



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111247500 B

(45) 授权公告日 2022.03.22

(21) 申请号 201880059080.4

(22) 申请日 2018.08.30

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111247500 A

(43) 申请公布日 2020.06.05

(30) 优先权数据  
62/552,459 2017.08.31 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2020.03.11

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2018/048679 2018.08.30

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02019/046507 EN 2019.03.07

(73) 专利权人 技领半导体股份有限公司  
地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 纳拉西姆汉·特里奇  
马萨希·诺加瓦

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司 11240

代理人 刘彬

(51) Int.Cl.  
G05F 1/10 (2006.01)  
G05F 1/26 (2006.01)  
G05F 1/32 (2006.01)  
H02M 3/04 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 202374168 U, 2012.08.08  
US 2012091977A1 A1, 2012.04.19  
US 2007132508 A1, 2007.06.14  
US 2015280556 A1, 2015.10.01  
US 5363366 A, 1994.11.08  
US 2017149908 A1, 2017.05.25  
US 2016315538 A1, 2016.10.27  
CN 202374168 U, 2012.08.08

审查员 石兵

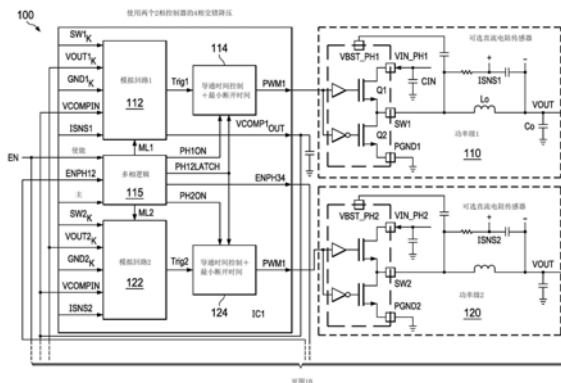
权利要求书3页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

多相转换器系统和控制方法

(57) 摘要

一种多相操作控制方法包括:将功率转换器的多个功率相配置成通过在所述多个功率相之间依序传递令牌而以交错方式进行操作;在第一功率相拥有所述令牌并从所述第一功率相的控制电路接收到触发信号之后,导通第一功率相;在所述第一功率相结束之后,将所述令牌传递到第二功率相;依序传递所述令牌,直到所述多个功率相中的最后一个功率相拥有所述令牌为止;以及在所述最后一个功率相结束之后,将所述令牌转发到所述第一功率相。



1. 一种用于控制功率转换器的方法,所述方法包括:  
提供包括多个功率相的功率转换器,其中:  
每一功率相包括功率级和对应的控制电路;  
所述多个功率相的输出连接在一起;并且  
每个功率级由恒定导通时间和最小断开时间控制方案利用脉宽调制信号控制,所述脉宽调制信号由对应的控制电路响应于触发信号而产生;和  
将所述多个功率相配置成通过在所述多个功率相之间依序传递令牌而以交错方式进行操作,其中所述令牌代表用于允许拥有所述令牌的功率相的高侧开关导通的使能功能,并且所述令牌在所述高侧开关的最小断开时间之后被传送到下一功率相。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中:  
所述多个功率相由第一控制器和第二控制器控制,且所述第一控制器被配置成主装置而所述第二控制器被配置成从装置。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中:  
由所述主装置控制的所述功率相比由所述从装置控制的所述功率相导通得早。
4. 根据权利要求2所述的方法,其中:  
由所述主装置控制的所述功率相依序导通;并且  
由所述从装置控制的所述功率相依序导通。
5. 根据权利要求2所述的方法,其中:  
所述令牌是以预定方式在由所述主装置控制的不同相之间传送;并且  
所述令牌是以预定方式在由所述从装置控制的不同相之间传送。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中:  
所述令牌在由所述主装置控制的最后一个功率相结束时从所述主装置被释放到所述从装置。
7. 根据权利要求1所述的方法,其中:  
每一功率相包括降压功率转换器。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中:  
所述多个功率相由单个控制器控制,且所述令牌由计数器在不同相之间传送。
9. 根据权利要求8所述的方法,其中:  
所述计数器被配置成以循环方式从第一功率相向最后一个功率相递送所述令牌,并在所述最后一个功率相结束之后再次重复此过程。
10. 一种用于控制多相转换器的方法,所述方法包括:  
将功率转换器的多个功率相配置成通过在所述多个功率相之间依序传递令牌而以交错方式进行操作;  
在第一功率相拥有所述令牌并从所述第一功率相的控制电路接收到触发信号之后,产生第一脉宽调制信号以导通所述第一功率相;  
在所述第一功率相的预定最小断开时间之后,将所述令牌传递到第二功率相以使能所述第二功率相;  
在所述第二功率相的预定最小断开时间之后,依序传递所述令牌,直到所述多个功率相中的最后一个功率相拥有所述令牌为止;以及

在所述最后一个功率相结束之后,将所述令牌转发到所述第一功率相。

11. 根据权利要求10所述的方法,其中:

每一功率相包括功率级和对应的控制电路;并且  
所述多个功率相的输出连接在一起。

12. 根据权利要求10所述的方法,其中:

所述令牌代表用于允许拥有所述令牌的功率相的高侧开关导通的使能功能。

13. 根据权利要求10所述的方法,其中每一功率相包括恒定导通时间功率转换器,所述恒定导通时间功率转换器包括:

第一开关与第二开关,串联连接在输入电源与地之间;和  
电感器,连接在所述第一开关和所述第二开关的公共节点与所述恒定导通时间功率转换器的输出之间。

14. 根据权利要求10所述的方法,其中:

所述多个功率相由第一控制器和第二控制器控制;

所述第一控制器被配置成主装置而所述第二控制器被配置成从装置;

由所述主装置控制的所述功率相比由所述从装置控制的所述功率相导通得早;并且

所述令牌在由所述主装置控制的最后一个功率相结束时从所述主装置被释放到所述从装置。

15. 根据权利要求10所述的方法,其中:

所述多个功率相由单个控制器控制;

所述令牌由计数器在不同相之间传送;

所述计数器被配置成以循环方式从第一功率相向最后一个功率相递送所述令牌,并在所述最后一个功率相结束之后再次重复此过程。

16. 一种多相转换器系统,包括:

多个功率级,连接在输入电源与输出端子之间,其中每一功率级包括恒定导通时间和最小断开时间功率转换器;和

控制器,被配置成响应于触发信号产生用于所述多个功率级的恒定导通时间和最小断开时间栅极驱动信号,其中所述多个功率级被配置成通过在所述多个功率级之间依序传递令牌而以交错方式进行操作,

其中

所述令牌由所述控制器产生且由所述控制器在所述多个功率级之间传送,

所述令牌代表用于允许拥有所述令牌的功率级导通的使能功能,并且

所述令牌在拥有所述令牌的功率级的预定最小断开时间之后被传送至下一功率级。

17. 根据权利要求16所述的系统,其中:

所述控制器包括第一控制单元和第二控制单元;

多个第一功率级由所述第一控制单元控制而多个第二功率相由所述第二控制单元控制;且

所述第一控制单元被配置成主装置而所述第二控制单元被配置成从装置。

18. 根据权利要求17所述的系统,其中:

所述第一功率级比所述第二功率级导通得早。

19. 根据权利要求16所述的系统,其中:

所述控制器包括计数器;且

所述计数器被配置成以循环方式从第一功率级向最后一个功率级递送所述令牌,并在所述最后一个功率级结束之后再次重复此过程。

20. 根据权利要求16所述的系统,其中所述恒定导通时间和最小断开时间功率转换器包括:

第一开关与第二开关,串联连接在输入电源与地之间;和

电感器,连接在所述第一开关和所述第二开关的公共节点与输出电容器之间。

## 多相转换器系统和控制方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请涉及并要求于2018年8月30日提交的题为“多相转换器系统和控制方法 (Multiphase Converter System and Control Method)”的美国非临时申请第16/117014号 and 于2017年8月31日提交的题为“多相转换器系统和控制方法”的美国临时申请第62/552459号的优先权,其通过引用并入本文。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及一种用于多相转换器的控制方案,并且在具体实施例中,涉及一种用于多相转换器的交错操作控制方案。

### 背景技术

[0004] 随着技术的进一步发展,各种电子器件(诸如手机、平板电脑、数码相机、MP3播放器和/或类似器件)已经变得流行起来。每一电子器件需要基本上恒定电压下的直流电源,即使当电子器件汲取的电流可能在较宽的范围内变化时,所述直流电源也可在规定的容差内调节。为了将电压维持在规定的容差内,耦合到电子器件的功率转换器(例如,开关直流/直流转换器)提供非常快速的瞬态响应,同时在各种负载瞬态下保持稳定的输出电压。

[0005] 基于滞后的功率转换器控制方案(诸如恒定导通时间方案)可使得功率转换器提供快速瞬态响应。采用恒定导通时间控制方案的降压型转换器不需要误差放大器。事实上,简单的恒定导通时间电路可仅包括反馈比较器和导通定时器。在操作中,功率转换器(例如,降压型转换器)的反馈电路直接将包含直流电压和纹波电压的反馈信号与内部基准进行比较。当反馈信号低于内部基准时,功率转换器的高侧开关导通并在导通定时器持续时间内保持导通。由于导通了高侧开关,因此功率转换器的电感电流上升。当导通定时器到期时,电源转换器的高侧开关断开,且直到反馈信号再次低于内部基准时才导通。总之,当在功率转换器中采用恒定导通时间控制方案时,功率转换器的高侧开关的导通时间由导通定时器终止。功率转换器的高侧开关的断开时间由反馈比较器终止。

[0006] 采用恒定导通时间控制方案的功率转换器设计简单。然而,恒定导通时间控制方案具有不希望的表现。举例来说,通过对时钟信号进行相移,可容易地实现传统多相转换器的交错操作。采用恒定导通时间控制方案的多相转换器与时钟信号不同步。因此,很难将基于恒定导通时间的多相转换器配置成以交错方式进行操作。

[0007] 期望提供一种控制方法,以用于将恒定导通时间多相转换器配置成以交错方式进行操作。

### 发明内容

[0008] 在具体实施例中,控制方案可将采用恒定导通时间控制方案的多相转换器配置成以交错方式进行操作。

[0009] 根据实施例,一种方法包括:提供包括多个功率相的功率转换器,其中每一功率相

包括功率级和对应的控制电路,所述多个功率相的输出连接在一起且至少一个功率级由恒定导通时间控制方案控制;和将所述多个功率相配置成通过在所述多个功率相之间依序传递令牌而以交错方式进行操作,其中所述令牌代表用于允许拥有所述令牌的功率相的高侧开关导通的使能功能。

[0010] 根据另一实施例,一种方法包括:将功率转换器的多个功率相配置成通过在所述多个功率相之间依序传递令牌而以交错方式进行操作;在第一功率相拥有所述令牌并从所述第一功率相的控制电路接收到触发信号之后,导通所述第一功率相;在所述第一功率相结束之后,将所述令牌传递到第二功率相;依序传递所述令牌,直到所述多个功率相中的最后一个功率相拥有所述令牌为止;以及在所述最后一个功率相结束之后,将所述令牌转发到所述第一功率相。

[0011] 根据又一实施例,一种系统包括:多个功率相,连接在输入电源与输出端子之间,其中每一功率相包括恒定导通时间功率转换器;和控制器,被配置成产生用于所述多个功率相的栅极驱动信号,其中所述多个功率相被配置成通过在所述多个功率相之间依序传递令牌而以交错方式进行操作,其中所述令牌是由所述控制器产生且所述令牌代表用于允许拥有所述令牌的功率相导通的使能功能。

[0012] 本公开的优选实施例的优点是通过将恒定导通时间多相转换器配置成以交错方式进行操作来改善恒定导通时间功率转换器的性能。

[0013] 前述内容已经相当广泛地概述了本发明的特征和技术优点,以便可更好地理解以下对本发明的详细说明。在下文中将阐述形成本发明的权利要求书的主题的本发明的附加特征和优点。所属领域的技术人员应理解,所公开的概念和特定实施例可容易地用作修改或设计用于施行本发明相同目的的其他结构或过程的基础。所属领域的技术人员还应认识到,此种等效构造并不背离所附权利要求书中提出的本发明的精神和范围。

## 附图说明

[0014] 为了更完整地理解本发明及其优点,现在结合附图参照以下说明,在附图中:

[0015] 图1例示出根据本公开的各种实施例的采用恒定导通时间控制方案的四相转换器的第一实施方式的示意图。

[0016] 图2例示出根据本公开的各种实施例的图1中所示的四相转换器的各种控制信号和开关节点波形。

[0017] 图3例示出根据本公开的各种实施例的图1中所示的四相转换器的波形。

[0018] 图4例示出根据本公开的各种实施例的图1中所示的四相转换器的各种瞬态响应波形。

[0019] 图5例示出根据本公开的各种实施例的采用恒定导通时间控制方案的四相转换器的第二实施方式的示意图。

[0020] 除非另外指明,否则不同附图中的对应编号和符号通常指代对应的部件。附图是为了清楚地例示出各个实施例的相关方面而绘制的且不一定是按比例绘制的。

## 具体实施方式

[0021] 下面将详细论述当前优选实施例的制作和使用。然而,应理解,本发明提供可在多

种特定环境下实施的许多可应用的发明概念。所论述的特定实施例仅仅是制作和使用本发明的特定方式的例示且不会限制本发明的范围。

[0022] 本发明将针对特定环境下的优选实施例,即用于实现采用恒定导通时间控制方案的多相转换器的交错操作的控制方法,进行阐述。然而,本发明也可应用于各种功率转换器。在下文中,将参照附图详细阐释各种实施例。

[0023] 图1例示出根据本公开的各种实施例的采用恒定导通时间控制方案的四相转换器的第一实施方式的示意图。图1包含图1A和图1B。在通篇说明中,图1A和图1B统称为图1。四相转换器100包括耦合在输入电源VIN与输出VOUT之间的四个相。每一相包括功率级和其对应的控制电路。

[0024] 为了在输入电源VIN与功率级之间具有低电阻连接,将输入电源VIN的输出划分成如图1中所示的四个连接端子VIN\_PH1、VIN\_PH2、VIN\_PH3和VIN\_PH4。这四个连接端子分别连接到所述四个相的输入。

[0025] 如图1中所示,可存在四个功率级,即第一功率级110、第二功率级120、第三功率级130和第四功率级140。所述四个功率级如图1中所示并联连接在输入电源VIN与输出VOUT之间。具体来说,所述四个功率级的输入通过连接端子连接在一起且进一步连接到输入电源VIN。所述四个功率级的输出连接在一起且进一步连接到负载和/或下游功率转换器。

[0026] 在一些实施例中,每一功率级是降压功率转换器(也称为降压型转换器)。如图1中所示,所述四个功率级110、120、130和140具有相同的功率拓扑。为了避免不必要的重复,下面仅详细论述第一功率级110的功率拓扑。

[0027] 第一功率级110包含第一开关Q1、第二开关Q2、电感器 $L_o$ 和输出电容器 $C_o$ 。如图1中所示,第一开关Q1和第二开关Q2串联连接在连接端子VIN\_PH1与地PGND1之间。电感器 $L_o$ 连接在第一开关Q1和第二开关Q2的公共节点与输出电容器 $C_o$ 之间。在通篇说明中,第一开关Q1和第二开关Q2的公共节点替代地被称为开关节点SW1。第一功率级110如图1中所示还包括连接在开关节点SW1与自举节点VBST\_PH1之间的自举电容器。自举电容器的功能是众所周知的,因此本文中不再进行论述。

[0028] 在一些实施例中,第一开关Q1和第二开关Q2被实施成如图1中所示的n型晶体管。第一开关Q1的栅极与第二开关Q2的栅极通过缓冲器和反相器连接在一起且进一步耦合到控制电路的输出。

[0029] 根据不同的应用和设计需求,可采用电流感测电路来进一步改善四相转换器100的性能。如图1中所示,第一功率级110的电流感测电路与电感器 $L_o$ 并联连接。如图1中所示,第一电流感测电路ISNS1包含串联连接在开关节点SW1与输出端子VOUT之间的电阻器和电容器。第一电流感测电路也称为直流电阻(DCR)感测电路,其使用电感器绕组的寄生电阻来测量流过电感器的电流。如图1中所示,在电容器两端检测电流感测信号。DCR感测电路的操作原理是众所周知的,因此在本文中不进行论述以避免重复。

[0030] 四相转换器100还包括两个控制器,即第一控制器IC1和第二控制器IC2。如图1中所示,所述四个功率级由控制器IC1和IC2所产生的PWM信号控制。具体来说,采用来自第一控制器IC1的第一PWM信号PWM1来控制第一功率级110的操作。采用来自第一控制器IC1的第二PWM信号PWM2来控制第二功率级120的操作。同样地,采用来自第二控制器IC2的第一PWM信号PWM1来控制第三功率级130的操作。采用来自第二控制器IC2的第二PWM信号PWM2来控

制四个功率级140的操作。

[0031] 应注意,图1例示出由控制器控制的两个功率级。此图仅仅是实例,其不应不适当地限制权利要求书的范围。所属领域的普通技术人员将认识到许多变化、替代和修改。举例来说,控制器可根据不同的应用和设计需求控制任意数量的功率级。

[0032] 第一控制器IC1与第二控制器IC2包含相同的功能单元。为简单起见,本文中仅详细论述第一控制器IC1的结构。如图1中所示,第一控制器IC1包含第一反馈回路单元112、第二反馈回路单元122、第一导通时间和最小断开时间控制单元114、第二导通时间和最小断开时间控制单元124以及多相逻辑单元115。

[0033] 在一些实施例中,第二反馈回路单元122具有与第一反馈回路单元112相同的结构。第二导通时间和最小断开时间控制单元124具有与第一导通时间和最小断开时间控制单元114相同的结构。为简单起见,本文中仅详细论述第一反馈回路单元112和第一导通时间和最小断开时间控制单元114的结构。

[0034] 第一反馈回路单元112与第一导通时间和最小断开时间控制单元114如图1中所示级联连接。第一反馈回路单元112被配置成接收多个控制信号,所述多个控制信号包含开关节点电压 $SW1_k$ 、输出电压 $VOUT1_k$ 、第一接地电压 $GND1_k$ 、反馈回路输出信号 $VCOMPIN$ 和电流感测信号 $ISNS1$ 。

[0035] 在一些实施例中, $SW1_k$ 是从第一功率级110的公共节点Q1和Q2测量的。 $VOUT1_k$ 是第一功率级110的输出电容器两端的电压。 $GND1_k$ 是从第一功率级110的电源接地层测量的。反馈回路输出信号 $VCOMPIN$ 是第一反馈回路单元112的比较器的输出信号。电流感测信号 $ISNS1$ 是第一功率级110的第一电流感测电路的电容器两端的电压。

[0036] 第一反馈回路单元112还从多相逻辑单元115接收多相操作控制信号 $ML1$ 。多相逻辑单元115还如图1中所示为第二反馈回路单元122产生多相操作控制信号 $ML2$ 。

[0037] 第一反馈回路单元112用于监控输出电压且当检测到的输出电压低于预定基准时导通高侧开关Q1。具体来说,第一反馈回路单元112产生触发信号 $Trig1$ 并将此触发信号馈送到第一导通时间和最小断开时间控制单元114。第一导通时间和最小断开时间控制单元114基于触发信号 $Trig1$ 和来自多相逻辑单元115的令牌产生PWM信号 $PWM1$ 。除非第一导通时间和最小断开时间控制单元114接收到触发信号 $Trig1$ 并拥有令牌,否则第一导通时间和最小断开时间控制单元114将不会产生用于导通高侧开关Q1的PWM信号。将针对多相逻辑单元115详细阐述不同相之间的令牌传送控制方案。

[0038] 在第一导通时间和最小断开时间控制单元114拥有令牌并接收到触发信号 $Trig1$ 之后,第一导通时间和最小断开时间控制单元114产生导通信号以导通高侧开关Q1。在已经导通高侧开关Q1之后,通过第一导通时间和最小断开时间控制单元114的导通定时器确定高侧开关Q1的导通时间。

[0039] 在一些实施例中,第一反馈回路单元112包括耦合到输出电压 $VOUT$ 的分压器、误差放大器、补偿网络、预定基准和比较器。在替代实施例中,第一反馈回路单元112可包括斜坡发生器以进一步改善性能。此外,为了降低控制电路的成本,第一反馈回路单元112可不包括误差放大器和相关联的补偿网络。采用恒定导通时间控制方案的转换器的反馈回路单元的操作原理是众所周知的,因此本文中不再进行详细论述。

[0040] 第一导通时间和最小断开时间控制单元114包括导通时间控制设备和最小断开时

间控制设备。导通时间控制设备可包括电流源、电容器、开关、预定基准和比较器。电流源用于给电容器充电。比较器将电流源两端的电压与预定基准进行比较。比较器的输出用于触发高侧开关Q1的断开。导通时间可通过调节来自电流源的电流或调节预定基准来调节。采用恒定导通时间控制方案的转换器的导通时间控制设备的操作原理是众所周知的，因此本文中不再进行详细论述。

[0041] 采用最小断开时间控制设备控制高侧开关Q1的断开时间。高侧开关Q1的最小断开时间由多种因素(诸如输入电压、输出电压、相的数量)确定。最小断开时间控制可防止电感器在负载的快速瞬变期间饱和。另外，最小断开时间控制可有助于降低多相功率转换器的输出电压/电流纹波。

[0042] 在操作中，多相操作控制信号与施加到其他功率级的其他多相操作控制信号相协调，以使得施加到所述四个功率级的高侧开关的PWM信号的前沿以错开的间隔出现，从而实现交错操作。这种交错操作有助于以最小化的电磁干扰(EMI)实现高输出功率。

[0043] 第一导通时间和最小断开时间控制单元114被配置成从第一反馈回路单元112接收输出信号Trig1。另外，第一导通时间和最小断开时间控制单元114还从多相逻辑单元115接收两个信号PH10N和PH12LATCH。基于接收到的信号，第一导通时间和最小断开时间控制单元114产生第一PWM信号PWM1。

[0044] 为了实现四相转换器100的交错操作，以循环方式导通图1中所示的所述四个功率级。换句话说，一次只允许导通一个相。这种循环方式会导致交错操作。第一控制器IC1的多相逻辑单元115和第二控制器IC2的多相逻辑单元135用于控制所述四个相，以实现交错操作。

[0045] 用于相之间通信的信号是主、ENPH12、ENPH34和VCOMP1<sub>OUT</sub>。主信号用于将每一控制器IC配置成主装置或从装置。如果控制器IC的主引脚结合到地，则此控制器IC表现为从装置。另一方面，如果控制器IC的主信号是浮动的或结合到高，则此控制器IC的表现类似于主装置。

[0046] 如图1中所示，第一控制器IC1的主引脚是浮动的。第二控制器IC2的主引脚通过电阻器连接到地。因此，第一控制器IC1用作主装置。第二控制器IC2用作从装置。在操作中，由主装置(例如，IC1)控制的相比由从装置(例如，IC2)控制的相导通得早。

[0047] 应注意，图1中所示的设定主装置/从装置的方法仅仅是实例，其不应不适当地限制权利要求书的范围。所属领域的普通技术人员将认识到许多变化、替代和修改。举例来说，第一控制器IC1和第二控制器IC2的主/从设定可通过合适的内部配置获得。

[0048] 在每一控制器IC中，第一相(例如，由IC1控制的功率级110或由IC2控制的功率级130)是主相。第二相(例如，由IC1控制的功率级120或由IC2控制的功率级140)是从相。在操作中，每一控制器IC的主相(例如，功率级110)在对应的从相(例如，功率级120)之前导通。根据图1中所示的系统配置，首先导通第一功率级110。在第一功率级110的导通完成之后，第二功率级120、第三功率级130和第四功率级140通过各自的控制电路被依序导通。在第四功率级140的导通完成之后，控制器IC1和IC2重复以上过程(依序导通功率级110至140)。

[0049] 每一控制器IC具有提供使能信号的ENPH12引脚，所述使能信号确定IC内的相导通序列。举例来说，ENPH12输入的上升沿用于置位PH12LATCH信号并迫使ENPH34输出低。PH12LATCH信号允许首先导通由控制器IC控制的第一相。在已断开第一相之后，PH12LATCH

信号允许导通由控制器IC控制的第二相。在第二相的导通结束时,复位PH12LATCH。

[0050] 总之,当ENPH12信号从低转换到高时,置位PH12LATCH信号。PH12LATCH信号保持高,直到第二相结束为止。此种控制方案相当于由控制器IC捕获令牌并保持令牌,直到此控制器IC内的所述两个相或所有相已依序触发一次为止。

[0051] 此外,在控制器IC捕获令牌之后,以预定方式在由控制器IC控制的不同相之间传送令牌。举例来说,每一控制器IC内的第一相首先捕获令牌。响应于捕获的令牌,置位图1中所示的PH10N信号并相应地导通第一相。在第一相的导通完成之后,在第一预定最小断开时间( $T_{OFFMIN1}$ )之后,将令牌释放到第二相。响应于从第一相传送到第二相的令牌,重置PH10N并置位PH20N,且第一控制器IC1能够导通第二相。

[0052] 在第二相结束并等待第二预定最小断开时间( $T_{OFFMIN2}$ )之后,将令牌释放到下一个IC(例如,第二控制器IC2)。响应于此令牌释放,ENPH34输出被置位为高,而PH12LATCH和PH20N信号二者都在第二相结束时复位。

[0053] 第一控制器IC1使用ENPH12信号的上升沿来捕获令牌。此IC内的所有相都被允许以预定方式依序导通。在一些实施例中,在捕获令牌之后,第一控制器IC1导通第一相,接着导通第二相。在第一控制器IC1内的所有相都已触发之后,通过在连接到第二控制器IC2的ENPH12输入引脚的第一控制器IC1中将ENPH34输出置位为高而将令牌传递到第二控制器IC2。一旦第二控制器IC2检测到其ENPH12引脚变高,它就锁定内部信号PH12LOCK并迫使ENPH34输出低,接着第一控制器IC1检测到所述ENPH34输出低,且此时第二控制器IC2捕获已由第一控制器IC1释放的令牌。

[0054] 第二控制器IC2中的令牌传送类似于第一控制器IC1中的令牌传送,因此本文中不再进行论述。上述令牌传送控制方案允许所述四个相的依序启动。所述四个相的导通时间以循环方式出现。因此,四相转换器100可实现交错操作。

[0055] 图2例示出根据本公开的各种实施例的图1中所示的四相转换器的各种控制信号和开关节点波形。图2的水平轴代表时间间隔。水平轴的单位是毫秒。可能存在九个垂直轴。

[0056] 第一垂直轴Y1代表ENINPH12信号(第一控制器IC1的使能信号)。第二垂直轴Y2代表PH40N信号(第四相的使能信号)。第三垂直轴Y3代表PH30N信号(第三相的使能信号)。第四垂直轴Y4代表EN34LATCH信号(第三相和第四相的使能信号)。第五垂直轴Y5代表ENINPH34信号(第二控制器IC2的使能信号)。第六垂直轴Y6代表PH20N信号(第二相的使能信号)。第七垂直轴Y7代表PH10N信号(第一相的使能信号)。第八垂直轴Y8代表EN12LATCH信号(第一相和第二相的使能信号)。第九垂直轴Y9代表所述四个相的开关节点电压。

[0057] 在 $t_1$ 处,ENINPH12信号从逻辑低转换到逻辑高。响应于ENINPH12信号的上升沿,第一控制器IC1接收令牌并将EN12LATCH信号置位成如图2中所示。

[0058] 将令牌传递到第一相,这允许第一相通过其控制电路被导通。在 $t_2$ 处,第一相的控制电路产生触发事件。响应于触发事件(例如,图1中所示的Trig1),在 $t_2$ 处导通第一功率级(第一相的功率级)的高侧开关。第一相的开关节点电压示出第一功率级的高侧开关从 $t_2$ 到 $t_3$ 保持导通。第一功率级的高侧开关在 $t_3$ 处断开。在 $t_3$ 处,将令牌从第一相传递到第二相。在 $t_3$ 处,第二相被允许由其控制电路导通。

[0059] 在 $t_4$ 处,第二相的控制电路产生触发事件。响应于触发事件,在 $t_4$ 处导通第二功率级(第二相的功率级)的高侧开关。第二相的开关节点电压示出第二功率级的高侧开关从 $t_4$

到 $t_5$ 保持导通。第二功率级的高侧开关在 $t_5$ 处断开。在由第一控制器控制的两个相都已断开之后,在 $t_5$ 处将令牌从第一控制器IC1传递到第二控制器IC2。

[0060] 在 $t_5$ 处,第二控制器IC2从第一控制器IC1接收令牌。ENINPH34信号从逻辑低转换到逻辑高。响应于ENINPH34信号的上升沿,将EN34LATCH置位成如图2中所示。在 $t_5$ 处,第三相被允许由其控制电路导通。

[0061] 在 $t_6$ 处,第三相的控制电路产生触发事件。响应于触发事件,在 $t_6$ 处导通第三功率级(第三相的功率级)的高侧开关。第三相的开关节点电压示出第三功率级的高侧开关从 $t_6$ 到 $t_7$ 保持导通。第三功率级的高侧开关在 $t_7$ 处断开。在 $t_7$ 处,将令牌从第三相传递到第四相,且第四相被允许由其控制电路导通。

[0062] 在 $t_8$ 处,第二相的控制电路产生触发事件。响应于触发事件,在 $t_8$ 处导通第四功率级(第四相的功率级)的高侧开关。第四相的开关节点电压示出第四功率级的高侧开关从 $t_8$ 到 $t_9$ 保持导通。第四功率级的高侧开关在 $t_9$ 处断开。在由第二控制器控制的两个相都已断开之后,在 $t_9$ 处将令牌从第二控制器IC2传递回第一控制器IC1。

[0063] 如图2中所示,在触发事件之后,相的高侧开关导通并保持导通直到相的控制回路(例如,导通定时器)断开高侧开关为止。在已断开高侧开关之后,在预定最小断开时间 $T_{\text{OFFMIN}}$ 之后将令牌释放并递送到下一个相。在一些实施例中,预定最小断开时间 $T_{\text{OFFMIN}}$ 可为零。所述下一个相接收令牌,接着允许其高侧开关导通。

[0064] 相在其捕获令牌( $\text{PHxON}/\text{PHxEN}=1$ )之后被启用。在启用相之后,在触发事件出现( $\text{TRIGx}=1$ )之后,相的高侧开关导通。在一些实施例中,触发事件由相的比较器设定。更具体来说,比较器将输出电压或反馈信号与预定基准进行比较。在替代实施例中,通过对开关节点信号进行滤波以导出等效伪电感电流信息来设定触发事件。然后对经滤波的信号进行交流耦合或高通滤波,接着将其与反馈信号相加并与参照电压相比较,从而设定每一相的触发时间。

[0065] 在一些实施例中,每一相可通过以下方式而具有其独立的触发事件:检测其相电流或开关节点信息并将其添加到反馈/输出电压,接着将其与来自自主相的固定误差电压进行比较。替代地,将相电流和反馈电压的组合与固定但公共的参照电压进行比较。与来自自主相的单个误差或参照电压进行比较确保了输出电压调节的更高精度以及所有相之间的相电流平衡。

[0066] 返回参照图1,所有相共有的误差电压是来自主相的输出信号且在图1中命名为 $\text{VCOMP1}_{\text{OUT}}$ 。第一相的控制回路在其模拟控制回路处产生误差电压并通过 $\text{VCOMP1}_{\text{OUT}}$ 引脚将此输出发送到其他相。换句话说, $\text{VCOMP1}_{\text{OUT}}$ 信号由被配置成图1中所示的多相功率转换器的一部分的所有其他相共享。

[0067] 从图2中所示的波形,已经实现了所述四个相的依序循环操作。具有图2中所示令牌传递控制方案的一个有利特征是所述四个相的交错操作有助于完全实现具有多相功率转换器的优点。所述优点包含较低的开关损耗、较高的效率、较低的输出纹波电压、更好的瞬态性能以及对输入电容器的较低的纹波电流额定值要求等。

[0068] 图3例示出根据本公开的各种实施例的图1中所示的四相转换器的波形。图3的水平轴代表时间间隔。水平轴的单位是毫秒。可能存在两个垂直轴。第一垂直轴Y1代表流过四相电感器的电流。第二垂直轴Y2代表四相转换器的输出电压。

[0069] 图3示出四相转换器的负载电流均匀分布在所述四个相两端。另外,交错操作会导致输出纹波电流降低。具体来说,通过相移图2中所示的所述四个相的导通时间实例,功率级的电感器纹波电流往往会相互抵消。电感器纹波电流的抵消会导致较小的纹波电流流入到输出电容器中。这意味着,与单相转换器相比,多相转换器的交错操作会导致输出电容器两端的纹波电压减小。

[0070] 图4例示出根据本公开的各种实施例的图1中所示的四相转换器的各种瞬态响应波形。图4的水平轴代表时间间隔。水平轴的单位是毫秒。

[0071] 可能存在三个垂直轴。第一垂直轴Y1代表四相转换器的负载电流和流过所述四个相的电感器的电流。第二垂直轴Y2代表流过所述四个相的高侧开关的电流。第三垂直轴Y3代表四相转换器的输出电压。

[0072] 从 $t_1$ 到 $t_2$ ,四相转换器的负载电流从大约1A跳跃到大约10A。响应于负载瞬变,四相转换器的输出电压如图4中所示下降大约7mV。电流波形示出所述四个功率级依序导通。换句话说,所述四个相以交错方式进行操作,从而减小波动并改善四相功率转换器的瞬态响应性能。

[0073] 图5例示出根据本公开的各种实施例的采用恒定导通时间控制方案的四相转换器的第二实施方式的示意图。图5包含图5A和图5B。在通篇说明中,图5A和图5B统称为图5。

[0074] 除所述四个相的控制电路在单个控制器IC1上实施之外,图5中所示的四相转换器类似于图1中所示的四相转换器。此外,图5中所示的控制电路没有两个IC之间传送的令牌。使用简单的计数器来实现上面针对图1到图2论述的令牌传送控制方案。

[0075] 图5示出控制器IC1包括令牌传递计数器和四个导通时间和最小断开时间控制单元。令牌传递计数器接收所述四个相的PWM信号(PWM1、PWM2、PWM3和PWM4)并分别为所述四个相产生令牌(PH10N、PH20N、PH30N和PH40N)。

[0076] 采用所述四个导通时间和最小断开时间控制单元来分别为所述四个相产生PWM信号(PWM1、PWM2、PWM3和PWM4)。所述四个导通时间和最小断开时间控制单元的操作原理类似于图1中所示的导通时间和最小断开时间控制单元的操作原理,因此在本文中不再进行详细论述。

[0077] 图5中所示的每一相包括反馈控制单元。为简洁起见,下面仅详细阐述第一相(功率级1)的反馈控制单元。如图5中所示,第一相的反馈控制单元包括电流感测放大器,以产生电流感测信号 $I_{sns1}$ 。电流感测信号 $I_{sns1}$ 与流过第一相的电感器的电流成比例。如图5中所示,电流感测放大器的输入分别连接到开关节点 $SW1_k$ 和输出电压 $VOUT1_k$ 。

[0078] 反馈控制单元还包括三个比较器。第一比较器用于将 $VOUT1_k$ 与接地信号 $GND1_k$ 进行比较。第二比较器用于将第一比较器的输出信号与参照信号进行比较。第二比较器产生控制信号 $VCOMP1$ 。如图5中所示, $VCOMP1$ 由所述四个相共享。第三比较器用于将 $VCOMP1$ 与结合电流感测信号 $I_{sns1}$ 和输出电压 $VOUT1_k$ 的信号进行比较。第三比较器的输出用作触发信号 $Trig1$ 。触发信号 $Trig1$ 用于在已将令牌给出到第一相之后导通第一相的高侧开关。

[0079] 在一些实施例中,在计数器开始之后,计数器向第一相(功率级1)给出令牌。在第一相接收到令牌之后,由其控制电路产生的触发事件导通第一相的高侧开关。在已断开第一相的高侧开关之后,计数器将令牌从第一相交付到第二相(功率级2)。

[0080] 总之,计数器以循环的方式从第一相向第四相递送令牌。在第四相结束时,计数器

再次重复此过程。

[0081] 应注意,当相已经接收到令牌时,此相中的触发事件被允许且此相的高侧开关响应于触发事件而导通。另一方面,在令牌不被拥有时出现的任何触发事件都会被忽略。

[0082] 在恒定导通时间或主动导通时间架构(其中导通时间与 $V_{out}/V_{in}$ 成比例)中,每当触发事件出现且令牌被相拥有时,此相就会导通达固定的导通时间。图5中的触发事件也可由比较器设定,所述比较器将误差电压 $V_{COMP}/V_{ERR}$ 与经滤波的纹波信号之和进行比较,所述经滤波的纹波信号之和是通过对每一相中的开关节点信号进行滤波,接着将其与反馈信号(或未进行分压而直接输出的电压)相加而获得的。

[0083] 尽管已经详细阐述了本发明的实施例及其优点,然而应理解,在不背离由所附权利要求书界定的本发明的精神和范围的情况下,可在本文中进行各种改变、替换和变更。

[0084] 此外,本申请的范围不旨在限于说明书中阐述的过程、机器、制造、物质组成、装置、方法和步骤的具体实施例。如所属领域的普通技术人员从本发明的公开内容容易理解的,根据本发明可利用当前存在的或以后将被开发的过程、机器、制造、物质组成、装置、方法或步骤,它们执行与本文中阐述的对应实施例基本相同的功能或实现基本相同的结果。因此,所附权利要求书旨在将这些过程、机器、制造、物质组成、装置、方法或步骤包括在其范围内。

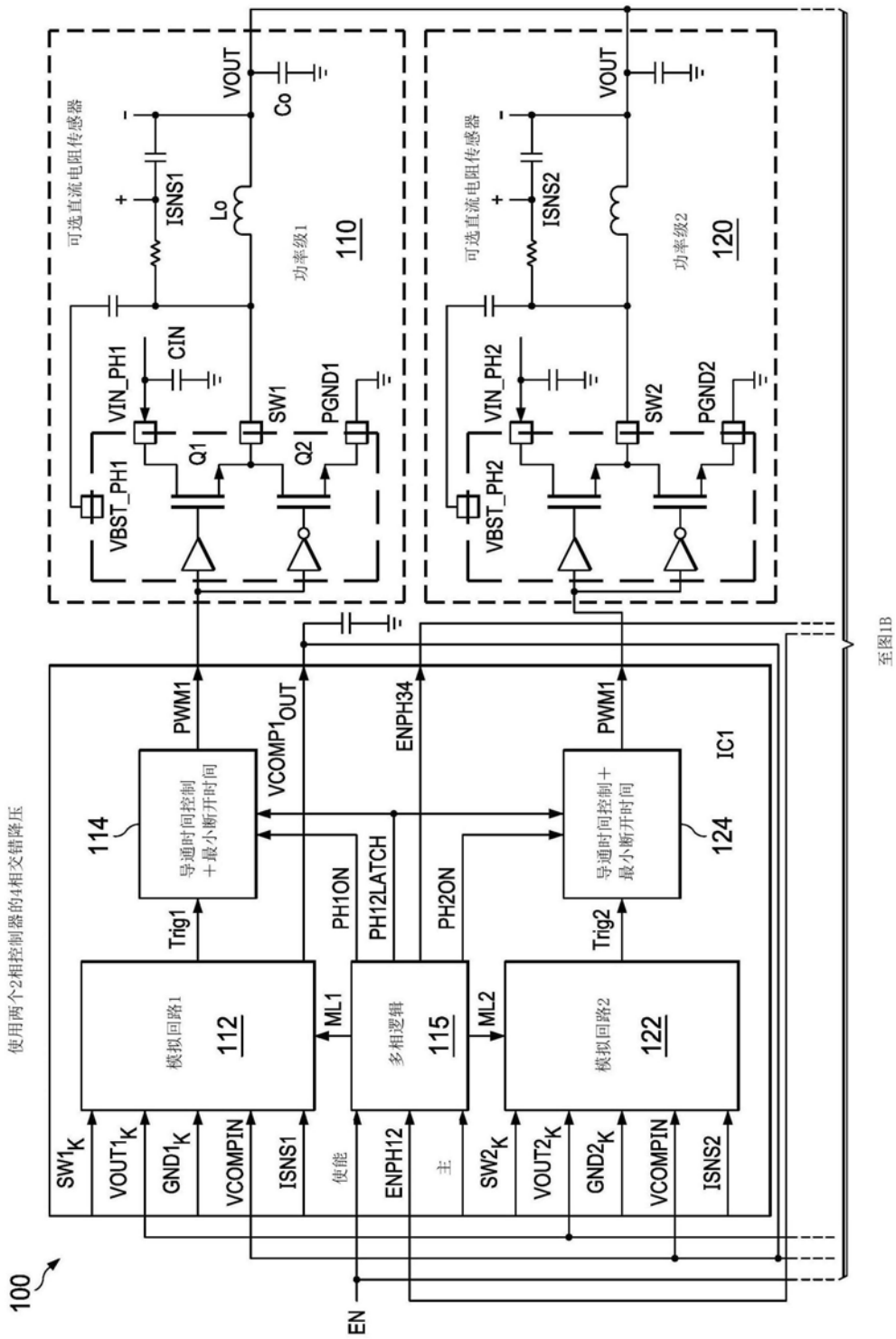
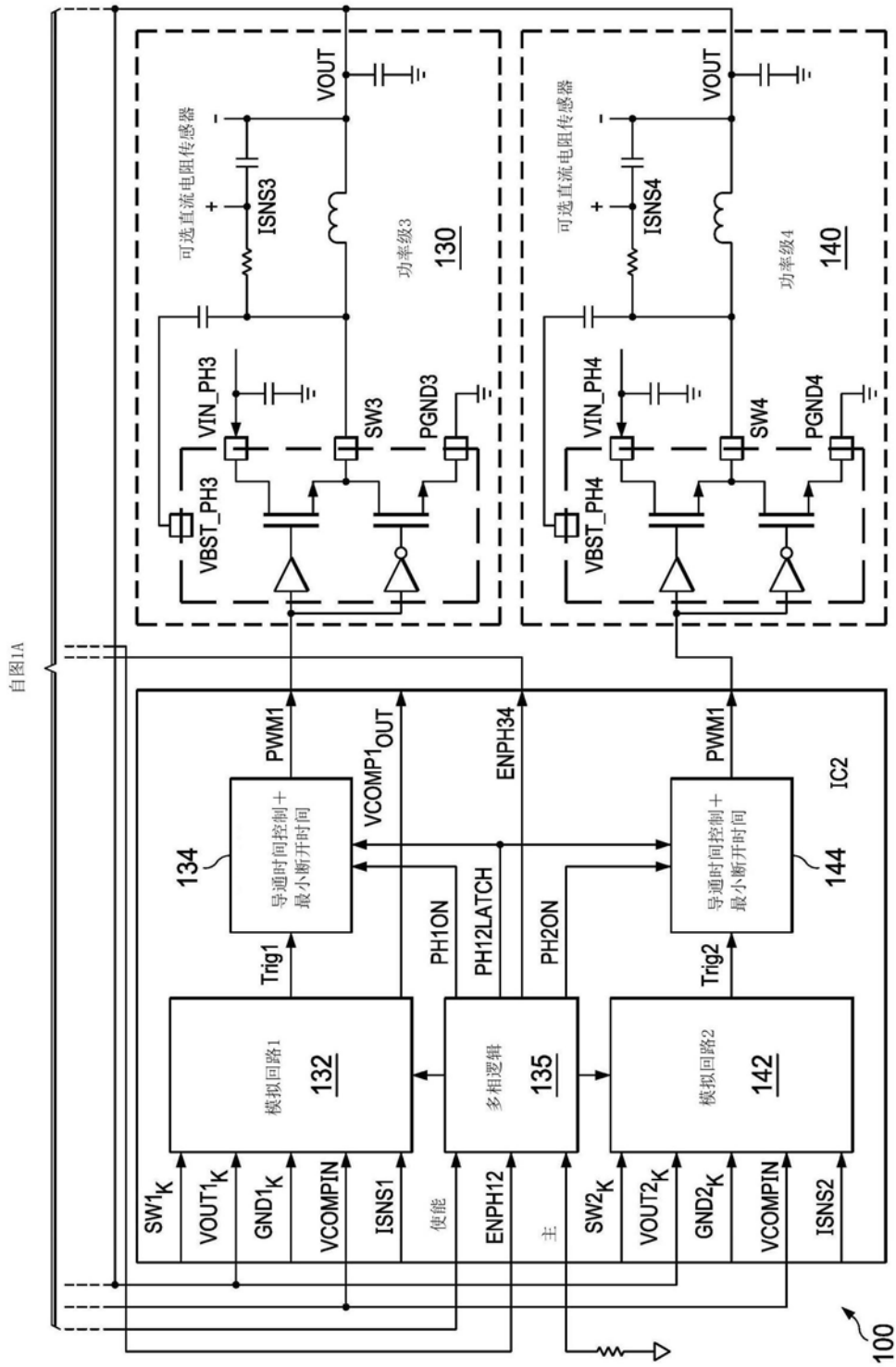


图1A



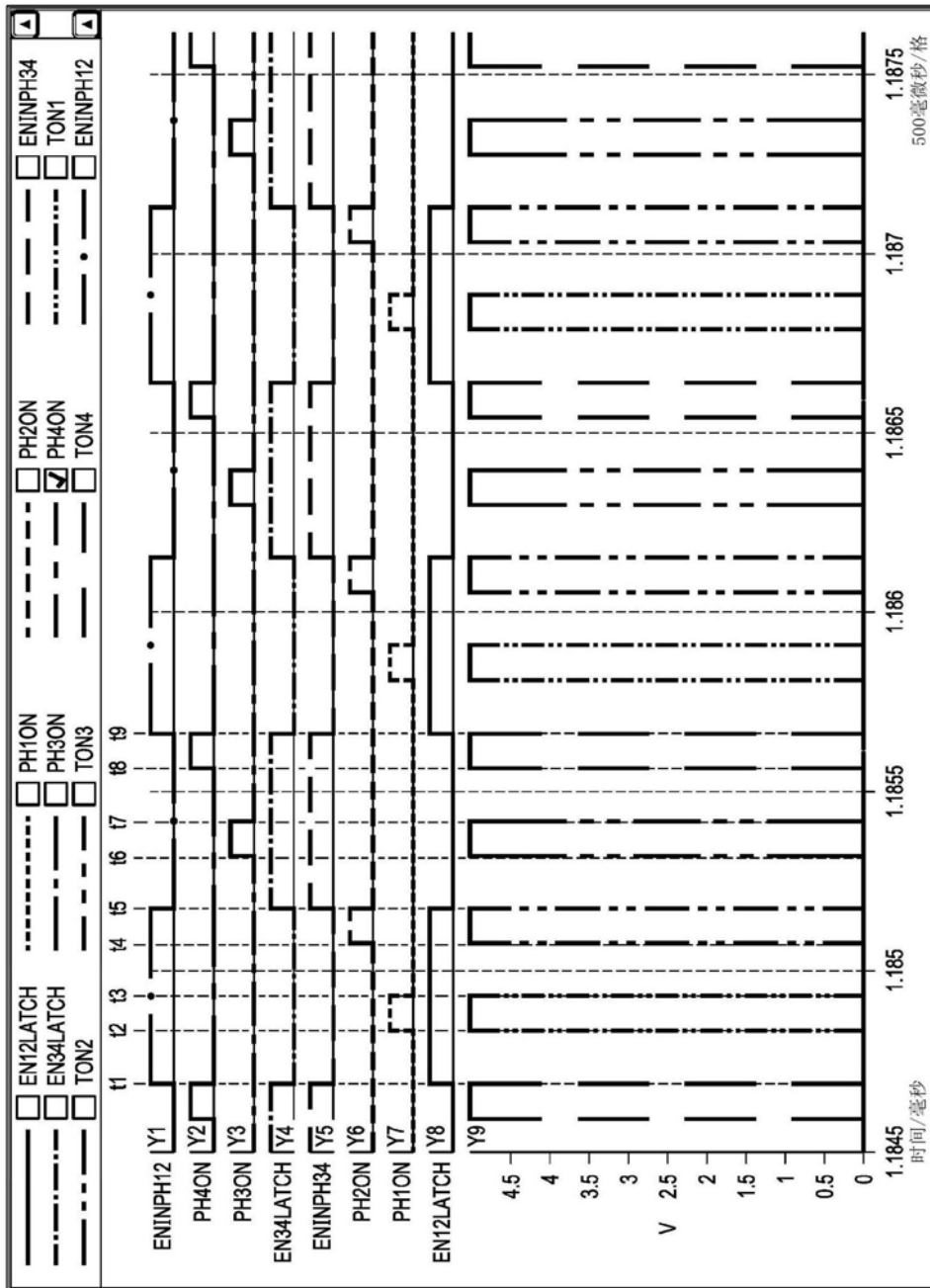


图2

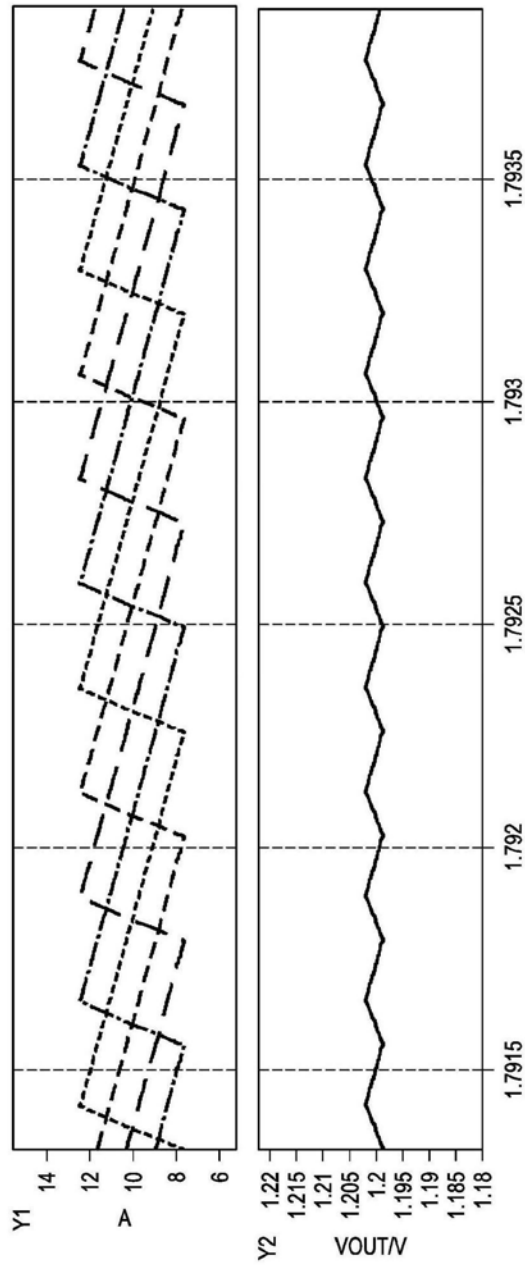


图3

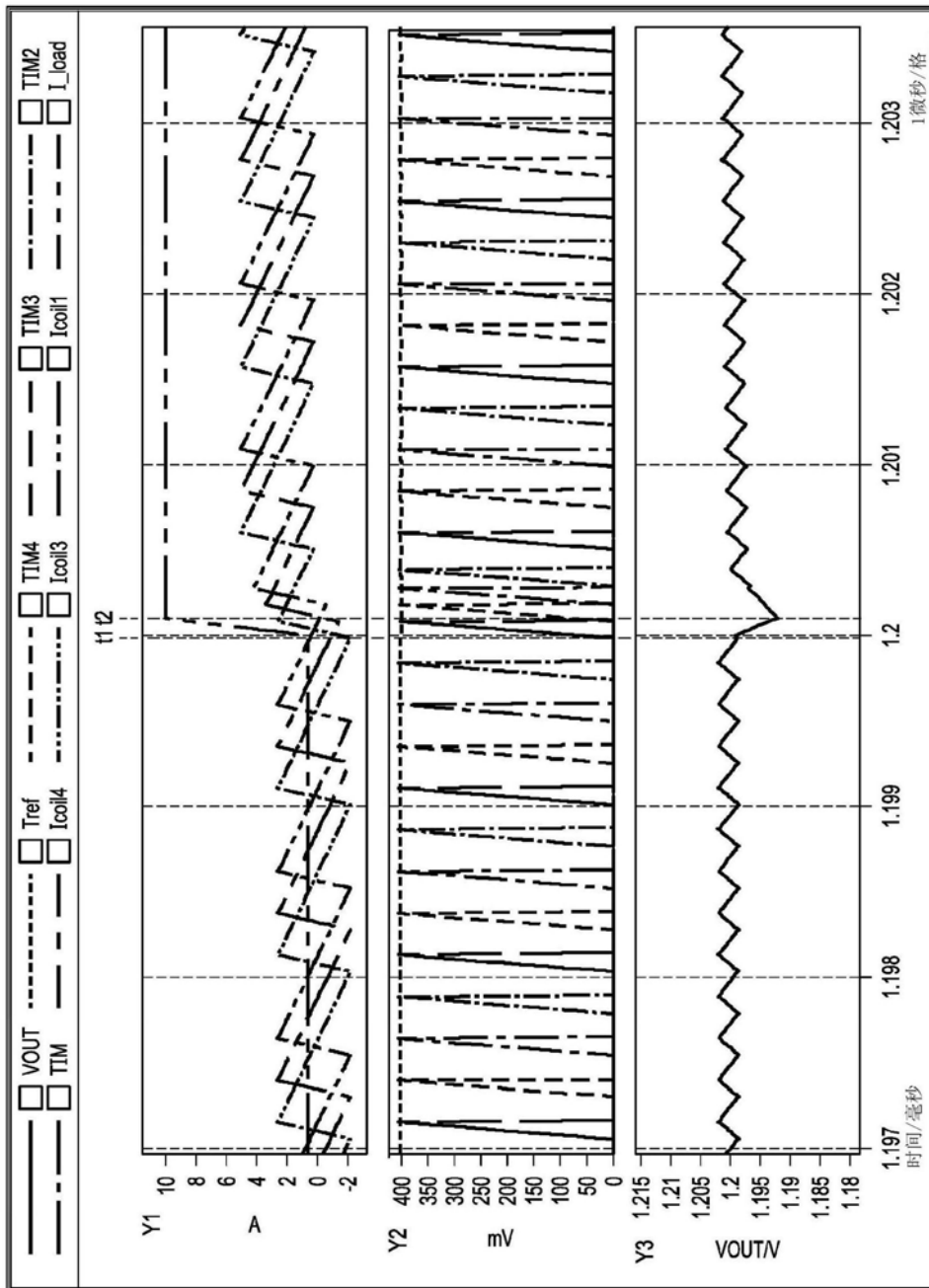
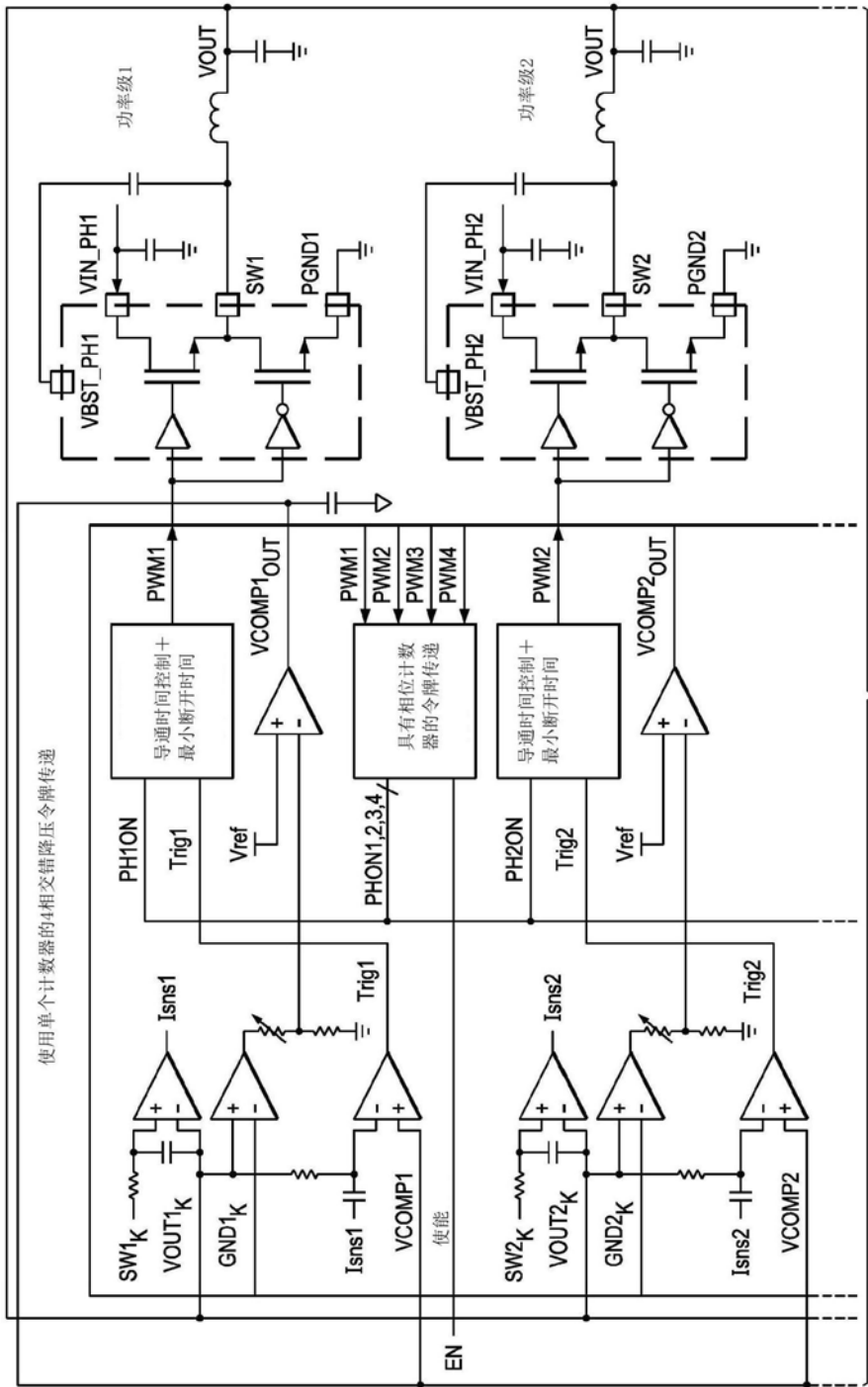


图4



至图5B

图5A

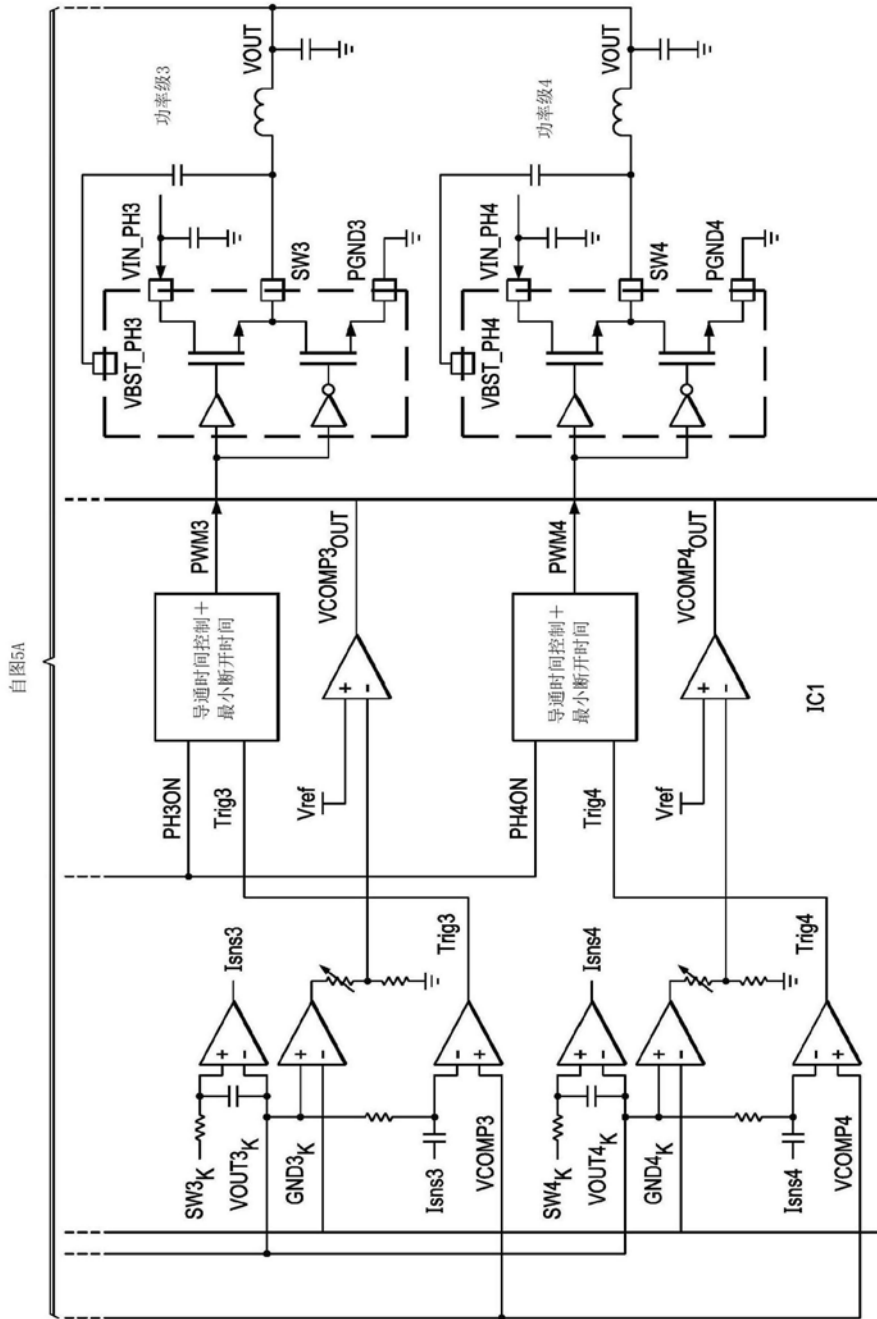


图5B