输入端处接收电流感测信号242，而在比较器268的反相输入端处接收电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  248。当电流感测信号242达到电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  248时，驱动信号244转变为逻辑低值。如上所述，在一个实施例中，电流感测信号242代表开关电流 $I_D$  140。照此，当电流感测信号242代表的开关电流 $I_D$  140达到电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  248时，驱动信号244转变为逻辑低值。在一个实施例中，驱动信号244是具有变化长度的逻辑高部分和逻辑低部分的矩形脉冲波形。在一个实施例中，驱动信号244为逻辑高的时间长度对应于功率开关S1 110的导通时间( $t_{ON}$ )，而驱动信号244为逻辑低的时间长度对应于功率开关S1 110的关断时间( $t_{OFF}$ )。另外，驱动信号244的上升沿之间的时间长度可以被称为切换周期 $T_S$ 。

[0041] 电流限制阈值生成器228被耦接以从驱动电路226接收驱动信号244。在图2所描绘的实施例中，单稳态多谐振荡器270被耦接以从锁存器266接收驱动信号244。在一个实施例中，单稳态多谐振荡器270响应于驱动信号244的边沿生成具有固定时间段的脉冲(换言之，该脉冲在固定时间段内为逻辑高)。在一个实施例中，单稳态多谐振荡器270响应于驱动信号244的下降沿生成具有固定时间段的脉冲。换言之，单稳态多谐振荡器270在功率开关的导通时间( $t_{ON}$ )结束时生成具有固定时间段的脉冲。单稳态多谐振荡器270的输出被称为单触发(one shot)信号OS 290。

[0042] 开关S2 274的一端耦接至晶体管Q2 297，而开关S2 274的另一端耦接至开关S3 278的一端。开关S3 278的另一端耦接至晶体管Q4 299。电容器C2 280的一端耦接至开关S2 274和开关S3 278之间的节点。如所示出的，从电流限制阈值生成器228输出电容器C2 280

上的电压作为电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  248。

[0043] 在图2中还示出了电压-电流(V-I)转换器281和抖动生成器279。在一个实施例中,抖动生成器是波形生成器,该波形生成器的输出可以是三角电压波形或锯齿波形。在其他实施例中,抖动生成器279可以输出任何波形。如稍后将在说明书中说明的,在一个实施例中,电流限制阈值信号变化的速率(绘制的电流限制阈值信号的波形的斜率)与由抖动生成器输出的波形的斜率成比例。

[0044] 在一个实施例中,V-I转换器281包括运算放大器277、晶体管  $Q_C$  272和电阻器  $R_C$  285。在一个实施例中,V-I转换器281可以被视为可变电流源。

[0045] 晶体管  $Q_C$  272的控制端子被耦接以接收运算放大器277的输出。如图2所示,晶体管  $Q_C$  272被耦接作为电流源,并且因此,当提到V-I转换器281的  $Q_C$  272时,术语电流源或晶体管可以互换使用。在一个实施例中,运算放大器277被耦接作为误差放大器。运算放大器277的非反相输入端子被耦接以从抖动生成器279接收抖动信号283。运算放大器277的反相输入端子和晶体管  $Q_C$  272耦接至电阻器  $R_C$  285的一端。电阻器  $R_C$  285的另一端耦接至输入返回211。

[0046] 抖动信号283可以是电压信号。当抖动信号的电压电平变化时,运算放大器277的反相输入端子处的电压也变化,这可能改变通过晶体管  $Q_C$  272的电流。

[0047] 电流镜的晶体管  $Q_1$  295的一端被耦接以接收V-I转换器281的输出。

[0048] 如图2所示,电流源276可以被耦接以接收选择信号“选择”296。在一个实施例中,电流源276是固定电流源。可以使用选择信号“选择”296来选择电流源276的  $I_{DIS}$  的大小。如将进一步讨论的,电流源276的  $I_{DIS}$  的大小影响电容器C2 280的放电率。照此,根据本发明的教导,选择信号“选择”296可以响应于功率转换器的输入电压  $V_{IN}$  102来选择电流源276的  $I_{DIS}$  的大小。例如,在一个实施例中,根据本发明的教导,选择信号“选择”296可以针对  $V_{IN}$  102的第一输入电压值设置  $I_{DIS}$  的第一大小,并且选择信号“选择”296可以针对  $V_{IN}$  102的第二输入电压值设置  $I_{DIS}$  的第二大小。换言之,在一个实施例中,根据本发明的教导,可以响应于输入电压  $V_{IN}$  对电流源276的多个不同的  $I_{DIS}$  大小进行选择,如图3所示。在一个实施例中,较低的输入电压  $V_{IN}$  102可以对应于较大的  $I_{DIS}$  大小。在另一实施例中,可以针对第一范围的  $V_{IN}$  102选择电流源276的  $I_{DIS}$  的第一大小,并且可以针对第二范围的  $V_{IN}$  102选择电流源276的  $I_{DIS}$  的第二大小。在一个实施例中,可以存在若干范围的  $V_{IN}$  102以及电流源276的对应大小的  $I_{DIS}$ 。在一个实施例中,  $V_{IN}$  102的范围可以对应于在不同地域运行所需的ac电压范围;对于日本和美国为100VAC-15%至115VAC+15%,对于欧洲为230VAC+/-15%,等等。

[0049] 当单触发信号OS 290转变为逻辑高值时,充电信号CHG 292转变为逻辑高值,并且开关S2 274闭合。另外,放电信号DIS 294转变为逻辑低值,并且开关S3 278断开。照此,电容器C2 280通过电流源  $Q_C$  272以电流  $I_C$  充电。在一个实施例中,电容器C2 280上的电压(即电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  248)以可变的速率增加的量与由可变电流源  $Q_C$  272提供的电流  $I_C$  (未示出)的大小以及单触发信号OS 290为逻辑高的时间量(即固定时间段)成比例。具体地,电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  248增加的量基本上等于电流  $I_C$  的大小与固定时间段的乘积再除以电容器C2 280的电容。或者数学上为:

$$[0050] \Delta U_{ILIM\_TH} \cong \frac{I_C t_{FIXED}}{C}$$

[0051] 或者换言之,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  248的增加速率与电流 $I_C$ 的大小和电容器C2 280的电容成比例。

[0052] 如果单触发信号OS 290转变为逻辑低值或者电容器C2 280上的电压(即电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  248)达到最大电流限制阈值 $U_{TH\_MAX}$  256,则充电信号CHG 292转变为逻辑低。当充电信号CHG 292为逻辑低值时,开关S2 274断开,并且电容器C2 280不再通过电流源 $Q_C$  272充电。

[0053] 当从反相器289输出的经反相的单触发信号转变为逻辑高值时,放电信号DIS 294转变为逻辑高值,并使开关S3 278闭合。照此,电容器C2 280通过电流源276以电流 $I_{DIS}$ 放电。在一个实施例中,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  248的减小速率是固定速率,并且与电流 $I_{DIS}$ 的大小和电容器C2 280的电容成比例。在一个实施例中,增加速率的大小大于减小速率的大小。

[0054] 如果从反相器289输出的经反相的单触发信号转变为逻辑低值,或者如果电容器C2 280上的电压(即电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  248)达到最小电流限制阈值 $U_{TH\_MIN}$  258,则放电信号DIS 294转变为逻辑低。当放电信号DIS 294为逻辑低值时,开关S3 278断开,并且电容器C2 280不再通过电流源276放电。

[0055] 图3是示出了根据本发明的教导的图2中所示的信号的各种示例波形的时序图。具体地,时序图300示出了其中存在三种电流限制阈值信号——即 $U_{ILIM\_TH}$  348、 $U_{ILIM\_TH}$  350和 $U_{ILIM\_TH}$  352——的实施例。如所描绘的实施例示出的,根据本发明的教导,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348、 $U_{ILIM\_TH}$  350和 $U_{ILIM\_TH}$  352以可变的速率增加,并且以固定速率减小。

[0056] 接收到使能事件(如使能信号 $U_{EN}$  338的脉冲所示),并且驱动信号344转变为逻辑高值,功率开关S1 110导通。当电流感测信号342代表的开关电流 $I_D$  140达到电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348时,驱动信号344转变为逻辑低值,并且功率开关S1 110关断。在导通时间结束时,充电信号CHG 392转变为逻辑高值,并且放电信号DIS 394转变为逻辑低值。开关S2 274闭合,并且电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348增大。如上所述,充电信号CHG 392为逻辑高的时间长度可以被称为固定时间段。

[0057] 然而,由于电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348在上述固定时间段结束之前接近最大电流限制阈值 $U_{TH\_MAX}$  256,所以由晶体管Q1 295和Q2 297形成的电流镜不再能够反映由晶体管 $Q_C$  272提供的电流 $I_C$ ,并且将提供较少的电流对电容器C2 280进行充电。照此,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348的增加速率减小,如通过电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348的较靠近最大电流限制阈值 $U_{TH\_MAX}$  356的特性曲线所示的。特性曲线的形状可以部分地由晶体管Q1 295和Q2 297的沟道宽度和沟道长度之间的比来确定。一旦电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348达到最大电流限制阈值 $U_{TH\_MAX}$  356,由晶体管Q1 295和Q2 297形成的电流镜就基本上不提供电流,并且电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348基本上被箝制在最大电流限制阈值 $U_{TH\_MAX}$  356处。

[0058] 在固定导通时间结束时,放电信号DIS 394转变为逻辑高值,并且开关S3 278闭合,且电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348开始在电流限制阈值范围“ILIM\_TH范围”365内减小。然而,当电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348接近最小电流限制阈值 $U_{TH\_MIN}$  358时,由晶体管Q3 298和Q4 299形成的电流镜不再能够反映由电流源276提供的电流 $I_{DIS}$ ,并且将提供较少的电流使电容器C2 280放电。照此,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348的减小速率的大小减小,如通过电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348的较靠近最小电流限制阈值 $U_{TH\_MIN}$  358的特性曲线所示

的。特性曲线的形状可以部分地由晶体管Q3 298和Q4 299的沟道宽度和沟道长度之间的比来确定。一旦电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348达到最小电流限制阈值 $U_{TH\_MIN}$  358,由晶体管Q3 298和Q4 299形成的电流镜就基本上不提供电流,并且电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  348基本上被箝制在最小电流限制阈值 $U_{TH\_MIN}$  358处。

[0059] 根据本发明的教导,可以通过加入或引入抖动信号283来改变电流限制阈值信号的斜率。抖动的加入可以产生如图3所示的电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  350或 $U_{ILIM\_TH}$  352。换言之,抖动信号的加入改变了电容器C2 280被充电的速率。在一个实施例中,对于任何电流限制阈值绘图,电容器C2 280的放电速率基本上相同。

[0060] 参照图4,示出了例示根据本发明的教导的图2的控制器200的信号的各种示例波形的时序图400。应理解,下面提到的类似命名和编号的元件可以如上所述的进行耦接和运作。在图4所描绘的实施例中,电流限制阈值范围ILIM\_TH 465是最小电流限制阈值 $U_{TH\_MIN}$  458至最大电流限制阈值 $U_{TH\_MAX}$  456之间的值的范围,该电流限制阈值生成器228可以改变电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  442、 $U_{ILIM\_TH}$  445或 $U_{ILIM\_TH}$  446。在一个实施例中,整个电流限制阈值范围ILIM\_TH 465可以由100%  $I_{LIM}$  464指示。

[0061] 在一个实施例中,在时序图400中描述的波形示出了具有不同斜率的电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  442、 $U_{ILIM\_TH}$  445或 $U_{ILIM\_TH}$  446。在单触发信号OS 490于其间为逻辑高的每个固定时间段内,电流限制阈值信号的上升斜率可以不同。

[0062] 为了说明,在切换周期 $T_1$ 期间,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  442以第一速率(与 $U_{ILIM\_TH}$  442的上升斜率成比例)增加。通过锁存器266接收使能事件(如通过使能信号 $U_{EN}$  438转变为逻辑高值所示出的),并且驱动信号444转变为逻辑高值,这因此使功率开关S1 110导通。电流感测信号443(代表开关电流 $I_D$  140)从零开始增加。开关电流 $I_D$  140和电流感测信号443增加的速率与功率转换器的输入电压 $V_{IN}$ 成比例。当电流感测信号443达到电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  442时,比较器268的输出转变为逻辑高值,这使锁存器266复位,从而使驱动信号444转变为逻辑低值并且功率开关S1 110关断。如所示出的,驱动信号444为逻辑高的时间被称为功率开关S1 110的导通时间( $t_{ON}$ ),并且驱动信号444为逻辑低的时间可以称为功率开关S1 110的关断时间( $t_{OFF}$ )。一旦功率开关关断,电流感测信号443就下降到零。

[0063] 在切换周期 $T_1$ 期间于驱动信号444的下降沿处,单触发信号OS 490转变为逻辑高值达固定时间段。在切换周期 $T_1$ 期间,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  442的值在整个上述固定时间段内都小于最大电流限制阈值 $U_{TH\_MAX}$  456。照此,只要单触发信号OS 490为逻辑高时,比较器268的输出为逻辑低并且充电信号CHG 292为逻辑高。开关S2 274闭合,并且电容器C2 280通过电流源 $Q_C$  272进行充电。因此,只要电荷信号CHG 292为逻辑高时,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  442增大。

[0064] 如所示出的,在功率开关的导通时间 $t_{ON}$ 结束之后的固定时间段期间,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  442在电流限制阈值范围465内以一增加速率增大。返回参照图2,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  442的增加速率基本上与由电流源 $Q_C$  272提供的电流 $I_C$ 和电容器C2 280的电容成比例。具体地,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  442可以增加的最大量基本上等于电流 $I_C$ 的大小与固定时间段的乘积再除以电容器C2 280的电容。如所示的实施例示出的,电流限制阈值信号 $U_{ILIM\_TH}$  442可以增加的最大量小于电流限制阈值范围465。

[0065] 当单触发信号OS 490在上述固定时间段结束时转变为逻辑低值时,经反相的单触

发信号  $\overline{OS}$  491 转变为逻辑高值。只要电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  442 的值大于最小电流限制阈值  $U_{TH\_MIN}$  458 时, 比较器 268 的输出为逻辑低。如所示出的, 电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  442 以一减小速率减小, 直到电流感测信号 443 达到电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  442。返回参照图 2, 该减小速率基本上与电流源 276 提供的电流  $I_{DIS}$  和电容器 C2 280 的电容成比例。

[0066] 在切换周期  $T_2$  开始时, 电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  442 仍以上述减小速率减小。接收到另一使能事件 (如由使能信号  $U_{EN}$  438 在切换周期  $T_2$  开始时转变为逻辑高值所示出的), 这将使锁存器 266 置位 (set) 并且使驱动信号 444 转变为逻辑高值, 进而使功率开关 S1 110 导通。当电流感测信号 443 达到电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  442 (其仍然在减小) 时, 比较器 268 的输出转变为逻辑高值, 这会使锁存器 266 复位并使驱动信号 444 转变为逻辑低值, 进而使功率开关 S1 110 关断。

[0067] 继续图 4 所描绘的实施例, 在切换周期  $T_2$  期间于导通时间  $t_{ON}$  结束时, 单触发信号 OS 490 转变为逻辑高值。为了说明, 在切换周期  $T_2$  期间, 电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  445 以第二速率 (与  $U_{ILIM\_TH}$  445 的上升斜率成比例) 增大。与切换周期  $T_1$  类似, 在切换周期  $T_2$  期间, 电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  445 的值在单触发信号 OS 490 为逻辑高的整个上述固定时间段内都小于最大电流限制阈值  $U_{TH\_MAX}$  456。

[0068] 照此, 充电信号 CHG 492 在整个上述固定时间段内为逻辑高, 并且当单触发信号 OS 490 在上述固定时间段之后转变为逻辑低值时, 该充电信号转变为逻辑低值。或者换言之, 充电信号 CHG 492 基本上跟随单触发信号 OS 490。在上述固定时间段结束 (即, 单触发信号 OS 490 已经转变为逻辑低值, 并且经反相的单触发信号  $\overline{OS}$  491 已经转变为逻辑高值) 时, 电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  445 以减小速率减小, 直到到达最小电流限制阈值  $U_{TH\_MIN}$  458 或者直到电流感测信号 443 达到电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  442。

[0069] 如所描绘的实施例示出的, 在切换周期  $T_3$  开始时接收到另一使能事件, 并且电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  445 仍在以减小速率减小。切换周期  $T_3$  与切换周期  $T_2$  相似。然而, 在切换周期  $T_3$  期间, 电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  446 以第二速率 R1 (与线的上升斜率成比例) 增加。在上述固定时间段结束时, 电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  446 开始减小。

[0070] 在时间  $t_{x1}$  447 处接收到另一使能事件, 该时间  $t_{x1}$  可以是切换周期  $T_4$  (未示出) 开始的时间, 并且如所示出的, 电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  446 仍在以减小速率减小。驱动信号 444 转变为逻辑高值, 并且功率开关导通。当电流感测信号 443 达到电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  446 时, 比较器 268 的输出转变为逻辑高值, 并且驱动信号 444 转变为逻辑低值, 且功率开关关断。

[0071] 单触发信号 OS 490 在时间  $t_{x2}$  449 处转变为逻辑高值。在切换周期  $T_4$  (未示出) 期间于导通时间  $t_{ON}$  结束时 (由时刻  $t_{x2}$  449 指示), 电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  446 的值小于最大电流限制阈值  $U_{TH\_MAX}$  456。照此, 比较器 268 的输出为逻辑低, 并且充电信号 CHG 492 为逻辑高。开关 S2 274 导通, 并且电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  446 开始增加。

[0072] 在上述固定时间段结束时, 经反相的单触发信号  $\overline{OS}$  491 转变为逻辑高值。由于电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  446 的值大于最小电流限制阈值  $U_{TH\_MIN}$  458, 所以比较器 268 的输出为逻辑低。因此, 放电信号 DIS 494 为逻辑高, 并且开关 S3 278 闭合, 且电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  446 减小, 直到电流感测信号 443 达到电流限制阈值信号  $U_{ILIM\_TH}$  446 或者电流限制阈

值信号 $U_{ILIM\_TH}$  446达到最小电流限制阈值 $U_{TH\_MIN}$  458。

[0073] 以上对本发明的所示实施例的描述,包括摘要中所描述的内容,并非意在是穷举性的或限于所公开的精确形式。尽管为了说明的目的而在本文中描述了本发明的具体实施方案和实施例,但是在不脱离本发明的更广泛的精神和范围的情况下,可以进行各种等同的修改。实际上,要理解,具体的示例电压、电流、频率、功率范围值、时间等是为了说明的目的提供的,并且根据本发明的教导,在其他实施方案和实施例中也可以采用其他值。

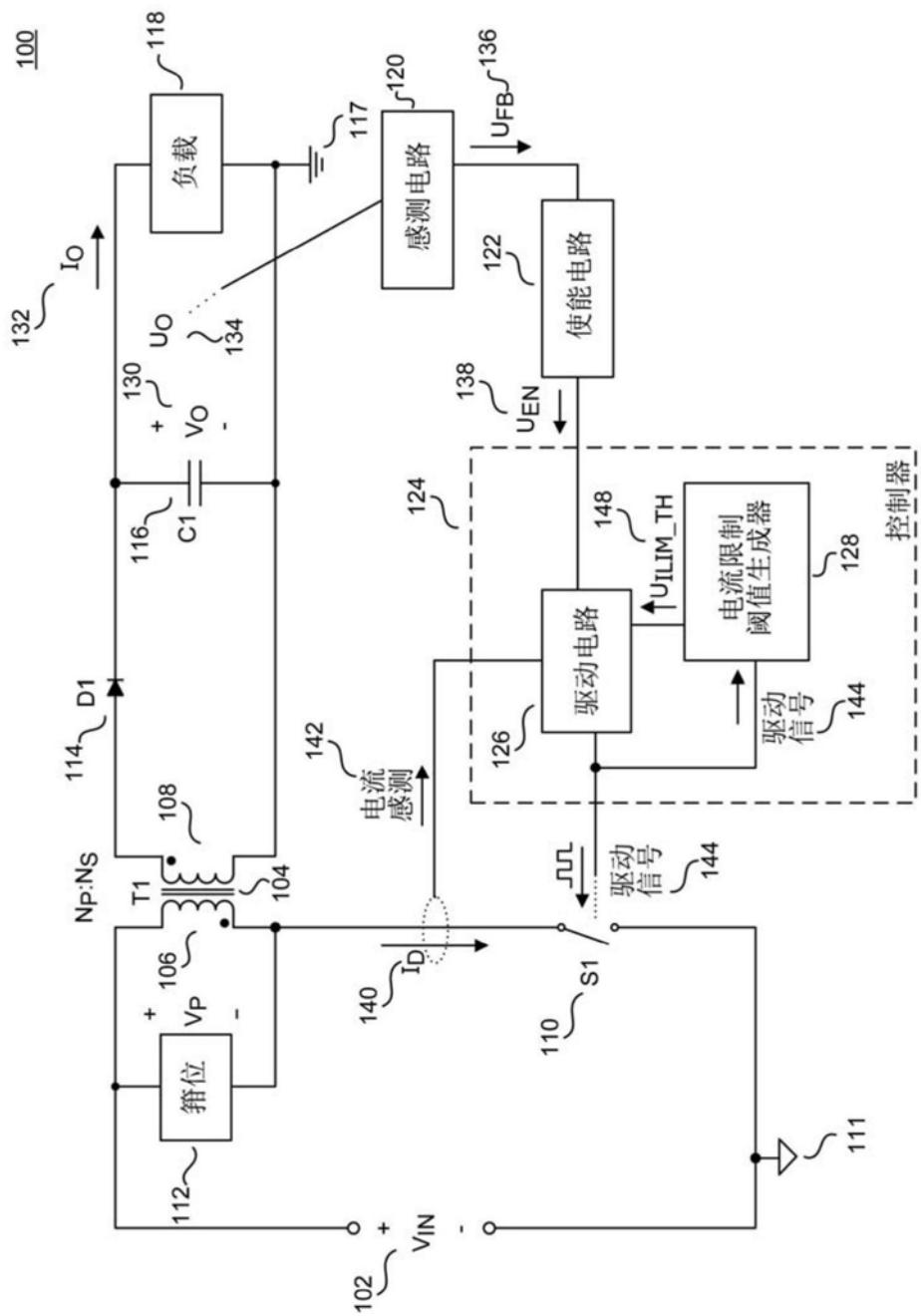


图1

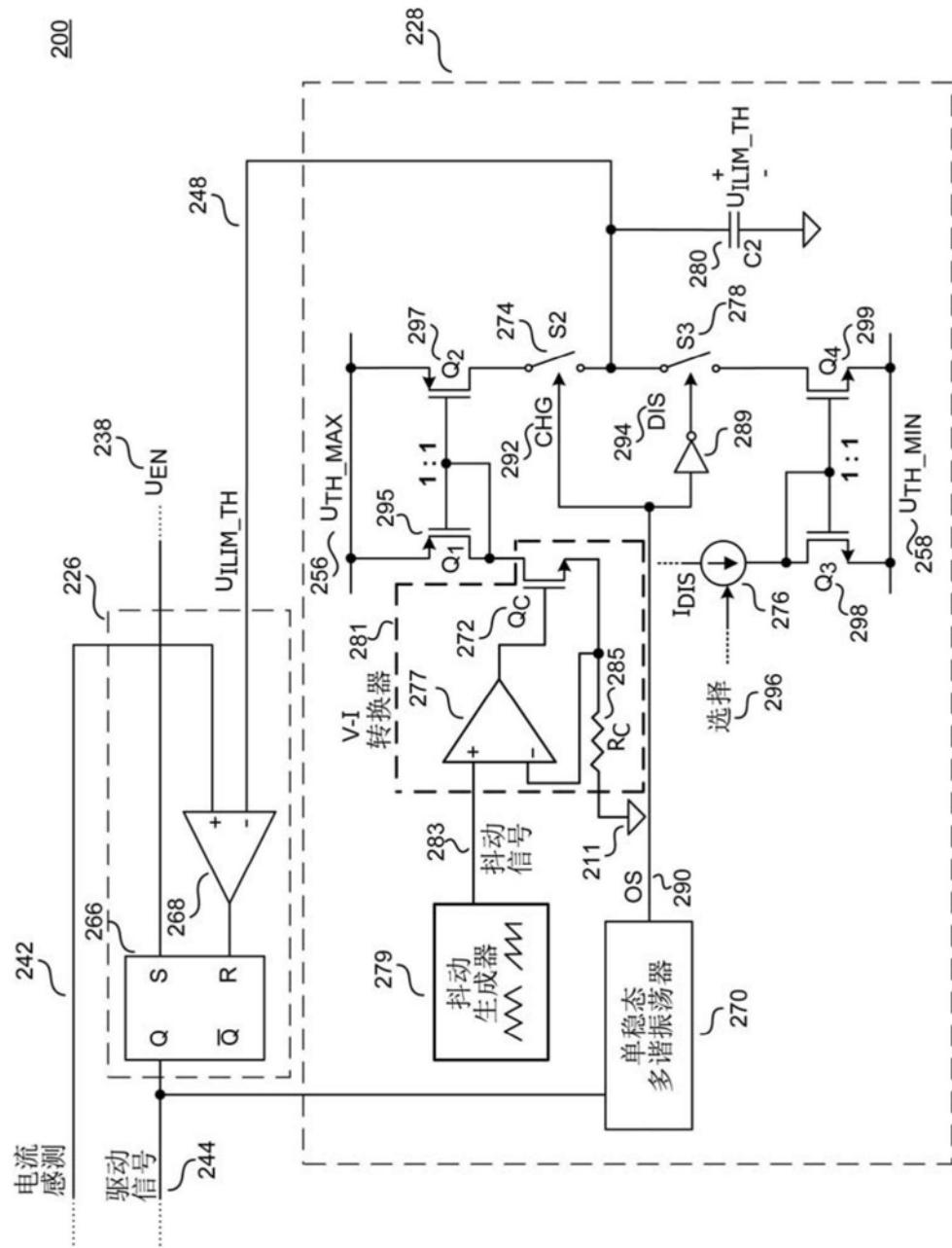


图2

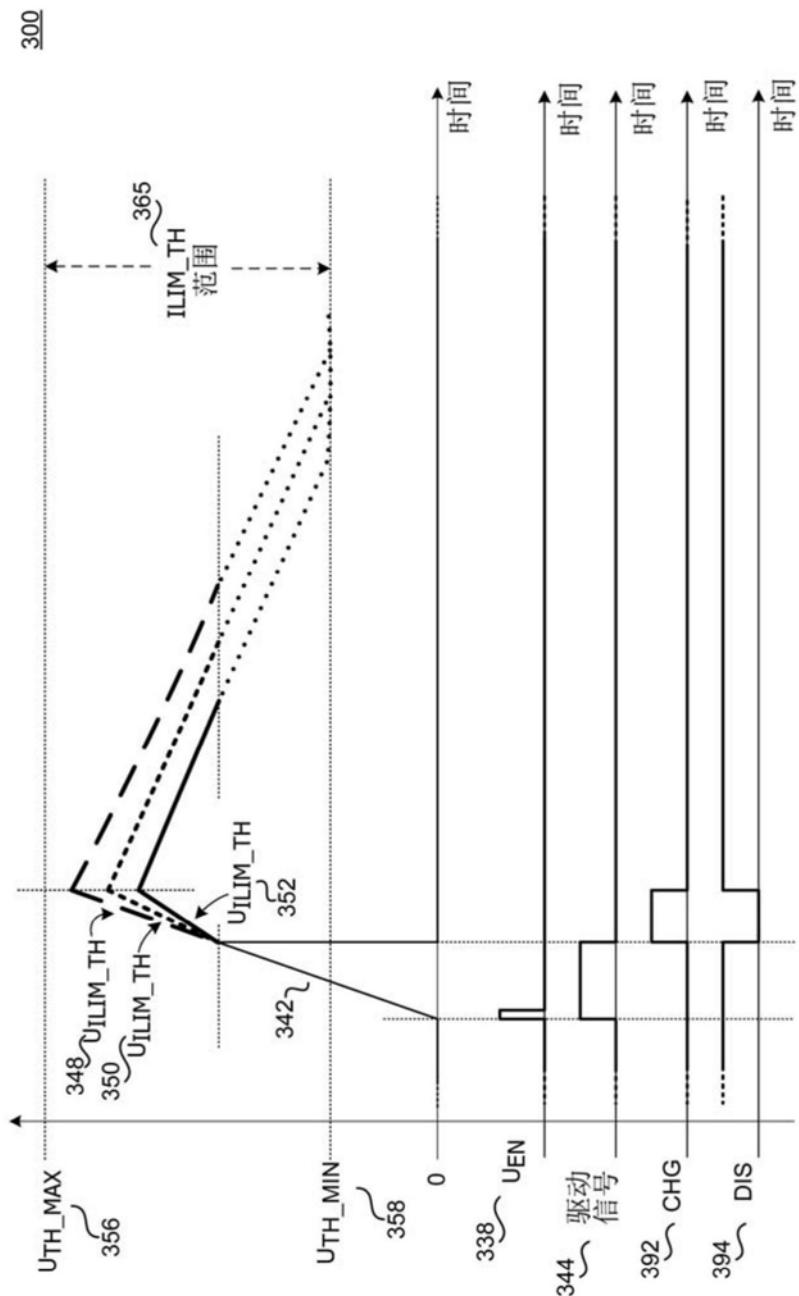


图3

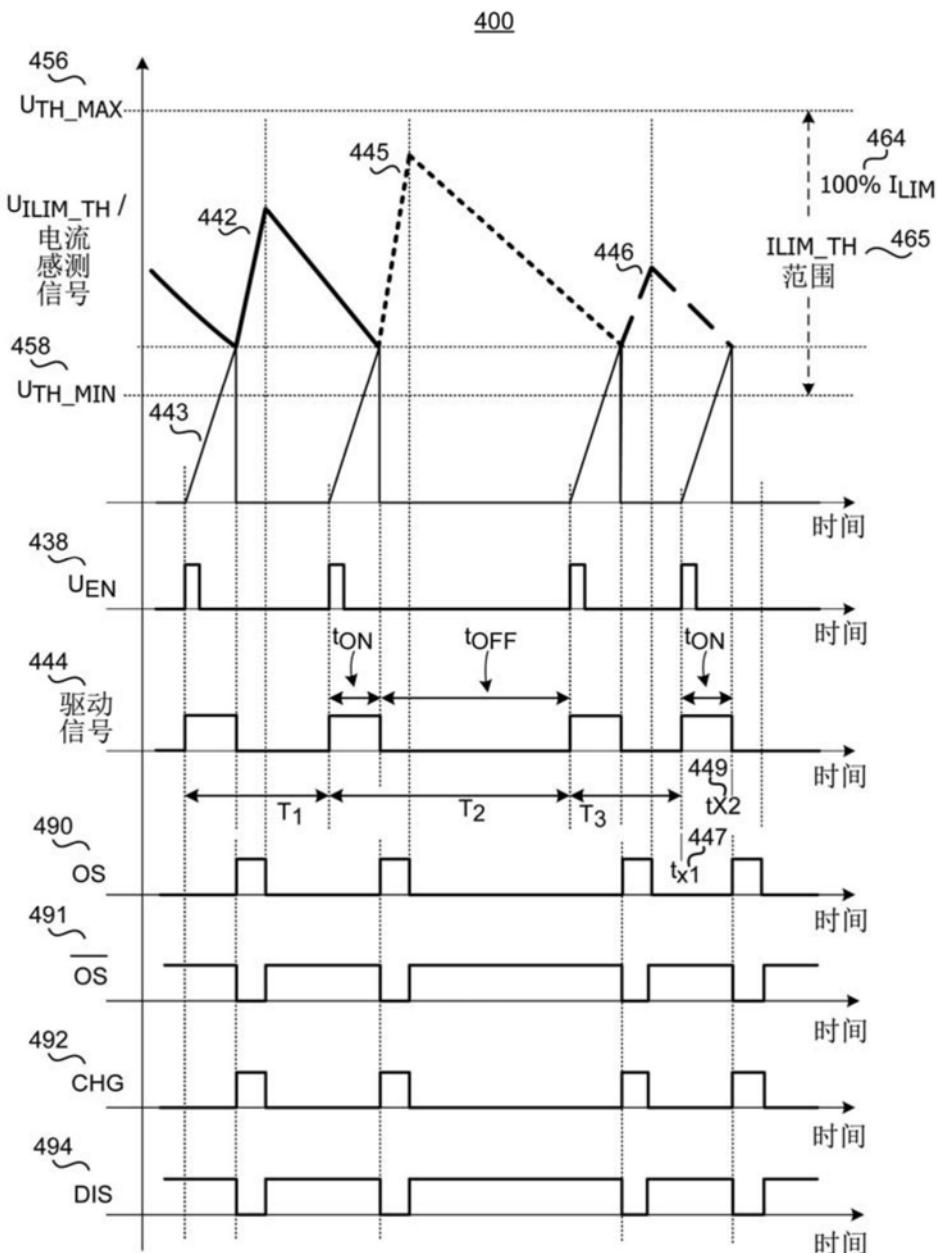


图4