



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115765433 A

(43) 申请公布日 2023. 03. 07

(21) 申请号 202211229113.X

(22) 申请日 2018.02.06

(30) 优先权数据

15/428,019 2017.02.08 US

15/669,838 2017.08.04 US

(62) 分案原申请数据

201880016757.6 2018.02.06

(71) 申请人 法拉第半导体有限公司

地址 美国加利福尼亚州欧文市欧文中心大道9541号

(72) 发明人 帕尔维兹·帕尔托

(74) 专利代理机构 北京三高永信知识产权代理有限公司 11138

专利代理师 唐述灿

(51) Int.Cl.

H02M 3/00 (2006.01)

H02M 3/156 (2006.01)

H02M 3/158 (2006.01)

H02M 3/335 (2006.01)

H02M 1/00 (2007.01)

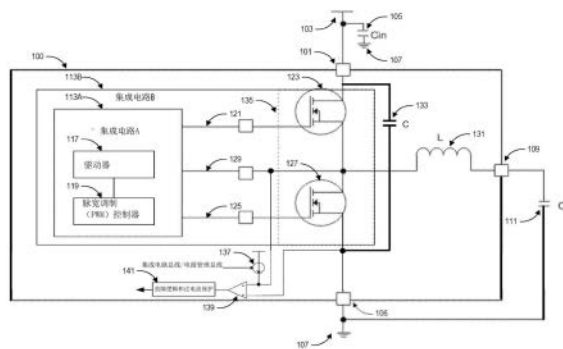
权利要求书2页 说明书53页 附图36页

(54) 发明名称

芯片嵌入式电源转换器

(57) 摘要

一种直流-直流(DC-DC)转换器,包括芯片嵌入式集成电路(IC)、一个或多个开关和电感器。IC可嵌入在印刷电路板中。IC可包括驱动器、开关和脉宽调制(PWM)控制器。IC和/或开关可包括eGaN。电感器可以堆叠在IC和/或开关上方,以减少整体占位区域。一个或多个电容器也可堆叠在IC和/或开关上方。过孔可将电感器和/或电容器耦合到IC(例如,耦合到开关)。该DC-DC转换器能提供更好的瞬态性能、具有更低的纹波或使用更少的电容器。减少了会妨碍更高的有效开关速度的寄生效应。减少了电感器的尺寸和总占位区域。多电感器布置可提高性能。可使用各种反馈系统,例如恒定导通或关断时间调制电路中的纹波发生器。



1. 一种电源转换器,包括:  
印刷电路板 (PCB),包括:  
具有底侧和顶侧的下印刷电路板 (PCB) 部分;以及  
具有底侧和顶侧的上印刷电路板 (PCB) 部分;  
嵌入式电路,位于所述下PCB部分的所述顶侧和所述上PCB部分的所述底侧之间,所述嵌入式电路包括:  
驱动器,配置为产生一个或多个驱动信号;以及  
一个或多个开关,配置为由所述一个或多个驱动信号驱动;  
一个或多个过孔,延伸穿过所述上PCB部分;以及  
电感器,位于所述上PCB部分的所述顶侧上方,其中,所述一个或多个过孔与所述电感器和所述嵌入式电路电耦合,并且所述电感器的占位区域至少部分地与所述嵌入式电路的占位区域重叠。
2. 根据权利要求1所述的电源转换器,还包括与所述嵌入式电路在同一封装中的无线通信系统。
3. 一种物品,包括:  
根据权利要求2所述的电源转换器;  
第一系统,配置为使用电能执行物理动作;以及  
电气系统,配置为控制所述第一系统;  
其中,所述电源转换器配置为向所述第一系统和所述电气系统中的一个或两个提供电能,并且其中,所述电气系统配置为至少部分地基于所述无线通信系统接收到的无线信号,控制所述第一系统,所述无线通信系统与所述电源转换器的所述嵌入式电路在同一封装中。
4. 一种供电系统,包括:  
多个电源转换器,其中,所述多个电源转换器中的每一个都是根据权利要求1所述的电源转换器;以及  
共享脉宽调制 (PWM) 控制器,配置为产生多个PWM信号,其中,所述PWM控制器耦合到所述多个电源转换器的所述驱动器,以将所述多个PWM信号传递给所述电源转换器的相应驱动器,并且其中,所述驱动器配置为至少部分地基于所述PWM信号产生一个或多个驱动信号。
5. 一种供电系统,包括:  
第一电源转换器,所述第一电源转换器为根据权利要求1所述的电源转换器;以及  
与所述第一电源转换器并联耦合的第二电源转换器。
6. 一种电源转换器,包括:  
印刷电路板 (PCB),包括:  
具有底侧和顶侧的下印刷电路板 (PCB) 部分;以及  
具有底侧和顶侧的上印刷电路板 (PCB) 部分;  
输入端口,配置为接收输入电压;  
输出端口,配置为提供与所述输入电压不同的输出电压;  
嵌入式电路,在所述下PCB部分的所述顶侧和所述上PCB部分的所述底侧之间,所述嵌

入式电路与所述输入端口耦合,并配置为改变所述输入电压;

过孔,延伸穿过所述上PCB部分;以及

电感器或电容器,位于所述上PCB部分的所述顶侧上方,其中,所述一个或多个过孔与所述电感器或电容器以及所述嵌入式电路电耦合,并且其中,所述电感器或电容器的占位区域至少部分地与所述嵌入式电路的占位区域重叠。

7. 一种直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,包括:

具有底侧和顶侧的下印刷电路板 (PCB) 部分;

具有底侧和顶侧的上印刷电路板 (PCB) 部分;

嵌入式电路,位于所述下PCB部分的所述顶侧和所述上PCB部分的所述底侧之间,所述嵌入式电路包括:

脉宽调制 (PWM) 控制器,配置为产生PWM信号;

驱动器,配置为接收所述PWM信号并产生一个或多个驱动信号;

第一开关,配置为由所述一个或多个驱动信号中的至少一个驱动;以及

第二开关,配置为由所述一个或多个驱动信号中的至少一个驱动;

一个或多个过孔,延伸穿过所述上PCB部分;

电感器,位于所述上PCB部分的所述顶侧上方,其中,所述一个或多个过孔与所述电感器和所述嵌入式电路电耦合,并且其中,所述电感器的占位区域至少部分地与所述嵌入式电路的占位区域重叠;以及

无线通信系统,与所述嵌入式电路在同一封装中,其中,所述无线通信配置为,向所述PWM控制器或第一开关中的至少一个提供信号,以影响所述DC-DC转换器的输出。

8. 一种直流-直流 (DC-DC) 电源,包括:

集成电路,位于印刷电路板 (PCB) 内部,所述集成电路包括:

第一氮化镓 (GaN) 开关,配置为由来自驱动器的第一驱动信号驱动;以及

第二GaN开关,配置为由来自所述驱动器的第二驱动信号驱动;

电感器,位于所述集成电路上方,使得所述电感器具有至少部分与所述集成电路的占位区域重叠的占位区域;以及

过孔,将所述电感器与所述GaN开关电耦合。

9. 根据权利要求1所述的电源转换器,配置为DC-DC降压转换器。

10. 一种供电系统,包括:

多个电源转换器,配置为提供多相电源,其中,所述多个电源转换器中的每一个为根据权利要求9中所述的电源转换器;以及

共享脉宽调制 (PWM) 控制器,配置为产生多个PWM信号,其中,所述PWM控制器耦合到所述多个电源转换器的所述驱动器,以将所述多个PWM信号传递给所述电源转换器的相应驱动器,并且其中,所述驱动器配置为至少部分地基于所述PWM信号产生一个或多个驱动信号。

## 芯片嵌入式电源转换器

### 相关申请的交叉引用

[0001] 本申请是申请号为201880016757.6的中国专利申请的分案申请。申请号为201880016757.6的中国专利申请是国际申请PCT/US2018/017109的中国国家阶段申请。其要求于2017年2月8日提交的、申请号为No.15/428,019的美国专利申请的优先权,以及于2017年8月4日提交的,申请号为No.15/669,838的美国专利申请的优先权。这些专利申请的公开内容以已用方式全文并入于此。

### 技术领域

[0002] 本公开涉及电子系统、直流-直流(DC-DC)转换器、电子设备设计和电子设备生产技术。

### 背景技术

[0003] 尽管各种各样的DC-DC转换器已经是被熟知的,但这些DC-DC转换器是由非理想组件和/或存在寄生损失和低效率问题的安排构成的,因此存在改进电源转换器的需求。

### 申请内容

[0004] 本申请公开了一种直流-直流(DC-DC)电源转换器的一些实施例,该DC-DC电源转换器包括:具有底侧和顶侧的下印刷电路板(PCB)部分;具有底侧和顶侧的上印刷电路板(PCB)部分;位于下PCB部分的顶侧和上PCB部分的底侧之间的嵌入式电路,该嵌入式电路包括:脉宽调制器和至少一个开关;延伸穿过上PCB部分的一个或多个过孔;位于上PCB部分的顶侧上方的电感器,其中,一个或多个过孔与该电感器和嵌入式电路电耦合。该实施例可以具有以下内容的任意组合:其中,嵌入式电路包括集成电路(IC);其中,电感器的占位区域至少部分地与集成电路的占位区域重叠;其中,电感器和嵌入式电路之间采用无焊线电互连;其中,电路的开关速率至少为1MHz;其中,电路的开关速率至少为3MHz;其中,电路的开关速率至少为5MHz;其中,电路的开关速率最高为7MHz;其中,至少一个开关包括增强型氮化镓场效应晶体管(eGaN FET);还包括一个或多个电容器,该一个或多个电容器设置在上PCB部分的顶侧上方;还包括芯,该芯设置在下PCB部分的顶侧和上PCB部分的底侧之间,其中,该芯具有一个或多个凹槽,该一个或多个凹槽形成在芯中,并且其中,嵌入式电路设置在该一个或多个凹槽中;其中,DC-DC电源转换器的占位区域小于 $25\text{mm}^2$ ;其中,DC-DC电源转换器的占位区域小于 $10\text{mm}^2$ ;其中,DC-DC电源转换器的占位区域小于 $5\text{mm}^2$ ;其中,DC-DC电源转换器的占位区域小至 $2\text{mm}^2$ ;其中,DC-DC电源转换器的占位区域为 $0.5\text{-}10\text{mm}^2$ 每安培电流。

[0005] 本申请公开了一种直流-直流(DC-DC)电源转换器封装的一些实施例,该DC-DC电源转换器封装包括:嵌入在至少一块印刷电路板(PCB)中的集成电路(IC)芯片,该IC芯片包括驱动器;位于芯片嵌入式封装的外部并耦合到该芯片嵌入式封装的表面的电感器;以及用于将电感器与IC芯片电耦合的过孔;其中,电感器的占位区域至少部分地与IC芯片的占位区域重叠。该实施例可以具有以下任一项:其中,晶体管嵌入在至少一个PCB中,并且其中,电感器与晶体管电耦合;其中,IC芯片包括:耦合到驱动器的脉宽调制(PWM)控制器,以

及耦合到驱动器的输出的开关晶体管;还包括开关,该开关包括增强型氮化镓(eGaN);其中,该开关配置为以4MHz或更快的频率开关;其中,该开关配置为以5MHz或更快的频率开关;还包括开关,该开关包括硅或砷化镓中的至少一种。

[0006] 本申请公开了一种在单个封装中的直流-直流(DC-DC)电源转换器的一些实施例,该DC-DC电源转换器包括:至少部分地嵌入在安装基板内部的增强型氮化镓(eGaN)组件;安装在安装基板外部的电感器;以及将电感器耦合到eGaN组件的过孔;其中,电感器的占位区域至少部分地与eGaN组件的占位区域重叠。该实施例可以具有以下内容的任意组合:其中,安装基板是多层PCB;其中,eGaN组件是包括eGaN的开关,DC-DC电源转换器还包括配置为驱动该开关的驱动电路;其中,该驱动器和开关是IC芯片的一部分;其中,IC芯片还包括脉宽调制(PWM)控制器。

[0007] 本申请公开了一种使用芯片嵌入式封装的直流-直流(DC-DC)电源转换器的一些实施例,该DC-DC转换器包括:印刷电路板(PCB)内部的增强型氮化镓(eGaN)开关;脉宽调制(PWM)控制器;嵌入在PCB内部的驱动器,其中,该PWM控制器和驱动器配置为,以1MHz或更高的频率驱动eGaN开关;位于芯片嵌入式封装外部并耦合到PCB表面的电感器;以及将电感器与eGaN开关电耦合的过孔。这些实施例可具有以下特征,其中驱动器配置为以5MHz或更高的频率驱动eGaN开关。

[0008] 本申请公开了一种直流-直流(DC-DC)电源转换器的一些实施例,该DC-DC电源转换器包括:印刷电路板;以及印刷电路板内部的集成电路,该集成电路包括驱动器。该实施例可具有以下内容的任意组合:还包括电感器,该电感器通过一个或多个延伸穿过印刷电路板的过孔与集成电路电耦合;其中,该电感器的占位区域至少部分地与集成电路的占位区域重叠。

[0009] 本申请公开了一种直流-直流(DC-DC)电源转换器的一些实施例,该DC-DC电源转换器包括:集成电路,该集成电路包括驱动器;以及电感器,该电感器垂直堆叠在集成电路上方,使得电感器的占位区域至少部分地与集成电路的占位区域重叠,其中,该电感器与集成电路电耦合。该实施例可具有以下内容的任意组合:还包括印刷电路板(PCB),该PCB具有第一侧和与第一侧相对的第二侧,其中,集成电路安装在PCB的第一侧,并且其中,电感器安装在PCB的第二侧;其中,电感器通过一个或多个延伸穿过印刷电路板的过孔与集成电路电耦合。

[0010] 本申请公开了一种直流-直流(DC-DC)降压转换器的一些实施例,该DC-DC降压转换器包括:一个或多个开关;配置为驱动该一个或多个开关的驱动器;以及与该开关电耦合的电感器;其中,该DC-DC降压转换器的占位区域小于 $65\text{mm}^2$ ;其中,该DC-DC降压转换器配置为接收至少20安培的电流;并且其中,该DC-DC降压转换器配置为输出至少20安培的电流。

[0011] 本申请公开了一种直流-直流(DC-DC)电源转换器的一些实施例,该DC-DC电源转换器包括:一个或多个开关;驱动器,配置为以1-5MHz(包括1和5MHz)的频率驱动该一个或多个开关;以及与该一个或多个开关电耦合的电感器;其中,DC-DC转换器的占位区域小于或等于 $10\text{mm}^2$ ;其中,该DC-DC转换器配置为接收至少5安培的电流;其中,该DC-DC转换器配置为输出至少5安培的电流。

[0012] 本申请公开了一种直流-直流(DC-DC)电源转换器的一些实施例,该DC-DC电源转换器包括:耦合到第一电感器的第一开关;耦合到第二电感器的第二开关;以及嵌入在印刷

电路板中的集成电路芯片;其中,第一开关和第二开关耦合到调制器;并且其中,第一电感器和第二电感器耦合到电压输出节点。该实施例可以具有以下内容的任意组合:其中,调制器包含在集成电路芯片中;其中,调制器配置为,使第一开关和第二开关以同步周期操作相位输出;其中,在输出节点的输出信号,是经过第一电感器的第一信号和经过第二电感器的第二信号的叠加。

[0013] 本申请公开了一种直流-直流(DC-DC)电源转换器的一些实施例,该DC-DC电源转换器包括:嵌入在印刷电路板中的集成电路芯片,该集成电路芯片包括驱动器;耦合到驱动器的第一开关;耦合到第一开关的电感器;以及从输出节点到调制电路的反馈路径。该实施例可以具有以下内容的任意组合:其中,调制电路是电压模式调制电路:其中,调制电路是恒定导通时间或恒定关断时间调制电路:其中,调制电路包含在集成电路芯片中:其中,调制电路和电感器与集成电路芯片包含在一个封装中。

[0014] 本申请公开了一种直流-直流(DC-DC)电源转换器的一些实施例,该DC-DC电源转换器包括:嵌入在印刷电路板中的集成电路芯片,该集成电路芯片包括驱动器;耦合到驱动器的第一开关;耦合到第一开关的电感器;从输出节点到调制电路的反馈路径;以及斜坡发生器。该实施例可以具有以下内容的任意组合:其中,反馈路径和来自斜坡发生器的输出耦合到比较器;还包括耦合到比较器的参考电压源;其中,斜坡发生器配置为模拟经过电感器的纹波电流;其中,斜坡发生器包括:第一电流源、第二电流源和电容器;其中,第一电流源和第二电流源配置为至少部分地基于电感器的电感进行修整;其中,斜坡发生器和电感器包含在同一DC-DC电源转换器封装中;其中,斜坡发生器配置为产生不受输出电容器影响的输出信号,该输出电容器耦合到电感器;其中,斜坡发生器配置为产生输出信号,该输出信号独立于输出电容器的等效串联电阻(ESR),该输出电容器耦合到电感器;还包括输出电容器,该输出电容器具有足够低的ESR,使得输出电容器上的纹波电压太小,不能可靠地提供给调制电路。

[0015] 本申请公开了一种斜坡发生器的一些实施例,该斜坡发生器包括:耦合到电源电压的第一电流源;接地的第二电流源;以及耦合在第一电流源和第二电流源之间的电容器。该实施例可以具有以下内容的任意组合:其中,斜坡发生器配置为模拟经过DC-DC转换器中的电感器的纹波电流;其中,第一电流源的输出至少部分地基于DC-DC转换器的输入电压;其中,第一电流源的输出至少部分地基于DC-DC转换器中的电感器的电感;其中,第二电流源的输出至少部分地基于DC-DC转换器中的电感器的电感;其中,第二电流源的输出至少部分地基于DC-DC转换器中的电感器的电感;其中,第一电流源配置为至少部分地基于DC-DC转换器中的电感器的电感进行修整;其中,第二电流源配置为至少部分地基于DC-DC转换器中的电感器的电感进行修整。

[0016] 本申请公开了一种芯片嵌入式直流-直流转换器的制造方法,该方法包括:将集成电路芯片嵌入在印刷电路板中;将第一电感器耦合到印刷电路板;以及将第二电感器耦合到印刷电路板,第一电感器和第二电感器均耦合到输出节点。

[0017] 本申请公开了一种将第一直流电压转换为第二直流电压的方法的一些实施例,该方法包括:驱动耦合到第一电感器的第一开关;驱动耦合到第二电感器的第二开关,其中,第一开关和第二开关耦合到输出节点;以及异相地调制第一开关和第二开关的驱动;其中,驱动器或调制器中的至少一个包含在芯片中,该芯片嵌入在印刷电路板中。

[0018] 本申请公开了一种芯片嵌入式直流-直流转换器的制造方法,该方法包括:将集成电路芯片嵌入在印刷电路板中;将电感器耦合在集成电路芯片与输出节点之间;以及提供从输出节点到调制电路的反馈路径,其中,该调制电路包括斜坡发生器。该实施例可以具有以下内容的任意组合:其中,调制电路包含在印刷电路板中;其中,调制电路是恒定导通时间或恒定关断时间调制电路;其中,斜坡发生器包含在集成电路中;还包括至少部分地基于电感器的特性修整斜坡发生器;其中,该斜坡发生器是任一先前实施例的斜坡发生器。

[0019] 本申请公开了一种使用直流-直流转换器的方法的一些实施例,该方法包括:在输入节点接收输入功率;通过开关向电感器供电;将能量存储在输出电容器中,使得输出电容器两端形成输出电压;在输出电压下向输出节点提供输出功率;向调制电路提供输出电压;产生独立于输出电容器的纹波电压;向调制电路提供纹波电压;至少部分地基于调制电路的输出调制开关。该实施例可以具有以下内容的任意组合:还包括比较以下中的至少两个:纹波电压、参考电压和输出电压;还包括至少部分地基于电感器的电感修整电流源;其中,纹波电压由斜坡发生器产生,该斜坡发生器配置为模拟经过电感器的电流。

[0020] 本申请公开了一种直流-直流(DC-DC)电源转换器封装的一些实施例,该DC-DC电源转换器封装包括:集成电路(IC)芯片,嵌入在至少一块印刷电路板(PCB)中,该IC芯片包括驱动器;电感器,位于芯片嵌入式封装外部并耦合到芯片嵌入式封装的表面;以及过电流保护电路,配置为检测提供给电感器的电流何时超过极限。该实施例可以具有以下内容的任意组合:过电流保护电路包括电流源,该电流源配置为至少部分地基于集成电路总线或电源管理总线命令进行调整或修整;电感器的饱和电感超过极限且超过该极限不到50%;该极限超过最大规定DC电流规格加最大交流纹波规格且超过不到50%。

[0021] 本文公开的一些实施例可涉及直流-直流(DC-DC)电源转换器封装,该DC-DC电源转换器封装包括:集成电路(IC)芯片,嵌入在至少一块印刷电路板(PCB)中,该IC芯片包括驱动器;电感器,位于芯片嵌入式封装外部并耦合到芯片嵌入式封装的表面;以及集成电路总线或电源管理总线。该实施例可以具有以下内容的任意组合:其中,集成电路总线或电源管理总线耦合到至少一个电流源,并配置为提供协议命令,以调整或修整电流源;其中,集成电路总线或电源管理总线耦合到至少一个电流源,并配置为提供协议命令,以设置或调整提供给比较器的参考值;其中,集成电路总线或电源管理总线配置为传送协议,该协议包括执行以下操作中的至少一个的指令:导通或关断DC-DC电源转换器封装,改变DC-DC电源转换器封装的低功率或休眠模式,读取有关DC-DC电源转换器封装的当前设置信息,读取有关DC-DC电源转换器封装的诊断和/或技术信息,设置或改变由DC-DC电源转换器封装提供的输出电压;其中,电源管理协议实现为在集成电路总线实现之上的互连层。

[0022] 本文公开的一些实施例具有电源转换器,该电源转换器包括印刷电路板(PCB)(印刷电路板包括:具有底侧和顶侧的下印刷电路板(PCB)部分;以及具有底侧和顶侧的上印刷电路板(PCB)部分);位于下PCB部分的顶侧和上PCB部分的底侧之间的嵌入式电路(嵌入式电路包括:驱动器,配置为产生一个或多个驱动信号;以及一个或多个开关,配置为由该一个或多个驱动信号驱动),一个或多个延伸穿过上PCB部分的过孔,以及位于上PCB部分的顶侧上方的电感器,其中,一个或多个过孔与电感器和嵌入式电路电耦合,并且电感器的占位区域至少部分地与嵌入式电路的占位区域重叠。该实施例可以具有以下内容的任意组合:其中,电源转换器配置有隔离拓扑结构,该隔离拓扑结构配置为隔离电源转换器的输入和

输出之间的直接电连接;其中,该隔离拓扑结构包括以下至少一种:反激拓扑结构,正激转换器拓扑结构、双晶体管正激、LLC谐振转换器、推挽式拓扑结构、全桥、混合、PWM谐振转换器以及半桥拓扑结构;还包括变压器,该变压器包括第一电感器和第二电感器,它们配置为使得经过第一电感器的变化电流在第二电感器中感应出变化电流;还包括与嵌入式电路在同一封装中的无线通信系统;其中,电源转换器的输出配置为,响应于无线通信系统接收到的无线信号而进行调整;还包括反馈系统,该反馈系统包括斜坡发生器,该斜坡发生器配置为产生模拟经过电感器的电流纹波的信号,并且其中,该反馈系统包括电流源,该电流源配置为响应于无线通信系统接收到的无线信号而进行修整或调整;其中,嵌入式电路包括无线通信系统;还包括通信接口,该通信接口配置为接收用于调整电源转换器的输出的控制信号;其中,该通信接口包括电源管理总线(PMBUS);其中,该通信接口配置为实现集成电路总线(I2C)协议;还包括反馈系统,该反馈系统包括斜坡发生器,该斜坡发生器配置为产生模拟经过电感器的电流纹波的信号,并且其中,反馈系统配置为,响应于通过通信接口接收的命令而修整斜坡发生器;其中,嵌入式电路包括脉宽调制(PWM)控制器,该PWM控制器配置为产生一个或多个PWM信号,其中,PWM控制器耦合到驱动器,其中,驱动器配置为至少部分地基于PWM信号产生一个或多个驱动信号;其中,电感器具有额定电流,且电感器具有额定饱和值,并且其中,额定饱和值不大于额定电流的150%;其中,电感器具有额定电流,且电感器具有额定饱和值,并且其中,额定饱和值不大于额定电流的120%;还包括过电流保护电路,该过电流保护电路配置为防止经过电感器的电流超过额定饱和值;还包括过电流保护电路,该过电流保护电路配置为使一个或多个开关中的至少一个开关响应于检测到过电流情况时而断开;其中,电源转换器是直流-直流(DC-DC)电源转换器;其中,电源转换器是交流-直流(AC-DC)电源转换器;还包括反馈系统,该反馈系统包括电流源,其中,该电流源配置为至少部分地基于响应于无线通信系统接收到的无线信号而进行修整或调整;还包括过电流保护系统,该过电流保护系统配置为提供有电流经过电感器的指示,该过电流系统包括电流源,其中,该电流源配置为至少部分地基于响应于无线通信系统接收到的无线信号而进行修整或调整。

[0023] 本文公开的一些实施例具有一种物品,该物品包括:上述段落所述的电源转换器;配置为使用电能执行物理动作的第一系统;以及配置为控制第一系统的电气系统;其中,电源转换器配置为向第一系统和电气系统中的一个或两个提供电能,并且其中,电气系统配置为至少部分地基于由无线通信系统接收的无线信号来控制第一系统,该无线通信系统与电源转换器中的嵌入式电路在同一封装中。在一些实施例中,该物品是物联网设备。一些实施例具有供电系统,该供电系统包括:多个电源转换器,其中,多个电源转换器中的每一个都是根据上述段落所述的电源转换器;以及共享脉宽调制(PWM)控制器,配置为产生多个PWM信号,其中,该PWM控制器耦合到多个电源转换器的驱动器,以将多个PWM信号传递给电源转换器的相应驱动器,并且其中,该驱动器配置为至少部分地基于PWM信号产生一个或多个驱动信号。一些实施例具有供电系统,该供电系统包括:第一电源转换器,该第一电源转换器为根据权利要求1所述的电源转换器;以及与第一电源转换器并联耦合的第二电源转换器。该供电系统可以具有控制系统,该控制系统配置为调整第一电源转换器的输出和第二电源转换器的输出,以实现电流平衡。

[0024] 本文公开的一些实施例具有电源转换器,该电源转换器包括:印刷电路板(PCB),

包括具有底侧和顶侧的下印刷电路板 (PCB) 部分和具有底侧和顶侧的上印刷电路板 (PCB) 部分;输入端口,配置为接收输入电压;输出端口,配置为提供不同于输入电压的输出电压;嵌入式电路,位于下PCB部分的顶侧和上PCB部分的底侧之间,该嵌入式电路耦合到输入端口并配置为改变输入电压;延伸穿过上PCB部分的过孔;以及位于上PCB部分的顶侧上方的电感器或电容器,其中,一个或多个过孔与电感器或电容器以及与嵌入式电路电耦合,并且其中,电感器或电容器的占位区域至少部分地与嵌入式电路的占位区域重叠。该实施例可以具有以下内容的任意组合:其中,电感器位于上PCB部分的顶侧上方;其中,一个或多个过孔与电感器和嵌入式电路电耦合;其中,电感器的占位区域至少部分地与嵌入式电路的占位区域重叠;其中,该嵌入式电路包括:驱动器,配置为产生一个或多个驱动信号;一个或多个开关,配置为由该一个或多个驱动信号驱动;其中,电源转换器是直流-直流 (DC-DC) 转换器;其中,电源转换器是交流-直流 (AC-DC) 转换器;还包括变压器,该变压器包括第一电感器和第二电感器,它们配置为使得经过第一电感器的变化电流在第二电感器中感应出变化电流;其中,嵌入式电路包括整流电路,该整流电路配置为将交流 (AC) 输入电压改变为脉冲 DC 电压;包括平滑电路,配置为将脉冲 DC 电压平滑为更稳定的 DC 电压,其中,该平滑电路包括位于上PCB部分的顶侧上方的电感器或电容器;其中,整流电路包括一个或多个开关;其中,整流电路包括二极管桥。

[0025] 本文公开的一些实施例具有直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,该DC-DC电源转换器包括:具有底侧和顶侧的下印刷电路板 (PCB) 部分;具有底侧和顶侧的上印刷电路板 (PCB) 部分;位于下PCB部分的顶侧和上PCB部分的底侧之间的嵌入式电路,该嵌入式电路包括:配置为产生PWM信号的脉宽调制 (PWM) 控制器、配置为接收PWM信号并产生一个或多个驱动信号的驱动器、配置为由一个或多个驱动信号中的至少一个驱动的第一开关、以及配置为由一个或多个驱动信号中的至少一个驱动的第二开关;一个或多个延伸穿过上PCB部分的过孔;位于上PCB部分的顶侧上方的电感器,其中,一个或多个过孔与该电感器和嵌入式电路电耦合,并且其中,该电感器的占位区域至少部分地与嵌入式电路的占位区域重叠;以及与嵌入式电路在同一封装中的无线通信系统,其中,该无线通信系统配置为向PWM控制器或第一开关中的至少一个提供信号,以影响DC-DC转换器的输出。

[0026] 本文公开的一些实施例具有直流-直流 (DC-DC) 电源,该DC-DC电源其包括:集成电路,位于印刷电路板 (PCB) 内部,该集成电路包括:配置为由来自驱动器的第一信号驱动的第一氮化镓 (GaN) 开关、以及配置为由来自驱动器的第二信号驱动的第二GaN开关;电感器,位于集成电路上方,使得电感器的占位区域至少部分地与集成电路的占位区域重叠;以及过孔,将电感器与GaN开关电耦合。一些实施例可以包括:其中,第一GaN开关是第一增强型氮化镓 (eGaN) 开关,第二GaN开关是第二eGaN开关。

## 附图说明

[0027] 图1示出了芯片嵌入式DC-DC转换器封装的示例电路级的示意图。

[0028] 图2示出了芯片嵌入式DC-DC转换器封装的示例实施例的封装级示意图。

[0029] 图3示出了示例芯片嵌入式DC-DC转换器的剖视图。

[0030] 图4A示出了具有堆叠电感器的示例芯片嵌入式DC-DC转换器的透视图。

[0031] 图4B示出了具有堆叠电感器的示例渲染的 (rendered) 芯片嵌入式DC-DC转换器的

反向透视图。

[0032] 图4C示出了具有嵌入式堆叠电感器的示例芯片嵌入式DC-DC转换器的侧视图。

[0033] 图4D示出了具有嵌入式电感器的示例芯片嵌入式DC-DC转换器的侧视图。

[0034] 图5示出了示例芯片嵌入式DC-DC转换器的透视图500。

[0035] 图6示出了示例芯片嵌入式DC-DC转换器的底视图。

[0036] 图7A示出了用于存储设备的DC-DC转换器的示例。

[0037] 图7B示出了用于存储设备的芯片嵌入式DC-DC转换器的示例。

[0038] 图8A示出了DC-DC转换器在电路板上的示例应用。

[0039] 图8B示出了芯片嵌入式DC-DC转换器在电路板上的示例应用。

[0040] 图9示出了制造和使用芯片嵌入式DC-DC转换器的示例方法的流程图。

[0041] 图10示出了使用芯片嵌入式DC-DC转换器的双降压转换器的示例双电感器设计。

[0042] 图11A示出了双降压转换器中嵌入式芯片的第一示例布置设计。

[0043] 图11B示出了双降压转换器中嵌入式芯片的第二示例布置设计。

[0044] 图11C示出了双降压转换器中嵌入式芯片的第三示例布置设计。

[0045] 图11D示出了双降压转换器中嵌入式芯片的第四示例布置设计。

[0046] 图12示出了包括芯片嵌入式DC-DC转换器的双降压转换器的示例电路级示意图。

[0047] 图13A示出了包括芯片嵌入式DC-DC转换器的DC-DC转换器的示例电路级示意图。

[0048] 图13B示出了包括芯片嵌入式DC-DC转换器的DC-DC转换器的示例电路级示意图。

[0049] 图14示出了具有外部纹波电压反馈电路的示例芯片嵌入式DC-DC转换器。

[0050] 图15示出了电感电流 $I_L$ 随时间变化和等效串联电阻电压 $V_{ESR}$  (也称为纹波电压)随时间变化的示例图。

[0051] 图16示出了具有外部纹波电压反馈电路的示例芯片嵌入式DC-DC转换器。

[0052] 图17示出了具有内部纹波电压反馈电路的示例芯片嵌入式DC-DC转换器。

[0053] 图18显示斜坡发生器的示例电路级示意图。

[0054] 图19示出了制造和使用DC-DC转换器的示例方法。

[0055] 图20示出了具有隔离拓扑结构的芯片嵌入式DC-DC转换器封装的示例电路级示意图。

[0056] 图21A示出了封装中具有无线通信系统的示例DC-DC转换器。

[0057] 图21B示出了封装中具有无线通信系统的示例DC-DC转换器。

[0058] 图21C示出了包括无线通信系统和两个DC-DC转换器的示例封装。

[0059] 图21D示出了配置为与外部无线设备通信的无线启用电源。

[0060] 图21E示出了封装中具有无线通信系统的示例DC-DC转换器。

[0061] 图22示出了示例物联网 (IoT) 设备。

[0062] 图23A示出了包括多个DC-DC转换器的示例DC-DC转换器系统。

[0063] 图23B示出了包括多个DC-DC转换器的示例DC-DC转换器系统。

[0064] 图24A示出了具有多个功率级的DC-DC转换器。

[0065] 图24B示出了在DC-DC转换器中电感器的示例布置。

[0066] 图25示出了DC-DC转换器的示例侧视图。

[0067] 图26A示出了AC-DC转换器的示例框图。

[0068] 图26B示出了示例AC-DC转换器。

[0069] 图26C示出了示例AC-DC转换器。

### 具体实施方式

[0070] 直流-直流 (DC-DC) 转换器是一种电子电路。DC-DC转换器可以在第一电压下接收输入功率,在第二电压下提供输出功率。DC-DC转换器的示例包括升压转换器(其输出电压高于输入电压)、降压转换器(其输出电压低于输入电压)、升降压转换器和各种其他拓扑结构。

[0071] 一些DC-DC转换器受非理想组件特性的影响。这些影响可能包括由组件(例如焊线)和引线框架封装(例如方形扁平无引线(QFN)封装、功率方形扁平无引线(PQFN)封装、双扁平无引线(DFN)封装、微引线框架(MLF)封装等)引起的寄生电感、寄生电容和/或寄生电阻。此外,DC-DC转换器内部组件之间的相互连接,例如从驱动器到开关,也会产生寄生效应。这些寄生效应会限制DC-DC转换器的开关速度和/或效率。该封装可以指DC-DC转换器级封装。该封装可以包封DC-DC转换器中包含的一个或多个IC。该封装可以为DC-DC转换器中的组件提供支持和保护,并且该封装可以提供用于连接到DC-DC转换器的电触点。在各种实施例中,该封装可包括位于封装内和/或从外部耦合到封装的一个或多个电感器和/或电容器。

[0072] 本公开包括高度集成的解决方案的示例,其中,DC-DC转换器可以更高效地开关、以更高频率开关和/或以减小的封装占位区域提供改进的性能。封装中可以包含集成了许多DC-DC组件(例如脉宽调制控制器、驱动器和/或一个或多个增强型砷化镓开关(也称为增强模式砷化镓开关和eGaN FET))的集成电路芯片。集成电路可以嵌入在一个印刷电路板中,也可以嵌入在印刷电路板之间。封装可以包括垂直设计的电感器和/或电容器,以减少封装的占位区域。某些特征可以减少寄生效应,否则这些寄生效应会阻碍实现更高的开关速度和/或更高的效率。通过有效地实现更高的开关速度,电感器的尺寸就可以减小。该DC-DC转换器可以在更高的频率下运行,提供更好的瞬态性能,具有更低的纹波,使用更少的电容器,和/或减小总占位区域。

[0073] 为了提供介绍,特定方面、优势和新颖的特征已经被提及。应当理解的是,不是所有这些方面、优势和新颖的特征都必须在具体实施例中实现。因此,在不必要实现其他方面、优势和新颖的特征的情况下,一个或多个方面、优势和新颖的特征也是可以实现的。还应理解的是,并不是所有的方面、优势和新颖的特征都在该介绍中公开。

#### 示例示意图

[0074] 图1示出了芯片嵌入式DC-DC转换器封装100的示例电路级示意图。该示意图示出了电源输入端口101、电源103、输入电容器105、接地端口106、接地107、电压输出端口109、输出电容器111、集成电路(IC)芯片113A、可选集成电路IC 113B、驱动器117、脉宽调制(PWM)控制器119、第一电气通路121、第一开关(例如,第一增强型氮化镓(eGaN)开关)123、第二电气通路125、第二开关(例如,第二eGaN开关)127、第三电气通路129、电感器131和AC旁路电容器133。虚线135表示开关123、127的可选的单独封装。开关123、127也可以是电源开关、开关场效应晶体管(FET)和/或开关晶体管。该示意图还示出了电流源137、比较器139以及故障逻辑和/或过电流保护电路141。

[0075] 芯片嵌入式DC-DC转换器封装100可以通过电源输入端口101耦合到电源103,也可以通过输入电容器105耦合到接地107。芯片嵌入式DC-DC转换器封装100还可以包括电压输出端口109,该端口109可以通过输出电容器111耦合到接地107。芯片嵌入式DC-DC转换器封装100还可以包括耦合到接地107的接地参考端口106。

[0076] 芯片嵌入式DC-DC转换器封装100可具有印刷电路板(PCB),该PCB包括嵌入式集成电路(IC)芯片113A或113B。IC可包括驱动器117和/或脉宽调制(PWM)控制器119。举例来说,第一电气通路121将IC耦合到第一eGaN开关123的栅极。第二电气通路125将IC耦合到第二eGaN开关127的栅极。第三电气通路129将IC耦合到第一eGaN开关123的源极、第二eGaN开关127的漏极以及耦合到电感器131。电感器131可以耦合到电压输出端口109。AC旁路电容器133可从第一eGaN开关123的漏极耦合到第二eGaN开关127的源极,以将AC信号短接至接地107。

[0077] 尽管图1示出了驱动器117和PWM控制器119作为IC 113A的一部分,但在各种实施例中,IC可以包括PWM控制器119或驱动器117中的一个,而PWM控制器119和驱动器117中的另一个单独地耦合到IC 113A。在一些实施例中,可以将eGaN开关123、127中的一个或一对eGaN开关123、127与各自的电气通路121、125和/或129一起集成到IC 113A中。IC 113A可以是半导体。IC 113A可以是硅、砷化镓、氮化镓、eGaN或其他基于III-V族材料的半导体。因此,任何集成组件也可以由与IC 113A相同或类似的材料制成。开关123、127、电气通路121、129、125、驱动器117和PWM控制器119也可以由与IC 113A相同或类似的材料制成。

[0078] 这对开关123、127可为单片eGaN场效应晶体管(FET)。在一些实施例中,这对开关123、127可以是单独的设备,包括两个独立的eGaN FET。在一些实施例中,开关123、127是金属氧化物场效应晶体管(MOSFET)。其他实施例中可以使用其他数量或类型的开关。尽管许多实施例将开关123、127描述为eGaN开关,但其他适合材料也可以被用来代替eGaN或与其共同使用。

[0079] 在一些实施例中,电气通路121、129、125可通过过孔(如铜柱)、迹线和/或具有低寄生效应(例如,低寄生电感、低寄生电阻和/或低寄生电容)的其他电气通路实施。焊线可以具有更高的寄生效应(例如,更高的寄生电感、更高的寄生电阻和/或更高的寄生电容)。

[0080] 端口(包括电源输入端口101、接地端口106和电压输出端口109)可以实施为焊垫、引脚或其他具有低寄生效应(例如,低寄生电感、低寄生电阻和/或低寄生电容)的电导体。这些端口可以设计成与另一设备(如主板、PCB等)上的迹线耦合。

[0081] 可以有許多变化。在一些实施例中,可以省略旁路电容器133。一些实施例可以具有不同的电感器、电容器、磁体和/或谐振装置。图1的示例示意图中所示的各种组件构成了DC-DC转换器,但DC-DC转换器可以有其他变化。应了解,本文所公开的教导可扩展至具有其他变化的DC-DC转换器。

[0082] 举例来说,DC-DC转换器100可通过电源输入端口101从电源103接收电源信号。电源信号可通过分路输入电容器105进行滤波,该电容器可作为去耦电容器来过滤有噪声的交流(AC)信号分量。电源信号被提供给一对开关123、127的第一开关123的漏极。

[0083] 驱动器117通过电气通路121向第一开关(例如,eGaN开关)123的栅极提供第一控制信号。驱动器还通过电气通路125向第二开关(例如,eGaN开关)127的栅极提供第二控制信号。使用控制信号,驱动器可以交替导通和关断开关123、127。驱动器可以控制信号,使得

第一开关123的导通/关断状态与第二开关127的导通/关断状态相反。PWM控制器119可设置控制信号的开启/关闭工作周期。PWM控制器119还可以通过提供给驱动器的PWM信号来控制脉宽或周期。

[0084] 开关123、127、IC 113A(例如,包括PWM控制器119和/或驱动器117)和电感器131可设置成非隔离型同步电源转换器或功率级的一部分。当驱动器117驱动第一开关123导通并驱动第二开关127关断时,可以从电源103向储能电路(例如电感器131和/或电容器111)供电,从而使电压输出端口109处的DC输出电压增加。当驱动器117驱动第一开关123关断并驱动第二开关127导通时,来自储能电路的电力可以通过第二开关127漏至接地107,导致电压输出端口109处的DC输出电压降低。因此,可以快速开关对123这对开关123、127,以控制电压输出端口109处的DC输出电压。电感器131和电容器111还充当谐振滤波器,帮助调节DC电压。

[0085] 比较器139具有耦合到第二开关127的漏极的第一输入。比较器139具有耦合到第二开关127的源极的第二输入。因此,比较器139可以耦合到第二开关127的两端。在一些实施例中,比较器139可以具有作为第一输入的反相端。比较器139的第一输入也可以耦合到电流源137。可以使用I<sup>2</sup>C和/或PMBUS(在图2有进一步描述)来修整和/或调整电流源137的输出电流。因此,可以设置和/或调整过电流极限。比较器139的输出可提供给故障逻辑和过电流保护(OCP)电路141。

[0086] 比较器139以及故障逻辑和OCP电路141配置为,在开关127导通时感测漏-源电阻 $R_{ds}$ 。将由 $R_{ds}$ 引起的开关127上的电压降与参考值进行比较,该参考值可通过修整或调整电流源137进行调整。当过电流情况发生时,比较器139的输出可能会跳闸。当检测到过电流情况并进入故障模式时,过电流保护电路141可以关断开关123、127和/或驱动器。在各种实施例中,OCP电路可直接耦合到开关123、127的栅极以关断开关,短接一个或多个替代能量通路(未示出)以释放能量,影响PWM控制器119输出以应对过电流情况,和/或影响驱动器117输出以应对过电流情况。在故障模式下,系统可以通过短暂地导通开关123、127和/或驱动器来周期性地尝试恢复,尝试检测过电流情况,如果过电流情况仍然存在,则关断开关123、127和/或驱动器117,等待一段时间后再尝试恢复。

[0087] 有时,过电流情况会因电感饱和而发生。如果向电感器长时间提供太多电流,则电感器(例如电感器131)会饱和并失去其磁性。在这种情况下,电感器的电感可以降低10%,30%甚至更多。完全饱和的电感器实际上可以起到电线的作用,在电路中产生潜在的短路。在饱和状态下,电感器的有效电阻会下降,导致输出电流增加超过规格,并达到潜在的不安全水平。当电感器不再有效地存储能量时,电路的LC谐振也会受到影响,因此会发生过电压和/或欠电压情况。

[0088] 可以选择电感器131来承受负载电流(DC输出电流)和AC纹波。因此,可以选择电感器131的饱和电流极限,使其超过规定的DC输出电流加上最大AC纹波。例如,如果芯片嵌入式DC-DC转换器产生10A DC电流和+/-5A纹波,则最大总电流为15A,那么电感饱和极限应超过15A。电感更高的电感器可以具有更高的饱和极限且尺寸更大。

[0089] 在某些设计中,确定过电流保护极限和确定电感器尺寸可以相互独立地进行,并且其中一个或另一个可以进行过度设计。例如,当第二方选择电感器并将其耦合到由制造商制造的DC-DC转换器时,就会发生这种情况。在某些情况下,第二方可能出于谨慎而过度

设计电感器,例如,通过允许5A AC电流、10A DC电流和100%DC过电流,使得该电感器的饱和和极限选择为25A或更高。在某些情况下,第三方可能不知道OCP极限,因此采取过度设计,使电感器在电感和尺寸上较大,使得电感器不饱和。在某些情况下,次用户本来会使用较小的电感器,但是由于过电流保护极限太高,因此使用了尺寸和电感最小(大于必要的尺寸和电感)的电感器。在某些情况下,制造商可能会将过电流极限设置得过高或过低。本文公开的DC-DC转换器的一些实施例可以包括可调整的过电流极限。本文公开的DC-DC转换器的一些实施例可以包括过电流保护电路和电感器,其中,过电流极限至少基于电感器的尺寸确定,并且过电流极限可以设置为等于和/或低于电感器饱和极限的值。本文公开的DC-DC转换器的一些实施例可包括过电流保护电路和电感器,其中,电感器的尺寸至少部分地基于过电流极限进行选择,使得电感器的饱和极限等于或超过过电流极限较小的裕度,例如50%或更小、40%或更小、30%或更小、20%或更小、10%或更小,或在其间的任何值,或由任何这些值中的任何一个限定的范围等。本文公开的DC-DC转换器的一些实施例可以具有过电流极限,该极限设置为小于预期的最大AC电流加上两倍的预期DC电流,例如90%或更小的DC过电流、75%或更小的DC过电流、50%或更小的DC过电流、50%或更小的DC过电流、40%或更小的DC过电流、30%或更小的DC过电流、20%或更小的DC过电流、10%或更小的DC过电流或在其间的任何值,或由任何这些值中的任何一个限定的范围等。在一些实施例中,单个设计者可以为OCP电路提供组件和选择极限值,以及为电感器提供组件和选择电感器的饱和极限值。因此,在一些实施例中,DC-DC转换器可以在电感器未达到饱和的情况下运行,同时具有更小的占位区域、更低的电感器直流电阻和更高的效率。

### 封装

[0090] 图2示出了芯片嵌入式DC-DC转换器封装100的实施例的封装级示意图。芯片嵌入式DC-DC转换器封装可包括输入端口101、接地端口106和输出端口109。如图1所述,电源输入端口101可以通过,例如接地的输入电容器105,耦合到电源103。电压输出端口109可以通过,例如耦合到接地107的输出电容器111,向耦合在节点201的负载提供DC输出电压。使能端口205配置为接收信号,以使能DC-DC转换器。测试端口203可用于检查设备的状态。在一些实施例中,集成电路总线(I<sup>2</sup>C)和/或电源管理总线(PMBUS)提供去往/来自芯片嵌入式DC-DC转换器封装100的通信路径。

[0091] 封装100占位区域可包括DC-DC转换器的所有组件。在一些实施例中,封装100占位区域包括IC 113A或113B和电感器131,例如,使得该封装可以作为DC-DC转换器运行,而无需额外的外部电感器。在一些实施例中,电容器105、111和/或133中的至少一个或多个也可包含在该封装占位区域内,例如,使得该封装可作为DC-DC转换器运行,而无需额外的外部电容器。

[0092] 在一些实施例中,I<sup>2</sup>C和/或PMBUS可用于接收I<sup>2</sup>C和/或PMBUS协议通信,以执行以下一个或多个操作:导通或关断芯片嵌入式DC-DC转换器封装100,改变DC-DC转换器封装100的低功率或休眠模式,读取有关DC-DC转换器封装100的当前设置信息,读取有关DC-DC转换器封装100的诊断和/或技术信息,设置或改变由DC-DC转换器封装100提供的输出电压(例如,通过改变提供给数字-模拟控制器“DAC”的数字信号,如图16和图17所示),修整斜坡发生器(例如,图17的斜坡发生器)的特性(例如振幅或频率),修整一个或多个电流源(例如,图18的电流源)和其他功能。在一些实施例中,PMBUS协议实现为在I<sup>2</sup>C实现之上的互连层。

### 集成与芯片嵌入式设计

[0093] 与其他DC-DC转换器相比,该DC-DC转换器具有高度集成性,可以在更高的频率下开关,并提供更好的性能。在某些设计中,如果发生寄生效应的话,寄生效应可以阻止DC-DC转换器在更高频率(更高的开关速度)下有效地运行。本文公开了一些DC-DC转换器的设计以及寄生效应减少的其他设计。

[0094] 一些DC-DC转换器封装包括焊线和/或引线框架封装。举一个例子,1mil,1mm长的焊线可具有0.7nH的寄生电感、0.08pF的寄生电容和140m $\Omega$ 的寄生电阻。引线框架封装(例如方形扁平无引线(QFN)封装、功率方形扁平无引线(PQFN)封装、双扁平无引线(DFN)封装、微引线框架(MLF)等)会产生类似或更高的寄生效应。本文公开的DC-DC转换器的一些实施例,可以限制或避免焊线和/或引线框架的使用,从而整体上减少寄生效应。替代地,可以在封装内使用过孔、迹线、凸块和/或凸块垫。

[0095] 一些DC-DC转换器封装不包括电感器或电容器。这种封装使得用户能够灵活地选择电容器和电感器的特定值,并控制这些组件的质量。DC-DC转换器封装、电感器和电容器可以贴装在主板上或单独的PCB上,并通过穿过主板或单独PCB的焊线或长迹线耦合在一起(例如,如图7A所示)。然而,将DC-DC转换器封装耦合到外部电感器或电容器会产生寄生效应。类似地,电感器和负载之间也会发生寄生效应。本文所公开的DC-DC转换器的一些实施例可以通过将电感器或电容器与DC-DC转换器的其他组件集成在同一封装中来减少耦合到电感器或电容器的寄生效应。在本文公开的一些实施例中,与电感器或电容器耦合的电气通路可以通过过孔和/或迹线而非焊线来实现。在本文公开的一些实施例中,与一个或多个电感器或电容器耦合的电气通路可以包括位于DC-DC转换器的PCB中的过孔和/或迹线,而不包括主板或单独PCB中的迹线(例如,如图3和图7B所示)。在本文公开的一些实施例中,PWM控制器、驱动器、电感器、电容器和/或开关的任何组合都可以包含在同一个封装中。

[0096] 在一些设计中,寄生效应可能是由于组件互连而产生的。例如,就图1而言,一个集成电路113A中的驱动器117可以耦合到单独的电子组件135,该组件135包括开关123、127。集成电路113A和单独的电子组件135可包含在PCB中。驱动器和开关123、127之间的电气通路121、129、125可以使用PCB上的迹线来实现,但PCB上的迹线与集成电路内的电气通路相比具有相对较高的寄生效应。本文所公开的DC-DC转换器的一些实施例可以通过将开关123、127和驱动器117及其互连集成在同一个IC 113B中来减少驱动器和开关之间的互连产生的寄生效应。在本文所公开的一些实施例中,PWM控制器、驱动器和开关都包含在同一个IC 113B中。在一些实施例中,一个或多个电容器也可以包含在同一个IC 113B中。

[0097] 在某些设计中,可以使用MOSFET开关。然而,在更高的开关速度下,MOSFET开关的效率可能更低。在本文公开的一些实施例中,开关123、127可以是eGaN开关。与MOSFET开关相比,eGaN开关可以更高效、更快速地开关。

[0098] 应理解,本文所公开的技术具有协同效应。寄生电容和/或电感效应可以限制DC-DC转换器的最大开关速度。这可能是因为寄生效应会导致存储不需要的能量,影响能量的充放,从而影响DC电压调整。寄生效应也会导致开关导通或关断缓慢。在一些实施例中,本文所公开的技术的组合可使寄生效应降低足够的程度,以提高DC-DC转换器的性能。有关DC-DC转换器的设置、尺寸和性能的其他协同效应,在详细公开的后面章节中也会讨论。

[0099] 与一些其他DC-DC转换器相比,本文公开的一些实施例去除了约40根焊线,这可以

将寄生效应降低约20mΩ,还可以将封装漏电感(寄生电感)降低10nH或更多。消除这些寄生效应有助于实现高速度开关(例如,eGaN开关)的优点。

[0100] 电源开关的品质因数可根据方程式1确定:

$$FOM=R_{DS(ON)}*Q_G \quad \text{方程式1}$$

其中,FOM为品质因数, $R_{DS(ON)}$ 为开关的导通电阻, $Q_G$ 为开关的栅极电荷。栅极电荷 $Q_G$ 会受寄生电感影响。减小寄生电感可以得到更低的FOM,这通常是很难实现的设计改进。

[0101] 还应理解,如果仅同时将充分降低寄生效应与组件选择相结合,则只能实现部分而非全部优势。例如,在某些情况下,如果使用MOSFET,则降低寄生效应的某些优势可能无法实现。这是因为,虽然寄生效应可以降低到足够的水平以允许开关速度更快,但MOSFET的设计可能不允许在更快的速度下进行有效的开关。同样,DC-DC转换器中eGaN开关(或其他更快、通常更贵的开关)的全开关势能也可能受到寄生效应的限制。全开关势能可包括,在兆赫(MHz)范围(例如1MHz或更高、3MHz或更高、4MHz或更高、5MHz或更高、7MHz或更高、10MHz或更高等)内以更高频率更有效地开关。在某些情况下,可实现高达15MHz的开关速率,并且在某些实施中可以使用这些确定的范围之外的开关速率。

[0102] 因此,测试有限技术以减少寄生效应的工程师,可能不会使寄生效应降至有影响的水平。如果开关速度受MOSFET的限制,则测试寄生减少技术组合的工程师可能无法获得显著效果。工程师在测试eGaN开关时,如果没有首先意识到并解决DC-DC转换器中的寄生效应,则可能无法实现使用eGaN开关的开关速度优势,特别是因为eGaN开关比MOSFET开关更贵。此外,根据其他变量,提高开关速度,尤其是提高到1、2、3、5、7或10MHz及以上,会违背传统知识,即效率往往会随着开关速度的提高而降低。

[0103] 详细公开的集成和芯片嵌入式设计章节讨论了降低寄生效应和/或实现更快的开关速度的各种实施例。尽管一些实施例包括很多特征的组合,但包含少于所有这些特征的实施例本身仍会被理解。

#### 物理布置图

[0104] 图3示出了示例芯片嵌入式DC-DC转换器的剖视图300。视图300包括绝缘体301、导体(例如金属)303、凸块或焊垫304、导体微过孔305、第一PCB层307、导电镀层309、PCB芯311、迹线313、嵌入式IC芯片315、第二PCB层317、电感器321和电容器323。

[0105] 嵌入式IC芯片315可以嵌入在PCB芯311中。在各种实施例中,IC芯片315可嵌入在PCB的一层中,或PCB的两层或多层之间,或下PCB和上PCB之间。如本文所讨论的,嵌入式IC芯片315可包括PWM控制器、驱动器和/或一个或多个开关(例如,eGaN开关),如图1所示。嵌入式IC芯片315可通过多个过孔305和/或DC-DC转换器装置中的迹线313耦合到电感器321和电容器323。

[0106] 绝缘体301可包括,例如,焊阻层、模具、底充胶等。PCB的层307、317可以是PCB基板、层压板、树脂、环氧树脂、绝缘体等。在图3所示的图解视图300中,PCB芯311可为填充剂、层压板、绝缘复合模或基板等。导体(例如,金属)303、过孔305和迹线313可以是各种类型的金属或导电材料,例如铜、铝、金等。尽管该过孔显示为金属化过孔,但一些实施例可以使用柱或其他过孔。各种实施例可使用或多或少的金属类型和层。

[0107] 在一些实施例中,可以以倒装芯片方式安装IC芯片315。在各种实施例中,IC芯片315可以朝上或朝下,使得IC芯片315上的连接件可以朝向电感器321和/或电容器323,或远

离电感器321和/或电容器323。如果IC芯片315上的连接件朝向远离电感器321和/或电容器323的方向,则电感器321和/或电容器323可以通过过孔305和/或迹线313耦合到IC芯片315的远侧。

[0108] 尽管图3示出了可包括驱动器和开关的单个IC芯片315,但在一些实施例中,开关(例如单片eGaN开关)可以以芯片嵌入式安装在PCB中,与IC芯片315分开,并可与芯片嵌入式IC芯片315中的驱动器互连。过孔、焊垫和/或迹线可以耦合各种组件作为DC-DC转换器,并且这两个晶粒可以朝下或朝上。电感器或其他磁体可以放置在顶层中或顶层上,并使用半桥方案在降压转换器或任何其他配置中创建完整的半桥组合。

[0109] 尽管示出了IC芯片315通过过孔305和迹线313耦合到电感器321,但在一些实施例中,IC芯片315通过过孔305或通过迹线313之一,耦合到电感器321和/或电容器323。在各种实施例中,PCB装配可具有比图3所示更多或更少的PCB层,并且IC芯片315可嵌入在单层PCB中或多层PCB之间。在各种实施例中,层307、317可以是单个PCB的多个层或不同PCB的层。暴露在PCB底部的金属303可提供输入/输出焊垫,用于耦合到输入电源、接地和/或负载。

[0110] 电感器321和/或电容器323的一部分可以堆叠在IC芯片315上。在一些实施例中,电感器321和/或电容器323可完全堆叠在IC芯片315上。电感器321和IC芯片315往往是DC-DC转换器封装中较大的组件。在一些实施例中,电感器321或IC芯片315中较小的一个可以堆叠在电感器321或IC芯片315中较大的一个的占位区域内。尽管图3中示出了包括开关和驱动器的单个IC芯片315,但在各种实施例中,电感器321和/或电容器323至少可以部分地与独立于该单个IC芯片315的组件重叠。例如,电感器321可以与一个或多个开关、PWM控制器和/或驱动器等重叠。

[0111] 电感器321的位置有助于提高DC-DC转换器的热性能。通过将电感器321布置在顶部,电感器321可以被环境空气冷却。顶置电感器321还允许使用不同尺寸或形状的电感器321(例如,使得电感器321不受PCB大小的限制)。

[0112] 图4A示出了具有堆叠的电感器321的示例芯片嵌入式DC-DC转换器的透视图400。电感器321可以堆叠在IC芯片(不可见)上方,该IC芯片嵌入在PCB的层317和层307之间的芯311中。电感器321可以通过金属触点401至少部分地耦合到PCB。在一些实施例中,一个或多个电容器323(不可见)可以耦合到PBC层317。

[0113] 图4B示出了具有堆叠的电感器321的示例渲染的芯片嵌入式DC-DC转换器的反向透视图425。电感器321可以堆叠在IC芯片(不可见)上方,该IC芯片嵌入在PCB的层317和层307之间。电感器321可以通过金属迹线313至少部分地耦合到PCB。一个或多个电容器323A、323B可耦合到PBC层317。该一个或多个电容器323A、323B也可以通过迹线313耦合到电感器321。

[0114] 在一些实施例中,随着开关频率的增加,电感器可以做得更小。此外,一些材料和技术(如薄膜技术)也可以减小电感器的尺寸。因此,在一些实施例中,电感器可以嵌入在PCB中,例如在IC的上方或旁边。这种设置进一步促进了集成化,并增加了其他外围组件(如输入和输出电容器)的可用空间量,如PCB安装表面区域上的空间。

[0115] 图4C示出了具有嵌入式堆叠的电感器的示例芯片嵌入式DC-DC转换器的侧视图450。第一层451可以是,例如封装层或PCB层。第二层453可以是包括电感器的PCB层,该电感器嵌入在第二层453内。第三层455可以是包括电路(例如,IC)的PCB层,该电路嵌入在第三

层内。该电路(例如,IC)可以包括,例如PWM控制器、驱动器和/或开关(例如,FET开关)。第四层457可以是,例如封装层或PCB层。在图4C中,电感器至少部分地与电路(例如,IC)重叠或偏向一边。电感器可以通过过孔和/或迹线与IC耦合,而不需要焊线。

[0116] 图4D示出了具有嵌入式电感器的示例芯片嵌入式DC-DC转换器的侧视图475。层451、453、455和457可以与图4C所述的层相同或类似。在图4D中,层455可以包括电路(例如,IC)和其他电路(例如,IC)旁边的电感器。IC可以通过迹线耦合到电感器上。层453可包括嵌入式电容器。在一些实施例中,可以将一个或多个嵌入式电容器嵌入在PCB中,并且可以安装嵌入式电容器,使得一个或多个嵌入式电容器的占位区域与电路(例如,IC)和/或电感器的占位区域重叠。在一些实施例中,一个或多个嵌入式电容器可以与嵌入式电路(例如,IC)和/或嵌入式电感器包含在同一层455中。在一些实施例中,电容器可以贴装在层453上。在一些实施例中,可以省略层453。在一些实施例中,电容器(例如,如图3所示的电容器323)可以安装在PCB外部。可以存在许多变化。包括PWM控制器、驱动器和/或开关的任意组合的电路(例如,一个或多个IC)可以与一个或多个电感器和/或一个或多个电容器中的一者或两者处于同一层中。IC可以是eGaN IC。单片eGaN IC可以包括PWM控制器、驱动器和一个或多个开关的任意组合。在一些实现方式中,一个或多个电容器和/或一个或多个电感器可与一个或多个PWM控制器、驱动器和/或一个或多个开关一起包含在一个IC(例如,eGaN IC)中。一个或多个电感器、一个或多个电容器或二者可以设置在嵌入在PCB中的单独层中,例如电路(例如IC)的上方或下方。在一些实施例中,一个或多个电感器可以位于电路(例如,IC)的第一侧,一个或多个电容器可以位于电路(例如,IC)的相对的第二侧。在一些实施例中,一个或多个电感器和一个或多个电容器可以嵌入在PCB的不同层中,但位于电路(例如,IC)的同一侧。一个或多个电容器和/或一个或多个电感器中的一者或两者可以设置在PCB外部(如图3所示)。在一些实现方式中,一个或多个PWM控制器、驱动器和一个或多个开关可以位于嵌入在PCB中的不同层中。在一些实施例中,PWM控制器和驱动器可以位于各自的IC(例如,eGaN IC)中。嵌入在PCB不同层中的组件可以定向成使得它们至少部分或完全重叠,或者不重叠。本文所公开的任何eGaN实施例也可以实施为GaN实施例,GaN实施例可以包括耗尽型GaN、eGaN和/或其任何组合。

[0117] 图5示出了示例芯片嵌入式DC-DC转换器的透视图500。图5示出了与图4A和图4B中所示的相同的示例芯片嵌入式DC-DC转换器,但没有电感器321、电容器323或芯311,以说明其他被遮蔽的组件。过孔305可以耦合迹线313和/或焊垫303。

[0118] 图6示出了示例芯片嵌入式DC-DC转换器的底视图600。图6示出了与图5中所示的相同的示例芯片嵌入式DC-DC转换器。绝缘体301区域之间的暴露金属303焊垫为电源电压、接地和/或电压输出提供电触点。示出了过孔305。然而,在一些实施例中,贯穿外露金属303的过孔不明显可见。

#### 减少的占位区域

[0119] 本文所公开的物理布置和其他技术可用于减小DC-DC转换器的占位区域。在一些实施例中,占位区域可减小约70%。堆叠的组件、使用具有更快开关速度的更小电感器、以及组件的单个封装都可以减小占位区域。

[0120] 如前所述,一些DC-DC转换器封装不包括电感器或电容器,一些DC-DC转换器可能包括安装在驱动器、PWM控制器和/或IC芯片旁边的电感器。此类封装可以让用户灵活选择

电容器和/或电感器的特定值,并控制这些组件的质量。然而,将组件叠放而不是并排排列,可以减小DC-DC转换器的占位区域。本文所公开的一些实施例具有完全地或部分地垂直堆叠在IC芯片上的电感器。本文所公开的一些实施例具有完全地或部分地垂直堆叠在IC芯片上的电容器。堆叠电感器和/或电容器可以减小DC-DC转换器的占位区域。堆叠的组件可通过过孔电耦合(例如,电耦合到IC芯片),这可以降低如上所述的寄生效应。本文所公开的一些实施例可以提供方便设计,使得用户不需要选择、设置和安装各个组件。可以使用单个封装DC-DC转换器,而无需配置外部电容器或电感器。此外,一些实施例可以将电感器集成到封装中,而不影响电感器的尺寸,也不影响电感器的性能,和/或不需要定制电感器。

[0121] 如上所述,可以降低寄生效应,并有效地提高DC-DC转换器的开关速度。DC-DC转换器的电感可根据方程式2确定,

$$L = \frac{(V_{in} - V_o) * V_o}{2 \Delta i_L * F_s * V_{in}} \quad \text{方程式 2}$$

其中,L是电感, $V_{in}$ 是输入电压, $V_o$ 是输出电压, $\Delta i_L$ 是电感纹波电流, $F_s$ 是开关频率。应注意,电感随着开关速度的增加而减小。因此,寄生效应降低和更快的一个或多个开关(例如,eGaN开关)可以允许DC-DC转换器使用更小的电感器。在DC-DC转换器中,电感器是最大的组件之一。通过减小电感器的尺寸(例如,减小到其原始尺寸的某一比例),可以大幅度减小占位区域。

[0122] 一些DC-DC转换器包括多个封装。例如,可能有包括驱动器的第一封装、用于开关的第二封装和包括电感器的第三封装。本文公开的一些实施例具有单个封装,其包括DC-DC转换器的所有组件,例如PWM控制器、驱动器、开关(例如,eGaN开关)、电感器和电容器。在本文公开的一些实施例中,许多组件(例如PWM控制器、驱动器和/或开关(例如,eGaN开关))可以集成到单个IC中。

[0123] 因此,与更高的开关速度有关的特性还可以与DC-DC转换器的物理设计协同作用,从而可以减小DC-DC转换器的尺寸。较小的DC-DC转换器可用于各种应用中,以提供更高的电流密度,为现代电子设备(如微处理器、现场可编程门阵列、特定应用的集成处理器等)供电。较小的DC-DC转换器可以以更低的制造成本制造。本文所公开的技术可以降低板和封装的寄生效应。较小的DC-DC转换器可以具有更紧密的连接,从而降低电感器、IC芯片和/或负载之间的寄生效应,并且DC-DC转换器可以在较高的频率下有效地运行。本文所公开的技术可降低噪声,包括降低纹波效应和降低电磁干扰。

[0124] 一般来说,较大尺寸的DC-DC转换器可以处理大量的电流。在一些实施例中,与传统方法相比,本文公开的DC-DC转换器可以使用尺寸较小的DC-DC转换器处理指定的电流。例如,本文公开的DC-DC转换器的占位面积可小于20mm<sup>2</sup>每安培电流、小于15mm<sup>2</sup>每安培电流、小于10mm<sup>2</sup>每安培电流、小于7mm<sup>2</sup>每安培电流、小于5mm<sup>2</sup>每安培电流、小于4mm<sup>2</sup>每安培电流、小于3mm<sup>2</sup>每安培电流、小于2mm<sup>2</sup>每安培电流、小于1.5mm<sup>2</sup>每安培电流、或小于1mm<sup>2</sup>每安培电流。DC-DC转换器的占位面积可低至1.0或0.5mm<sup>2</sup>每安培电流,然而某些实施中可以使用本文讨论的范围之外的值。

#### 示例应用

[0125] 本文公开的DC-DC转换器可用于向电子设备供电。示例包括使用DC-DC转换器将初级电源电压转换为DC电压,该DC电压适用于通过电源电压供电的电子设备。例如,在某些应

用中,现代电源管理解决方案可以使用40个或更多的芯片嵌入式DC-DC转换器为40个或更多的电子组件供电,同时满足尺寸、输入/输出纹波、效率和热极限的规格要求。本文所公开的DC-DC转换器可以更小,并用于空间和板尺寸有限的现代系统中。本文所公开的DC-DC转换器可用于为不同细分市场中的组件(如存储器、服务器、网络、电信、物联网等)供电。其他应用包括使用本文所公开的DC-DC转换器,向微型负载点设备(例如刀片服务器中的处理器、固态设备的组件等)供电。

[0126] 图7A示出了DC-DC转换器用于存储设备700的示例。例如,存储设备700可以是,例如固态驱动器。存储设备700可以包括控制器703和通过PCB 701耦合的多个存储芯片705。DC-DC转换器707可通过电源输入引脚709接收电源电压,并向存储芯片705和/或控制器703提供DC电源。DC-DC转换器707可以通过焊线或经过PCB 701的迹线711耦合到电感器709。PCB 701可以是与DC-DC转换器707的封装分开的PCB 701。存储设备700的容量受存储芯片705的数量限制,在图7A的实现中有六个存储芯片。

[0127] 图7B示出了将芯片嵌入式DC-DC转换器应用于存储设备750的示例。芯片嵌入式DC-DC转换器751通过电源输入引脚709接收电源电压,并向存储芯片705和/或控制器703提供DC电源。芯片嵌入式DC-DC转换器751的封装占位区域中可以包括较小的电感器。芯片嵌入式DC-DC转换器751,可以大幅小于图7A中的DC-DC转换器707。因此,额外的PCB空间可用于额外的存储芯片753,以提高存储设备750的存储容量。

[0128] 图8A示出了DC-DC转换器在电路板800上的示例应用。电路板800可以是,例如刀片服务器或主板,包括多个电源连接器801(PWR)、电压调节管理(VRM)电路803、多个随机存取存储器(RAM)插槽805、多个外围组件互连高速(PCIe)插槽813和后输入/输出面板815。电路板800还包括位于负载点的多个DC-DC转换器807。每个DC-DC转换器807为中央处理器(CPU)809或计算机芯片811中的一个供电。DC-DC转换器807可接收通过电源连接器801和/或VRM电路803提供的电力,并将所提供的电力的电压转换为符合每个CPU 809或计算机芯片811的DC电源规格的DC电压。

[0129] 图8B示出了芯片嵌入式DC-DC转换器在电路板850上的示例应用。电路板850包括多个芯片嵌入式DC-DC转换器851(例如,在负载点)。例如,芯片嵌入式DC-DC转换器851可以为中央处理器809和/或计算机芯片811供电。DC-DC转换器851可接收通过电源连接器801和/或VRM电路803提供的电力,并将所提供的电力的电压转换为符合每个CPU809和/或计算机芯片811的DC电源规格的DC电压。芯片嵌入式DC-DC转换器851可以小于图8A中的DC-DC转换器807。因此,主板可以容纳更多的计算机芯片853。先前被DC-DC转换器807占用的区域现在可以是其他组件可用的开放区域855,也可以保持开放以改善气流。

#### 其他实施例

[0130] 在一些示例实施例中,一个或多个开关(例如,eGaN开关)(例如,单片或独立开关)可用于具有电感器的芯片嵌入式DC-DC同步降压转换器中,其中,嵌入的IC芯片包括PWM控制器和驱动器。与基于MOSFET的DC-DC同步降压转换器相比,芯片嵌入式DC-DC转换器可以在开关损耗较低的情况下以较高的速度开关,可以在高开关速度(例如,大约5MHz或本文所述的其他速度)下更有效地开关,并且eGaN开关的 $Q_G$ 可能会降低五倍左右。

[0131] 当以相同速度(例如3MHz)开关时,一些实施例实现了效率增益的提高,与可选的设计相比,降低了约30%的功率损耗。

[0132] 在示例实施例中,芯片嵌入式DC-DC转换器可封装在约3x3x1.5 mm的封装中,在约1-5MHz范围内开关,并提供约6A电流。相比之下,安培数类似的各种焊线DC-DC转换器设计的面积约为12x12 mm,开关频率约为600kHz。

[0133] 在示例实施例中,芯片嵌入式DC-DC转换器可接收12V电源并输出约1.2V和约10A的DC信号。芯片嵌入式DC-DC转换器的开关频率可以约1MHz,并包括约300nH的电感。

[0134] 在一些示例实施例中,芯片嵌入式DC-DC转换器包括25A降压转换器,该降压转换器可安装在约6x6 mm或7x7 mm的封装中。

[0135] 在一些实施例中,芯片嵌入式DC-DC转换器包括eGaN开关。该开关可以在约5MHz下工作,芯片嵌入式DC-DC转换器的运行效率接近于基于MOSFET的DC-DC转换器(以约1MHz运行)。由于对瞬态负载的响应更快,这可能使得封装尺寸更小,整体系统性能更高。

#### 示例方法

[0136] 图9示出了用于制造和使用芯片嵌入式DC-DC转换器的示例方法900的流程图。

[0137] 在块901,可制造集成电路。该集成电路可以是IC芯片,包括以下至少一个:驱动器、PWM控制器和一个或多个电源开关。该IC芯片可以包括以下多个:驱动器、PWM控制器、电源开关、电感器、电容器或DC-DC转换器的其他组件。在一些实施例中,一个或多个电源开关可以是eGaN开关、砷化镓开关或其他类型的高性能开关。

[0138] 在块903,可形成第一PCB部分。形成第一PCB部分可包括:提供PCB层或绝缘体、掩模、蚀刻、钻过孔、填充过孔、沉积导电迹线和焊垫、提供部分或全部I<sup>2</sup>C和/或PMBUS等。

[0139] 在块905,可以使用芯片嵌入式技术嵌入IC芯片。在一些实施例中,例如,可以使用机械加工或蚀刻技术形成空腔(例如,在PCB中),并且可以将IC芯片放置在该空腔中。IC芯片可以耦合到第一PCB部分、PCB里面、PCB层上、多个PCB层之间、多个PCB之间,等等。IC芯片可以是面朝上或面朝下嵌入的芯片。在一些实施例中,使用倒装芯片技术嵌入IC。IC芯片或晶粒可以耦合到晶粒黏着或粘结材料。在一些实施例中,其他组件也可以嵌入在PCB中。例如,在一个或多个开关(例如单片eGaN电源开关)与IC芯片分开的实施例中,一个或多个开关(例如单片eGaN开关)也可以嵌入在PCB中。

[0140] 在块907,可以形成针对PCB第二部分的绝缘体和导电布线。这可包括提供额外的PCB层或绝缘体、掩模、蚀刻、钻过孔或暴露过孔、填充过孔、沉积导电迹线和焊垫,提供部分或全部I<sup>2</sup>C和/或PMBUS等。在一些实施例中,所描述的关于块903、905和907的动作可以同时处理和/或重复。在块903、905和907中,可形成导体(例如,过孔和迹线),以耦合DC-DC转换器装置中的组件(例如,如图1和图3所示)。

[0141] 在块909,电感器可以耦合。电感器可以耦合到PCB的顶部。电感器可以至少部分地与DC-DC转换器的一个或多个其他组件(例如IC芯片)堆叠在一起。电感器可以至少部分地与DC-DC转换器的一个或多个其他组件(如PWM控制器、驱动器和开关)堆叠在一起。在一些实施例中,其他表面组件(例如电容器)也可以耦合。因此,芯片嵌入式DC-DC转换器的组件可以耦合在一起。在一些实施例中,可以至少部分地基于过电流极限来选择电感器的电感,例如如图1所述。在一些实施例中,过电流极限可以至少部分地基于电感器的饱和极限来确定、调整和/或修整。在一些实施例中,电感和过电流极限值可由个人、设计者、设计团队和/或制造商确定和/或设计。

[0142] 在块911,可封装芯片嵌入式DC-DC转换器。这可以包括将芯片嵌入式DC-DC转换器

封装为单个分立组件。该封装可包括电感器和电容器,使得DC-DC转换器可以在没有外部电感器或电容器的情况下运行。

[0143] 在块913,负载可以耦合到DC-DC转换器。这可以包括,例如,通过单独主板上的迹线将封装的芯片嵌入式DC-DC转换器的输出耦合到电子设备。在一些实施例中,DC-DC转换器可以在负载点附近耦合,以降低一些寄生效应。

[0144] 在块915,电源可耦合到封装的芯片嵌入式DC-DC转换器。因此,芯片嵌入式DC-DC转换器可以利用所提供的电力提供DC输出电压,为电子设备供电。

[0145] 尽管块911、913描述了封装和使用具有负载设备的单独PCB的封装的芯片嵌入式DC-DC转换器,但在一些实施例中,本文所述技术可应用于终端设备PCB。

#### 多电感器的芯片嵌入式DC-DC转换器

[0146] 本文所述的芯片嵌入式DC-DC转换器技术可以扩展到多电感器实现。这可以包括,例如,双降压转换器、双升压转换器和电压转换器(带有2个、3个、4个、5个、6个、8个、16个或任意数量的电感器)。多个电感器可以并联设置。多个电感器(例如,并联排列)的输出可以耦合到储能电路,例如电容器或LC谐振电路。每个电感器可以耦合到对应的一对开关。各自的每对开关都可以由各自的驱动器驱动。每个驱动器都可以使用PWM信号来驱动,该PWM信号与提供给其他驱动器的PWM信号异相。每个PWM信号可以有一个导通时间,该时间是共享周期的足够小的一部分,这样,驱动信号的叠加组合具有比共享周期短的有效周期。在一些实施例中,可以通过复制本文公开(例如,图1中所示)的部分或全部组件(例如,开关、电感器、集成电路的部件)来形成多电感器芯片嵌入式DC-DC转换器。

[0147] 本文所公开的各种实施例可以具有以下特征中的一个、一些组合或全部。多电感器的芯片嵌入式DC-DC转换器比单电感器的芯片嵌入式DC-DC转换器的运行速度更快、效率更高。经过DC-DC转换器的电流可以在多个电感器之间分流。热量可以在多个电感器上发散。可以使用尺寸较小的单个传感器。可以增加电流密度。可以减小DC-DC转换器的总体尺寸。可以减少开关的开关次数。可以延长开关的预期寿命。可以提高电感器的预期寿命。可以使用较小和/或较少数量的输出电容器。瞬态响应速度可能会更快。当电流需求量变化时,输出电压的波动可能会较小。DC-DC转换器可以在较高的频率下运行和/或使用较小的电感器(例如,根据方程式2)。可以减小DC-DC转换器的尺寸。每对开关都能以最大有效频率工作,但总频率可以大于任何一对开关的单个频率。

[0148] 在一些实施例中,可以减少功率损耗。利用方程式 $P=I^2 \cdot R$ ,可以看出功率损耗随着DC电流(I)的增加而增加。然而,通过在多个电感器之间分流电流,可以降低总的功率损耗。此外,每个电感器的电阻也会降低。例如,通过在两个电感器之间分流电流( $I_0$ ), $P=2 \cdot [(I_0/2)^2 \cdot R/2] = [I_0^2 \cdot R]/2$ ,可以看出功率损耗可以降低一半。因此,多个电感器之间的分布式电源传输可提高效率。随着对高电流密度DC-DC转换器需求的增加,多电感器的芯片嵌入式DC-DC转换器可以提供小尺寸、高电流密度和低功耗。

[0149] 在一些实施例中,多电感器的芯片嵌入式DC-DC转换器中较小的电感器能够对所需电流的变化做出更快的瞬态响应。例如,如图8B所示,芯片嵌入式DC-DC转换器可以向CPU提供DC电源。CPU可能突然承受很大的计算负载(例如,利用所有芯和/或提高其开关频率),导致所消耗的功率突然增加(例如,在ns范围内从1安培增加到10安培)。由于能量来自输出电容器(例如,图1、图2中的输出电容器111),输出电容器两端的电压可能下降得太快,超过

了CPU所要求的DC电源规格(例如,<1%电压下降),可能会导致停机错误。因此,可实施反馈系统(例如,如图14、图16和图17所示),以增加通过电感器传递给电容器的功率并防止电压降。然而,高电感能抵抗功率传递的变化。由于多电感器系统采用较小的电感器,因此多电感器的芯片嵌入式DC-DC转换器的瞬态反馈响应比具有较少、较大电感器的DC-DC转换器的瞬态反馈响应快,且该响应具有较低的输出电压降。本文公开的具有更高开关频率的DC-DC转换器可以使用更小的电感器,因此,本文所述的实施例中,单个电感器可以更快地对瞬态负载做出响应。

#### 示例双降压转换器

[0150] 图10示出了使用芯片嵌入式DC-DC转换器的双降压转换器1000的示例双电感器设计。双降压转换器可以使用两个并联电感器取代单个电感器。

[0151] 图10包括第一电感器1001、第二电感器1003和PCB 1005,该PCB 1005包括芯片嵌入式IC和其他组件(如图11A、11B、11C和11D所示,在图10中不可见)。第一电感器1001的第一输入节点1007A可以对应于PCB 1005上的第一焊垫1007B。第二电感器1003的第二输入节点1009A对应于PCB 1005上的第二焊垫1009B。电压输出节点1011A对应于PCB 1005上的电压输出焊垫1011B。图表1013示出了信号1、信号2和输出信号的波形。

[0152] 双降压转换器可配置为包括两个电感器1001、1003。两个电感器1001、1003可以贴装在PCB 1005上。在各种实施例中,两个电感器1001、1003可以是并排放置的两个独立电感器,垂直堆叠(一个在另一个上面)的两个独立电感器,或者是具有两个电感器绕组的单个磁芯。

[0153] 信号1提供给第一输入节点1007A。信号1的周期为T。信号2提供给第二输入节点1009A。信号2的周期也为T。信号1和2彼此异相,并且“导通”时间小于周期T的50%。输出信号由信号1和信号2组合而成。对于每个脉冲,输出信号具有与信号1和信号2相同的“导通”时间。信号1和信号2的“导通”时间相同,输出信号的有效周期缩短一半(频率加倍)。

[0154] 图12示出了包括芯片嵌入式DC-DC转换器的双降压转换器的示例电路级示意图1200。该示意图包括电压源1201、第一开关对的第一开关1203、第一开关对的第二开关1205、第二开关对的第三开关1207、第二开关对的第四开关1209、第一电感器1211、第二电感器1213、输出电容器1217、以及电压输出节点1219。

[0155] 由电感器1211、1213组成的电感器对1215可耦合在PCB外部。开关1203、1205、1207、1209可以作为独立芯片或IC芯片的一部分嵌入在PCB中,该IC芯片包括其他组件(例如驱动器、PWM控制器、其他开关)。电容器1217可以耦合在PCB外部或PCB内部。电感器1211和1213可以使用共享的通用芯,也可以使用单独的芯。

[0156] 电压源1201可以耦合到第一开关1203的漏极。第一开关1203的源极可以耦合到第一电感器1211的第一节点。第一开关1203的源极也可以耦合到第二开关1205的漏极。第一开关1203和第二开关1205的栅极可以耦合到驱动器(图12中没有显示)。驱动器可以将相反的控制信号驱动至第一开关1203和第二开关1205,交替地导通和关断第一开关1203和第二开关1205,使第一开关1203和第二开关1205中的一个导通,另一个关断。当第一开关1203导通,第二开关1205关断时,能量可以从电压源1201提供给电感器1211和/或电容器1217,能量可以存储在电感器1211和/或电容器1217,从而导致输出电压升高。当第一开关1203关断,第二开关1205导通时,能量可以从电感器1211和/或电容器1217释放,导致输出电压下

降。

[0157] 电压源1201可以耦合到第三开关1207的漏极。第三开关1207的源极可以耦合到第二电感器1213的第一节点。第三开关1207的源极也可以耦合到第四开关1209的漏极。第三开关1207和第四开关1209的栅极可以耦合到驱动器(图12中没有显示)。因此,驱动器可以将相反的控制信号驱动至第三开关1207和第四开关1209,从而交替地导通和关断第三开关1207和第四开关1209,使第三开关1207和第四开关1209中的一个导通,而另一个关断。当第三开关1207导通,第四开关1209关断时,能量可以从电压源1201提供给电感器1213和/或电容器1217,能量可以存储在电感器1213和/或电容器1217,导致输出电压升高。当第三开关1207关断,第四开关1209导通时,能量可以从电感器1213和/或电容器1217释放,导致输出电压下降。

[0158] 第一电感器1211的第二节点和第二电感器1213的第二节点可以耦合到输出节点1219,也可以耦合到输出电容器1217(也称为平滑电容器)。输出节点1219处的电压可能会受到电容器1217中存储的能量的影响。当来自电容器1217的电流从第一电感器1211的第二节点或第二电感器1213的第二节点流出时,存储在电容器1217中的能量会增加。因此,当开关提供或释放能量时,给电容器提供了小信号纹波。

[0159] 第一对开关1203、1205可与第二对开关1207、1209异相受驱动。也可以与驱动第二对开关1207、1209的频率和周期相同的频率和周期驱动第一对开关1203、1205。因此,在一些实施例中,开关1203、1207中的至多一个在指定时间导通。四个开关1203、1205、1207、1209可以由四个单独的信号驱动,这些信号彼此异相。第一对开关1203、1205和第一电感器1211与第二对开关1207、1209和第二电感器1213同时提供DC抑制功能。

[0160] 图13A示出了包括芯片嵌入式DC-DC转换器的DC-DC转换器的示例电路级示意图1300。图13A中的组件可以与图12中的组件相同或相似。图13A中的DC-DC转换器可包括附加电容器1221。当开关1203导通时,电容器1221可以存储能量。在一些实施例中,可以存储能量,使电容器1221充电至电源1201的电压的一半左右。当开关1203导通时,开关1207关断,开关1205关断,瞬变电流可通过电容器1221流至电感器1211。当开关1207导通,开关1209关断时,电容器1221向开关1207供电,使电流流向电感器1213。电容器1221还充当开关1207和开关1205之间的AC耦合电容器。与图12中的组件相比,图13中的组件也以修改后的布置进行设置,但是图12和图13A中的DC-DC转换器可以类似地工作。电感器1211和1213可以使用共享的通用芯,也可以使用单独的芯。

[0161] 图13B示出了包括芯片嵌入式DC-DC转换器的DC-DC转换器的示例电路级示意图1350。图13中的组件可以与图12中的组件相同或相似。第一对开关1203、1205和第一电感器1211可以耦合到第一电容器1217A,并配置为在第一输出节点1219A提供第一输出电压。第二对开关1207、1209和第二电感器1213可以耦合到第二电容器1217B,并配置为在第二输出节点1219B提供第二输出电压。第一和第二输出节点1219A、1219B处的输出电压可以是相同的电压,也可以是不同的电压。在一些实施例中,驱动器(例如,如图1所示,图13B中未示出)可以分别驱动第一对开关1203、1205和第二对开关1207、1209,使得在不同的节点1219A、1219B提供不同的电压。电感器1211和1213可以使用共享的通用芯,或者可以使用单独的芯。

[0162] 图13A和13B所示的实施例可在一个或多个IC晶粒上实施。例如,在图13A中,开关

1203、1205、1207、1209都可以包含在单个IC中(例如,单片eGaN IC)。在一些实施例中,开关1203、1205、1207、1209可分配在两个或更多个单独的设备之间。图13A和13B所示的实施例也可由一个或多个驱动器和/或PWM控制器控制。例如,第一PWM控制器可以耦合到第一驱动器,该第一驱动器驱动开关1203、1205、1207、1209中的第一对开关,第二PWM控制器可以耦合到第二驱动器,该第二驱动器驱动开关1203、1205、1207、1209中的第二对开关。

#### 在双降压转换器中嵌入芯片的示例设计

[0163] 图11A示出了双降压转换器中嵌入式芯片的第一示例布置设计1100。本设计包括IC部分1101、第一开关对的第一电源开关1103、第一开关对的第二电源开关1105、第二开关对的第三电源开关1107和第二开关对的第四电源开关1109。

[0164] 在图11A的实施例中,IC部分1101、第一电源开关1103、第二电源开关1105、第三电源开关1107和第四电源开关1109都包含在同一IC芯片中。IC部分1101可以包括PWM控制器和驱动器。驱动器可以配置为异相地驱动第一开关对与第二开关对。驱动器可以配置为以相同的周期和相同的频率驱动第一开关对和第二开关对。驱动器还可以配置为交替驱动每个开关对中的开关。在一些实施例中,IC部分1101包括配置为驱动第一开关对的第一驱动器,和配置为驱动第二开关对的第二驱动器。PWM控制器可以向第一驱动器提供第一PWM信号,向第二驱动器提供第二PWM信号,并且第一和第二PWM信号可以彼此异相。

[0165] 图11B示出了双降压转换器中嵌入式芯片的第二示例布置设计1120。本设计包括IC芯片1121、第一开关对的第一电源开关1123、第一开关对的第二电源开关1125、第二开关对的第三电源开关1127和第二开关对的第四电源开关1129。

[0166] 第一电源开关1123和第二电源开关1125可以是第一单片开关芯片(例如单片eGaN开关芯片)的一部分。第三电源开关1127和第四电源开关1129可以是第二单片开关芯片的一部分。在一些实施例中,第一单片开关对和第二单片开关对可以是同一单片芯片的一部分。在一些实施例中,第一单片开关对和第二单片开关对可以是单独的单片芯片。IC芯片1121和单独的单片芯片可以嵌入在PCB中。IC部分1121可以包括PWM控制器和驱动器。驱动器可以配置为异相地驱动第一单片开关对与第二单片开关对。驱动器可以配置为以相同的周期和相同的频率驱动第一单片开关对和第二单片开关对。驱动器也可以配置为交替地驱动每个单片开关对中的开关。在一些实施例中,IC部分1121包括配置为驱动第一单片开关对的第一驱动器,和配置为驱动第二单片开关对的第二驱动器。PWM控制器可以向第一驱动器提供第一PWM信号,向第二驱动器提供第二PWM信号,并且第一和第二PWM信号彼此异相。

[0167] 图11C示出了双降压转换器中嵌入式芯片的第三示例布置设计1140。本设计包括IC芯片1141部分、第一开关对的第一电源开关1143、第一开关对的第二电源开关1145、第二开关对的第三电源开关1147和第二开关对的第四电源开关1149。

[0168] IC芯片部分1141、第一电源开关1143和第三电源开关1147可以是第一IC芯片的一部分。第二电源开关1145和第四电源开关1149可以是与第一IC芯片(例如单独的单片eGaN芯片)分开的芯片。在一些实施例中,第二电源开关1145和第四电源开关1149可以是同一单片芯片的一部分。一个、一些或全部芯片可以嵌入在PCB中。IC部分1141可以包括PWM控制器和驱动器。驱动器可以配置为异相地驱动第一开关对与第二开关对。驱动器可以配置为以相同的周期和相同的频率驱动第一开关对和第二开关对。驱动器还可以配置为交替驱动每个开关对中的开关。在一些实施例中,IC部分1141包括配置为驱动第一开关对的第一驱动

器,和配置为驱动第二开关对的第二驱动器。PWM控制器可以向第一驱动器提供第一PWM信号,向第二驱动器提供第二PWM信号,并且第一和第二PWM信号彼此异相。

[0169] 图11D示出了双降压转换器中的嵌入式芯片的第四示例布置设计1160。本设计包括IC芯片部分1161、第一开关对的第一电源开关1163、第一开关对的第二电源开关1165、第二开关对的第三电源开关1167和第二开关对的第四电源开关1169。

[0170] IC芯片部分1161、第一电源开关1163、第二电源开关1165、第三电源开关1167和第四电源开关1169可以是不同的IC芯片的一部分。一个、一些或全部的不同的IC芯片可以嵌入在PCB中。IC部分1161可以包括PWM控制器和驱动器。驱动器可以配置为异相地驱动第一开关对与第二开关对。驱动器可以配置为以相同的周期和相同的频率驱动第一开关对和第二开关对。驱动器还可以配置为交替驱动每个开关对中的开关。在一些实施例中,IC部分1161包括配置为驱动第一开关对的第一驱动器,和配置为驱动第二开关对的第二驱动器。PWM控制器可以向第一驱动器提供第一PWM信号,向第二驱动器提供第二PWM信号,并且第一和第二PWM信号彼此异相。

[0171] 可以进行各种附加的设置,从而可以将组件1161、1163、1165、1167和1169任意地组合成任意数量的IC芯片。在一些实施例中,可以通过组合单个或多个电感器的DC-DC转换器的各自封装来创建多电感器的DC-DC转换器。

#### 多电感器的芯片嵌入式DC-DC转换器的其他示例特征

[0172] 在某些芯片嵌入式DC-DC转换器中,电感器是最大的物理组件。而多电感器的芯片嵌入式DC-DC转换器可以使用多个较小的并联耦合的电感器。开关可以异相受驱动,使得多个电感器将能量异相地充放。在一些实施例中,并联耦合多个电感器的输出,使得多个电感器的输出纹波的频率高于任何单个电感器的输出纹波的频率。在一些实施例中,并联耦合多个电感器的输出,并且多个电感器的输出纹波与单个电感器的输出纹波具有相同的周期。

[0173] 在一些实施例中,多电感器的DC-DC转换器的输出纹波频率可以更高,并且可以减少输出电容器的数量和/或电容,并且可以使用更小的输出电容器。

[0174] 如上所述,与单个电感器的系统相比,多个电感器的系统具有更高的有效开关速度。在一些实施例中,这可以在不增加开关的开关速度的情况下完成;相反,多个开关可以彼此异相地工作。因此,在不将单个开关的开关速度推进到更高且低效的情况下,而达到更高的有效开关速度。

[0175] 根据方程式2,因为并联设置的多个电感器的有效开关速度较高,所以可以降低多个电感器的电感。因此,可以并联设置电感器以降低电感,和/或可使用具有较小电感的较小电感器。因为可以使用较小的电感器,所以整个DC-DC转换器的尺寸可以减小,尤其是当电感器是最大的组件时。

[0176] 在一些实施例中,使用较小的电感器可产生进一步的协同作用:因为开关的电感负载减小,所以开关的开关速度可增加。这可以导致更快的有效开关速度,根据方程式2进一步降低电感,以此类推。

[0177] 在一些实施例中,与单个电感器的DC-DC转换器中的输出电容器相比,多个电感器的芯片嵌入式DC-DC转换器可以使用更小的输出电容器。

#### 带反馈的芯片嵌入式DC-DC转换器的示例

[0178] 图14示出了具有外部纹波电压反馈电路的示例芯片嵌入式DC-DC转换器1400。如本文所讨论的,芯片嵌入式DC-DC转换器1400可包括嵌入式IC芯片1403,嵌入式IC芯片1403可包括驱动器和/或调制器。IC芯片可以嵌入在PCB 1401中。芯片嵌入式DC-DC转换器1400还包括第一电源开关1405、第二电源开关1407和电感器1409。示意性地表示了电感器1409,以示出其电感组件1411及其内部直流电阻(DCR)组件1413。

[0179] 芯片嵌入式DC-DC转换器1400在电压输入节点1415接收输入电压,并在输出电压节点1417提供输出电压。输出电容器1421耦合到输出节点1417,示意性地表示了输出电容器,以示出其电容组件1423及其等效串联电阻(ESR) 1425。反馈路径1427从输出节点耦合到嵌入式IC芯片1403。

[0180] 如前所述,芯片嵌入式DC-DC转换器1400可接收输入电压,并可产生输出电压。当开关导通和关断时,输出电压可能会有小的波动或纹波。纹波电压( $V_{ESR}$ )可以通过将电感电流 $I_L$ 乘以ESR来计算。反馈路径1427感测纹波和/或DC输出电压。纹波和/或直流输出电压的反馈指示被提供给嵌入式IC芯片1403。嵌入式IC芯片1403中的调制器可以利用反馈控制开关1405、1407,以在输出电压过高时降低输出电压,在输出电压过低时提高输出电压。

[0181] 反馈系统可以使用电流模式控制方案和电压模式控制方案,以确保DC-DC在许多不同的工作周期内的运行稳定性。在现有的模式控制方案中,可以使用斜坡补偿方案,并通过外部组件来实现,这些外部组件可能增加尺寸和成本。电流模式控制方案可以使用II型补偿来实现回路稳定性,并且可能具有较慢的回路响应。在电压模式控制方案中,电压误差可以被放大、反馈和补偿。

[0182] 在一些实施例中,调制器可以使用恒定导通时间频率调制方案、恒定关断时间频率调制方案、脉宽调制方案或其他方案。恒定导通时间和恒定关断时间方案可以提供高性能的稳定DC-DC运行。在一些实施例中,调制器最好能够检测纹波电压,以触发某些控制事件。例如,在恒定导通时间方案或恒定关断时间方案中,调制器可以检测AC纹波,以分别产生具有恒定导通或关断时间的导通或关断脉冲,从而调制频率并影响发送至开关1405、1407的控制信号的周期。例如,在恒定导通时间方案中,可以提供固定宽度的导通脉冲从而提高输出电压,以响应于检测到与参考电压相比较低的输出电压,和/或响应于检测到足够量的电感电流纹波。因此,对于恒定导通时间方案,每个脉冲在导通状态下具有相同的持续时间,并且通过每次执行更多或更少的脉冲来实现调制(例如,脉冲之间的关断时间会变化)。恒定关断时间方案可以类似于本文描述的恒定导通时间方案,只是脉冲之间的关断时间是恒定的,并且可以通过导通脉冲的宽度实现调制。在另一个电压模式系统的示例中,可以固定频率,并且可以调制脉冲的占空比。变化可以包括前沿或后沿调制方案。可以使用任何合适的调制方案。因此,可以设计和/或选择ESR 1425,使得调制器能够检测到足够大的 $V_{ESR}$ 。

[0183] 本文公开的一些实施例提供了解决一些相互冲突的设计难题的方案。非延迟反馈路径可以对输出电压的变化进行快速响应。反馈路径可用于某些调制/控制方案,如恒定导通时间或恒定关断时间方案,以控制开关1405、1407何时导通或关断。为了沿反馈路径提供可测量的大 $V_{ESR}$ 信号(可被调制器可靠地检测到),可以设计和/或选择电容器1421的ESR 1425,使得产生足够大的纹波。同时,可以将纹波电压降到最低。DC-DC转换器可以理想地产生纯DC电压。在实践中,许多应用允许在DC-DC转换器的输出上产生小纹波,但仅在很小的

范围内。由DC电源供电的某些设备可能需要最大3%的纹波、2%的纹波、1%的纹波、0.5%的纹波、0.1%的纹波、0.05%的纹波、10mV的纹波、5mV的纹波、3mV的纹波、1mV的纹波、0.5mV的纹波、更少量的纹波或无法检测到的小量的纹波，或由这些值中的任何一个限定的任何范围的纹波，然而在某些情况下可以使用这些范围之外的值。例如，一些负载点设备可能规定DC电源提供1.00V DC输出，纹波或变化不超过1.00V值的1% (10mV)。可以使用ESR非常低的电容器来实现低纹波输出。但是，如果纹波太低，则调制器可能无法基于纹波反馈而工作(例如，调制器可能无法区分纹波和噪声，可能运行不稳定等)。

[0184] 本公开包括使用纹波触发调制器、低ESR电容器并提供低纹波DC输出的DC-DC转换器的一些实施例。

#### 示例电流和纹波图

[0185] 图15示出了电感电流 $I_L$ 和等效串联电阻电压 $V_{ESR}$  (也称为纹波电压)随时间变化的示例图1500、1550。线1501表示经过图14的电感器1409的电流 $I_L$ 。线1551表示图14节点1417处的输出纹波电压 $V_{ESR}$ 。

[0186] 当开关1405导通和开关1407关断时，电感电流 $I_L$ 增加。 $I_L$ 根据以下方程式增加：

$$I_{Lon} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} * T_{on} + I_o \quad \text{方程式 3A}$$

其中， $V_{in}$ 是输入电压， $V_{out}$ 是输出电压， $L$ 是电感， $T_{on}$ 是开关1405导通的时间， $I_o$ 是初始电流。

[0187] 当开关1405关断，开关1407导通时，电感电流 $I_L$ 减小。 $I_L$ 根据以下方程式减小：

$$I_{Loff} = \frac{-V_{out}}{L} * T_{off} + I_o \quad \text{方程式 4A}$$

其中， $V_{out}$ 是输出电压， $L$ 是电感， $T_{off}$ 是开关1405关断的时间， $I_o$ 是初始电流。方程式3和4是通用方程式( $V=L(dI/dt)$ )的应用版本，其中， $V$ 是电感器两端的电压， $dI/dt$ 是电流相对于时间的变化率。

[0188] 根据方程式3A和4A，电流的变化率可由时间导数确定，如：

$$\frac{d}{dt} I_{Lon} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} \quad \text{方程式 3B}$$

$$\frac{d}{dt} I_{Loff} = \frac{-V_{out}}{L} \quad \text{方程式 4B}$$

[0189]  $V_{ESR}$ 随电感电流 $I_L$ 上下波动。然而，随着不同的转换速率(例如，不同的斜率)， $V_{ESR}$ 以及 $I_L$ 增大和减小。速率差异受电容器1421的ESR影响。根据方程式 $V=I * R_{ESR}$ ，电压可通过电感电流 $I_L$ 乘以ESR来确定。因此，

$$\frac{d}{dt} V_{on} = \frac{V_{in} - V_{out}}{L} * R_{ESR} \quad \text{方程式 3C}$$

$$\frac{d}{dt} V_{off} = \frac{-V_{out}}{L} * R_{ESR} \quad \text{方程式 4C}$$

[0190] 如示例图1500、1550所示，当电流 $I_L$ 增大和减小时， $V_{ESR}$ 也在同一时间，但以不同的转换速率(不同的斜率)增大和减小。根据方程式 $V_{ESR} = I_L * R_{ESR}$ ， $V_{ESR}$ 的转换速率与ESR成比例并受ESR的影响。因此，对于低ESR值，即使 $I_L$ 很大， $V_{ESR}$ 的振幅也可能很小。例如，电感电流 $I_L$ 为3.0A，纹波为50%，因此其波动范围为1.5A至4.5A，振幅为3.0A。如果低ESR为1m $\Omega$ ，则 $V_{ESR}$ 可能在-1.5mV至1.5mV之间波动，这对于某些调制器来说太小和/或难以可靠使用。此外，当

电流保持正值时,  $V_{ESR}$  在正值和负值之间交替。

#### 示例低ESR、低纹波、芯片嵌入式DC-DC转换器

[0191] 图16示出了具有外部纹波电压反馈电路1600的示例芯片嵌入式DC-DC转换器。图16的实施例可以包括PCB 1601、驱动器1603、第一电源开关1605(例如eGaN开关)、第二电源开关1607(例如eGaN开关)、电感器1609、输出电容器1621和输出节点1617。图16还包括电阻器1643、电容器1645、AC旁路电容器1647、反馈路径1627、比较器1629和与门1631、单触发电路1633、逆变器1635、最小延时计数器1637、电阻器1639和电阻器1641。

[0192] 输出电容器1621可以是一个或多个低ESR电容器。低ESR效应也可以通过并联多个电容器来实现,从而降低有效的并联ESR。例如,每个电容器的ESR可能在 $m\Omega$ 范围(如 $1m\Omega$ 、 $10m\Omega$ 、 $100m\Omega$ )内或在 $\mu\Omega$ 范围(如 $10\mu\Omega$ 、 $100\mu\Omega$ )以下,并联设置电容器可以更进一步降低有效的并联ESR。由于低ESR,节点1617处的纹波电压可能太小,无法可靠地用于反馈,但在节点1617提供了低纹波DC输出。例如,当使用 $1m\Omega$  ESR电容器时,经过电感器的1.5A纹波可能只会导致1.5mV纹波。一个或多个输出电容器1621的总ESR可为 $1000m\Omega$ 、 $100m\Omega$ 、 $10m\Omega$ 、 $1m\Omega$ 、 $100\mu\Omega$ ,在其间的任何值,由任何这些值限定的任何范围,或更小的ESR,尽管在某些情况下,可以使用这些范围之外的值。在一些实施例中,DC-DC转换器的输出电压的AC电压纹波可以为3%或更小、2%或更小、1%或更小、0.5%或更小、0.1%或更小、0.05%或更小、10mV或更小、5mV或更小、3mV或更小、1mV或更小、0.5mV或更小、更少量的纹波、无法可靠检测到的纹波,检测不出的很小量的纹波,或由任何这些值限定的任何范围,尽管在某些情况下,可以使用这些范围之外的值。本文讨论的低ESR和低纹波值也可与其他实施例相关,例如图17的实施例。

[0193] 为了感测纹波并提供反馈电压,电阻器1643可与电容器1645串联,电阻器1643与电容器1645的串联组合可并联到电感器1609的两端。电容器1645阻断DC信号。AC信号,如纹波,仍然可以被感测。电容器1645和电阻器1643构成AC信号的分压器,感测到的纹波可以穿过AC旁路电容器1647到达反馈路径1627。可以设置电阻器1643和电容器1645的值,从而满足方程式5:

$$\frac{L}{DCR_L} = R_x * C_x \quad \text{方程式 5}$$

其中,L是电感器1609的电感值, $DCR_L$ 是电感器1609的直流电阻(“DCR”), $R_x$ 是电阻器1643的电阻, $C_x$ 是电容器1645的电容。因此,可以提供电路,以独立于ESR值可度量地且可靠地感测电感电流纹波。

[0194] 电阻器1639和1641可以组成分压器,耦合到输出节点1617。该分压器可以对输出节点1617处的电压输出进行分压。在一些实施例中,由于输出电容器1621的ESR较低,输出节点1617处的纹波可能很小,很难检测到,在噪声阈值内,或者用于调制并不可靠。因此,该分压器主要起到DC分压器的作用。

[0195] 反馈路径1627耦合到分压器以接收DC电压,并且也耦合到AC旁路电容1647以感测纹波电压。反馈路径还耦合到比较器1629,并与参考电压进行比较。参考电压可由参考电压发生器(未示出,例如带隙发生器、晶体、数模转换器(“DAC”)、电池等)提供。在一些实施例中,使用DAC提供参考电压,并可向DAC提供数字信号以设置所需的参考电压。

[0196] 比较器1629可以基于反馈信号和参考电压的比较,产生比较器输出信号。以恒定

导通时间调制器为例,当反馈信号低于参考电压时,比较器1629可产生高输出信号。

[0197] 比较器1629的输出可以提供给单触发电路1633,该单触发电路产生恒定导通时间PWM信号,该信号可以提供给驱动器1603。单触发电路1633的输出也可以提供给逆变器1635、最小关断延时电路1637和与门1631,以防止PWM信号持续为高。

[0198] 电阻器1643、电容器1645和AC旁路电容器1647的配置可导致检测到显著的、可测量的纹波,并将其注入反馈路径1627,尽管电容器1621的ESR较低且输出纹波较低。因此,检测到的纹波可以大于输出纹波。注入反馈路径1627的AC纹波可以表示为:

$$V_{cx} = \frac{I_L * L}{(R_x * C_x)} \quad \text{方程式 6}$$

其中, $V_{cx}$ 是电容器1645上的纹波电压, $I_L$ 是电感器的峰至峰电流纹波, $R_x$ 是电阻器1643的电阻, $C_x$ 是电容器1645的电容。

[0199] 在一些实施例中,可以封装PCB 1601及其内部组件,用户可以提供和/或配置电路,该电路包括电感器1609、电阻器1643、电容器1645、电容器1621、电容器1645、AC旁路电容器1647、电阻器1639和电阻器1641。在此类实施例中,可根据方程式6选择和调整电感器1609、电阻器1643和/或电容器的值。例如,如果为某个应用(例如,具有不同的电感和/或DCR)而改变了电感器1609,用户可以求解方程式6,然后选择、获得和改变电阻器1643和/或电容器1645,以对应于电感器1609的新的L和DCR<sub>L</sub>值。

[0200] 在一些实施例中,图16所示的一些或所有组件可以包含在单个封装中。在一些实施例中,根据方程式6,将电阻1643、电容1645和电感器1609中的一些而非全部包括在一个封装中会限制调谐电路的能力。例如,如果封装中包含了电阻器1643和电容器1645,但最终用户选择了电感器1609,则会限制最终用户只能使用具有特定L和DCR<sub>L</sub>值的特定电感器,以满足方程式6。在这种系统和任何调谐不当的系统中,选择不恰当的电感器1609会导致系统不稳定和/或发生故障,这可能损坏从DC-DC转换器接收功率的组件。在某些情况下,最好能恰当地调谐DC-DC转换器,并将其作为不需要最终用户修改的单个封装设备来提供。本文公开的一些实施例可以包括作为单个封装的电感器1609、电阻器1643和电容器1645。

#### 示例低ESR、低纹波的DC-DC转换器

[0201] 图17示出了具有内部纹波电压反馈电路的示例DC-DC转换器1700(在一些实施例中可以是芯片嵌入式DC-DC转换器)。芯片嵌入式DC-DC转换器1700包括封装1701、驱动器1703、第一电源开关1705、第二电源开关1707和电感器1709,其可以类似于本文所述的其他实施例。DC-DC转换器1700可在电压输入节点1715接收输入电压,并可在输出电压节点1717提供输出电压。输出电容器1721(例如,低ESR输出电容器或具有低并联ESR的多个并联电容器)可以耦合到输出节点1717。反馈路径1727可以从输出节点耦合到比较器1729。比较器输出可以耦合到与门1731和单触发电路1733,将PWM信号提供给驱动器1703。斜坡发生器1751可以模拟电感纹波电流(例如,模拟图15中的电流1501),并输出纹波电流的电压表示(例如,图15中的1551)。在一些实施例中,斜坡发生器1751的输出可以在信号组合器1753处与参考电压组合(例如,相加或相减)。在一些实施例中,由斜坡发生器输出的电感纹波信号可以增加至反馈信号,而不是从参考电压中减去。比较器1729可以对斜坡发生器1751输出的纹波信号和参考电压进行比较。比较结果可用于反馈回路,以驱动系统(例如开关1705和/或1707)。

[0202] 电感器1709可包含在芯片嵌入式DC-DC转换器封装中,如图1、图3、图4A和图4B所示。低ESR输出电容器1721可耦合到输出节点1717。至少一个输出电容器1721可具有低ESR(例如,类似于本文所讨论的图16中的实施例的值和范围)。例如,ESR可以在 $m\Omega$ 范围(如 $1m\Omega$ 、 $10m\Omega$ 、 $100m\Omega$ )内,或者更小,在 $\mu\Omega$ 范围(如 $10\mu\Omega$ 、 $100\mu\Omega$ )内,并联设置电容器会进一步降低有效的并联ESR。输出电压可具有低AC纹波或无AC纹波(例如,类似于本文所讨论的图16中的值 and 范围),使得DC-DC转换器能够满足某些设备所需的低纹波输出规格。然而,这样的低AC纹波可能很小,难以检测,在噪声阈值内,不存在,或对于调制目的不可靠(例如,由于输出电容器1721的ESR较低),并且很难将该AC纹波用于调制目的。通过反馈路径1727,在反馈路径1727上提供DC输出电压(例如,连同任何小的(但无法可靠测量的)AC纹波或完全没有AC纹波)。

[0203] 斜坡发生器1751独立于电容器1721和/或其ESR模拟电感器纹波。以下参照图18描述了示例斜坡发生器。斜坡发生器的输入可以包括输入电压、输出电压、开关信号和电感值。斜坡发生器1751的输出可与参考电压组合,用于与反馈路径1727上的电压进行比较,或者斜坡发生器1751的输出可与反馈路径1727上的电压组合,用于与参考电压进行比较。例如,可由DAC提供电压参考。DAC可以基于数字输入产生电压输出。因此,可以以小增量调整DAC电压。例如,9位DAC的输出电压可调,增量为5mV。DAC可用于设置和/或调整DC-DC转换器的输出电压。电压参考的其他示例包括晶体、带隙参考、电池等,其中任何一个都可能未启用。组合了模拟的电感器纹波的参考电压可以提供给比较器1729的输入,如图17所示。

[0204] 斜坡发生器1751可以包含在封装中。斜坡发生器1751可以连同驱动器1703和其他组件一起包含在芯片嵌入式IC中。电感器也可以包含在封装内。将封装提供给用户之前,可针对在封装内选择的特定电感器1709来调谐和配置斜坡发生器1751。与允许用户选择具有不同特性的电感器的设计不同,选择封装的电感器1709的设计者可以知道电感器的值和特性,允许设计者提取和/或确定电感器1709的转换速率,并使用斜坡发生器1751复制转换速率。在一些实施例中,系统不使用反馈回路中的(例如,在电感器处)实际纹波信号,而是使用斜坡发生器来模拟纹波信号(例如,存在于电感器处)。斜坡发生器1751可以根据输入的电压 $V_{in}$ 、 $V_{out}$ 的值、电感器的电感值L(当电感器集成到DC-DC转换器封装中时,该值可以是已知值)和开关信号SW来确定模拟的纹波信号。开关信号可指示开关1705、1707中的一个或两个的状态和/或开关1705、1707中的一个或两个改变状态(例如,HS和LS信号)的时间。由于斜坡发生器知道电感、输入和输出电压以及开关的定时,因此其能够确定模拟电路中实际纹波信号(例如,电感器处的纹波)的模拟纹波信号。模拟纹波可以与电感器中的纹波成比例。模拟纹波可以以与电感器中纹波改变的斜率相同的斜率(例如,以相同的速率)改变。具有低ESR电容器1721的系统中的模拟纹波可以在不使用低ESR电容器1421时模拟可能在图14的节点1417处出现的纹波。

[0205] 可以产生准确反映经过电感器1709的纹波的电感纹波信号。通过使用斜坡发生器产生电感纹波信号,对于感测/检测AC纹波而言,最小电容器ESR是非必需的。因此,输出电压可以是具有较小的AC纹波或没有AC纹波的更干净的DC信号。

[0206] 在一些实施例中,比较器将DC-DC转换器的输出与参考信号和模拟的电感纹波的组合进行比较。例如,在恒定导通时间调制方案中,当反馈路径1727上的输出信号低于参考电压与模拟的电感纹波组合的值时,比较器可以输出高信号。高信号可通过与门提供给单

触发电路,该电路将恒定导通时间PWM脉冲提供给驱动器1703,该驱动器驱动开关1705导通和开关1707关断。通过确保开关1705周期性关断和开关1707周期性导通,耦合到与门的逆变器1735和最小关断时间延迟电路1737可防止单触发电路1733过于频繁地触发。可以使用其他方式来实现基于比较器1729的输出驱动开关。

[0207] 尽管图16和图17中电路的操作是针对恒定导通时间调制方案进行描述的,但应理解,本文的教导和公开可适用于任何电压模式调制方案,例如对电路进行适当修改(例如,将最小关断时间延迟改变为最小导通时间延迟,进行某些比较和/或可以反转信号等)的恒定关断时间方案。此外,本文的教导和公开还可适用于电流模式调制方案或电压调制方案。

[0208] 图18示出了斜坡发生器1800的示例电路级示意图。斜坡发生器1800可包括第一电流源1801、第二电流源1803、电容器1805、斜坡电压输出节点1807、第一开关1809、第二开关1811、修整控制器1813和电阻器1815A、1815B。修整控制器1813和/或电流源1801、1803可以耦合到I<sup>2</sup>C和/或PMBUS,以接收修整和/或调整命令。

[0209] 斜坡发生器可配置为根据以下方程式生成输出:

$$V_{ramp-ON} = \frac{k}{C_{ramp}} (V_{in} - V_{out}) * t_{on} + V_o \quad \text{方程式 7A}$$

$$V_{ramp-OFF} = \frac{k}{C_{ramp}} (-V_{out}) * t_{off} + V_o \quad \text{方程式 8A}$$

其中, $V_{ramp-ON}$ 和 $V_{ramp-OFF}$ 分别是导通和关断电压(输出为图17中斜坡发生器1751的电感器纹波输出), $k$ 可以是恒定的固定因素, $V_{in}$ 是输入电压(例如,在图17中的节点1715处提供的电压), $V_{out}$ 是输出电压(例如,在图17中的节点1717处提供的电压),其中 $k$ 是以安培每伏特为单位测量的数值, $C_{ramp}$ 是电容器1805的电容, $t_{on}$ 是DC-DC转换器向电感器供电(例如,当开关1809闭合,开关1811断开时)的时间量, $t_{off}$ 是DC-DC转换器不向电感器供电(例如,当开关1809断开,开关1811闭合时)的时间量, $V_o$ 为起始电压。纹波电压转换速率(也称为“斜率”,单位为伏特/秒)由时间周期( $t_{on}$ , $t_{off}$ )与下方方程式相乘的系数表示:

$$\frac{d}{dt} V_{ramp-ON} = \frac{k}{C_{ramp}} (V_{in} - V_{out}) \quad \text{方程式 7B}$$

$$\frac{d}{dt} V_{ramp-OFF} = \frac{k}{C_{ramp}} (-V_{out}) \quad \text{方程式 8B}$$

[0210] 仅方程式7和方程式8并未显示如何设置 $k$ 的值来模拟与电感纹波相关的电压,该电压应取决于电感器1709的电感。如果斜坡发生器配置为模拟方程式3C中的转换速率,则方程式7B和方程式3C可以设置为相等,其中, $C_{ramp}$ 设置为等于 $C_x$ ,并选择电阻 $R_{eq}$ 来替换 $R_{ESR}$ ,使得:

$$\frac{k}{C_{ramp}} (V_{in} - V_{out}) = \frac{V_{in}-V_{out}}{L} * R_{eq} \quad \text{方程式 9}$$

$$k = \frac{C_{ramp}}{L} * R_{eq} \quad \text{方程式 10}$$

[0211] 因此,可以确定 $k$ 的值,且当电容器1805的电容、电阻器1815A、1815B的电阻和电感器1709的电感固定时, $k$ 的值将是一个常数。此外, $k$ 和电感之间的关系显示为反比关系。如果已知电感器1709的电感,则可以确定恒定值 $k$ 。因此,可以测量电感器1709的电感,并且可以修整和/或配置斜坡发生器。

[0212] 第一电流源1801可以是电压控制电流源1801。电压控制电流源1801的输出至少部分地可由 $V_{in}$ 电压和k控制。在一些实施例中,电压控制电流源的输出可由 $V_{in}$ 电压乘以k来控制。因此,当L增大,k减小时,可以修整电流源1801以减小输出电流,当L减小时,可以修整电流源1801以增大输出电流。电流源1801耦合到第一开关1809并接地。

[0213] 第二电流源1803可以是电压控制电流源1803。电压控制电流源1803的输出至少部分地可由 $V_{out}$ 电压和k控制。在一些实施例中,电压控制电流源的输出可由 $V_{out}$ 电压乘以k来控制。因此,当L增大,k减小时,可以修整电流源1803以减小输出电流,并且当L减小时,可以修整电流源1803以增大输出电流。电流源1803耦合到第二开关1811并接地。

[0214] 修整控制器1813耦合到电流源1801、1803。修整控制器1813配置为至少部分地基于电感器1709(包括各种多电感器配置中的各自的或有效的并联电感器)的电感来调整和/或设置电流源1801、1803的输出。在一些实施例中,修整控制器1813可配置为至少部分地基于电感器1709的电感、电容器1805的电容和/或电阻器1815A、1815B的电阻来调整和/或设置电流源1801、1803的输出。在一些实施例中, $C_{ramp} * R_{eq}$ 的值可以设置为恒定值,电感器1709的电感被提供给修整控制器1813。

[0215] 第一开关信号(例如,与提供给图17中的开关1705的信号HS相同的信号)可提供给第一开关1809。第二信号(例如,与提供给图17中的开关1707的信号LS相同的信号)可提供给第二开关1811。第一和第二开关1809、1811可以比图17中的电源开关1705、1707小。

[0216] 电容器1805的一端可以耦合在第一开关1809和第二开关1811之间。电容器1805的另一端可以接地。

[0217] 当第一开关1809闭合且第二开关1811断开时,第一电流源1801配置为产生由电压 $k * V_{in}$ 控制的电流,对电容器1805充电,使得节点1807处的电压根据方程式7A产生并如方程式7B所述的斜升。

[0218] 当第一开关1809断开,第二开关1811闭合时,第二电流源1803配置为产生由电压 $k * V_{out}$ 控制的电流,从电容器1805汲取电流,使得节点1807的电压根据方程式8A降低,形成如方程式8B所述的负电压斜升。

[0219] 当电流从电容器1805流出时,电容器两端的电压降低。因此,斜坡发生器可以模拟模拟的电感纹波,并提供独立于输出电容和/或ESR的可用电压信号。

[0220] 因此,即使当使用低ESR电容器1721而不能直接从低ESR电容器上可靠地测量到电压纹波时,斜坡发生器在节点1807处输出的增大和减小的电压也可以模拟经过电感器1709的纹波、与经过电感器1709的纹波相同和/或成比例。通过提供电感器1709、电容器1805和电阻器1815A、1815B,可以确定这些值,并且可以相应地配置图17和图18中所示的DC-DC转换器。

[0221] 与需要用户配置外部组件的解决方案不同,图18所示的封装的芯片嵌入式DC-DC转换器可以包括自含式调谐反馈系统。因此,用户不需要设计反馈系统,计算电感、DCR、电阻和电容之间的比例。此外,与使用外部反馈组件相比,将反馈和/或调制组件集成到封装和/或封装内的一个或多个IC中可以节省空间。

#### 制作和使用低ESR、低纹波、芯片嵌入式DC-DC转换器的示例方法

[0222] 图19示出了制造和使用低ESR、低纹波、芯片嵌入式DC-DC转换器的示例方法。该DC-DC可以配置为在第一输入电压下在输入节点接收功率,在与第一输入电压不同的第二

输出电压下在输出节点输出功率。

[0223] 如本文所述,在块1901,可以将IC芯片嵌入在PCB中。IC芯片可以包括以下部分或全部:驱动器、开关、斜坡发生器和调制电路,例如,如图1、图3、图14、图16和图17所示。在一些实施例中,可以将多个IC芯片嵌入在PCB中,例如,如图11B至图11D所示。

[0224] 在块1903,可以将一个或多个电感器耦合到IC芯片和反馈路径,例如,如图1、图3、图14、图16和图17所示。可以将该一个或多个电感器和反馈路径耦合到输出节点。在一些实施例中,例如,如图10至图13所述,多个电感器可以耦合在一个多电感器装置中。电感器可以配置为接收功率,并且可以是存储能量的LC电路装置的一部分。LC装置可以包括一个或多个电容器,该电容器可以是低ESR电容器。并联设置电容器可以提供有效的低ESR。一个或多个电容器的两端可以形成第二输出电压。块1903可以包括测量一个或多个电感器的电感。

[0225] 在块1905,可以包含斜坡发生器。斜坡发生器可以包含在集成电路中,并作为集成电路的一部分,作为不同集成电路的一部分,可以包含在PCB中,或者包含在DC-DC转换器封装中。关于图17和图18,描述了示例斜坡发生器。斜坡发生器可以包括第一电流源、第二电流源和耦合在第一电流源和第二电流源之间的电容器。

[0226] 在块1907,斜坡发生器可以配置为模拟经过电感器的纹波。这可以包括至少部分地基于电感器的值来修整第一或第二电流源。可以测量电感器的值,以确定用于修整的值。纹波可以独立于输出电容器和/或输出电容器的ESR产生。第一输入电压、第二输出电压、电感器的电感和开关信号可以提供给斜坡发生器。电流源可根据开关信号导通和切断。开关信号可提供给和/或产生于DC-DC转换器中的一个或多个电源开关。

[0227] 在块1909,可提供反馈信号、参考信号和纹波电压用于信号调制。反馈信号可以是DC输出信号(例如,没有或具有很少的AC纹波)。在某些情况下,DC输出信号上的AC纹波不足以可靠地用于调制。参考信号可以是所需的DC输出信号,可以由晶体、带隙参考、DAC、电池等产生。纹波电压可以由斜坡发生器输出。反馈信号、参考信号和纹波电压可以提供给比较器。

[0228] 在块1911,能够至少部分地基于反馈信号、参考信号和纹波电压来调制和驱动一个或多个开关。调制方案可以是,例如电压模式调制方案,例如恒定导通时间或恒定关断时间方案。可以将反馈信号与参考信号进行比较。该比较中还可以包括纹波电压。调制器可以至少部分地基于该比较产生控制信号,例如脉冲,以驱动一个或多个开关。

[0229] 在块1913,可由DC-DC转换器提供调制的输出信号。

#### 其他详细信息

[0230] 本文所描述的原理和优点可以在各种装置中实现。此外,芯片嵌入式DC-DC转换器可用于各种装置中,用于提高性能,芯片嵌入式DC-DC转换器按规格运行,成本较低,可降低这些装置的整体价格。此类装置的示例可包括但不限于,消费电子产品、消费电子产品的部件、电子测试装备等。消费电子产品的部件的示例可包括,时钟电路、模数转换器、放大器、整流器、可编程滤波器、衰减器、变频电路等。电子设备的示例还可以包括存储芯片、存储模块、光纤网络或其他通信网络电路、蜂窝通信基础设施(如基站、雷达系统)、磁盘驱动器电路。消费电子产品可以包括但不限于,无线设备、移动电话(例如智能电话)、可穿戴计算设备(例如智能手表或耳机)、医疗监测设备、车载电子系统、电话、电视、计算机监控设备、电

脑、手持电脑、平板电脑、笔记本电脑、个人数字助理 (PDA)、微波炉、冰箱、立体声系统、盒式录音机或播放器、DVD播放器、CD播放器、数字视频录像机 (DVR)、VCR、MP3播放器、收音机、摄像机、摄像头、数码相机、便携式存储芯片、洗衣机、烘干机、洗衣机/烘干机、复印机、传真机、扫描仪、多功能外围设备、手表、时钟等。此外,该装置可以包括未完工的产品。

[0231] 除非上下文另有明确要求,否则在整个说明书和权利要求书中,“包含”、“含有”、“包括”等词语应理解为包容性意义,而不是排他的或详尽无遗的意义;也就是说,“包括但不限于”的含义。如本文通常所用的,词语“耦合”或“连接”是指,两个或两个以上的元件可以直接连接,也可以通过一个或多个中间元件连接。此外,在本申请中使用的“本文”、“上文”、“下文”和具有类似含义的词语,应指整个申请,而不是本申请的任何特定部分。在上下文允许的情况下,在详细描述中使用单数或复数的词语也可以分别包括复数或单数。词语“或”指两个或两个以上项目的列表,旨在涵盖该词的所有以下解释:列表中的任何项目、列表中的所有项目以及列表中项目的任何组合。词语“和/或”也旨在涵盖该词的所有以下解释:列表中的任何项目、列表中的所有项目以及列表中项目的任何组合。如本文通常所用的,术语“基于”包括对该术语的以下解释:仅基于或至少部分地基于。本文提供的所有数值旨在包括测量误差内的类似值。

[0232] 此外,本文中使用的条件语言,例如,“可以”、“可”、“可能”、“也许”、“例如”、“举例”、“如”等,除非另有特别说明,或在使用时在上下文中另有理解,通常旨在表达,某些实施例包括,而其他实施例不包括某些特征、元素和/或状态。

[0233] 上述各种特征和过程可以彼此独立使用,也可以以各种方式组合使用。所有可能的组合和子组合都旨在落入本公开的范围。此外,在某些实施中可以省略某些方法或过程块。本文所述的方法和过程也不限于任何特定的顺序,并且与之相关的块或状态可以按照其他适当的顺序执行。例如,所描述的块或状态可以按照除特别公开的顺序之外的顺序执行,或者多个块或状态可以组合成一个块或状态。示例块或状态可以以串行、并行或以其他方式执行。块或状态可以添加到所公开的示例实施例中或从所公开的示例实施例中移除。本文所描述的示例系统和组件可以以与所描述的方式不同的方式来配置。例如,与所公开的示例实施例相比,可以添加、移除或重新配置元件。

[0234] 本文所提供实施例的教导可应用于其他系统,不一定是上述系统。上述各种实施例的元素和作用可以组合,以提供其他实施例。

[0235] 虽然已经描述了某些实施例,但这些实施例仅以示例的形式呈现,并不旨在限制本公开的范围。实际上,本文所述的新方法和系统可以以各种其他形式体现。此外,在不违背本公开精神的情况下,可对本文所述方法和系统的形式进行各种省略、替换和改变。随附的权利要求及其等同物旨在涵盖落入本公开范围和精神的形式或修改。

#### 其他实施例

[0236] 以下列表具有在本公开的范围内的示例实施例。所列示例实施例不应解释为限制本公开的范围。可以移除、添加或组合所列示例实施例的各种特征,以形成其他实施例,这些实施例是本公开的一部分:

1. 一种直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,包括:
  - 具有底侧和顶侧的下印刷电路板 (PCB) 部分;
  - 具有底侧和顶侧的上印刷电路板 (PCB) 部分;

嵌入式电路,位于下PCB部分的顶侧和上PCB部分的底侧之间,该嵌入式电路包括:  
脉宽调制器;以及  
至少一个开关;  
一个或多个过孔,延伸穿过上PCB部分;  
电感器,位于上PCB部分的顶侧上方,其中,一个或多个过孔与该电感器和嵌入式电路电耦合。

2. 实施例1的DC-DC电源转换器,其中,嵌入式电路包括集成电路(IC)。

3. 实施例2的DC-DC电源转换器,其中,电感器的占位区域至少部分地与集成电路的占位区域重叠。

4. 实施例1至3中任何一个的DC-DC电源转换器,其中,电感器和嵌入式电路之间没有焊线进行电连接。

5. 实施例1至4中任何一个的DC-DC电源转换器,其中,电路的开关速率至少为1MHz。

6. 实施例1至4中任何一个的DC-DC电源转换器,其中,电路的开关速率至少为3MHz。

7. 实施例1至4中任何一个的DC-DC电源转换器,其中,电路的开关速率至少为5MHz。

8. 实施例1至7中任何一个的DC-DC电源转换器,其中,电路的开关速率高达7MHz。

9. 实施例1至8中任何一个的DC-DC电源转换器,其中,至少一个开关包括增强型氮化镓场效应晶体管(eGaN FET)。

10. 实施例1至9中任何一个的DC-DC电源转换器,还包括一个或多个设置在上PCB部分的顶侧上方的电容器。

11. 实施例1至10中任何一个的DC-DC电源转换器,还包括设置在下PCB部分的顶侧和上PCB部分的底侧之间的芯,其中,该芯具有一个或多个凹槽,该嵌入式电路设置在该一个或多个凹槽中。

12. 实施例1至11中的任何一个DC-DC电源转换器,其中,DC-DC电源转换器具有小于 $25\text{mm}^2$ 的占位区域。

13. 实施例1至11中的任何一个的DC-DC电源转换器,其中,DC-DC电源转换器的占位区域小于 $10\text{mm}^2$ 。

14. 实施例1至11中的任何一个的DC-DC电源转换器,其中,DC-DC电源转换器的占位区域小于 $5\text{mm}^2$ 。

15. 实施例1至14中的任何一个的DC-DC电源转换器,其中,DC-DC电源转换器的占位区域小至 $2\text{mm}^2$ 。

16. 实施例1至15中的任何一个的DC-DC电源转换器,其中,DC-DC电源转换器的占位区域为 $0.5\text{-}10\text{mm}^2$ 每安培电流。

17. 一种直流-直流(DC-DC)电源转换器封装,包括:

集成电路(IC)芯片,嵌入在至少一块印刷电路板(PCB)中,该IC芯片包括驱动器;

电感器,位于芯片嵌入式封装外部并耦合到芯片嵌入式封装表面;以及

过孔,将电感器与IC芯片电耦合;

其中,电感器的占位区域至少部分地与IC芯片的占位区域重叠。

18. 实施例17的DC-DC电源转换器,其中,晶体管嵌入在至少一个PCB中,并且电感器与晶体管电耦合。

19. 实施例17至18中的任何一个的DC-DC电源转换器,其中,IC芯片包括:  
耦合到驱动器的脉宽调制(PWM)控制器;以及  
耦合到驱动器输出的开关晶体管。

20. 实施例17至19中的任何一个的DC-DC电源转换器,还包括开关,该开关包括增强型氮化镓(eGaN)。

21. 实施例17至20中的任何一个的DC-DC电源转换器,其中,该开关配置为以4MHz或更快的速度开关。

22. 实施例17至20中的任何一个的DC-DC电源转换器,其中,该开关配置为以5MHz或更快速度开关。

23. 实施例17至19中的任何一个的DC-DC电源转换器,还包括开关,该开关包括硅或砷化镓中的至少一种。

24. 一种在单个封装中的直流-直流(DC-DC)电源转换器,包括:  
增强型氮化镓(eGaN)组件,至少部分嵌入在安装基板的内部;  
电感器,安装在安装基板外部;以及  
过孔,将电感器与eGaN组件耦合;  
其中,电感器的占位区域至少部分地与eGaN组件的占位区域重叠。

25. 实施例24的DC-DC电源转换器,其中,安装基板为多层PCB。

26. 实施例24至25中的任何一个的DC-DC电源转换器,其中,eGaN组件是包含eGaN的开关,该DC-DC电源转换器还包括配置为驱动该开关的驱动电路。

27. 实施例24至26中的任何一个的DC-DC电源转换器,其中,驱动器和开关是IC芯片的一部分。

28. 实施例24至27中的任何一个的DC-DC电源转换器,其中,IC芯片还包括脉宽调制(PWM)控制器。

29. 一种使用芯片嵌入式封装的直流-直流(DC-DC)电源转换器,该DC-DC转换器包括:

印刷电路板(PCB)内部的增强型氮化镓(eGaN)开关;

脉宽调制(PWM)控制器;

嵌入在PCB内部的驱动器,其中,PWM控制器和驱动器配置为以1MHz或更高的频率驱动eGaN开关;

位于芯片嵌入式封装的外部并耦合到PCB表面的电感器;以及  
将电感器与eGaN开关电耦合的过孔。

30. 实施例29的DC-DC电源转换器,其中,驱动器配置为以5MHz或更高的频率驱动eGaN开关。

31. 一种直流-直流(DC-DC)电源转换器,包括:

印刷电路板;以及

集成电路,位于印刷电路板内部,该集成电路包括驱动器。

32. 实施例31的DC-DC电源转换器,还包括电感器,该电感器通过延伸穿过印刷电路板的一个或多个过孔电耦合到集成电路。

33. 实施例32的DC-DC电源转换器,其中,该电感器具有至少部分与集成电路的占位区域重叠的占位区域。

34. 一种直流-直流(DC-DC)电源转换器,包括:

集成电路,包括驱动器;以及

电感器,垂直堆叠在集成电路上方,使得电感器的占位区域至少部分地与集成电路的占位区域重叠,其中,电感器与集成电路电耦合。

35. 实施例34的DC-DC转换器,还包括印刷电路板(PCB),其具有第一侧和与第一侧相对的第二侧,其中,集成电路安装在PCB的第一侧,并且其中,电感器安装在PCB的第二侧。

36. 实施例35的DC-DC转换器,其中,电感器通过延伸穿过印刷电路板的一个或多个过孔电耦合到集成电路。

37. 一种直流-直流(DC-DC)降压转换器,包括:

一个或多个开关;

配置为驱动该一个或多个开关的驱动器;以及

与该开关电耦合的电感器;

其中,该DC-DC降压转换器的占位区域小于 $65\text{mm}^2$ ;

其中,该DC-DC降压转换器配置为接收至少20安培的电流;并且

其中,该DC-DC降压转换器配置为输出至少20安培的电流。

38. 一种直流-直流(DC-DC)电源转换器,包括:

一个或多个开关;

驱动器,配置为以1-5MHz(包括1和5MHz)的频率驱动该一个或多个开关;以及

与该一个或多个开关电耦合的电感器;

其中,该DC-DC转换器的占位区域小于或等于 $10\text{mm}^2$ ;

其中,该DC-DC转换器配置为接收至少5安培的电流;

其中,该DC-DC转换器配置为输出至少5安培的电流。

39. 一种直流-直流(DC-DC)电源转换器,包括:

耦合到第一电感器的第一开关;

耦合到第二电感器的第二开关;以及

嵌入在印刷电路板中的集成电路芯片;

其中,第一开关和第二开关耦合到调制器;并且

其中,第一电感器和第二电感器耦合到电压输出节点。

40. 实施例39的直流-直流(DC-DC)电源转换器,其中,调制器包含在集成电路芯片中。

41. 实施例39至40中的任何一个的直流-直流(DC-DC)电源转换器,其中,调制器配置为使第一开关和第二开关以同步周期操作相位输出。

42. 实施例39至41中的任何一个的直流-直流(DC-DC)电源转换器,其中,在输出节点的输出信号是经过第一电感器的第一信号和经过第二电感器的第二信号的叠加。

43. 一种直流-直流(DC-DC)电源转换器,包括:

嵌入印刷电路板中的集成电路芯片,该集成电路芯片包括驱动器;  
耦合到驱动器的第一开关;  
耦合到第一开关的电感器;以及  
从输出节点到调制电路的反馈路径。

44. 实施例43的直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,其中,调制电路为电压模式调制电路。

45. 实施例43至44中的任何一个的直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,其中,调制电路是恒定导通时间或恒定关断时间调制电路。

46. 实施例43至45中的任何一个的直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,其中,调制电路包含在集成电路芯片中。

47. 实施例43至46中的任何一个的直流-直流电源转换器,其中,调制电路和电感器与集成电路芯片包含在一个封装中。

48. 一种直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,包括:  
嵌入在印刷电路板中的集成电路芯片,该集成电路芯片包括驱动器;  
耦合到驱动器的第一开关;  
耦合到第一开关的电感器;  
从输出节点到调制电路的反馈路径;以及  
斜坡发生器。

49. 实施例48的直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,其中,反馈路径和斜坡发生器的输出耦合到比较器。

50. 实施例49的直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,还包括耦合到比较器的参考电压源。

51. 实施例48至50中的任何一个的直流至直流 (DC-DC) 电源转换器,其中,斜坡发生器配置为模拟经过电感器的纹波电流。

52. 实施例48至51中的任何一个的直流至直流 (DC-DC) 电源转换器,其中,斜坡发生器包括:

第一电流源;  
第二电流源;以及  
电容器。

53. 实施例52的直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,其中,第一电流源和第二电流源配置为至少部分地基于电感器的电感进行修整。

54. 实施例48至53中的任何一个的直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,其中,斜坡发生器和电感器包含在同一DC-DC电源转换器封装中。

55. 实施例48至54中的任何一个的直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,其中,斜坡发生器配置为产生输出信号,该输出信号不受耦合到电感器的输出电容器的影响。

56. 实施例48至55中的任何一个的直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,其中,斜坡发生器配置为产生输出信号,该输出信号独立于耦合到电感器的输出电容器的等效串联电阻 (ESR)。

57. 实施例48至56中的任何一个的直流-直流 (DC-DC) 电源转换器,还包括输出电

容器,该输出电容器具有足够低的ESR,使得输出电容器两端的纹波电压太小,无法可靠地提供给调制电路。

58.一种斜坡发生器,包括:

耦合到电源电压的第一电流源;

接地的第二电流源;以及

耦合在第一电流源和第二电流源之间的电容器。

59.实施例58的斜坡发生器,其中,斜坡发生器配置为模拟经过DC-DC转换器中的电感器的纹波电流。

60.实施例58至59中的任何一个的斜坡发生器,其中,第一电流源的输出至少部分地基于DC-DC转换器的输入电压。

61.实施例58至60中的任何一个的斜坡发生器,其中,第一电流源的输出至少部分地基于DC-DC转换器中电感器的电感。

62.实施例58至61中的任何一个的斜坡发生器,其中,第二电流源的输出至少部分地基于DC-DC转换器中电感器的电感。

63.实施例58至62中的任何一个的斜坡发生器,其中,第二电流源的输出至少部分地基于DC-DC转换器中电感器的电感。

64.实施例58至63中的任何一个的斜坡发生器,其中,第一电流源配置为至少部分地基于DC-DC转换器中电感器的电感进行修整。

65.实施例58至64中的任何一个的斜坡发生器,其中,第二电流源配置为至少部分地基于DC-DC转换器中电感器的电感进行修整。

66.一种制造芯片嵌入式直流-直流转换器的方法,包括:

将集成电路芯片嵌入在印刷电路板中;

将第一电感器耦合到印刷电路板;以及

将第二电感器耦合到印刷电路板,第一电感器和第二电感器均耦合到输出节点。

67.一种将第一直流电压转换为第二直流电压的方法,包括:

驱动耦合到第一电感器的第一开关;

驱动耦合到第二电感器的第二开关,其中,第一开关和第二开关耦合到输出节点;

以及

将第一开关与第二开关调制为异相;

其中,驱动器或调制器中的至少一个包含在嵌入在印刷电路板的芯片中。

68.一种制造芯片嵌入式直流-直流转换器的方法,包括:

将集成电路芯片嵌入在印刷电路板中;

将电感器耦合在集成电路芯片和输出节点之间;以及

提供从输出节点到调制电路的反馈路径,其中,调制电路包括斜坡发生器。

69.实施例68的方法,其中,调制电路包含在印刷电路板中。

70.实施例68至69中的任何一个的方法,其中,调制电路是恒定导通时间或恒定关断时间的调制电路。

71.实施例68至70中的任何一个的方法,其中,斜坡发生器包含在集成电路中。

72.实施例68至71中的任何一个的方法,还包括:

至少部分地基于电感器的特性,修整斜坡发生器。

73. 实施例68至72中的任何一个的方法,其中,斜坡发生器是实施例58至65中的任何一个的斜坡发生器。

74. 一种使用直流-直流转换器的方法,包括:

在输入节点接收输入功率;

通过开关向电感器供电;

将能量储存在输出电容器中,使输出电压在输出电容器的两端形成;

在输出电压下向输出节点提供输出功率;

向调制电路提供输出电压;

产生独立于输出电容器的纹波电压;

向调制电路提供纹波电压;

至少部分地基于调制电路的输出调制开关。

75. 实施例74的方法,还包括比较以下至少两个:纹波电压、参考电压和输出电压。

76. 实施例74至75中的任何一个的方法,还包括至少部分地基于电感器的电感,修整电流源。

77. 实施例74至76中的任何一个的方法,其中,纹波电压由斜坡发生器产生,该斜坡发生器配置为模拟经过电感器的电流。

78. 一种直流-直流(DC-DC)电源转换器封装,包括:

集成电路(IC)芯片,嵌入在至少一块印刷电路板(PCB)中,该IC芯片包括驱动器;

电感器,位于芯片嵌入式封装外部并耦合到芯片嵌入式封装的表面;以及

过电流保护电路,配置为检测何时提供给电感器的电流超过极限。

79. 实施例78的直流-直流(DC-DC)电源转换器封装,其中:

过电流保护电路包括电流源,该电流源配置为至少部分地基于集成电路总线或电源管理总线命令,进行调整或修整;

电感器的饱和电感超过极限,但超过不到50%;

该极限超过最大规定DC电流规格加上最大交流纹波规格,但超过不到50%。

80. 一种直流-直流(DC-DC)电源转换器封装,包括:

集成电路(IC)芯片,嵌入在至少一块印刷电路板(PCB)中,该IC芯片包括驱动器;

电感器,位于芯片嵌入式封装外部并耦合到芯片嵌入式封装的表面;以及

集成电路总线或电源管理总线。

81. 实施例80的直流-直流(DC-DC)电源转换器封装,其中:

集成电路总线或电源管理总线耦合到至少一个电流源,并配置为提供协议命令,以调整或修整电流源。

82. 实施例80至81中的任何一个的直流至直流(DC-DC)电源转换器封装,其中:

集成电路总线或电源管理总线耦合到至少一个电流源,并配置为提供协议命令,以设置或调整提供给比较器的参考值。

83. 实施例80至82中的任何一个的直流到直流(DC-DC)电源转换器封装,其中,集成电路总线或电源管理总线配置为传送协议,该协议包括执行以下至少一项的指令:

导通或关断DC-DC电源转换器封装,改变DC-DC电源转换器封装的低功率或休眠模

式,读取有关DC-DC电源转换器封装的当前设置信息,读取有关DC-DC电源转换器封装的诊断和/或技术信息,设置或改变由DC-DC电源转换器封装提供的输出电压。

84. 实施例80至83中的任何一个的直流到直流(DC-DC)电源转换器封装,其中,电源管理协议实现为在集成电路总线实现之上的互连层。

85. 一种直流-直流(DC-DC)电源转换器,包括:

具有底侧和顶侧的下印刷电路板(PCB)部分;

具有底侧和顶侧的上印刷电路板(PCB)部分;

嵌入在上PCB部分的底侧和下PCB部分的顶侧之间的嵌入式集成电路,其中,该嵌入式集成电路包括:

脉宽调制(PWM)控制器,配置成产生一个或多个PWM信号;

驱动器,配置为至少部分地基于一个或多个PWM信号产生一个或多个驱动信号,该驱动器在嵌入式集成电路中耦合到PWM控制器;

第一电源开关,配置为接收一个或多个驱动信号中的至少一个,第一电源开关在嵌入式集成电路中耦合到驱动器;以及

第二电源开关,配置为接收一个或多个驱动信号中的至少一个,第二电源开关在嵌入式集成电路中耦合到驱动器;

至少一个过孔,延伸穿过上PCB部分;

电感器,位于上PCB部分的顶侧上方,其中,电感器通过至少一个过孔与第一和第二电源开关电耦合,其中电感器的占位区域至少部分地与嵌入式集成电路的占位区域重叠;

耦合到第一和第二电源开关中的至少一个的输入端口,该输入端口配置为在输入电压下接收输入信号;

耦合到电感器的输出端口,该输出端口配置为,在不同于输入电压的输出电压下提供输出信号,其中,该输出电压至少部分地基于第一和第二电源开关,使电感器充放能量;以及

反馈系统,包括:

耦合到输出端口的反馈路径,该反馈路径配置为提供输出电压的指示;以及

斜坡发生器,配置为产生模拟经过电感器的电流纹波的信号;

其中,该反馈系统配置为至少部分地基于反馈路径的输出电压和斜坡发生器提供的信号的指示,提供反馈信号,并且至少部分地基于该反馈信号,驱动第一和第二电源开关。

86. 实施例85的DC-DC电源转换器,其中,斜坡发生器配置为产生模拟经过电感器的电流纹波信号,至少部分使用:

指示输入电压的第一输入;

指示输出电压的第二输入;

指示电感器的电感值的第三输入;以及

开关信号的第四输入。

87. 实施例85的DC-DC电源转换器,其中,斜坡发生器包括:

第一电流源,配置为至少部分地基于输入电压产生电流;

第二电流源,配置为至少部分地基于输出电压产生电流;

第三开关,配置为接收一个或多个驱动信号中的至少一个,第三开关耦合到第一电流源;

第四开关,配置为接收一个或多个驱动信号中的至少一个,第四开关耦合到第二电流源;

以及,

耦合到第三开关和第四开关的电容器。

88. 实施例85的DC-DC电源转换器,其中,第一和第二电源开关是增强型氮化镓(eGaN)场效应晶体管。

89. 实施例85的DC-DC电源转换器,其中,PWM控制器配置为使驱动器以至少4MHz的频率开关开关。

90. 实施例85的DC-DC电源转换器,其中,DC-DC电源转换器配置为处理电流量,并且,DC-DC电源转换器的占位区域为 $1.0\text{mm}^2$ - $10\text{mm}^2$ 每安培电流量。

91. 实施例85的DC-DC电源转换器,其中,电感器和集成电路中的一个的占位区域完全位于电感器和集成电路中的另一个的占位区域内。

92. 实施例85的DC-DC电源转换器,其中,输入端口、输出端口和接地端口暴露在电感器周围的封装的外部,其中,输入端口耦合到第一电源开关,无需焊线,输出端口耦合到电感器,无需焊线,第二电源开关接地,无需焊线,电感器耦合到第一和第二电源开关,无需焊线。

93. 实施例85的DC-DC电源转换器,还包括耦合到PCB的第二电感器,第二电感器也耦合到输出节点,其中,第一电感器和第二电感器彼此异相地受驱动。

94. 实施例85的DC-DC电源转换器,其中,嵌入式集成电路包括斜坡发生器。

95. 一种直流-直流(DC-DC)电源转换器,包括:

印刷电路板(PCB);

嵌入在PCB中的嵌入式电路,其中,嵌入式电路包括:

脉宽调制(PWM)控制器,配置为产生一个或多个PWM信号;以及

驱动器,配置为至少部分地基于一个或多个PWM信号产生一个或多个驱动信号,该驱动器在嵌入式电路内耦合到PWM控制器;

第一电源开关,配置为接收一个或多个驱动信号中的至少一个,该第一电源开关在嵌入式电路内耦合到驱动器;以及

第二电源开关,配置为接收一个或多个驱动信号中的至少一个,该第二电源开关在嵌入式电路内耦合到驱动器;

至少一个过孔,延伸穿过PCB的一部分;

电感器,位于PCB的外部并耦合到印刷电路板的上部,其中,电感器通过至少一个过孔电耦合到第一和第二电源开关,并且其中,电感器的占位区域至少部分地与嵌入式电路的占位区域重叠;

输入端口,耦合到第一和第二电源开关中的至少一个,该输入端口配置为在输入电压下接收输入信号;以及

输出端口,耦合到电感器,该输出端口配置为在不同于输入电压的输出电压下提

供输出信号；

其中,该DC-DC电源转换器配置为处理电流量,并且其中,该DC-DC电源转换器的占位区域为 $1.0\text{mm}^2$ - $10\text{mm}^2$ 每安培电流量。

96. 实施例95的DC-DC电源转换器,还包括:

输出电容器,耦合到电感器并耦合到输出端口,该输出电容器具有低等效串联电阻(ESR),

其中,输出电压中的电压纹波为2%或更小;以及

反馈系统,包括斜坡发生器,该斜坡发生器配置为产生模拟经过电感器的电流纹波的电压纹波。

97. 实施例95的DC-DC电源转换器,其中,第一电源开关和第二电源开关是增强型氮化镓(eGaN)场效应晶体管。

98. 实施例95的DC-DC电源转换器,其中,输入端口配置为接收至少20安培的电流,输出端口配置为提供至少20安培的电流,并且DC-DC电源转换器的占位区域小于 $65\text{mm}^2$ 。

99. 实施例95的DC-DC电源转换器,其中,电感器与嵌入式电路相互连接,无需焊线。

100. 实施例95的DC-DC电源转换器,其中,嵌入式电路包括集成电路,该集成电路包括PWM控制器、驱动器、第一电源开关和第二电源开关。

101. 一种直流-直流(DC-DC)电源转换器,包括:

印刷电路板(PCB);

嵌入在PCB中的嵌入式电路,其中,嵌入式电路包括:

脉宽调制(PWM)控制器,配置为产生一个或多个PWM信号;以及

驱动器,配置为至少部分地基于一个或多个PWM信号产生一个或多个驱动信号,该驱动器在嵌入式电路中耦合到PWM控制器;

第一增强型氮化镓场效应晶体管(eGaN FET),配置为接收一个或多个驱动信号中的至少一个,该第一eGaN FET在嵌入式电路中耦合到驱动器;以及

第二eGaN FET,配置为接收一个或多个驱动信号中的至少一个,该第二eGaN FET在嵌入式电路中耦合到驱动器;

至少一个过孔,延伸穿过PCB的一部分;以及

电感器,位于PCB的外部并耦合到PCB的上部,其中,电感器通过至少一个过孔电耦合到第一和第二eGaN FET,并且其中,电感器的占位区域至少部分地与嵌入式电路的占位区域重叠。

102. 实施例101的DC-DC电源转换器,其中,PWM控制器配置为使驱动器以4-10MHz的频率开关第一和第二eGaN FET。

103. 实施例101的DC-DC电源转换器,其中,DC-DC电源转换器配置为处理电流量,并且,DC-DC电源转换器的占位区域为 $1.0\text{mm}^2$ - $10\text{mm}^2$ 每安培电流量。

104. 实施例101的DC-DC电源转换器,其中,嵌入式电路包括斜坡发生器,该斜坡发生器配置为产生模拟经过电感器的电流纹波的信号。

示例隔离拓扑结构

[0237] 图20示出了具有隔离拓扑结构的芯片嵌入式DC-DC转换器封装2000的示例电路级

示意图。示意图示出了电源103、AC接地2003、DC接地2001、输出电容器111、集成电路(IC)芯片113A、可选IC 113B、驱动器117、脉宽调制(PWM)控制器119、第一开关(例如,第一增强型氮化镓((eGaN)开关)123、第二开关(例如,第二eGaN开关)127、电容器2005和2007、二极管D1和D2以及电感器L4。该示意图还示出了隔离电路2009,其包括第一电感器L1、第二电感器L2和第三电感器L3。开关123、127也可称为电源开关、开关场效应晶体管(FET)和/或开关晶体管。在某些情况下,可以使用输入电容器105(图20中未示出),类似于图1。

[0238] 图20中的电路可以类似于图1中所示的电路或本文公开的其他实施例中的任何电路进行工作。图20中的电路和图1中的电路之间的区别在于,图20中的配置是隔离拓扑结构,包括隔离电路2009(例如,隔离半桥配置)。电压输出端口109可与电源103电隔离,使得两者之间没有直接的导电通路。相反,电感器L1、L2和L3可以电磁耦合,这样通过电感器L1的电流(例如,变化电流)可以产生磁场并将磁场施加到电感器L2和L3上,从而使电流流经电感器L4(例如,变化电流)。经过电感器L4的电流会使电荷聚集在电容器111的极板上,从而在电容器111两端形成电压。二极管D1和D2可用于使电流流向一个方向。在一些实施例中,可以用开关(例如,MOSFETs)替代二极管D1和D2,以得到更高的效率,或用其他电子设备替换二极管D1和D2。

[0239] 尽管图20中的隔离拓扑结构包括隔离电路2009中的磁耦合的电感器L1、L2和L3(匝数分别为 $N_p$ 、 $N_{s1}$ 和 $N_{s2}$ ),但其他实施例可以包括其他配置和其他类型的隔离电路拓扑结构,例如反激、正激转换器、双晶体管正激、LLC谐振转换器、推挽、全桥、混合、PWM谐振转换器或其他设计。本文公开的其他布置,例如图12、图13A和图13B中所示的布置,也可以修改为使用隔离拓扑结构。在一些实施例中,可以将两个电感器用于隔离电路2009。尽管示出了可选集成电路113A和113B的两个示例,但其他变型可以包括任何数量的集成电路,该集成电路包括集成电路113B中所示的元件的任何组合。

#### 具有无线通信系统的示例DC-DC转换器

[0240] 图21A示出了封装2105中具有无线通信系统2103的示例DC-DC转换器2101。DC-DC转换器2101可以是本文所描述的任何DC-DC转换器。DC-DC转换器2101可配置为接收输入电压 $V_{in}$ 并提供输出电压 $V_{out}$ 。

[0241] 无线通信系统2103可与DC-DC转换器2101包含在同一封装中,或在某些情况下包含在单独的封装中。无线通信系统2103可以是,例如,Wi-Fi系统、蓝牙系统、射频系统等。无线通信系统可以包括(未示出)天线、振荡器、驱动器、控制器、固件、处理器、缓冲器、数模转换器等。无线通信系统还可以包括有线通信输入/输出接口(显示为Comm I/O),该接口可以连接到其他设备,如CPU(例如,如图22所示),使得CPU可以通过无线通信系统2103发送和接收无线信号。

[0242] 无线通信系统2103也可以或可选地包含与DC-DC转换器2101的通信路径(例如,显示为PWR控制线(PWR CTRL)),以控制DC-DC转换器的功率参数。在一些实施例中,无线通信系统2103可以通过PMBUS耦合到DC-DC转换器。因此,DC-DC转换器2101可以响应通过无线通信系统2103(例如,通过Wi-Fi、蓝牙、宽带或其他类型的无线信号)接收的无线指令,例如导通、关断、进入睡眠模式、重置、清除故障、改变或设置输出电压,控制或限制输出电流,进入不同的操作模式等。DC-DC转换器2101还可以无线报告或广播有关DC-DC转换器健康状况的信息,例如遥测、输入电压、输出电压、输入电流、输出电流、温度等。

[0243] 在某些情况下,无线通信系统2103可以与DC-DC转换器2101包含在同一封装2105中,也可以包含在单独的封装中。无线通信系统2103由DC-DC转换器2101供电,接收由DC-DC转换器2101产生的输出电压 $V_{out}$ 。例如,DC-DC转换器可以配置为接收120伏DC输入并提供更适合于某些电子设备的10伏DC输出,无线通信系统可以配置为使用来自DC-DC转换器的10伏DC输出。在一些实施例中,通过将无线通信系统2103和DC-DC转换器2101包含在同一封装2105中,可以减少这些组件占用的总面积。

[0244] 图21B示出了封装2105中具有无线通信系统2103的示例DC-DC转换器2101。该DC-DC转换器可以配置为接收输入电压 $V_{in}$ 并提供输出电压 $V_{out}$ 。无线通信系统也可以由输入电压 $V_{in}$ 供电。

[0245] 无线通信系统可由输入电压 $V_{in}$ 供电。例如,DC-DC转换器2101可配置为接收10伏输入并提供25伏输出。无线通信系统2103也可以通过这10伏输入供电。无线通信系统2103可与DC-DC转换器2101和/或图21A所述的其他设备交互(图21B中未重新显示PWR CTRL和Comm I/O线)。

[0246] 图21C示出了包括无线通信系统2103和两个DC-DC转换器2101、2102的示例封装2105。第一DC-DC转换器2101可配置为接收输入电压 $V_{in}$ 并提供第一输出电压 $V_{out1}$ 。第二DC-DC转换器2102可配置为接收输入电压 $V_{in}$ 并提供第二输出电压 $V_{out2}$ 。第一和第二输出电压可以不同。无线通信模块2103配置为由第二DC-DC转换器2102供电。

[0247] 例如,第一DC-DC转换器2101可配置为接收60伏输入并提供120伏输出。第二DC-DC转换器2102可配置为接收60伏输入并提供5伏输出。无线通信系统2103可由来自第二DC-DC转换器2102的5伏输出供电。无线通信系统2103可与两个DC-DC转换器2101、2102和/或图21A所述的其他设备交互(图21C中未重新显示PWR CTRL和Comm I/O线)。

[0248] 图21D示出了具有集成无线通信系统2103的电源2101的示例实施例。电源2101可以是DC-DC转换器、AC-DC转换器、线性模式电源或开关模式电源或任何其他合适类型的电源。电源2101可以使用隔离拓扑结构或非隔离拓扑结构,并且可以使用高电压或低电压。电源2101可以使用本文所公开的适当特征的任何组合。在图21D所示的实施例中,电源2101可以是DC-DC转换器,配置为接收输入电压( $V_{in}$ ) (例如,来自电池)并输出不同的输出电压 $V_{out}$ 。在一些实施例中,电源2101可以是AC-DC转换器,可以接收AC信号( $V_{in}$ )并输出DC信号( $V_{out}$ )。如本文所讨论的,可以使用输出电容器。电源2101可以向设备上的一个或多个负载(例如,如图21D中所示的电阻器)供电。该设备可以是电器(例如家用电子设备),比如智能电视、烤箱、烤面包机、咖啡机等,也可以是工业设备、物联网(IoT)设备等。

[0249] 无线设备2115可以与电源2103通信。无线设备2115的无线通信系统2117可以类似于电源2101的无线通信系统2103。在一些实施例中,无线设备2115可以包括具有无线通信系统(例如,与之集成)的电源2101(例如,DC-DC转换器或AC-DC转换器)。无线设备2115可以是智能手机、平板电脑、无线路由器或与远程设备通信的接入点等。电源2101可以是本地网络的一部分,以使一个或多个无线设备2115与电源2101通信。无线设备2115可以向电源2101发送信息或命令或从电源2101接收信息或命令(例如,通过Wi-Fi、蓝牙、宽带或其他类型的无线信号)。无线设备2115可以命令电源导通或关断,进入睡眠模式(例如,减少待机功耗),清除故障,重置电源(例如,在发生故障的情况下),控制电压或电流水平,改变操作模式等。电源2103可以将信息通信到无线设备2115,例如故障状况、运行模式、电压和/或电流

设置(例如极限)、与电源2101的健康状况相关的信息(例如温度)。无线设备2115可以通过电源2101的无线通信系统2103发送命令,以控制与电源相关的设备,例如命令设备导通、关断、改变设置、执行操作等。例如,咖啡机可以通过无线通信系统2103(该系统可以与电源2101集成或耦合)接收来自无线设备2115的命令来开始制作咖啡,例如当无线设备2115确定用户要回家时。与电源相关连的设备(例如咖啡机)可以通过与电源2101集成的无线通信系统2103向无线设备2115发送有关自身的信息(例如设置、当前操作模式、之前执行的操作、咖啡准备就绪、系统状态、错误等)。因此,与电源相关的设备(例如,咖啡机)可以使用包含在电源2101中或与电源2101集成的无线通信系统2103,而无需第二个单独的无线通信系统。

[0250] 图21E示出了具有无线通信系统2103的示例DC-DC转换器(在一些实施例中,该系统可以包含在封装2105中)。DC-DC转换器可以配置为接收输入电压 $V_{in}$ 并提供输出电压 $V_{out}$ 。DC-DC转换器可包括PWM控制器119、驱动器117、开关2109、电感器131和电容器111。还可以包括已在其他图中示出或在其他实施例(例如反馈系统、多个电感器等)中讨论过的DC-DC转换器的一些部分,但为清楚起见,图21E中并未示出。

[0251] 一个或多个系统组件可以包含在集成电路2107(例如,可以是eGaN IC)中。集成电路可以包括无线通信系统2103、PWM控制器119、驱动器117和开关2109的任意组合。如虚线所示,集成电路可分成一个或多个独立的集成电路,可包括无线通信系统2103、PWM控制器119、驱动器117和开关2109的任意组合。在一些实施例中,可以有多个集成电路芯片,包括用于每个无线通信系统2103、PWM控制器119、驱动器117和开关2109的单独的IC芯片。在一些实施例中,集成电路可以是eGaN IC。一些实施例可以使用单片eGaN IC,其包括无线通信系统2103、PWM控制器119、驱动器117和开关2109中的全部或多个。一些实施例对于无线通信系统2103、PWM控制器119、驱动器117和开关2109中的每一个或其任何组合还可以使用单独的eGaN IC。在一些实施例中,可以从封装2105中省略PWM控制器119。单独的PWM控制器119可用于驱动几个DC-DC转换器功率级,如本文所讨论的(例如,如图24A所示)。

[0252] 无线通信系统2103可与PWM控制器通信,以调整例如提供给驱动器的PWM信号,以设置输出电压和/或改变电流极限。在一些实施例中,无线通信系统可以配置为接收来自电流表、电压表、温度计、其他传感器和/或状态报告寄存器(未示出)的信号,状态报告寄存器配置为报告有关电路各个部分的信息。

#### 示例物联网(Internet of Things, IoT)设备

[0253] 图22示出了示例物联网设备2200。物联网设备2200可包括封装2105,该封装包括无线通信系统2103和两个DC-DC转换器2101、2102,如图21C所示和所述。可使用各种其他配置(例如,类似于图21A、21B或21D),例如具有单个DC-DC转换器,或具有不同类型的电源(例如,AC-DC转换器)。物联网设备还可以包括第一系统2203。物联网设备还可以包括电气系统2201,该电气系统可以包括,例如,CPU 2205、RAM 2207、I/O系统2209和其他电气设备2211。物联网设备2200可以通过网络2213与无线设备2215(如智能手机)通信。

[0254] 在一些实施例中,电气系统2201中的组件和第一系统2203中的组件可以使用不同的电压。因此,第一和第二DC-DC转换器2201、2202可向不同的设备提供不同的电压。

[0255] 电气系统2201可配置为接收由第二DC-DC转换器提供的 $V_{out2}$ 电压。 $V_{out2}$ 电压可以是,例如,适用于电气系统和无线通信模块中某些电气设备的电压。第一系统2203可以包括

配置为接收不同电压 $V_{out1}$ 的不同组件。

[0256] 例如,在一个实施例中,物联网设备2200是可编程照明系统。第一系统2203可以包括一个或多个配置为接收60V电压的灯泡。电气系统2201可以配置为接通和关断灯泡。用户可以为灯编程接通/关断时间表和/或发出命令,通过无线通信系统2103接通/关断灯。接收到的命令可以从无线通信系统2103传输到CPU 2205。CPU 2205可以处理命令,并根据命令接通和关断第一系统2203中的灯。用户可以从另一台计算机或智能手机等无线连接到物联网设备,也可以直接或通过网络(如互联网)连接到无线通信系统2103。

[0257] 在物联网设备的另一个示例中,第一系统2203可以是,例如机械系统,该机械系统接收比电气系统(例如电机)更高的电压和更大的功率,以执行机械作业。在IoT设备的其他示例中,第一系统2203可以是任何系统(无论是电的、机械的、化学的、热力的等),该系统接收的电压与电气系统2201中的一个组件不同。物联网设备的其他示例包括互联网连接的气候控制系统、门、计算机、摄像头、分配器、汽车、电器等。

[0258] 无线通信系统2103可以向无线设备2215发送并接收无线信号。在一些实施例中,无线信号可以通过网络2213(例如Internet或无线局域网)发送。无线设备2215可以是,例如,智能手机、计算机、台式机、另外的IoT设备等。无线设备2215可以通过无线通信系统2103以无线信号的形式向CPU 2205发送通信/从CPU 2205接收通信。在一些实施例中,无线设备可以通过无线通信系统2103向任一DC-DC转换器发送无线通信/从任一DC-DC转换器接收无线通信。来自无线设备2215的通信可以通过电源控制线(例如,如图21A中所示的PWR控制线)(例如无线通信系统2103与DC-DC转换器2101、2102中的一个或两个之间的PMBUS),在无线通信系统2103之间传输。

[0259] 尽管图22示出了包括封装2105的物联网设备的示例,该封装包括图21C中的DC-DC转换器和无线通信系统,但其他IoT设备可以包括任何封装的物联网设备和无线通信系统,例如,如图21A至图21E所示。此外,物联网设备可以包括任何数量的其他DC-DC转换器,封装中具有或没有无线通信系统,以向任何数量的电气系统提供额外的电压或电流。

#### 输出可调的多个DC-DC转换器

[0260] 图23A示出了包括多个DC-DC转换器2303、2305、2307的示例DC-DC转换器系统2300。在一些实施例中,DC-DC转换器2303、2305、2307可以包含在封装2301中。在一些实施例中,DC-DC转换器2303、2305、2307可以是单独的封装。用户可以组合任意数量的DC-DC转换器封装以产生不同的电流量。在各种实施例中,各种DC-DC转换器2303、2305、2307中的一个或多个组件(例如PWM控制器、驱动器和/或开关)可以组合并包含在一个或多个集成电路中。在一些实施例中,DC-DC转换器2303、2305、2307中的每一个都有自己的独立IC,该IC具有独立于其他DC-DC转换器的组件的PWM控制器、驱动器和/或开关。在一些实施例中,DC-DC转换器2303、2305、2307可以相互连接,以促进DC-DC转换器2303、2305、2307之间的电流共享。例如,反馈系统可以使用来自DC-DC转换器2303、2305、2307中的一个的输出来控制DC-DC转换器2303、2305、2307中的其他一个或多个的输出。例如,如果DC-DC转换器2303过载,则反馈系统可使其他DC-DC转换器2305、2307承受更多负载,以更好地平衡DC-DC转换器2303、2305、2307之间的电流。

[0261] DC-DC转换器系统可配置为接收输入电压 $V_{in}$ 并产生输出电压 $V_{out}$ 。每个DC-DC转换器都可以配置为产生输出电压。DC-DC转换器2303、2305和2307中的每一个也可以并联耦合

在系统输入和系统输出之间。由于并联配置,由DC-DC转换器系统2300提供的总电流可以由DC-DC转换器2303、2305、2307提供的单个电流的总和。图23A中的示例示出了DC-DC转换器系统2300,其中3个DC-DC转换器2303、2305、2307配置为各提供10安培的电流,DC-DC转换器系统2300提供的总输出电流为30安培。在一些实施例中,可以组合6个提供20安培电流的DC-DC转换器以提供120安培电流,或者可以使用任何其他合适的电源转换器组合。在一些实施例中,来自多个DC-DC转换器的电流可以组合超过200安培。可以并联任何数量(例如2、3、4、5、7、10、15、20、25或更多个DC-DC转换器)的DC-DC转换器,以提供各种不同电流量。在一些实施例中,可以组合配置为输出不同电流量的DC-DC转换器。例如,1个配置为输出20安培的DC-DC转换器可与1个配置为输出10安培的DC-DC转换器和3个配置为输出2安培的DC-DC转换器组合,能够提供36安培的电流。本文所公开的DC-DC转换器的各种实施例可用作模块化组件,以仅使用少量的DC-DC转换器类型来组合形成各种电压和/或电流。例如,配置为输出50安培、20安培、10安培、5安培、2安培和1安培的DC-DC转换器可用于各种不同的组合,以提供使用6个或更少的DC-DC转换器输出1安培至100安培电流量的系统。

[0262] 图23B示出了包括多个DC-DC转换器2353、2355、2357的示例DC-DC转换器系统2350。DC-DC转换器2353、2355、2357可选地包含在封装2351中。系统2350(例如,封装2351)还可以包括控制器2209和开关系统(例如,具有电流传感器的开关系统)2361。在一些实施例中,系统2350中的各种组件可以在单独的封装中。

[0263] DC-DC转换器系统2350可配置为接收输入电压 $V_{in}$ 并产生输出电压 $V_{out}$ 。每个DC-DC转换器都可以配置为产生输出电压。DC-DC转换器2303、2305和2307中的每一个可以并联耦合在系统输入和系统输出之间。由于并联配置,由DC-DC转换器系统2200提供的总电流可以由DC-DC转换器2303、2305、2307提供的单个电流的总和。

[0264] 控制器2359可配置为接收来自通信线路(例如PMBUS)的命令,并响应于该命令配置DC-DC转换器2353、2355、2357的排列和组合。控制器2359可以使DC-DC转换器2353、2355、2357的不同组合有助于输出。例如,控制器2359可以配置所有三个DC-DC转换器以提供最大电流,从而为输出提供总计35安培的电流。响应于接收到提供15安培的命令,控制器2359则可以配置三个DC-DC转换器2353、2355、2357中的每一个,以提供总和为15安培的电流的组合(例如5+5+5、0+10+5或按比例平衡的60/7+30/7+15/7)。

[0265] 开关系统可由控制器2359控制,例如断开在DC-DC转换器2353、2355、2357中的任何一个和输出之间的并联支路中的连接。例如,为了提供15安培的电流,开关系统可以将20安培的DC-DC转换器2353与输出去耦,同时保持10安培的DC-DC转换器2355和5安培的DC-DC转换器2357与输出耦合。在一些实施例中,控制器2359和开关系统2361之间的功能可以组合成一个控制开关系统。系统2350(例如,开关系统2361)可包括电流传感器,以检测DC-DC转换器2353、2355、2357中的每一个输出的电流。在一些实施例中,每个DC-DC转换器中可以包含电流传感器,并且电流传感器的输出可以作为反馈提供给控制器2359。在一些实施例中,每个DC-DC转换器中可以包含电流传感器,并且DC-DC转换器2353、2355、2357中的每一个中可以包含反馈和控制系统(例如OCP),如图1所示。如图23A所讨论,可以组合任意数量的DC-DC转换器。

[0266] 在一些实施例中,在DC-DC转换器系统2350层面可能会有反馈,其中感测每个DC-DC转换器2353、2355、2357的输出并提供给控制器2359。控制器可以(例如,基于DC-DC转换

器2353、2355、2357的输出)执行电流平衡。电流平衡可以包括增加或减少DC-DC转换器2353、2355和/或2357中每个的电流输出。电流平衡可以包括,例如,检测第一DC-DC转换器是处于、达到或超过阈值极限(例如,电流输出极限、电感饱和极限、电压极限、温度极限),减少第一DC-DC转换器提供的电流,以及,在某些情况下,增加第二DC-DC转换器提供的电流,以补偿由第一DC-DC转换器提供的减少的电流。电流平衡可以包括,例如,响应于负载所引起的电流变化,增加和/或减少DC-DC转换器2353、2355和/或2357中一个或多个的输出电流。例如,与正在旋转的电机相比,处于稳定状态的电机可以消耗的电流更少,并且可以执行电流平衡以向电机提供更多或更少的电流。

[0267] 在一些实施例中,DC-DC转换器系统2350层面的反馈可用于检测包含在该系统中的其中一个DC-DC转换器的温度和/或电感饱和。响应达到阈值温度和/或具有阈值电感饱和的第一DC-DC转换器,控制器可以降低DC-DC转换器提供的电流,并且在某些情况下,通过增加第二DC-DC转换器提供的电流进行补偿。

[0268] 一些实施例可包括具有不同安培容量的多个DC-DC转换器。例如,DC-DC转换器系统2350可以包括三个10安培的DC-DC转换器,并且控制器可以配置为提供高达30安培的可变电流输出。作为另一个示例,DC-DC转换器系统2350可包括四个1安培的DC-DC转换器、一个5安培的DC-DC转换器、一个10安培的DC-DC转换器和一个20安培的DC-DC转换器。作为另一个示例,DC-DC转换器系统2350可以包括一个5安培的DC-DC转换器、一个10安培的DC-DC转换器和多个20安培的DC-DC转换器。作为另一个示例,DC-DC转换器系统2350可以包括多个DC-DC转换器,其总电流容量至少为50安培、100安培、150安培、200安培或更多。可以至少部分地基于本文所公开的效率、改进的尺寸、开关速度、改进的散热和拓扑结构来设计高安培数的DC-DC转换器系统。

[0269] 在一些实施例中,图23A和图23B中所示的配置和布置可以设置在没有封装2301和2351的设备中。例如,每个DC-DC转换器2303、2305和2307可以是单独封装。

#### 多功率级配置

[0270] 图24A示出了具有多个功率级2403A-2403C的DC-DC转换器2400。可以使用PWM控制器向多个功率级提供PWM信号,每个功率级都可以有驱动器和一个或多个开关。两个或多个DC-DC转换器功率级可以共用一个PWM控制器。例如,图24所示的拓扑结构可用于本文讨论的技术和原理的某些实现中,如图23A和图23B所示和所描述的。可以存在已在其他图中示出的DC-DC转换器2400的某些部分(例如反馈系统),但图24A中未示出。DC-DC转换器2400可以包括输出电容器111、封装2401、集成电路(IC)芯片2413、驱动器117A-117C、脉宽调制(PWM)控制器119、开关(例如,eGaN开关)2405A-2405C和电感器131A-131C。

[0271] 在一些实施例中,IC 2413可以包括PWM控制器119,尽管在其他实施例中,PWM控制器119不必是IC 2413的一部分。PWM控制器119可以与封装2401分开或在封装2401外部,并向不同功率级2403A-2403C中的每个驱动器117A-117C提供异相的PWM信号。例如,对于三个功率级,PWM信号可以彼此异相120度。在一些实施例中,PWM控制器119可以与封装2401中的PCB分开或在PCB外部,但仍包含在封装2401中。在一些实施例中,PWM控制器119可以是封装2401的一部分。

[0272] 封装2401可包括多个功率级2403A-2403C。每个功率级2403A-2403C可具有集成电路,该集成电路芯片嵌入在封装的PCB中。作为替代实施例,多个功率级(例如2403A-2403C)

可以包含在一个集成电路中,如虚线2404所示。

[0273] 每个功率级2403A-2403C可包括如分别所示的驱动器117A-117C和开关2405A-2405C。每个功率级2403A-2403C可与各自的电感器131A-131C耦合。功率级2403A-2403C可并联配置。DC-DC转换器2400的电流容量可以是功率级2403A-2403C和电感器131A-131C各并联支路的电流容量之和。

[0274] 图24B示出了DC-DC转换器2400中电感131A-131C的示例布置。为了简单起见,图24B中未示出PWM控制器119。三个电感器131A-131C可各自具有占位区域2423A-2423C,占位区域2423A-2423C可包含在封装2401的占位区域内。电感器的占位区域可以与集成电路芯片2404和/或功率级2403A-3403C的任何一个的占位区域重叠。图24B未精确地按比例绘制,但仍然示出了电感器占位区域如何布置并占据封装2401占位区域的大部分和/或绝大部分。在一些实施例中,电感器可以耦合到封装2401,而不需要物理地位于封装内。例如,电感器可以耦合至封装的上表面和/或从封装的上表面突出。例如,图24A所示的封装2401可以在虚线2402处终止。

#### 示例侧剖视图

[0275] 图25示出了DC-DC转换器2500的示例侧视图。该DC-DC转换器包括PCB 2501、电感器2503、电容器2505、芯片嵌入式PWM控制器2507、芯片嵌入式驱动器2509、芯片嵌入式开关2511和过孔2513。

[0276] 电感器2503和电容器2505可在PCB 2501外部。电感器可以通过过孔2513与开关2511耦合。

[0277] PWM控制器2507可以在第一集成电路(示出)或第一芯片嵌入式集成电路(未示出)中。在一些实施例中,PWM控制器2507可以在封装2501的外部。第一集成电路可以基于任何半导体材料,例如硅,并且可以是eGaN IC。

[0278] 驱动器2509可以在第二芯片嵌入式集成电路中。第二集成电路可以基于任何半导体材料,例如硅,并且可以是eGaN IC。

[0279] 开关2511可以在芯片嵌入式集成电路(如第二芯片嵌入式集成电路或第三芯片嵌入式集成电路)中。该集成电路可以基于任何半导体材料,如硅,并且可以是eGaN IC。

[0280] 在一些实施例中,第二集成电路可以是包括驱动器2509和开关2511的单片IC。在一些实施例中,驱动器2509和开关可以在单独的IC中。在一些实施例中,PWM控制器2507、驱动器2509和开关2511可以在单片IC(例如,eGaN IC)中。在一些实施例中,如本文所讨论的,PWM控制器2507可以驱动多组驱动器2509和开关2511。

#### 防止电感饱和

[0281] 对于相同物理尺寸的电感器,设计成具有更高饱和极限的电感器,其直流电阻(DCR)也会增加。在不增加DCR的情况下,电感器也可以设计成具有更高的饱和极限,但电感器的物理尺寸会增加。例如,额定极限为10安且饱和极限为和15安的第一电感器的DCR可以是4毫欧姆。第二电感器(与第一电感器的物理尺寸相同)也可以具有10A的额定电流,和只有3毫欧姆的DCR,但第二电感器具有更低的饱和极限,为13A。理想做法是使用具有较小物理尺寸和较低DCR的电感器(如图1中的电感器131)以提高效率,而不会用一个属性(DCR或尺寸)来换取另一个属性(DCR或尺寸),并且,这样做不会因电感饱和而违反设计原则。饱和的电感器可以提供较低的电感,也可以作为输入和输出端口之间的意外短路。因此,为了防

止电感器饱和,在某些情况下,尽管DCR会增大,也可以使用具有较大电感和较大饱和极限的较大电感器来确保电感器不饱和。例如,电感器的额定值可以是10A,但电感器可经历30%的交流纹波,使得峰值电流为11.5A,并且会受到影响饱和极限的温度变化的影响。因此,为了防止电感器在各种可操作条件下饱和,可将10A电感器设计为具有15A或20A的饱和极限,以提供饱和缓冲或误差容限。在一些设计中,针对最坏的情况设计了缓冲器,例如跨越较宽的温度范围,这样就可以选择电感器,使其饱和额定值是DC-DC转换器电流输出额定值的两倍。然而,这种设计至少会增加电感器的物理尺寸和/或DCR。

[0282] 在一些实施例中,具有较低DCR的电感器可用于提高效率而不引起电感饱和效应。例如,额定输出电流为10安的DC-DC转换器可以使用额定值为11A、10.5A、10.25A、10.1A等的电感器。在某些情况下,电感器可以具有额定电流和额定饱和值,额定饱和值可以高于其额定电流。DC-DC转换器可以具有电感器,该电感器的饱和极限高于电感器或DC-DC转换器的额定电流的0%、5%、10%、20%、30%、40%、50%、75%或100%,或其之间的任何值,或由这些值的任何组合限定的任何范围,尽管在某些实现中可以使用这些范围之外的值。

[0283] DC-DC转换器可包括过电流保护系统。如图1所示,比较器139的第一输入可以耦合到电流源137,该电流源137可用作设置过电流极限的参考。 $I^2C$ 和/或PMBUS(如图2所描述)可用于修整和/或调整电流源137的输出电流。因此,可以设置和/或调整过电流极限。比较器139的输出可提供给故障逻辑和过电流保护(OCP)电路141。

[0284] 比较器139可以检测电感器131何时接近或处于饱和极限。电流源137可提供参考电流以供比较。可以修整和/或控制电流源137(例如,通过PMBUS或其他控制通信线路),以调整参考电流。相应地,阈值参考值可以针对不同的电感器131并且在不同的温度下进行调整(可以响应来自温度计的信号,未示出)。为了响应过电流事件(例如,当被比较器139检测到时),故障逻辑141可以激活过电流保护电路。例如,这可能使PWM控制器和/或驱动器(或直接)断开开关123和闭合开关127,或者防止过多的电压或电流到达输出。当不再检测到过电流保护时(在一些实施例中具有滞后现象),开关123和127可以恢复正常工作。

[0285] 在一些示例实施例中,可以设置小于50%、25%、15%、10%、5%、2.5%或1%的缓冲空间,或者其之间的任何值,或者由这些值的任何组合限定的任何范围,尽管在某些实施例中可以使用超出这些范围的缓冲量。低缓冲空间甚至可以在各种温度条件下使用。例如,额定值为10A的DC-DC转换器可以使用饱和极限为10.5A(例如,5%的缓冲)的电感器,并且可以在-40°C到+125°C的温度条件下工作。其他示例最小至最大温度范围可以包括0°C-100°C、10°C-90°C、25°C-75°C等等。其他示例温度范围包括至少50°C的变化、至少75°C的变化、至少100°C的变化、至少125°C的变化、至少150°C的变化、至少165°C的变化和至少175°C的变化。

[0286] 过电流检测和保护功能可在各种条件下执行。例如,可以针对DC-DC转换器中包含的每个电感器校准过电流检测和保护。PMBUS(或任何其他合适的控制通信协议或物理层)上的 $I^2C$ 通信可用于调整或校准电感器的参考电流137。在一些实施例中,查找表或其他存储结构可以存储电感器131的温度曲线,并修整电流源137,以向比较器139提供适当的参考电流。

#### AC-DC及其它类型的电源转换器

[0287] 本文所公开的教导和原理可应用于任何类型的电源转换器,而不仅仅是DC-DC转

换器。DC-AC转换器、AC-DC转换器和AC-AC转换器也可以使用本文所公开的教导和原理。例如,图26A示出了AC-DC转换器的示例框图2600。AC-DC转换器2600配置为接收AC输入电压并提供DC输出电压。AC-DC转换器2600可包括滤波器2601、隔离电路2603、整流电路2605、和/或平滑器和/或输出滤波器2607。

[0288] 例如,滤波器2601可以是配置为在频率范围(例如50-60Hz)内传递电压信号的带通滤波器。该滤波器可以包括一个或多个开关、电感器和/或电容器。在一些实施例中,可以省略滤波器2601。

[0289] 隔离电路2603可配置为将AC输入端口与DC输出端口电隔离,使得两者之间没有直接的导电通路。在一些实施例中,在AC信号转换为DC信号后,隔离电路可以设置在不同的位置,例如朝向输出。举例来说,电感器L1和L2可以电磁耦合,使得经过电感器L1的电流(例如,变化电流(AC))可以产生磁场并将磁场施加到电感器L2上,从而感应出经过电感器L2的电流(例如,变化电流(AC))。电感器L1和L2可以提供变压器,将较高的AC电压降低到较低的AC电压。在一些实施例中,例如如果不需要降低输入AC电压,则可以省略变压器(例如,隔离电路2603)。

[0290] 整流器2605可包括二极管装置2609和/或有源开关2611。各种类型的整流器拓扑结构包括半桥整流器、全桥整流器、单相整流器、多相整流器、有源整流器等。有源整流器可包括一个或多个有源开关2611。在一些实施例中,可以使用二极管桥将AC信号转换成脉冲DC信号。可以主动控制开关2611。在一些实施例中,可以包括PWM控制器并提供PWM信号以控制开关2611。

[0291] 平滑器和/或输出滤波器2607可包括LC网络。LC网络可以包括电感器L3和电容器C1。在一些实施例中,可以省略电感器L3。平滑器和/或输出滤波器2607可包括储能电容器,其可使脉冲DC信号成为更平滑的DC信号。

[0292] 本文所述的技术可应用于图26A中的AC-DC转换器的各种组件。例如,电路元件的任何组合,例如有源开关2611、有源开关2611的任何控制系统(例如,PWM控制器)和二极管2609可以包含在芯片嵌入式集成电路中,通过过孔耦合到电感器L1、L2和/或L3。AC-DC转换器的任何功能级,如滤波器2601、隔离电路2603、整流器2605和平滑器&输出滤波器2607,都可以包含在一个芯片嵌入式集成电路或任何数量的芯片嵌入式集成电路中。任何电感器(例如L1、L2和L3)或电容器(例如C1或储能电容器)都可以堆叠在嵌入式电路(例如集成电路)上方(例如,至少部分或完全重叠),并且可以通过一个或多个过孔耦合到集成电路。物理布置可以包括图3所讨论的技术。也可以应用本文公开的任何反馈和控制技术。

[0293] 图26B示出了AC-DC转换器的示例实施例。AC-DC转换器可以接收输入AC信号(例如, $V_{in}$ )。可选地,电压调整电路(例如变压器2603)可以改变输入AC信号的电压水平。例如,变压器2603可以配置为将输入AC电压降低到减小的AC电压。如本文所讨论的,变压器2603可以包括两个电感器。在一些实施例中,可以省略变压器2603。AC-DC转换器可包括整流电路2605,其可配置为将AC信号转换成脉冲DC信号。在图26B所示的实施例中,可以使用全桥整流电路(例如,具有四个二极管)。可以使用各种类型的整流电路,例如二极管桥、半波整流、全波整流、半桥整流等。在一些实施例中,整流电路可以包括一个或多个二极管。AC-DC转换器可包括平滑电路2607。在一些实施例中,平滑电路2607可包括电容器(如图26B所示),该电容器可用作储能电容器。在一些实施例中,平滑电路可以包括电感器,或者包括电

感器和电容器的LC电路。平滑电路2607可以平滑脉冲DC信号,以产生更稳定的DC电压( $V_{out}$ )。输出DV电压( $V_{out}$ )可用于向设备上的一个或多个负载(例如,本文显示为电阻器)提供电流。

[0294] 图26C示出了AC-DC转换器的示例实施例。如本文所述,可选的电压调节器2603可包括变压器(例如,具有两个电感器)。在一些实施例中,整流电路2605可包括一个或多个开关2622,该一个或多个开关2622可被驱动以允许和阻止电流来校正AC信号(例如,产生脉冲DC信号)。开关2622可以是MOSFET开关。开关2622可以是eGaN开关。开关2622可与AC信号同步。在一些实施例中,可以使用PWM控制器2626和/或驱动器2624来驱动开关2622。可以使用反馈系统2628,类似于本文公开的其他实施例。在一些实施例中,二极管和开关的组合可用于AC-DC转换器中的整流电路。平滑电路2607可以用以平滑电压,如本文所讨论的,并且可以包括电容器和/或电感器。

[0295] 在一些实施例中,整流电路2605可以嵌入在印刷电路板中,如本文所述。整流电路2605可以是一个或多个集成电路(IC)。例如,芯片嵌入式电路2640(例如,一个或多个IC)可以包括PWM控制器2626、驱动器2624和一个或多个开关2622的任意组合。在一些实施例中,反馈系统2628的一部分或全部可以是嵌入式电路2640的一部分(例如,在一个或多个IC上)。在一些实施例中,可以省略PWM控制器2626。在某些情况下,外部PWM控制器可用于多个AC-DC转换器,类似于本文所讨论的。嵌入式电路2640可包括一个或多个二极管,该二极管可配置为将AC信号整流成脉冲DC信号。一个或多个电感器和/或电容器(例如,构成变压器2603和/或平滑电路的一部分)可以设置在PCB外部,并且可以通过一个或多个过孔与嵌入式电路电耦合。一个或多个电感器和/或电容器可以至少部分或完全与嵌入式电路的占位区域重叠。例如,AC-DC转换器可以类似于图3,其中组件315是嵌入式电路(例如,IC)2640。

[0296] 本文所公开的电源转换器,包括DC-AC转换器、AC-DC转换器、AC-AC转换器,以及图26A、图26B和图26C中的示例,基于DC-DC转换器的原理和公开,可以全部或部分为芯片嵌入式的。

#### 其他实施例

[0297] 为了帮助理解,一些实施例是参照示例值来描述的,例如电压值、尺寸、频率、电流、位置等。但是,本公开并不旨在限于本文所公开的值。例如,与DC-DC转换器相关的电压范围可以包括任何电压范围。各种实施例可以使用任何范围的输入电压和任何范围的输出电压,包括正负电压之间的转换,例如+12V到-5V的DC-DC转换器。各种实施例同样可以使用任何电流值,包括超过200安培的非常高的电流值。各种实施例可具有处于不同位置和/或定向的组件布置。例如,本文所公开的任何集成电路都可以面朝上或面朝下。尽管一些示例公开了某些通信系统,如I<sup>2</sup>C和/或PMBUS,但也可以使用通信系统或其他协议和/或物理层设计。其他实施例可以使用,例如,串行总线ID(SVID)、自适应电压缩放总线(AVSbus)等。本文公开的控制器的多种实现,例如数字实现、模拟实现和混合实现。一些DC-DC转换器封装或PCB可包括与其耦合的电容器和/或电容器。一些DC-DC转换器封装或PCB可以无与其耦合的电容器和/或电容器;可以稍后将电感器和/或电容器添加到封装或PCB中。一些实施例可以是AC耦合的。图13A和13B中组成电感器对1215的电感器1211、1215可以是共用一个芯的电感器。虽然一些示例系统是针对示例反馈控制方案描述的,但本文公开的电源转换器可以使用任何反馈控制方案。电源转换器可采用基于平均电流、峰值模式、谷值模式、

模拟电流等的电流模式控制方案;基于前/上升沿、驱动沿、双沿等的电压模式控制方案;恒定导通时间;恒定关断时间等。反馈系统可包括迟滞。

[0298] 电源转换器可用于为各种设备供电,例如图22中讨论的IoT设备。图22所示的CPU2205以及本文讨论的任何其他控制器、处理器等可以是一种硬件处理器,也可以是多种硬件处理器,可以与总线耦合用于处理信息。例如,CPU、处理器、控制器等可以是一个或多个通用微处理器。

[0299] CPU、处理器、控制器等可以耦合到主存储器,例如随机存取存储器(RAM)2207、缓存和/或其他动态存储设备,耦合到总线用于存储信息和由处理器2205执行的指令。在CPU2205执行将由CPU 2205执行的指令期间,RAM还可用于存储临时变量或其他中间信息。当这些指令存储在处理器2205可访问的存储介质中时,这些指令将计算机系统呈现到一台专用机器中,该专用机器是为执行指令中指定的操作而定制的。可以使用任何类型的计算机可读存储器。

[0300] 本申请公开的电气系统2201或其他系统可包括用于向用户显示信息的设备2211,例如显示器(例如阴极射线管(CRT)或LCD显示器或触摸屏)。设备2211的其他示例包括输入设备,该输入设备包括字母数字键和其他键,用于向处理器2205传送信息和命令选择。另一种类型的设备2211是光标控制设备,例如鼠标、轨迹球或光标方向键,用于向处理器2205传送方向信息和命令选择,并用于控制显示器上的光标移动。此输入设备通常在两个轴上有两个自由度,第一轴(例如x)和第二轴(例如y),允许设备指定平面中的位置。在一些实施例中,可以通过在不带光标的触摸屏上接收触摸来实现与光标控制相同的方向信息和命令选择。

[0301] 电气系统2201或本文公开的其他系统可包括用户界面模块,以实现图形用户界面(GUI),该GUI可作为由计算设备执行的可执行软件代码存储在大容量存储设备中。举例来说,该模块和其他模块可以包括例如组件,例如软件组件、面向对象的软件组件、类组件和任务组件、过程、功能、属性、程序、子程序、程序代码段、驱动程序、固件、微码、电路、数据、数据库、数据结构、表、数组和变量。

[0302] 一般来说,本文所用的“模块”一词指的是硬件或固件中所包含的逻辑,或指用编程语言(例如Java、Lua、C或C++)编写的可能具有入口点和出口点的软件指令集合。软件模块可以编译并链接到可执行程序中,安装在动态链接库中,或者可以用解释型编程语言(例如,BASIC、Perl或Python)编写。应了解,软件模块可从其他模块或自身调用,和/或可根据检测到的事件或中断而调用。为在计算设备上执行而配置的软件模块可以在计算机可读介质上提供,例如光盘、数字视频光盘、闪存驱动器、磁盘或任何其他有形介质,或者作为数字下载(最初可以以压缩的或可安装的格式存储,该格式在执行之前需要安装、解压缩或解密)。这种软件代码可以部分或全部存储在执行计算设备的存储设备上,由计算设备执行。软件指令可以嵌入到固件(例如EPROM)中。还应理解,硬件模块可由连接的逻辑单元(如门和触发器)组成,和/或可由可编程单元(如可编程门阵列或处理器)组成。本文该的模块或计算设备功能最好作为软件模块实现,但可以用硬件或固件表示。通常,本文所述的模块是指逻辑模块,该模块可以与其他模块组合,或分成子模块,尽管它们物理组织或存储方式不同。

[0303] 电气系统2201或本文所述的其他系统可以使用自定义硬接线逻辑、一个或多个特

定用途集成电路 (ASIC) 或现场可编程门阵列 (FPGA)、固件和/或程序逻辑 (这些与计算机系统 (例如, 电气系统 2201) 的原因或程序结合成为特殊用途的机器) 来实现本文所述的技术。根据一个实施例, 本文中的技术由电气系统 2201 响应于处理器 2205 执行主存储器 2207 中包含的一个或多个指令的一个或多个序列来执行。这些指令可以从另一个存储介质 (如存储设备) 读取到主存储器 2207 中。执行主存储器 2207 中包含的指令的序列会导致处理器 2205 执行处理操作或实现本文所述的功能。在替代实施例中, 可以使用硬接线电路代替软件指令或与软件指令组合使用。

[0304] 可使用非暂时性计算机可读介质。可以使用任何存储数据和/或指令的介质, 该数据和/或指令使机器以特定方式运行。这种非暂时性介质可包括非易失性介质和/或易失性介质。易失性介质包括动态存储器, 如主存储器 2207。非暂时性介质的常见形式包括, 例如软驱、软盘、硬盘、固态驱动器、磁带或任何其他磁性数据存储介质、只读光盘驱动器 (CD-ROM)、任何其他光学数据存储介质、具有孔模式的任何物理介质、随机存取存储器 (RAM)、可编程只读存储器 (PROM) 和可擦可编程只读存储器 (EPROM), 以及快擦编程只读存储器 (FLASH-EPROM)、非易失随机存取存储器 (NVRAM)、任何其他存储芯片或盒带以及相同的网络版本。

[0305] 非暂时性介质可以与传输介质不同, 但可以与传输介质一起使用。传输介质可以参与非临时介质之间的信息传输。例如, 传输介质可以包括同轴电缆、铜线和光纤, 包括包含总线的电线。传输介质也可以采用声波或光波的形式, 如无线电波和红外数据通信中产生的声波或光波。

[0306] 无线通信系统 2103 可向网络 2213 提供双向数据通信耦合。例如, 无线通信系统 2103 可以发送和接收电、电磁或光学信号, 这些信号携带代表各种类型信息的数字数据流。或者, 在某些情况下, 无线通信系统 2103 可以提供单向通信 (例如, 接收或传输信息)。

[0307] 网络 2213 通常通过一个或多个网络向其他数据设备提供数据通信。例如, 网络 2213 可以通过本地网络提供与主机或与由互联网服务提供商 (ISP) 操作的数据设备的连接。ISP 继而通过全球分封数据通信网络 (现在通常称为“因特网”) 提供数据通信服务。

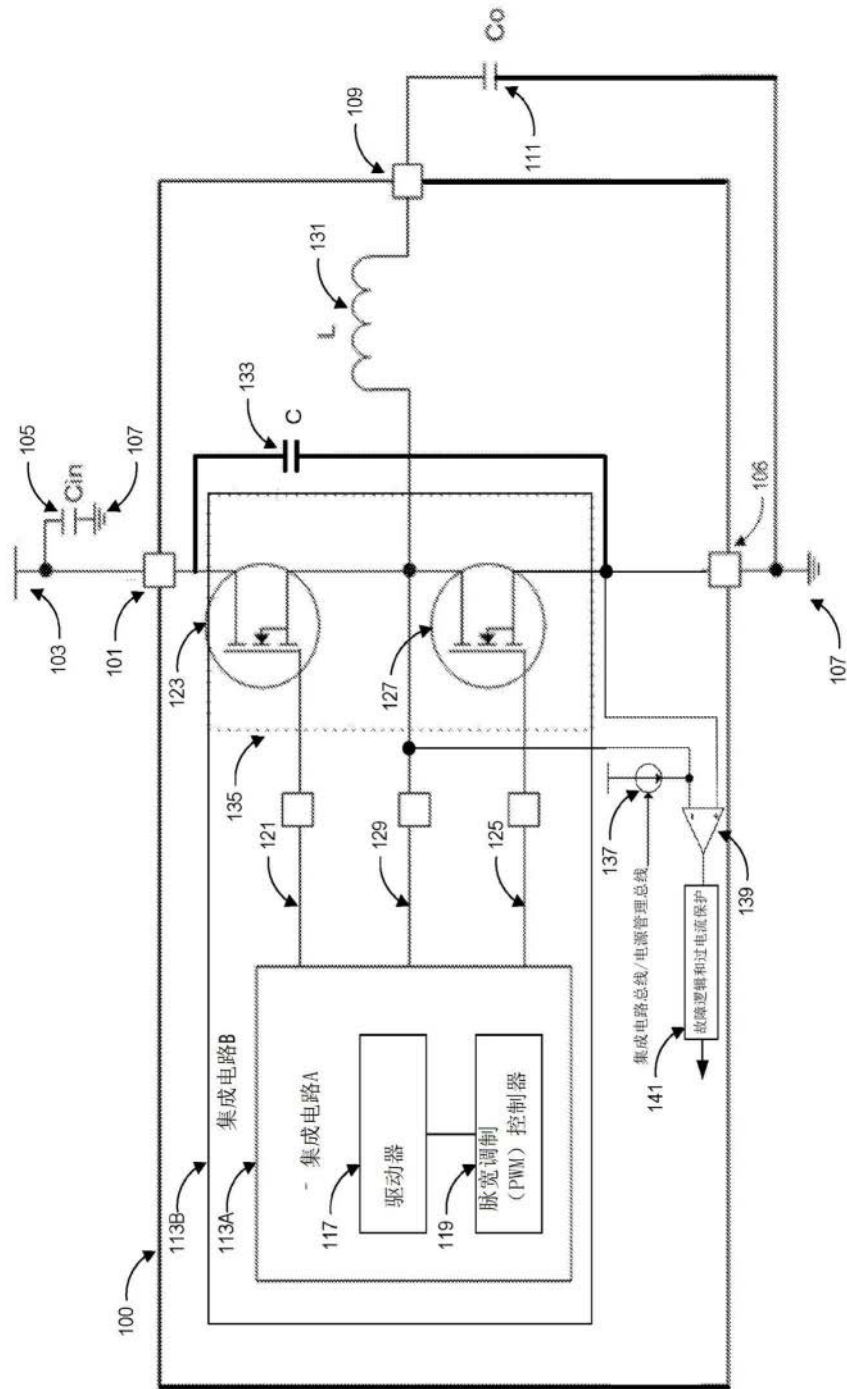


图1

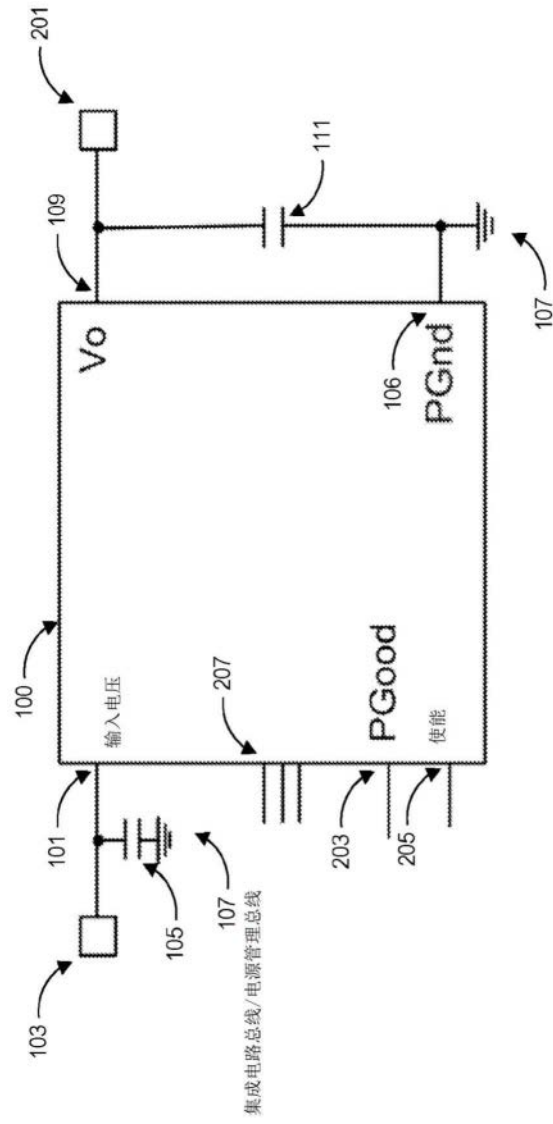


图2

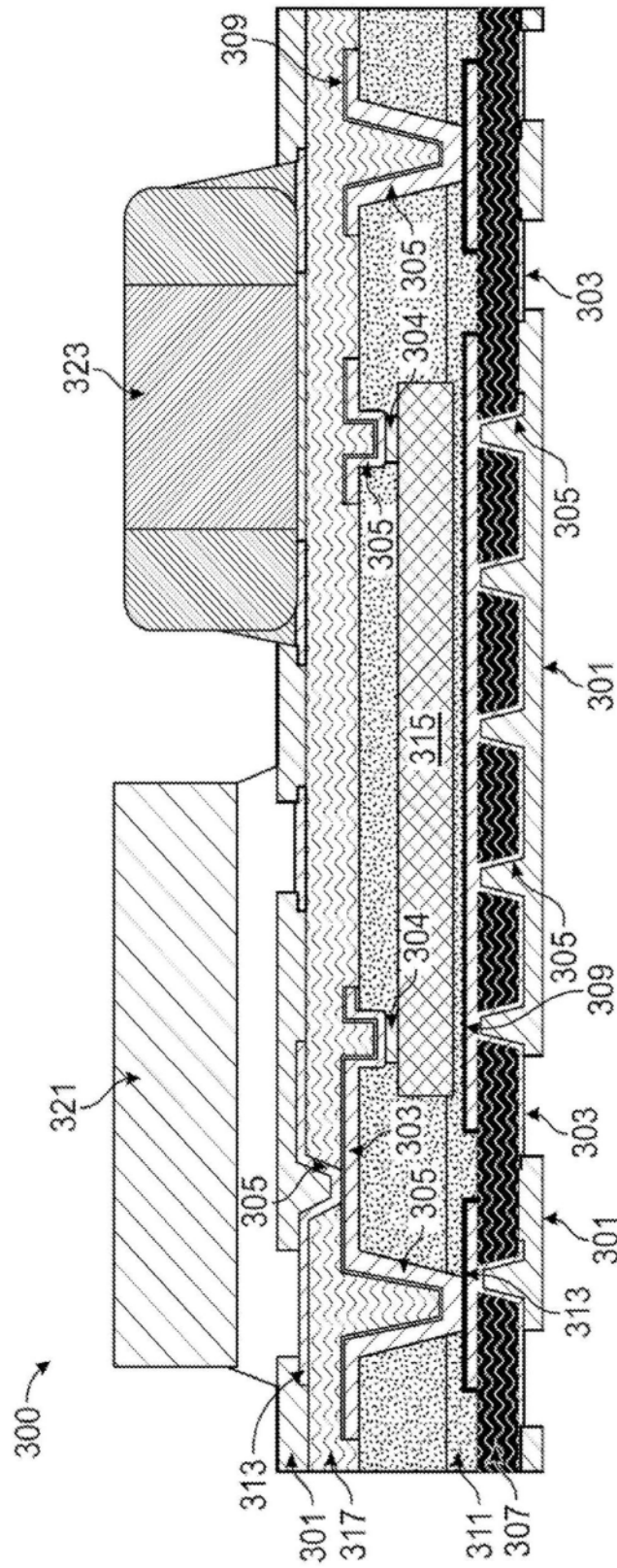


图3

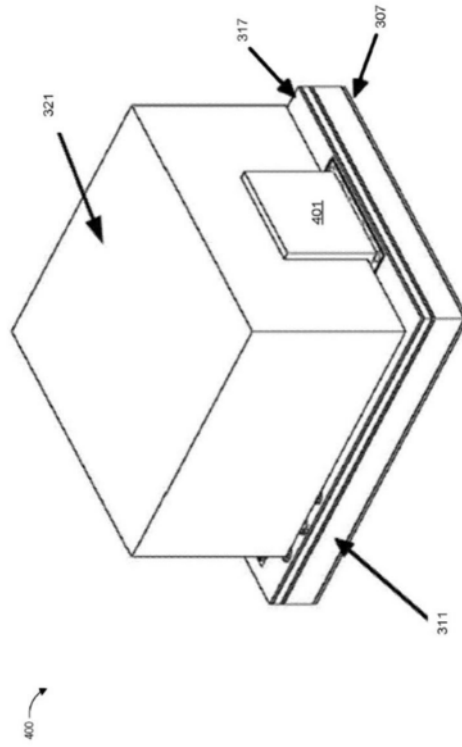


图4A

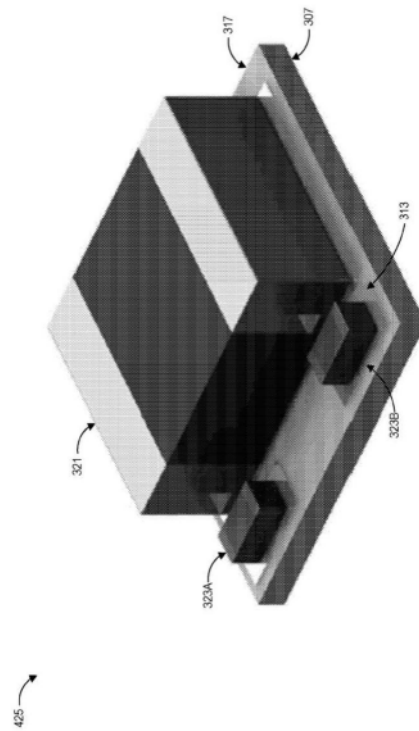


图4B

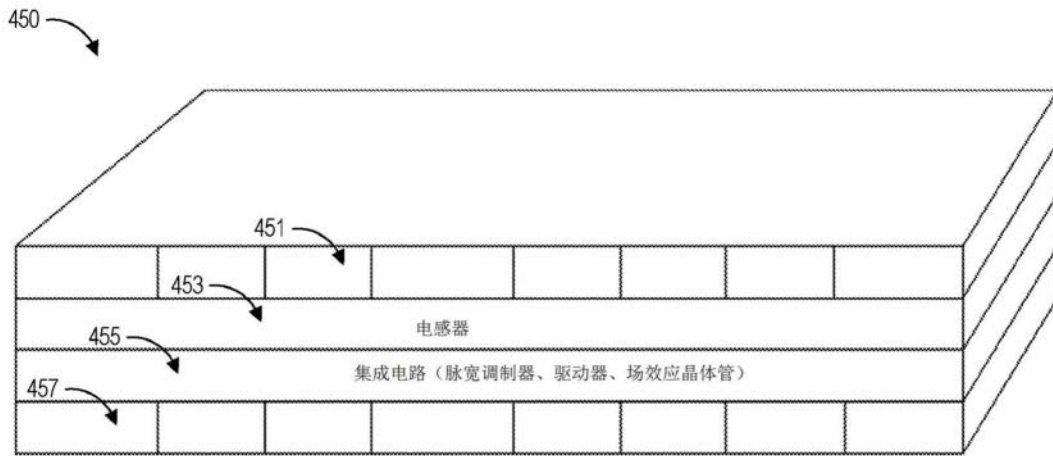


图4C

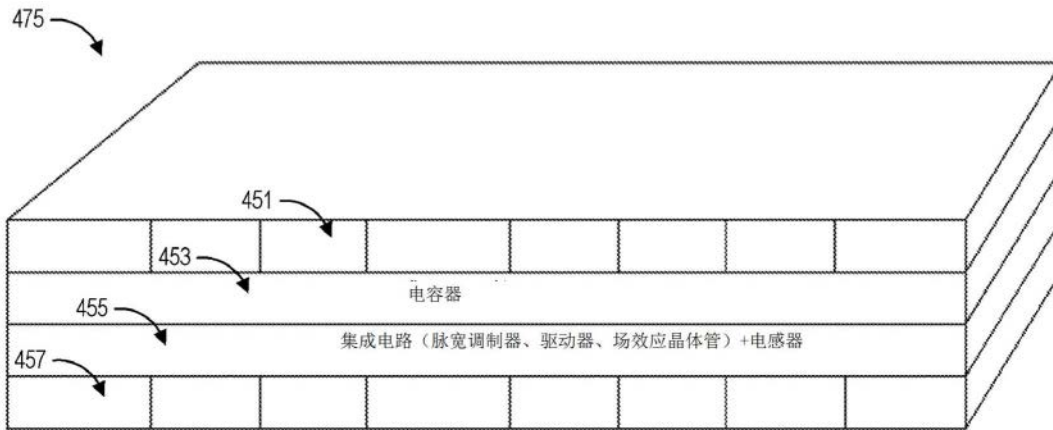


图4D

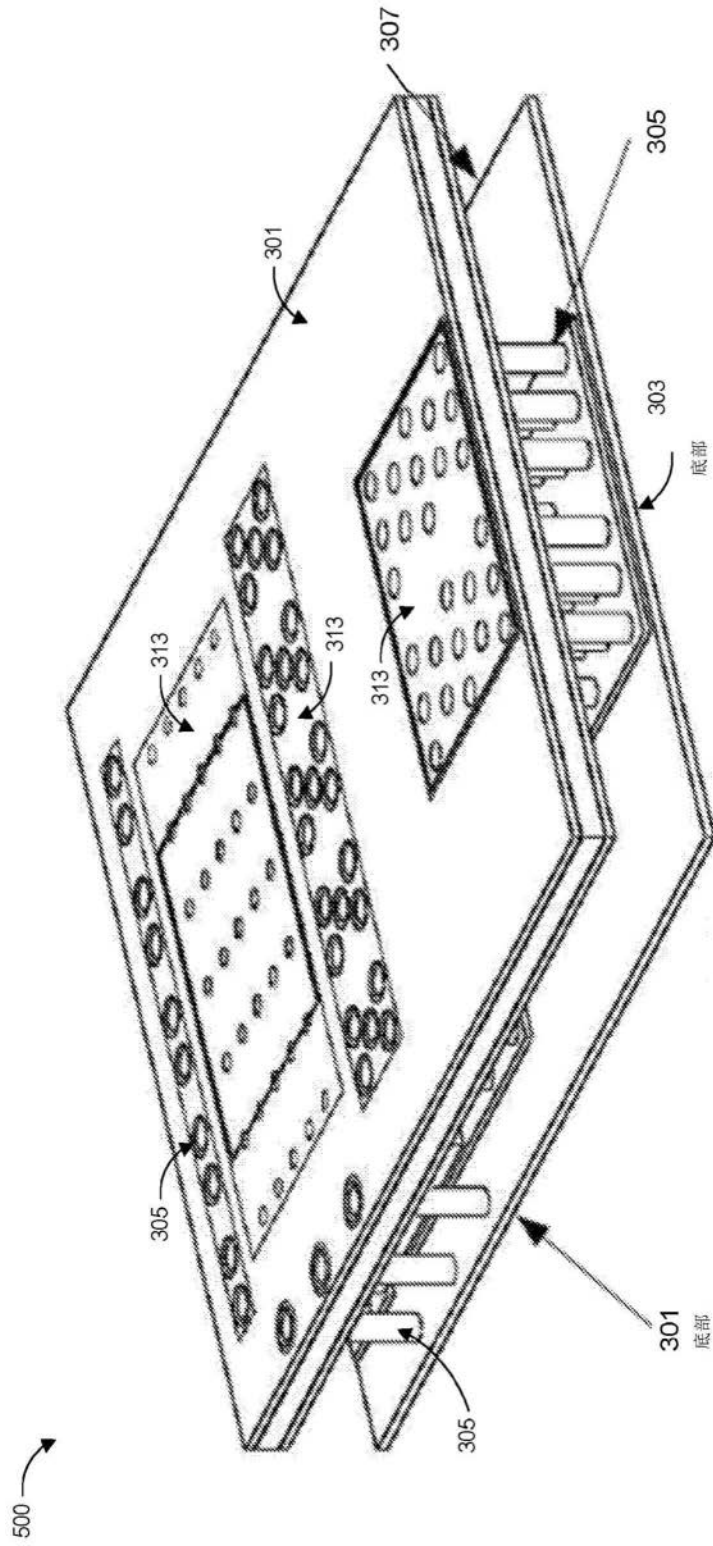
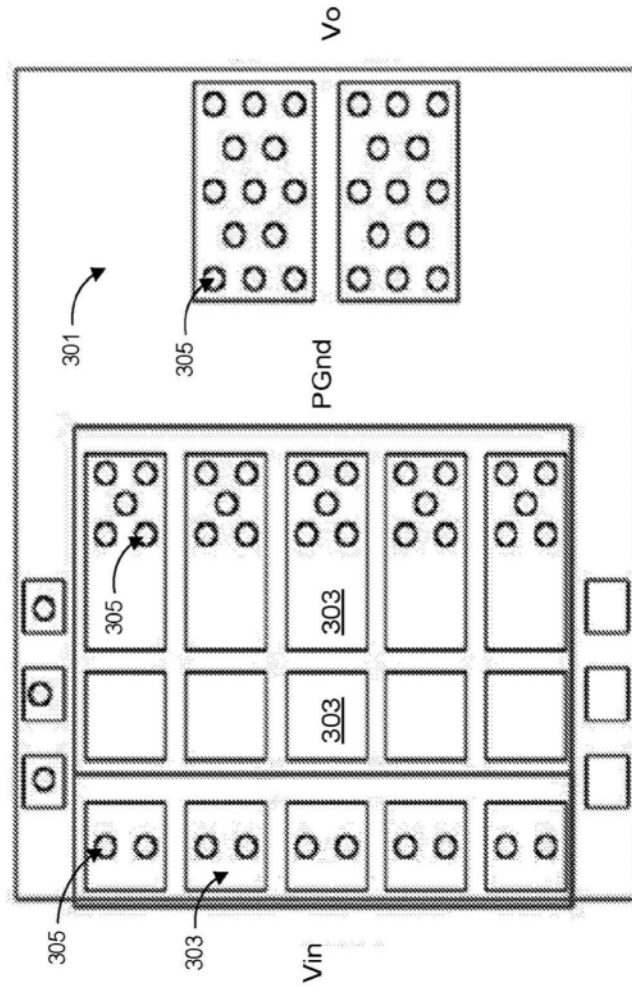


图5



600

图6

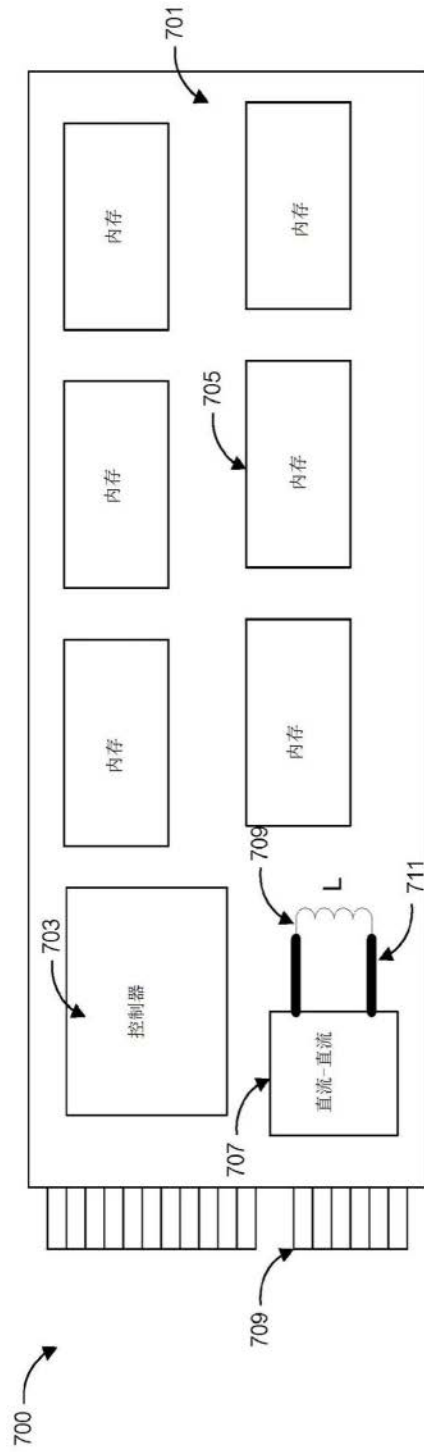


图7A

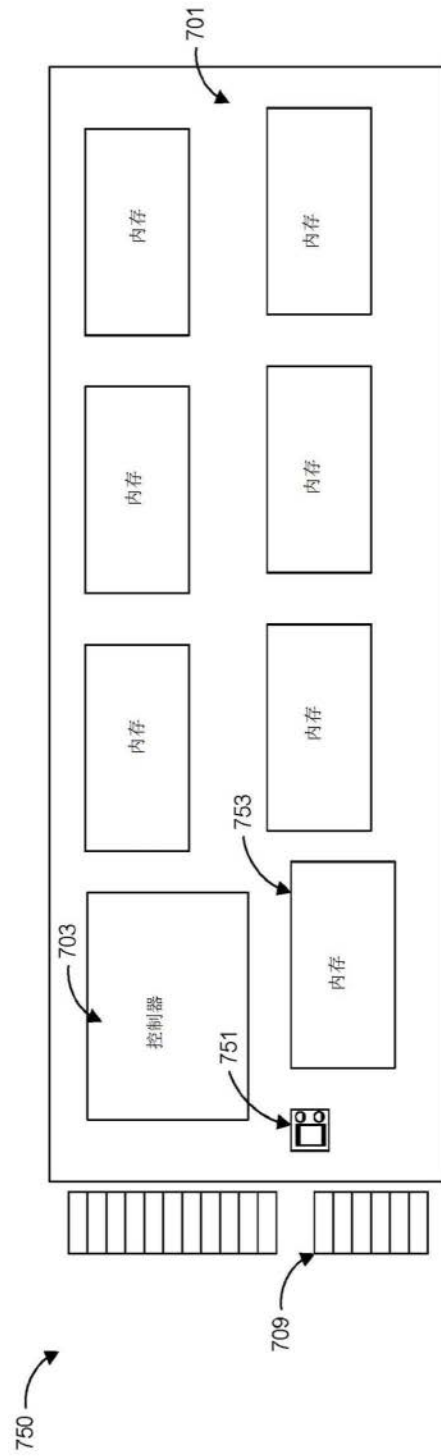


图7B

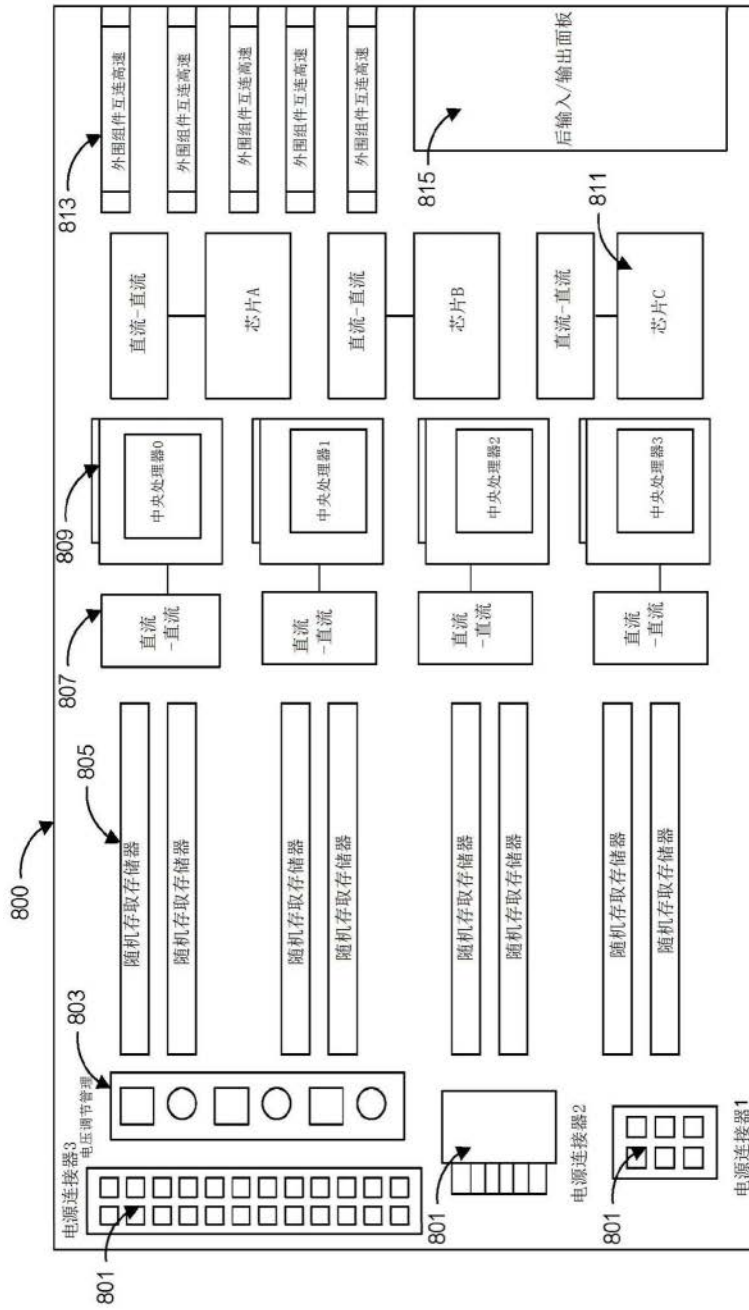


图8A

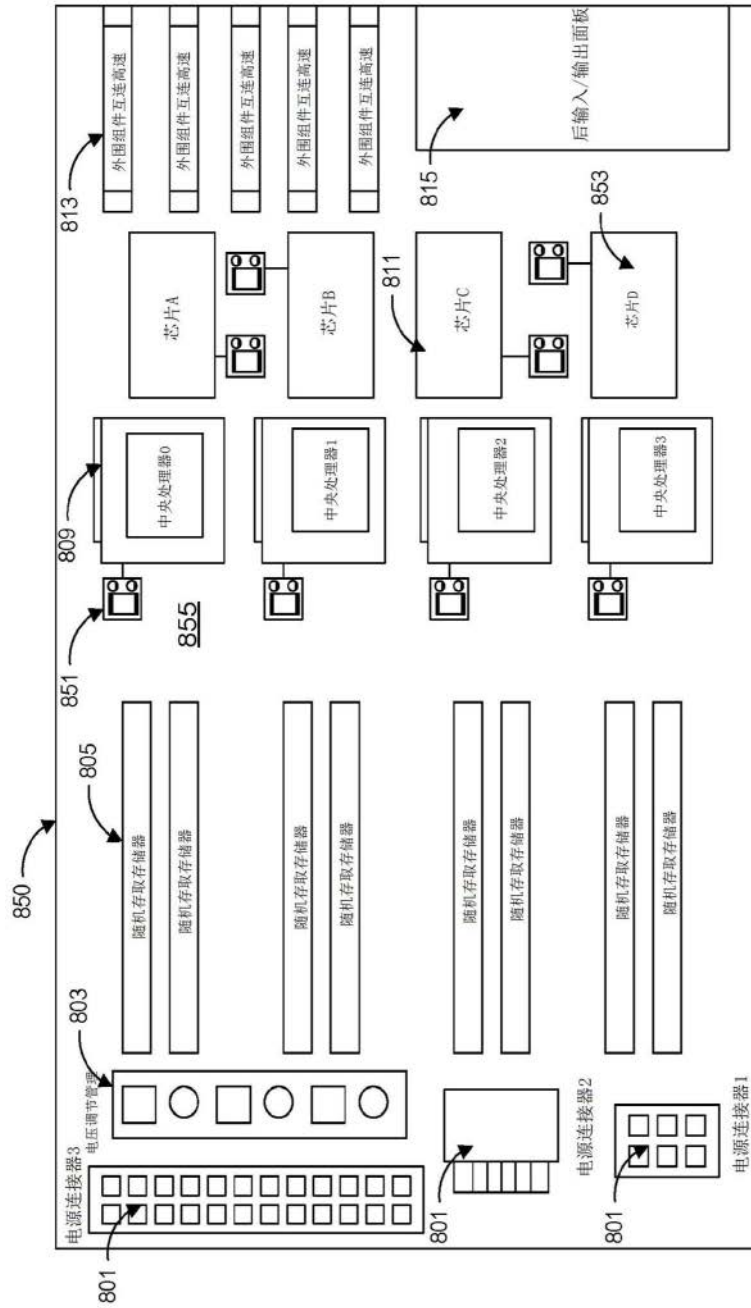


图8B

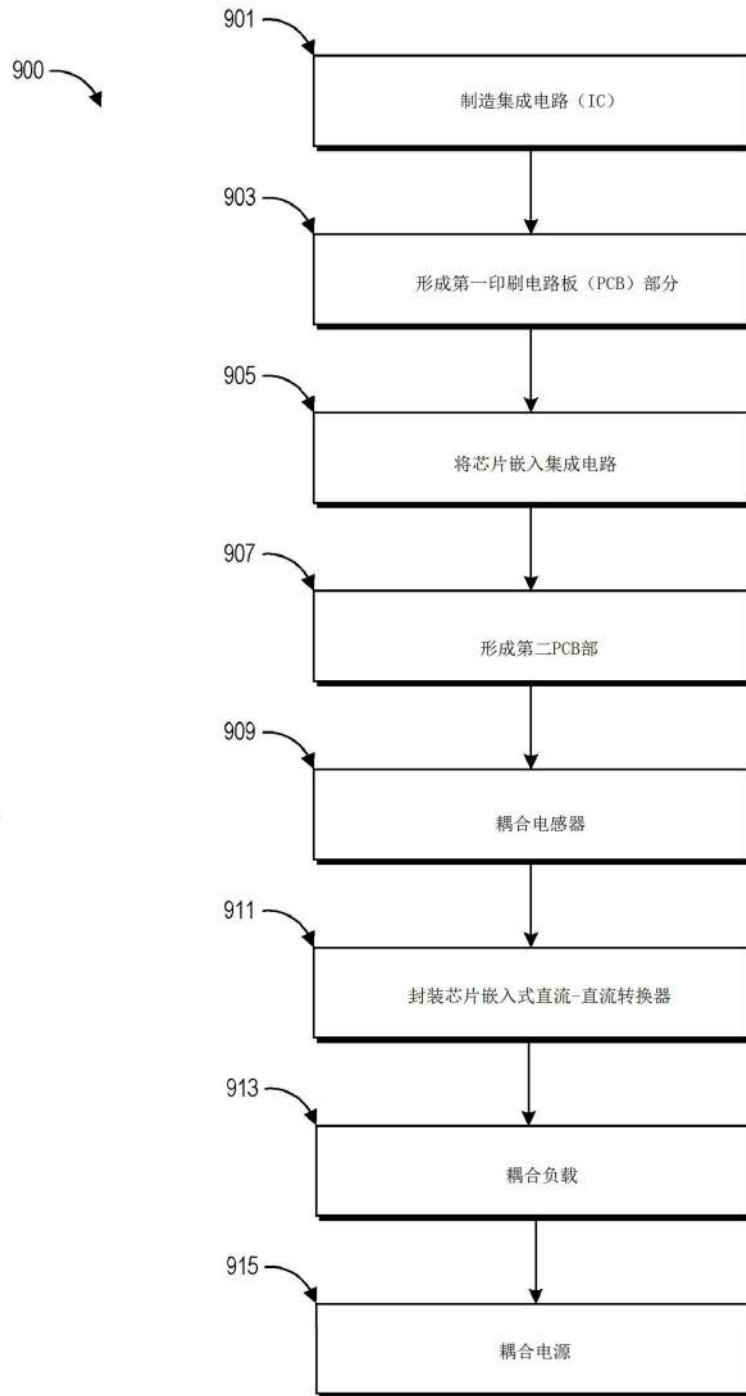


图9

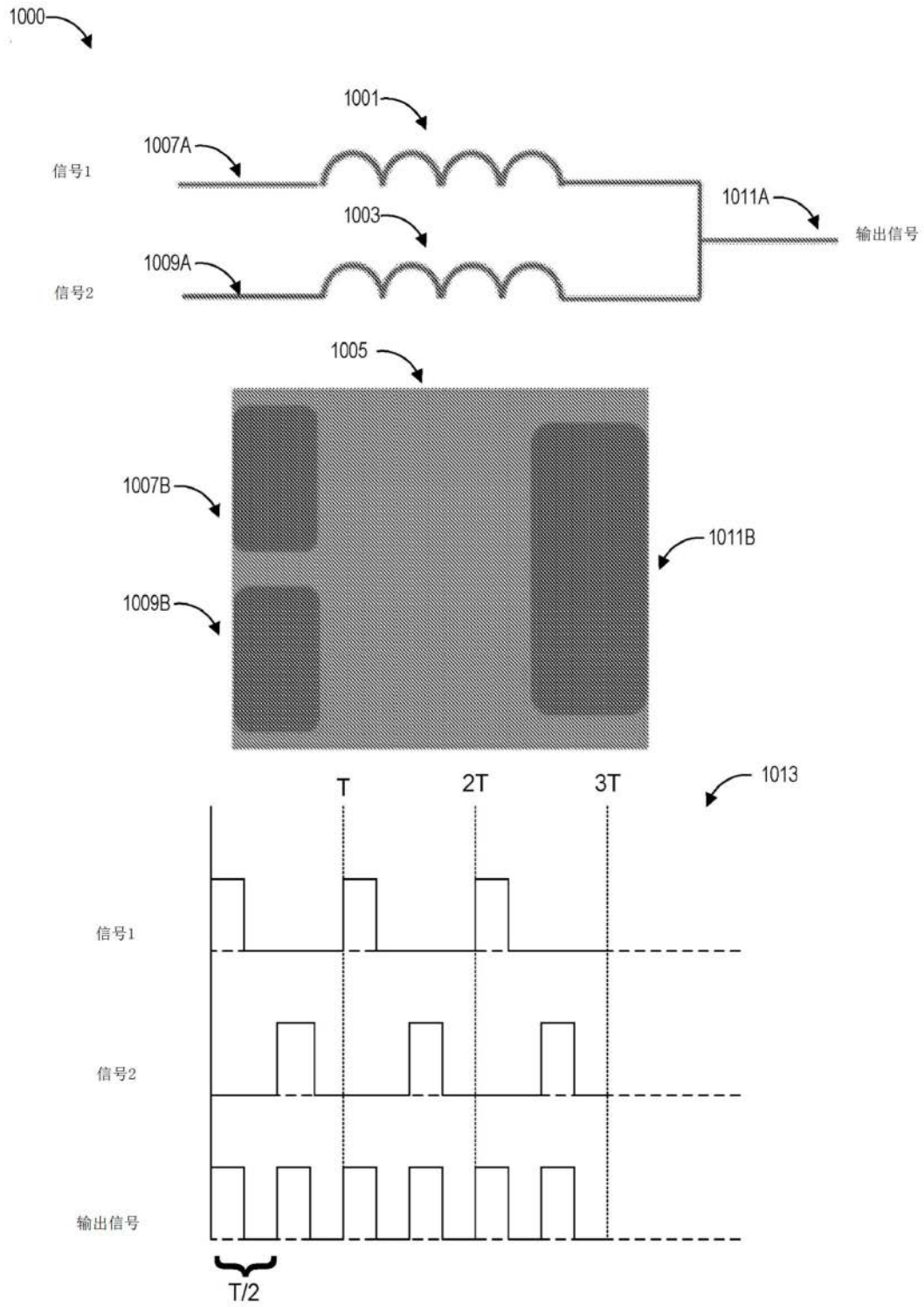


图10

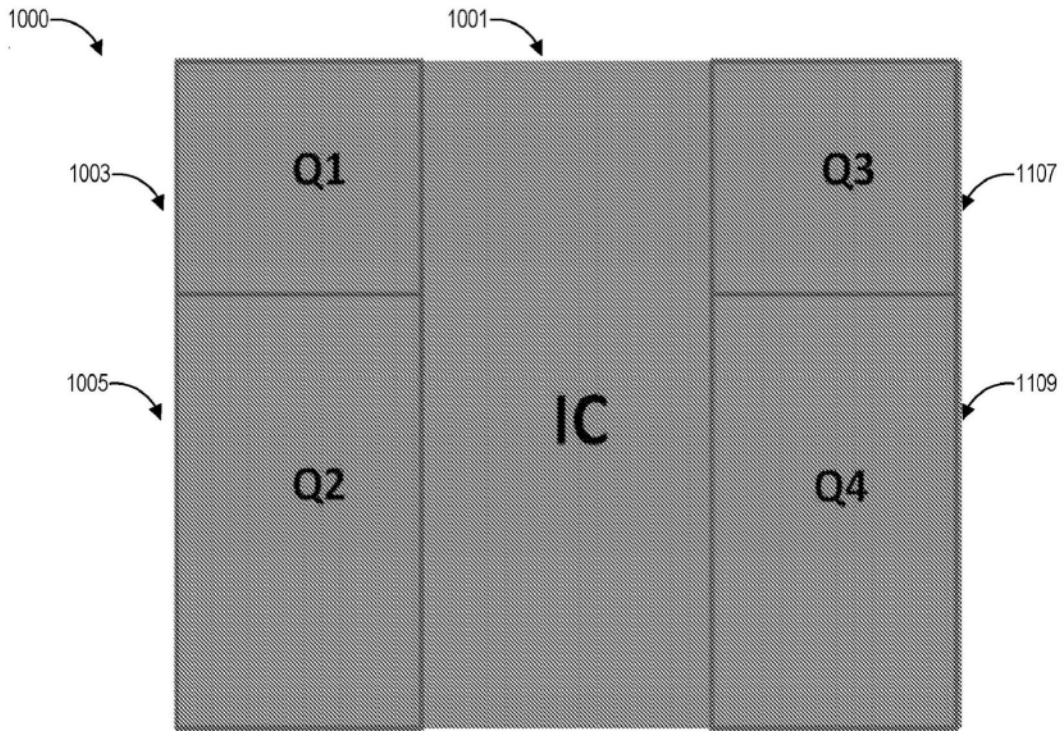


图11A

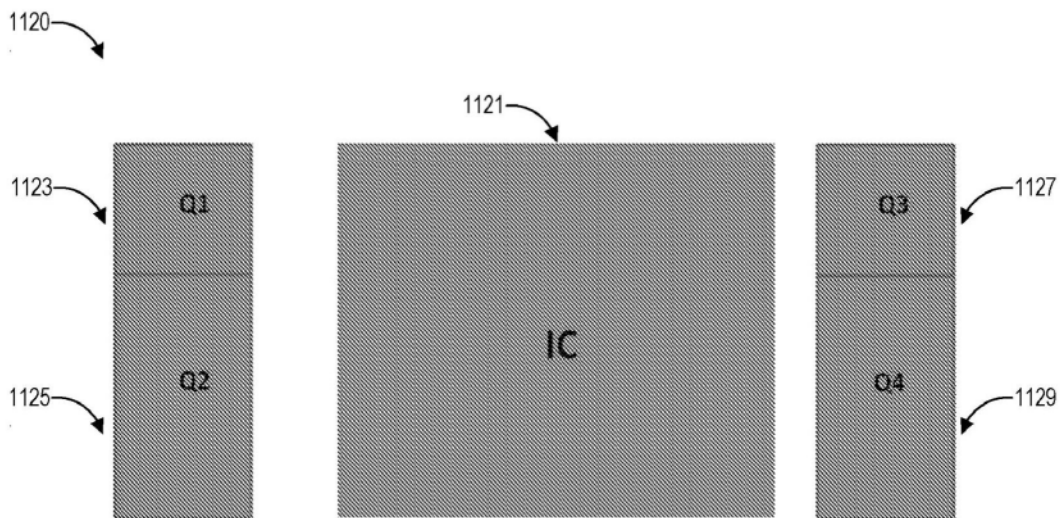


图11B

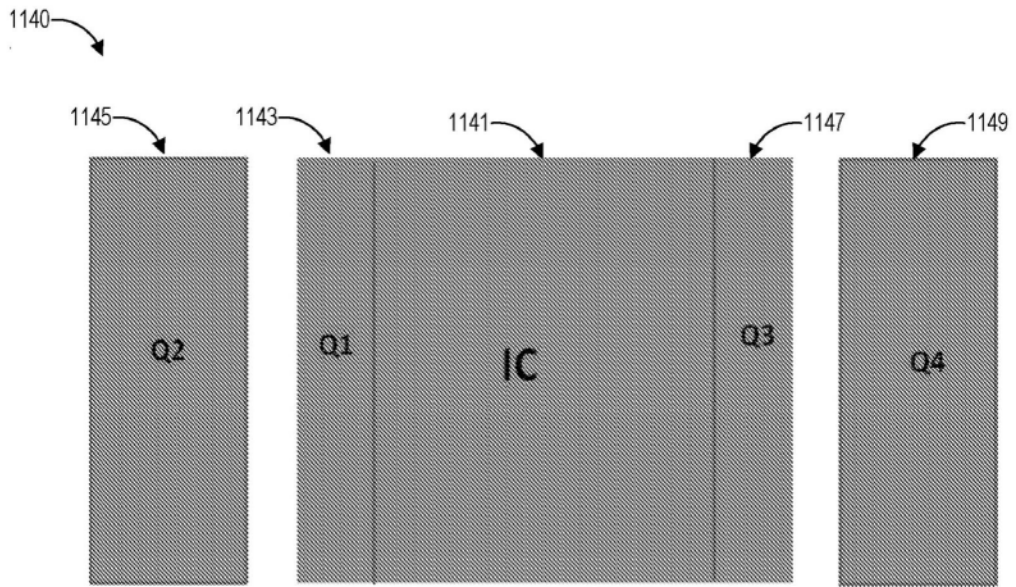


图11C

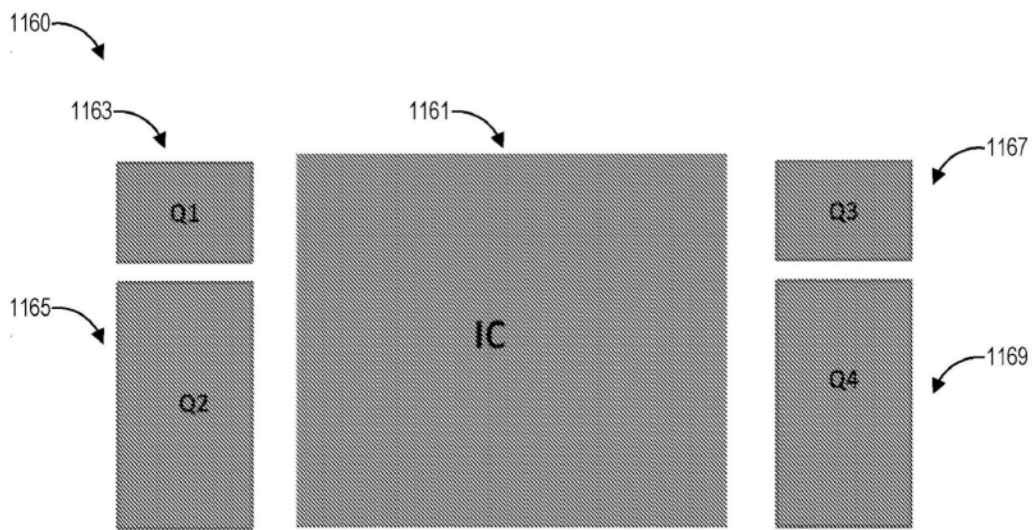


图11D

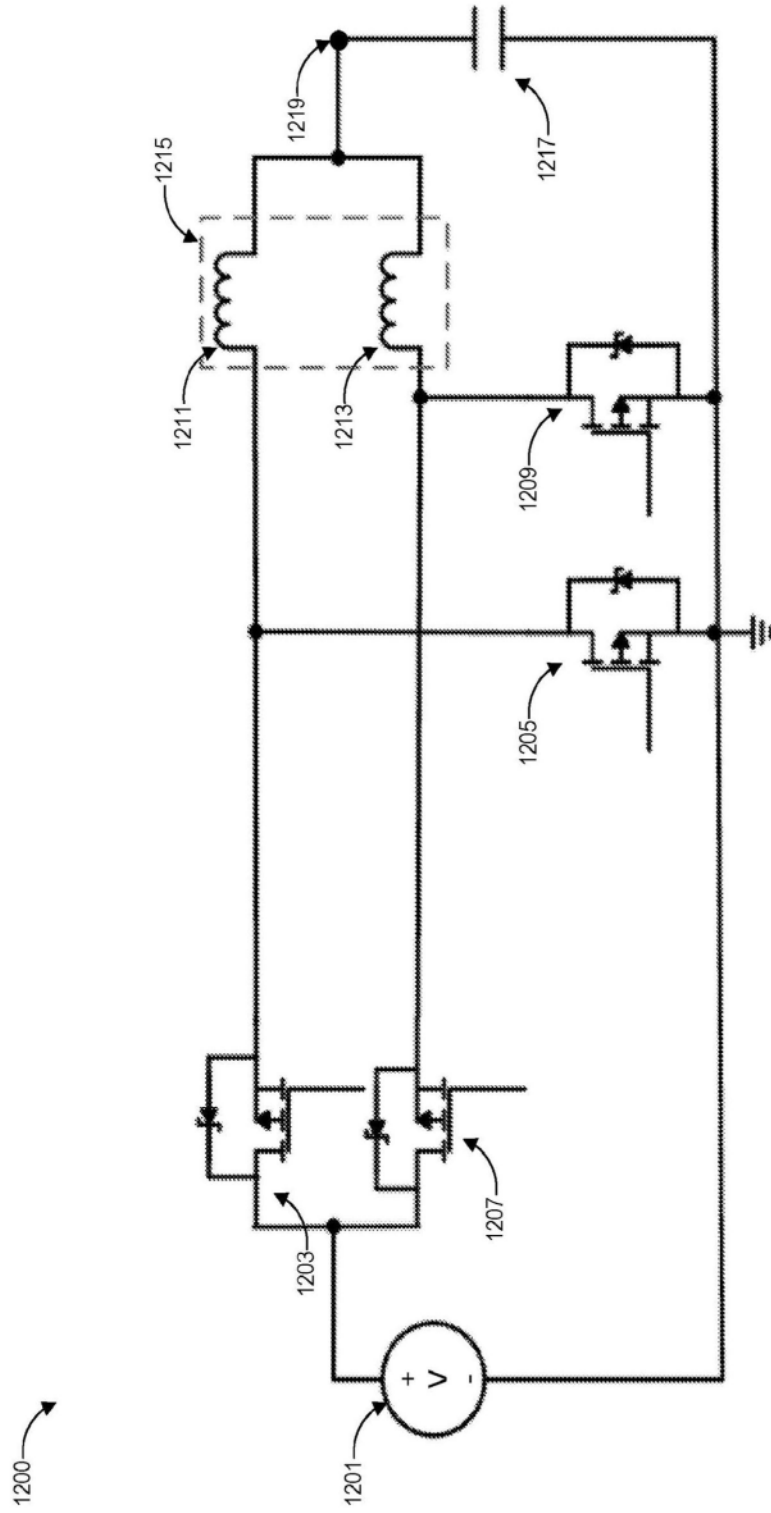


图12

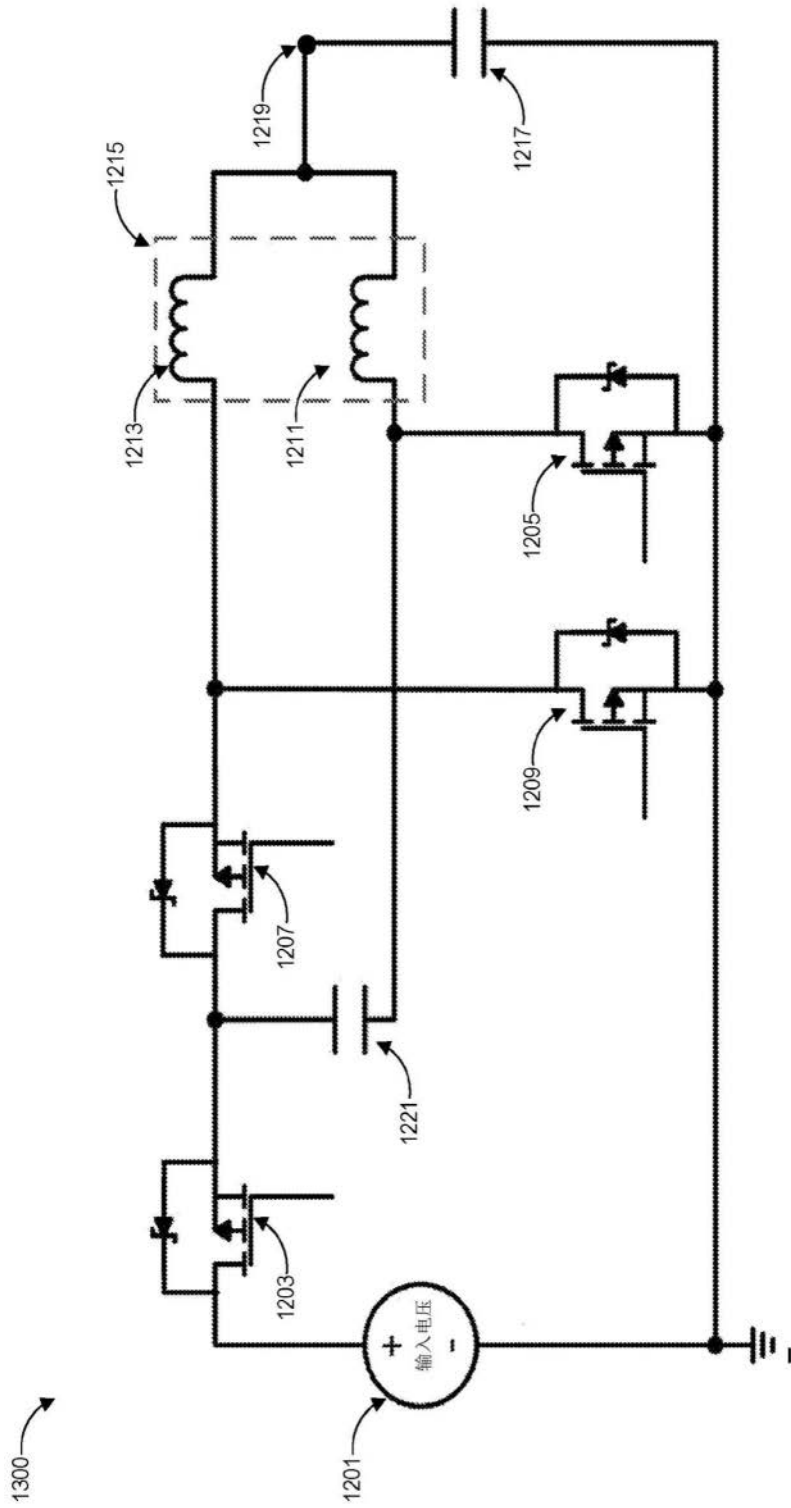


图13A

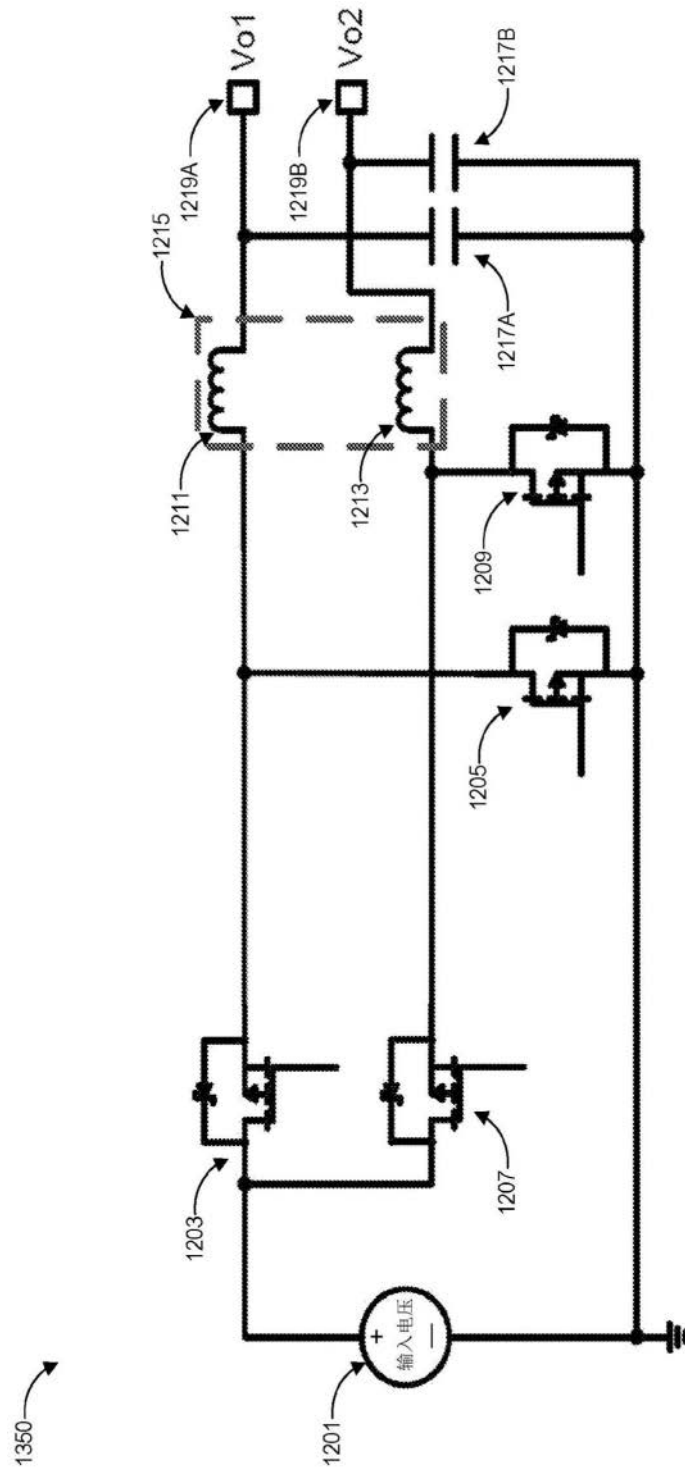


图13B

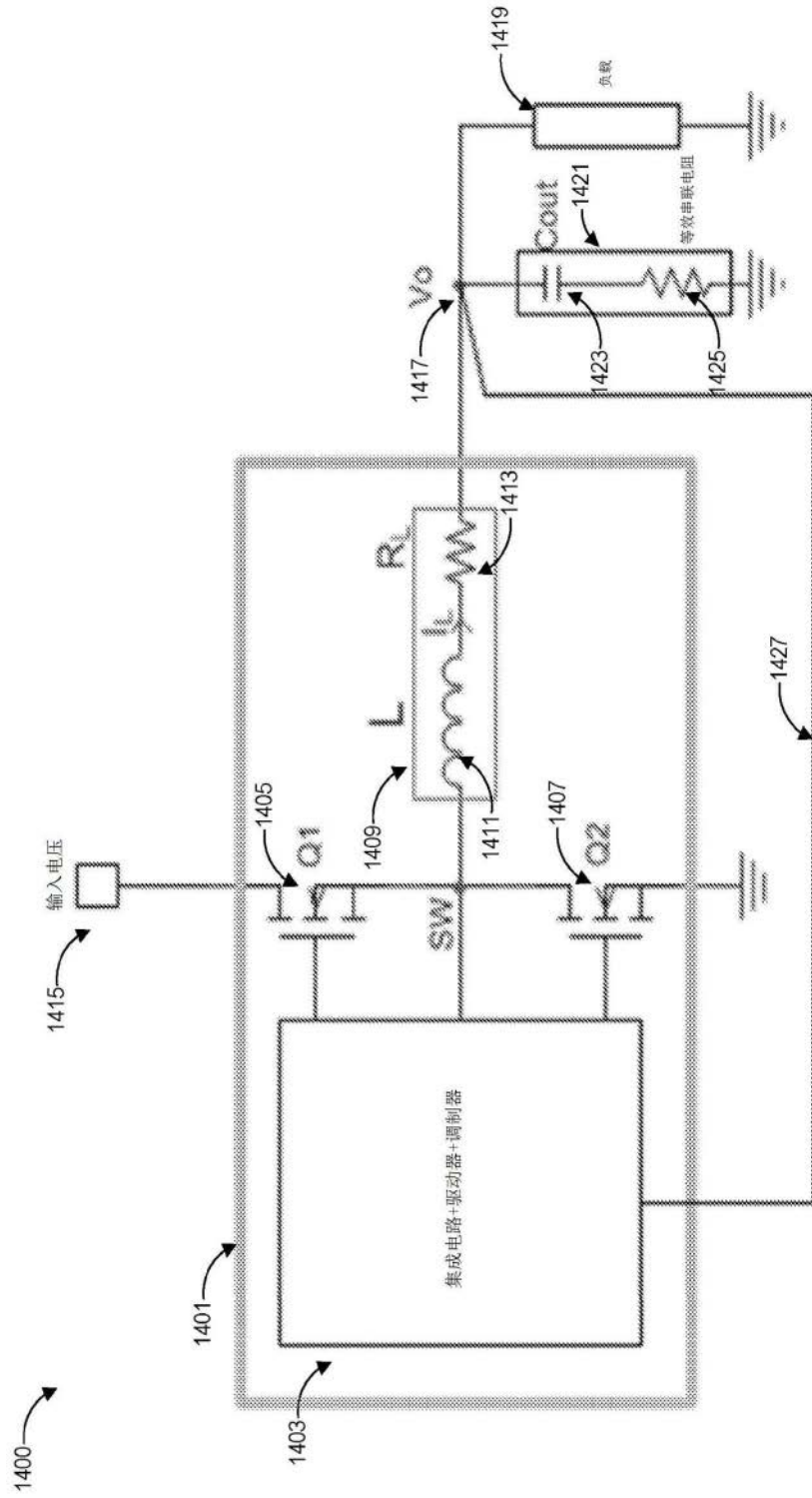


图14

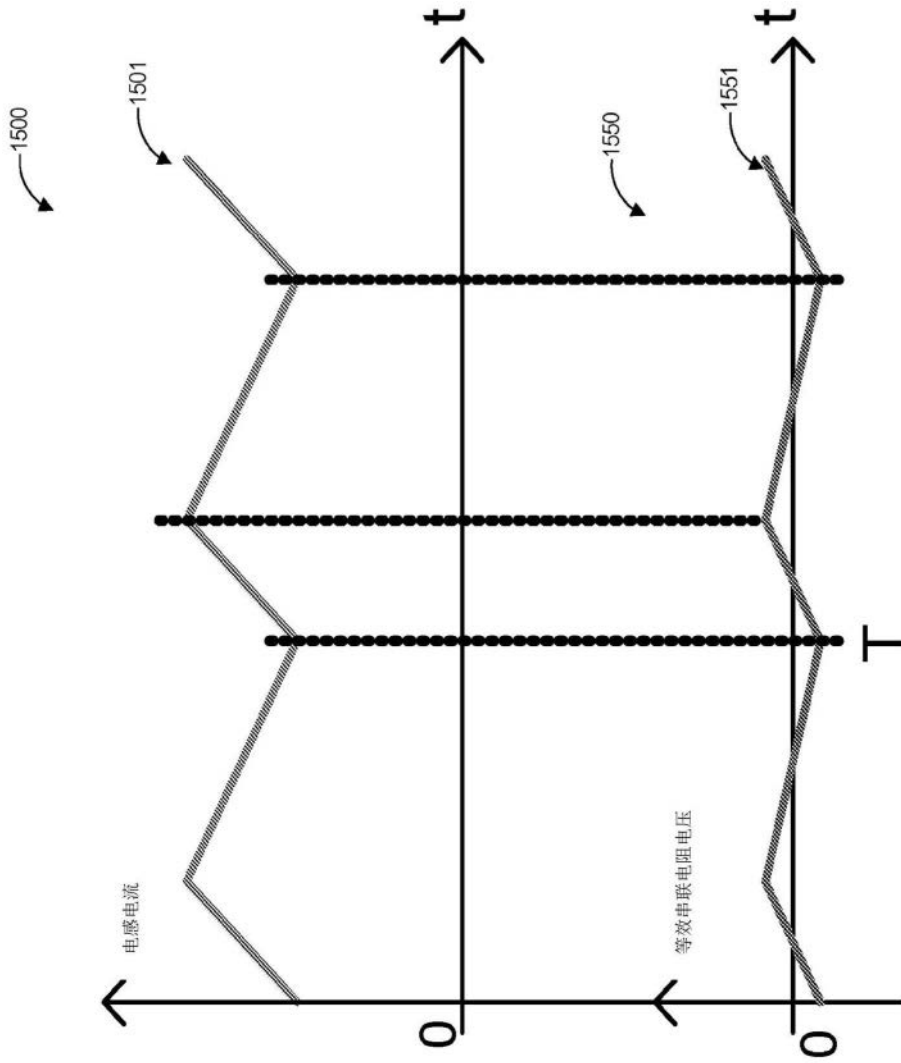


图15

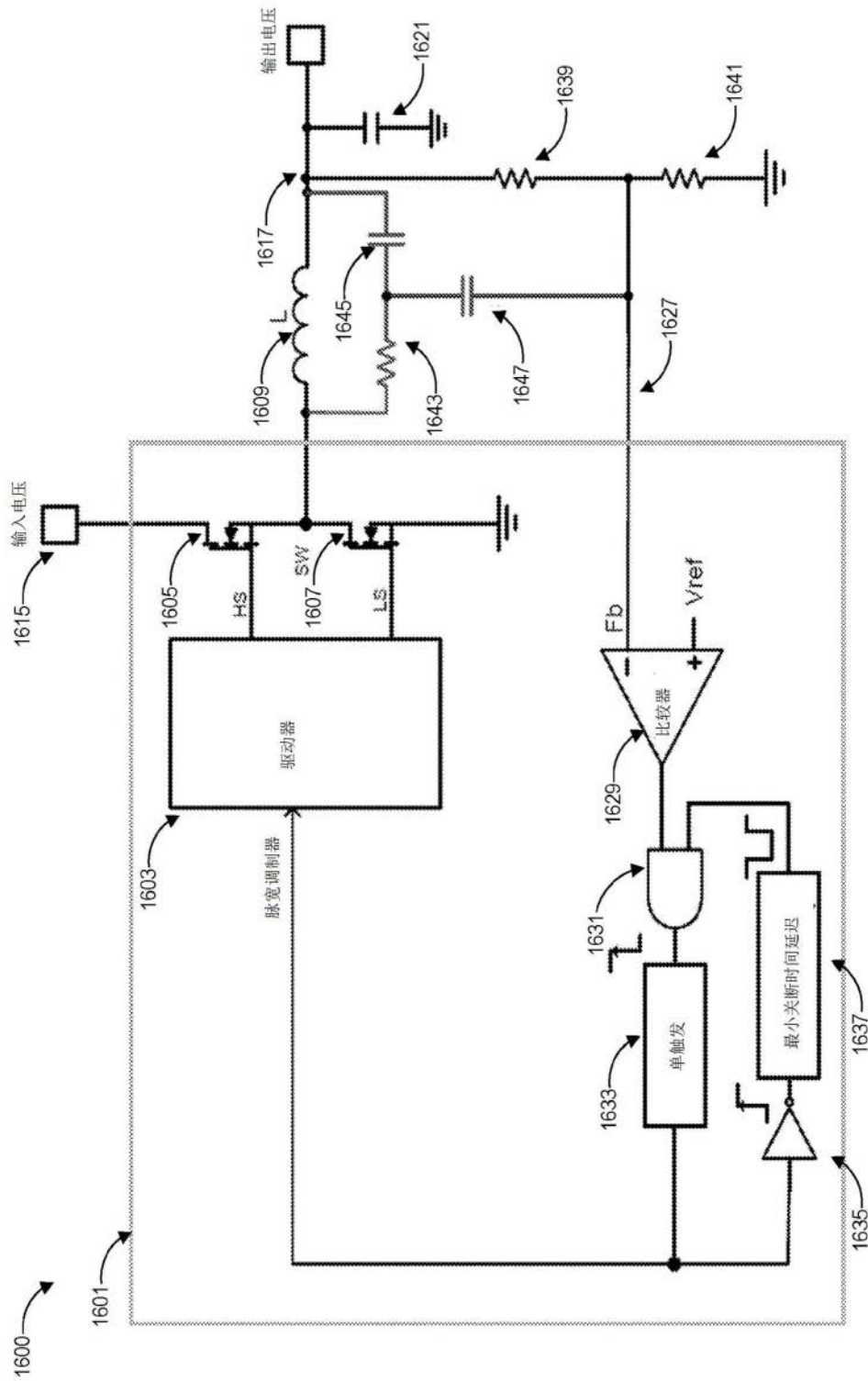


图16

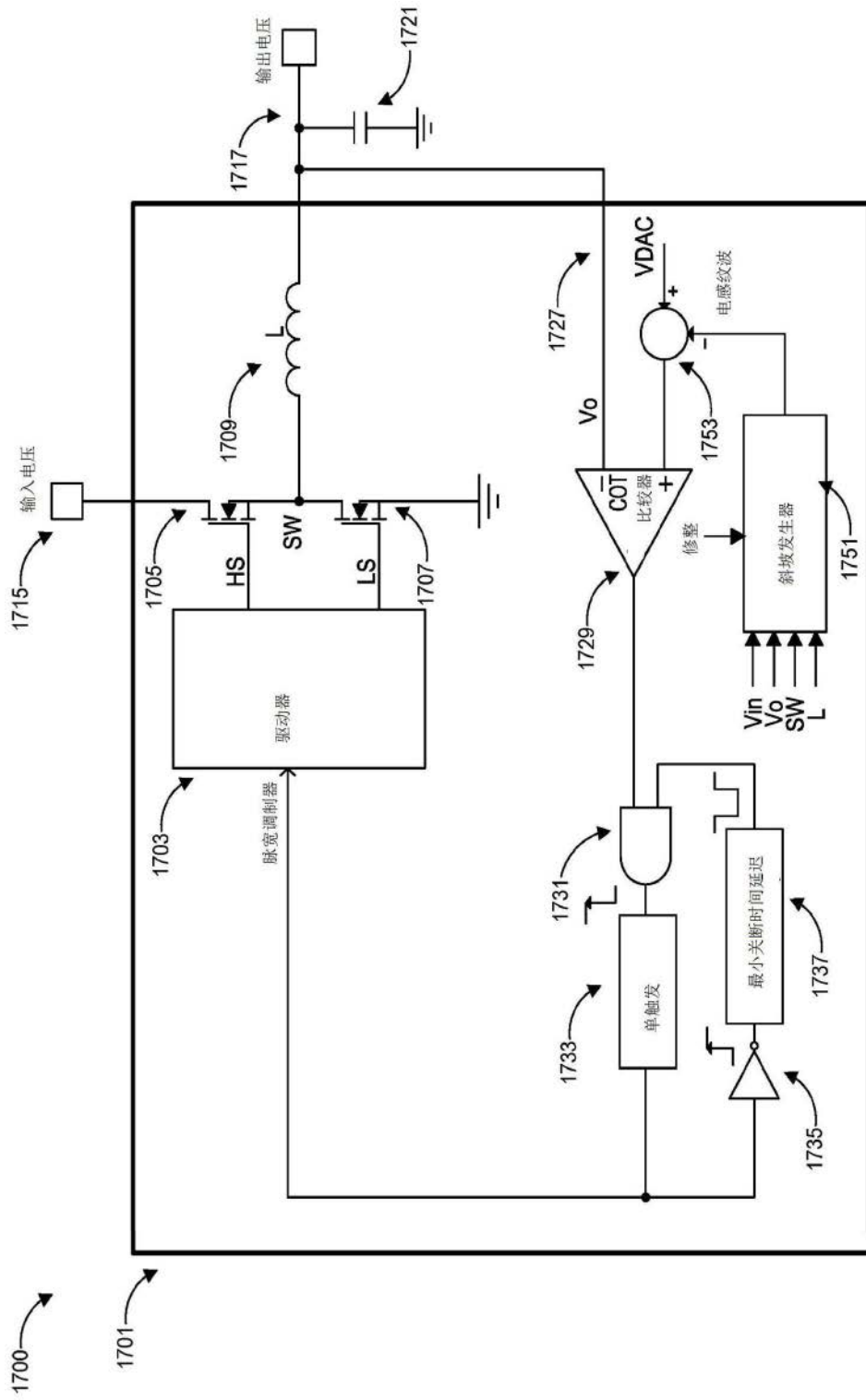


图17

1800

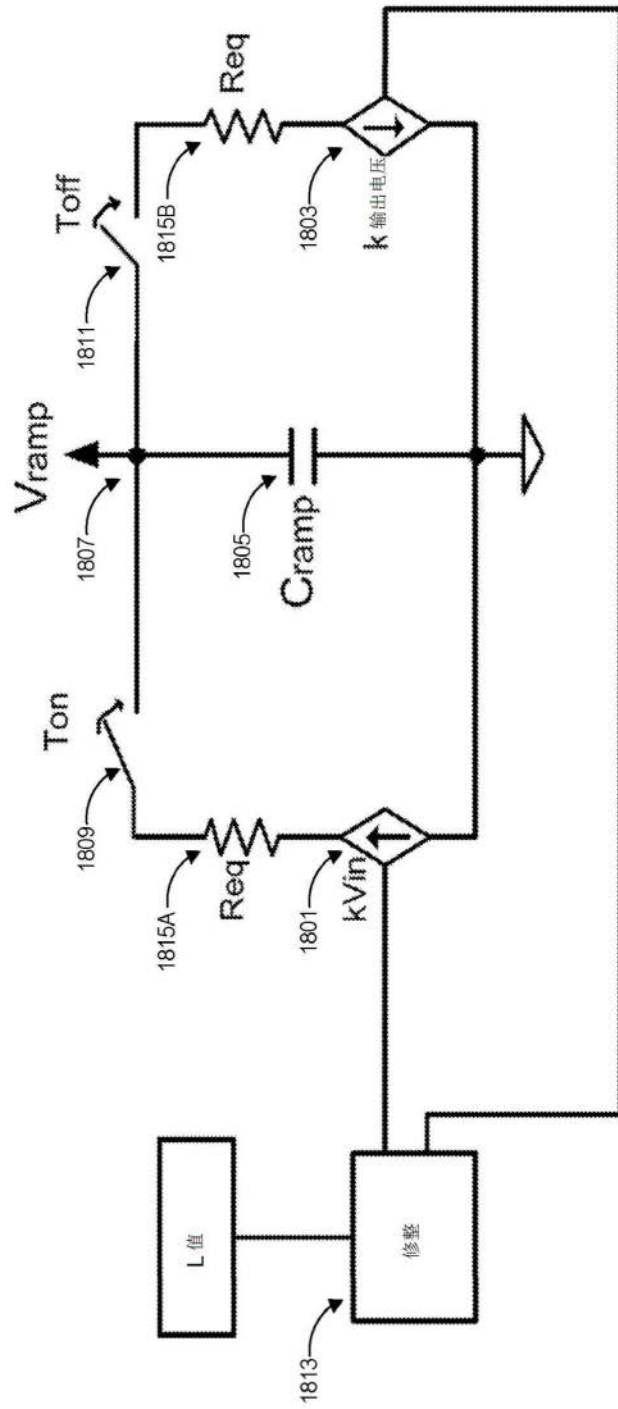


图18

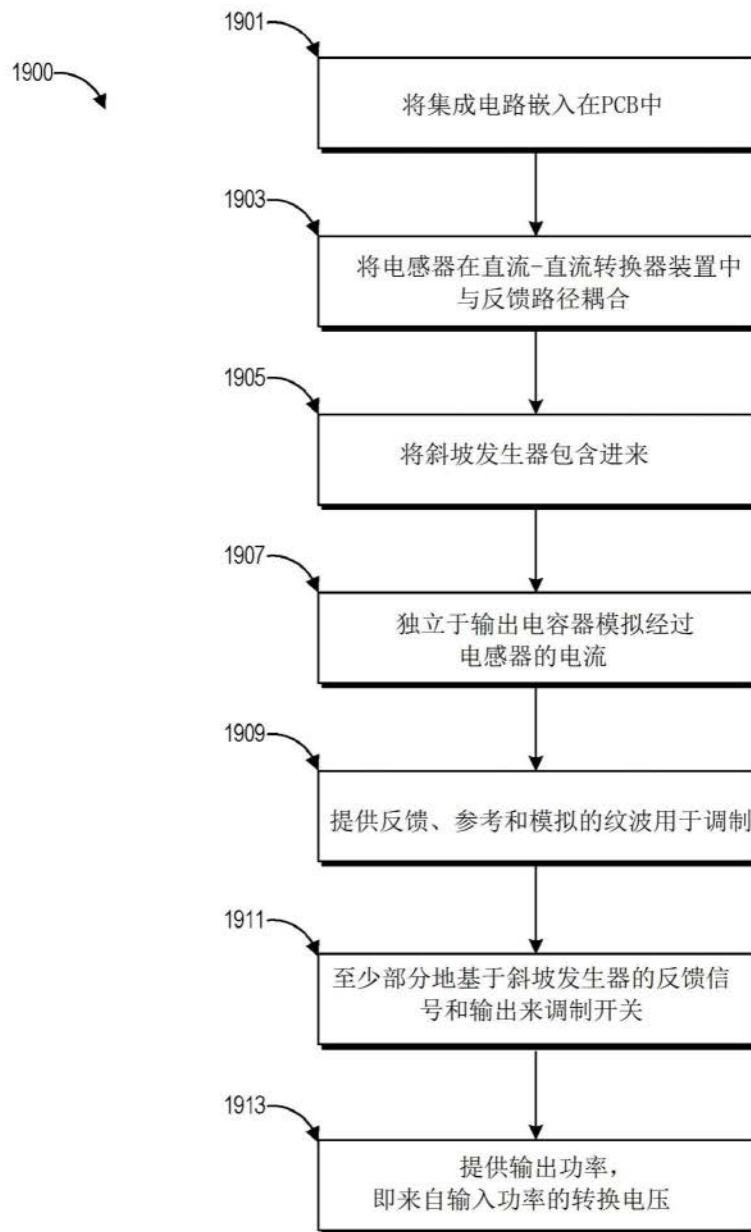


图19

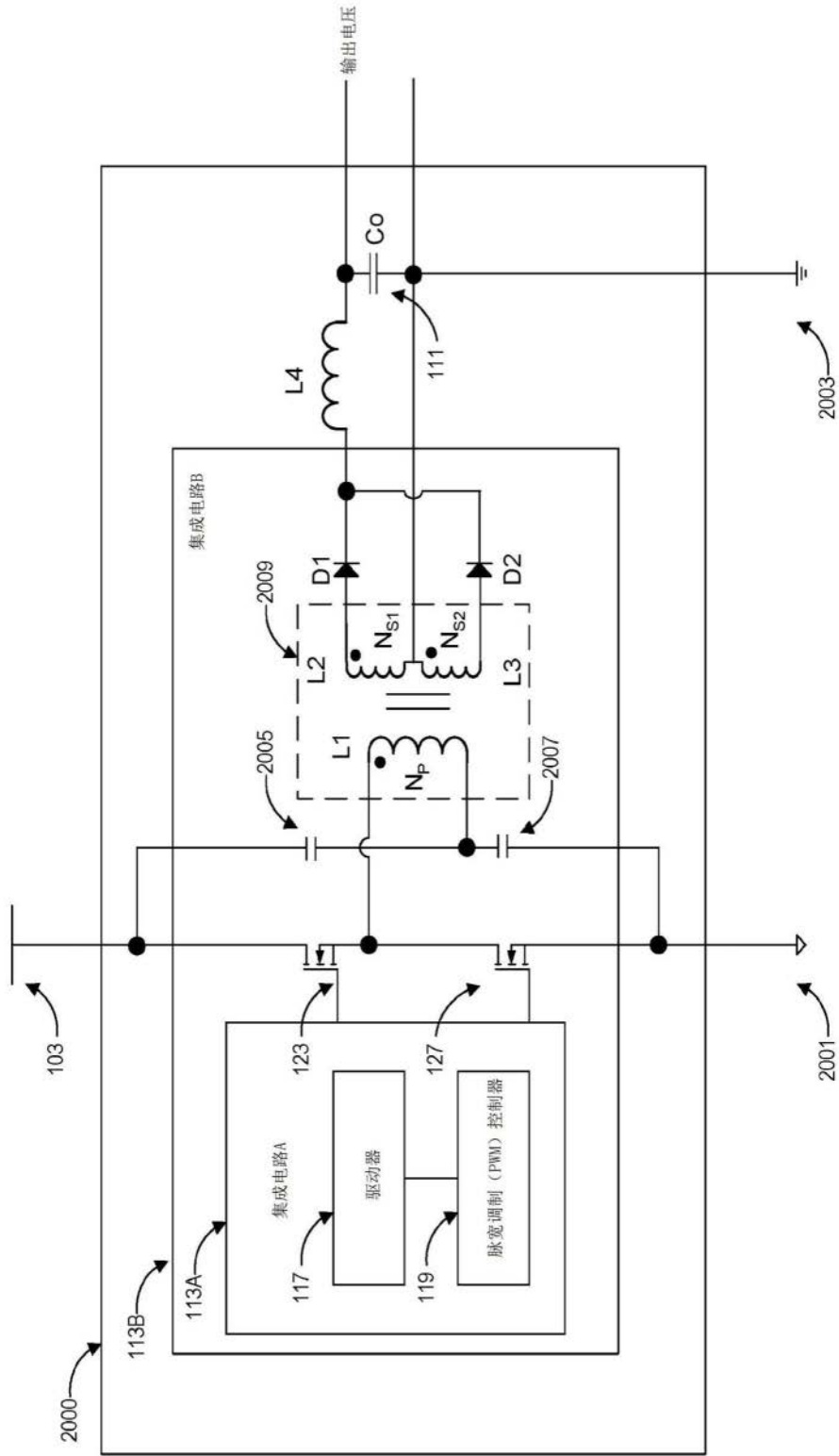


图20

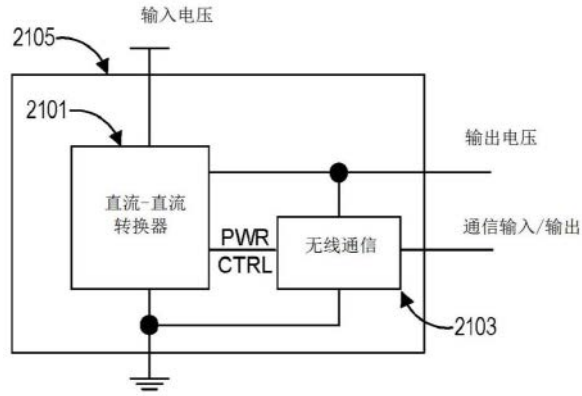


图21A

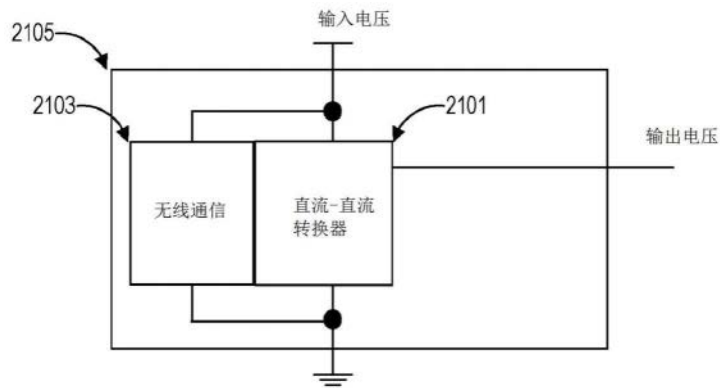


图21B

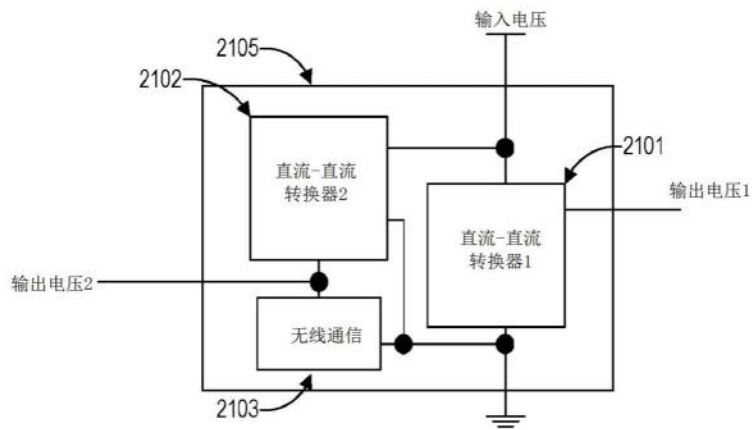


图21C

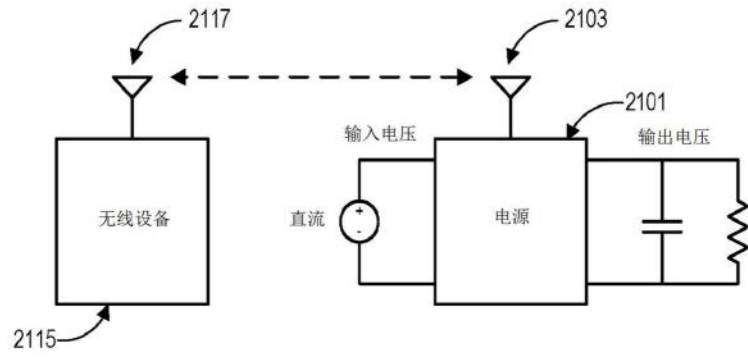


图21D

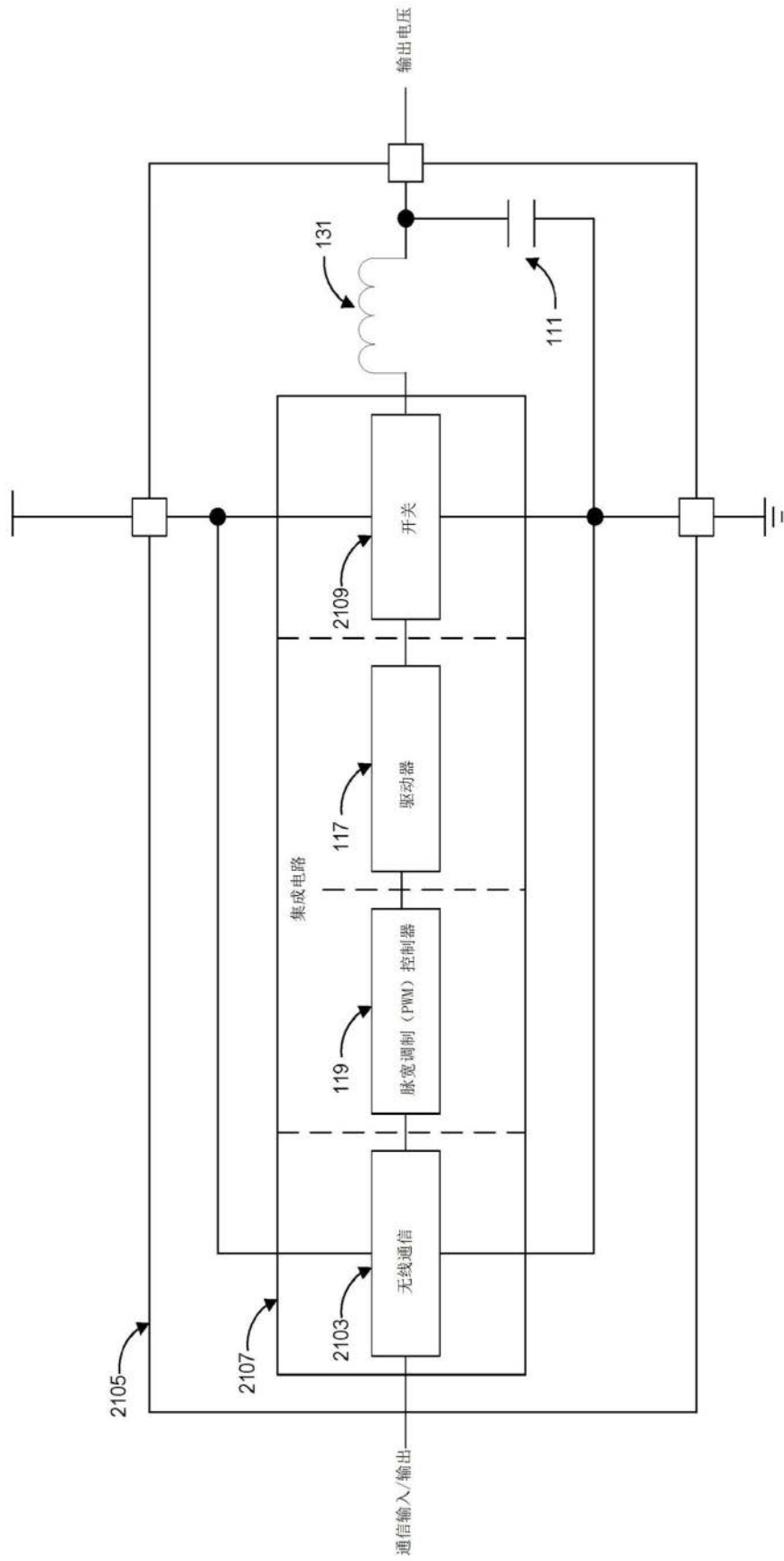


图21E

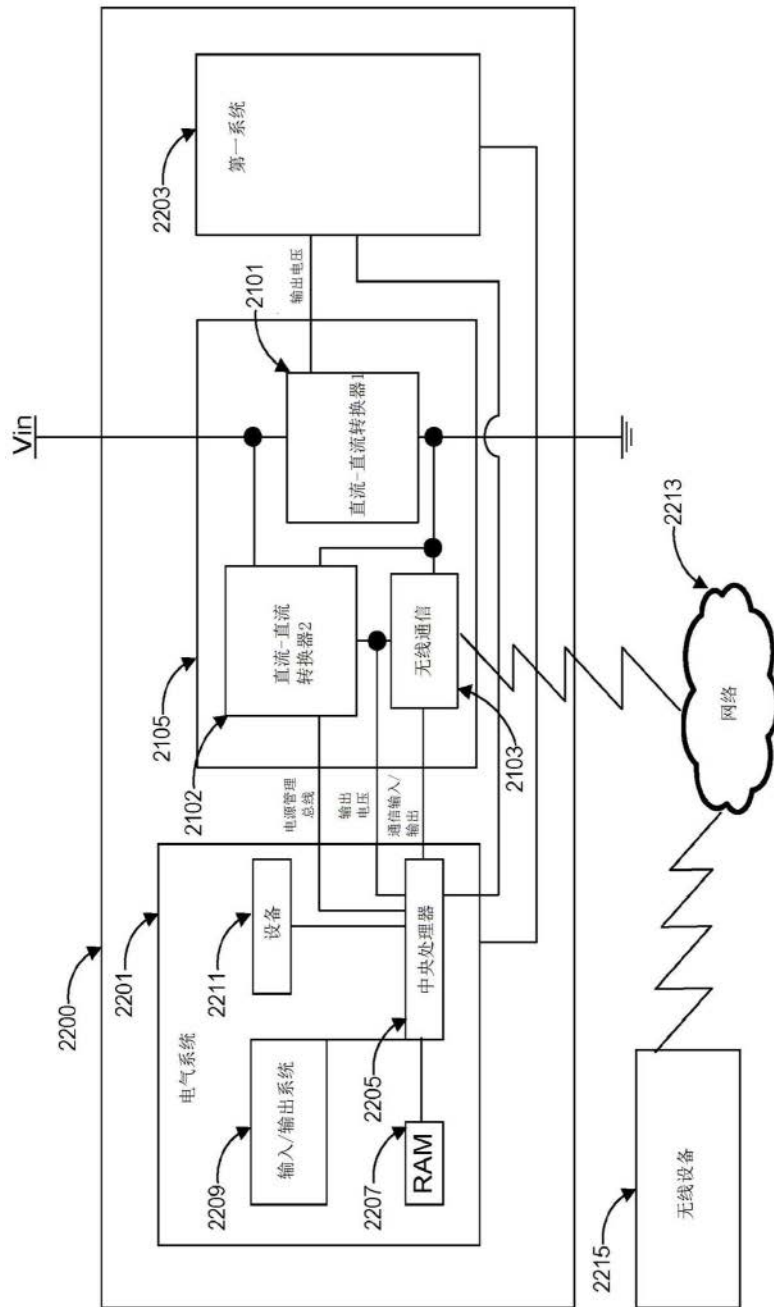


图22

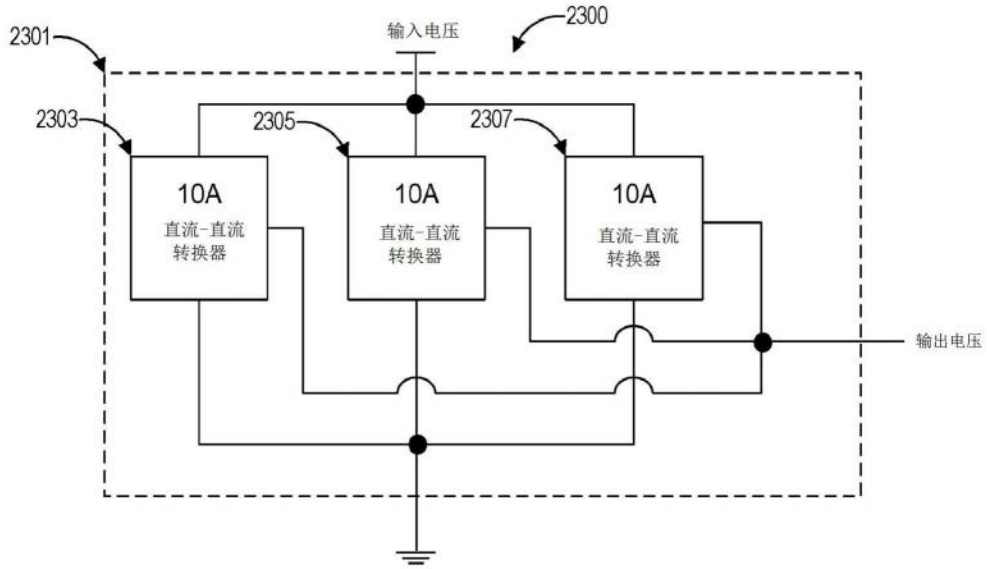


图23A

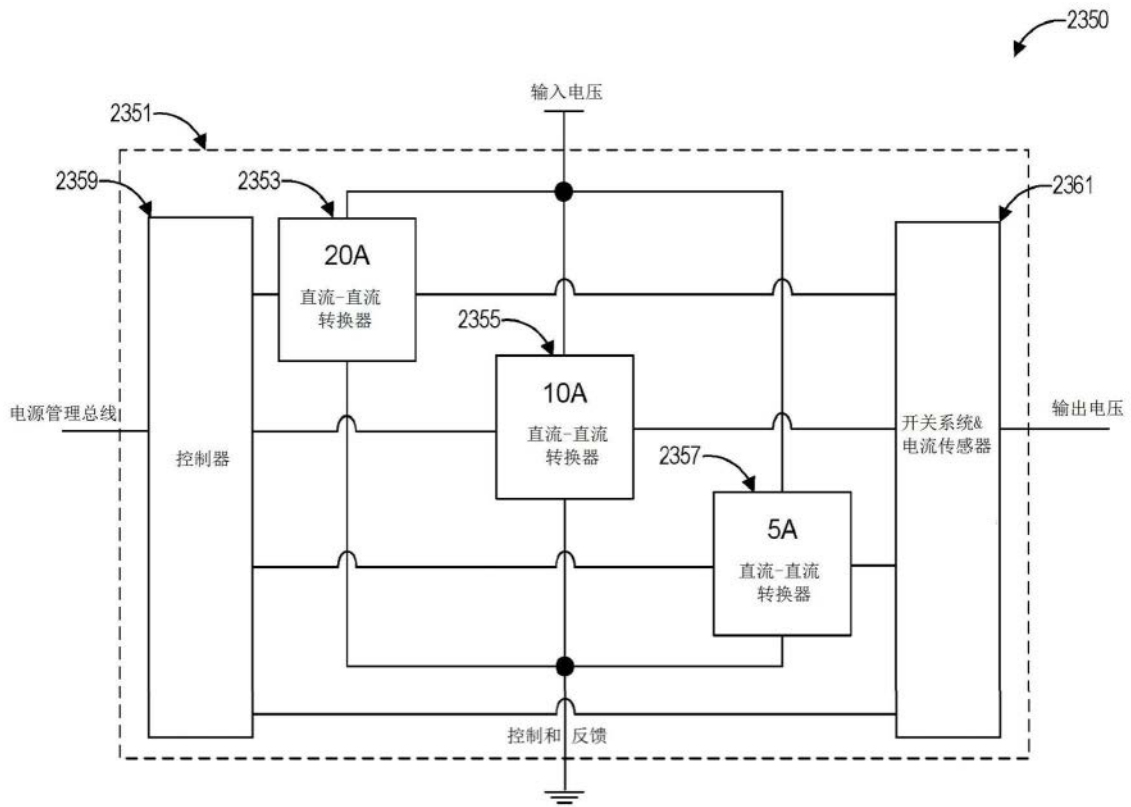


图23B

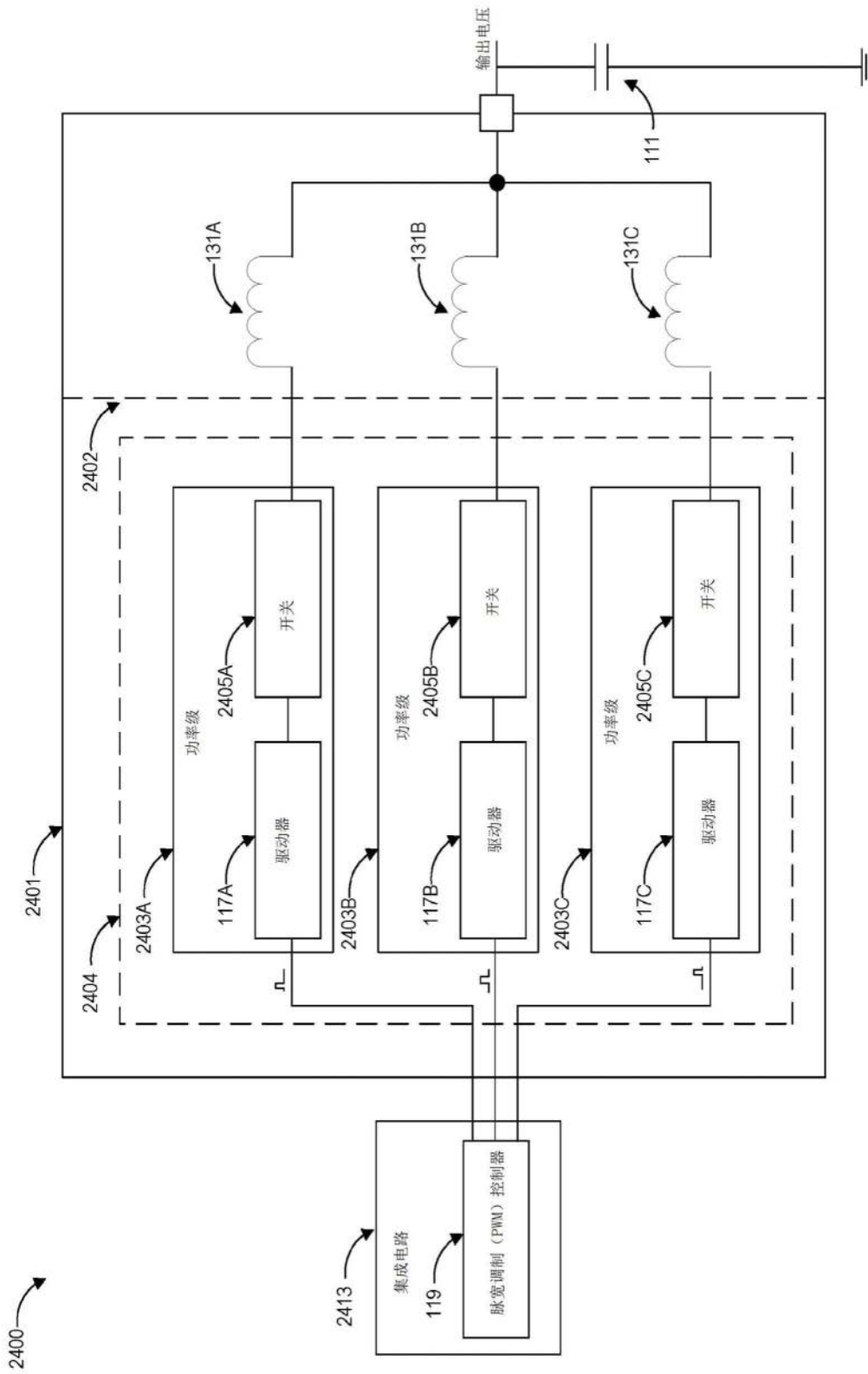


图24A

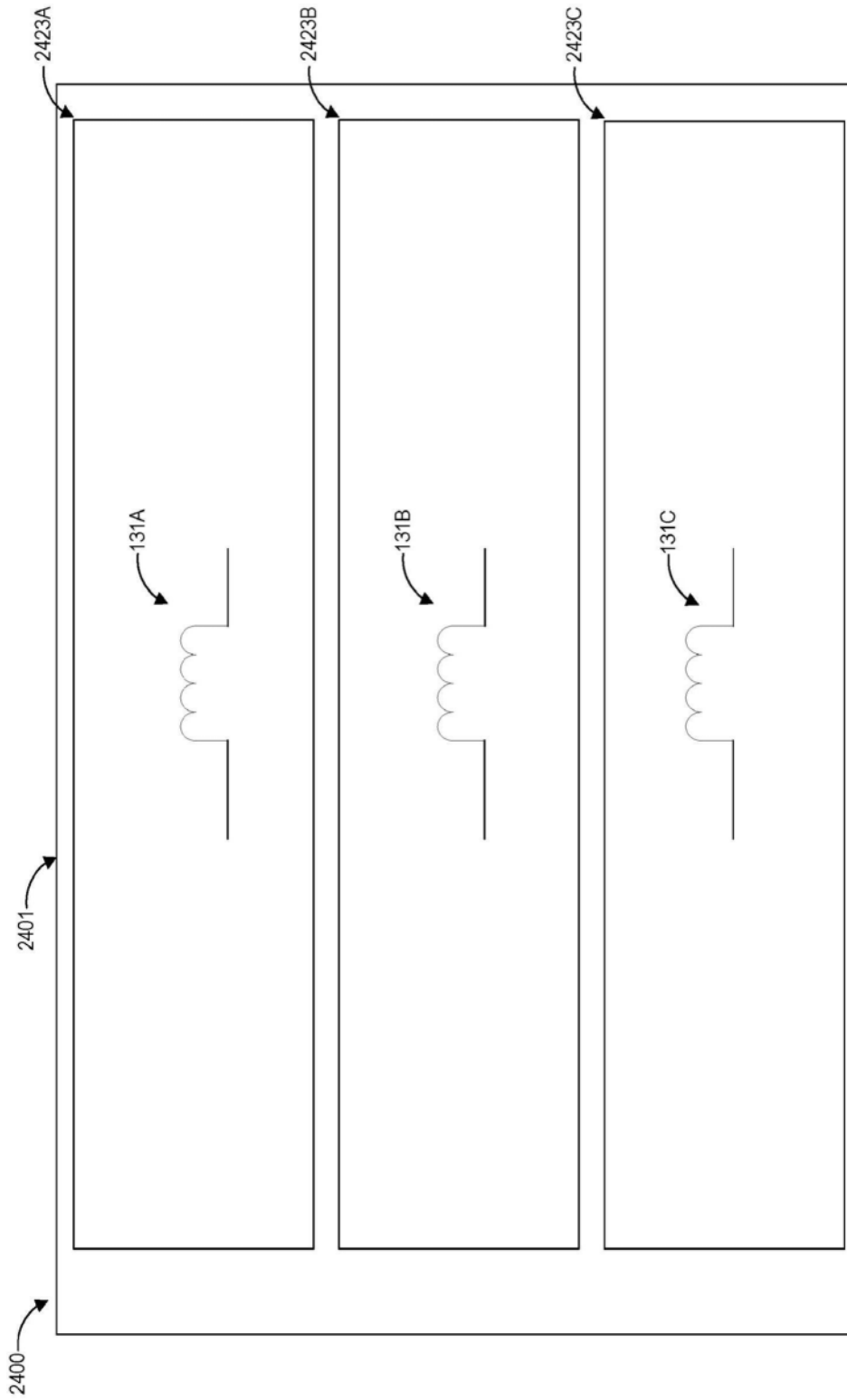


图24B

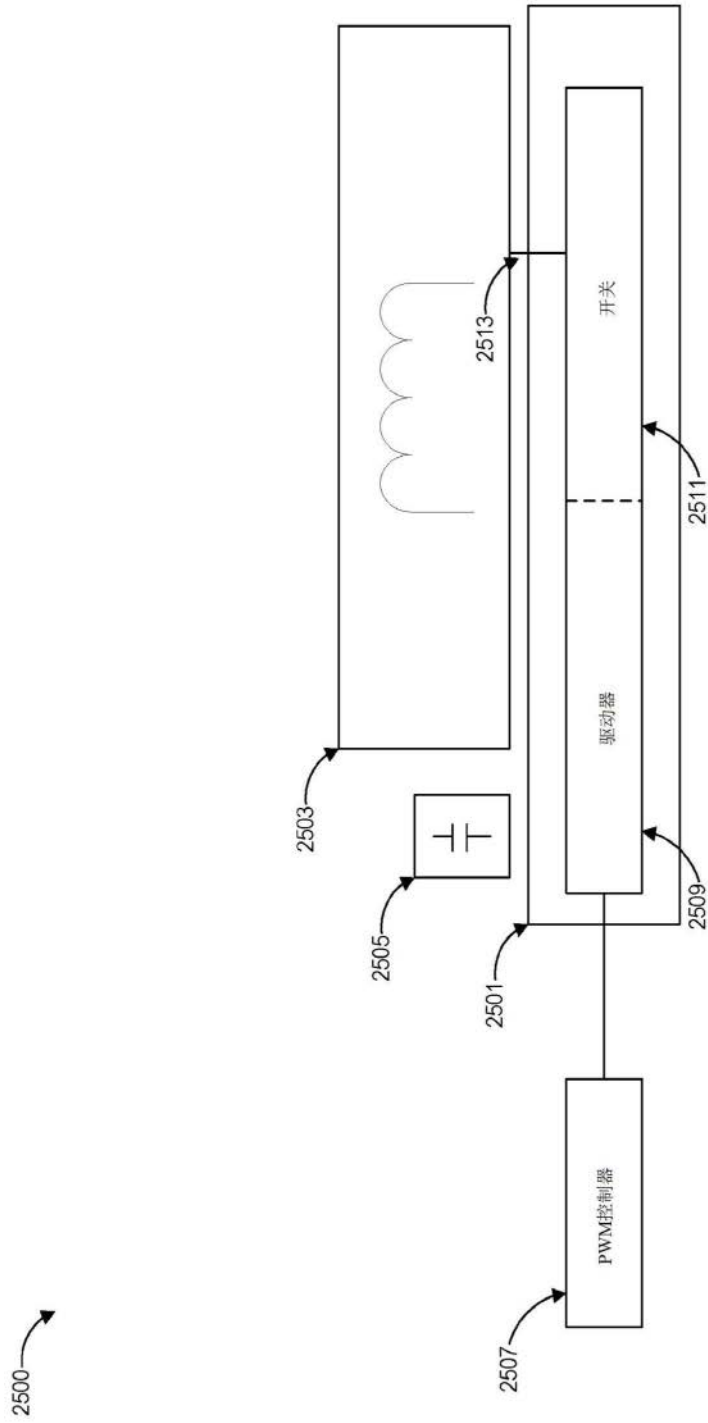


图25

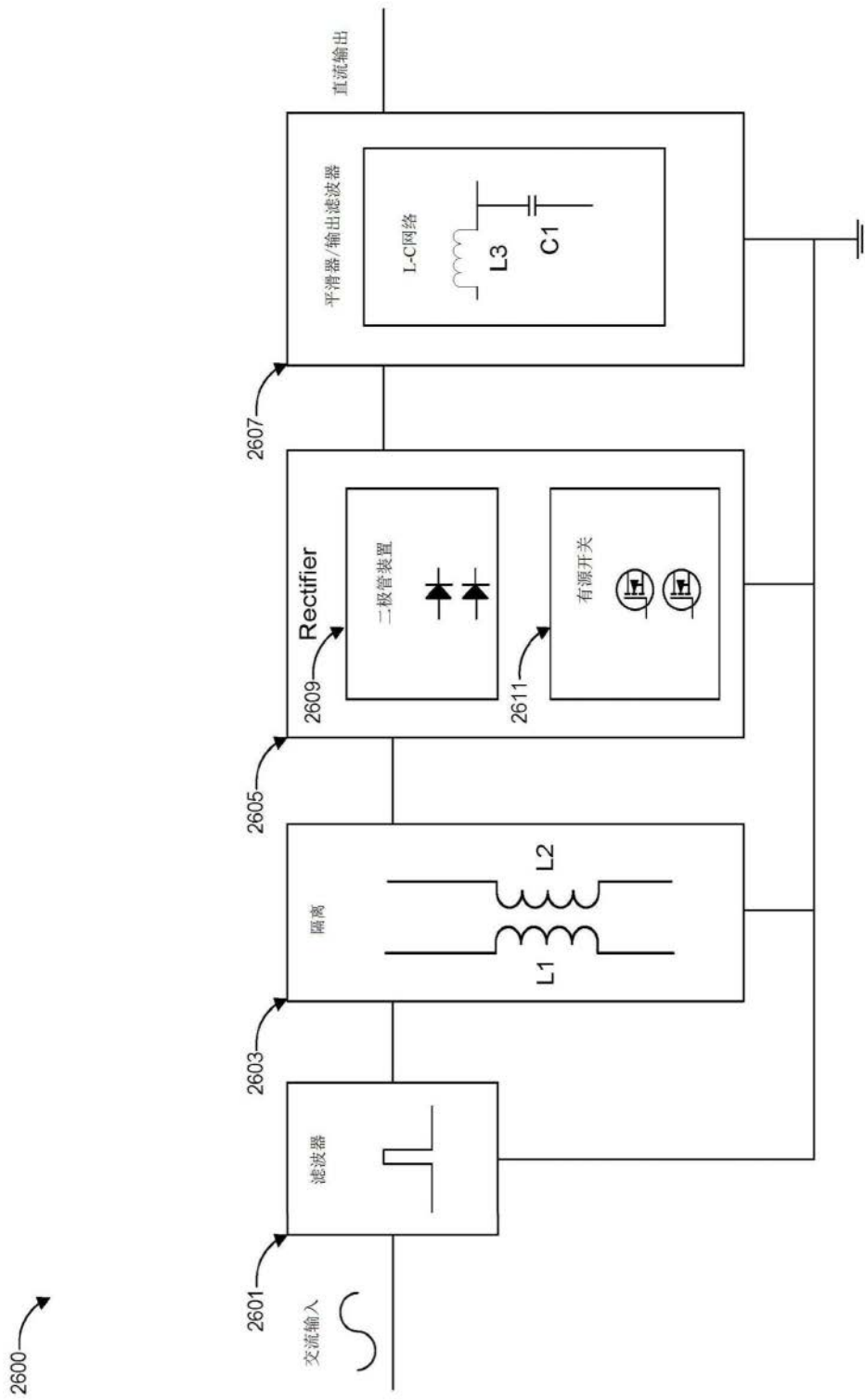


图26A

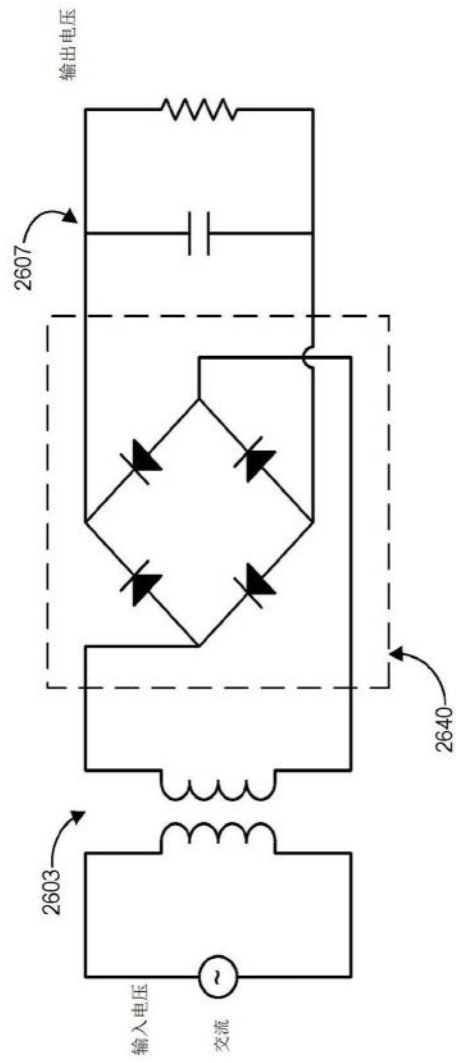


图26B

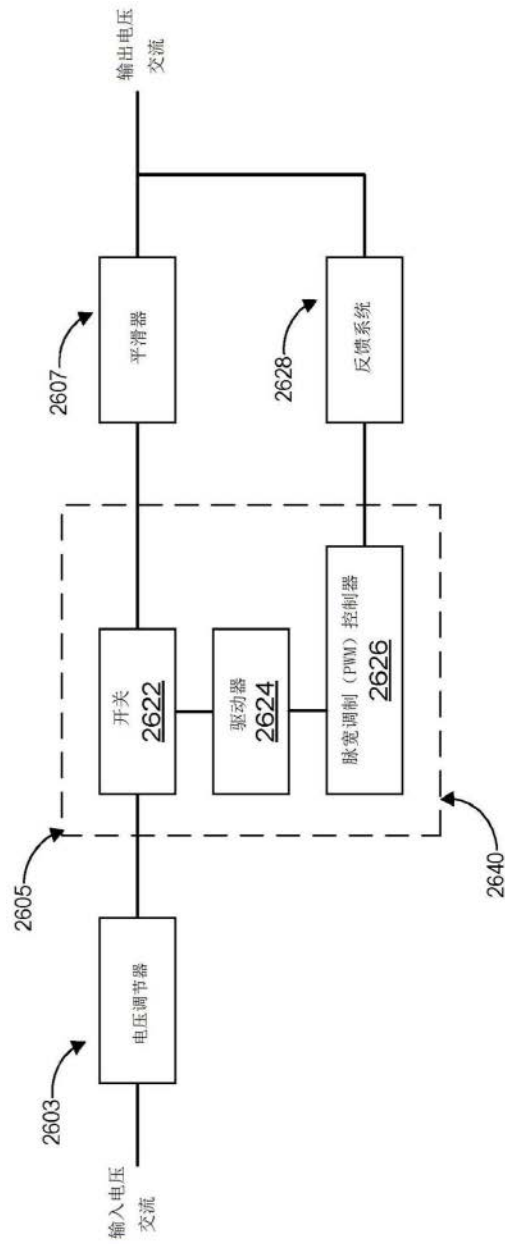


图26C