



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104539165 B

(45)授权公告日 2017.06.23

(21)申请号 201410855769.1

H02M 1/00(2007.01)

(22)申请日 2014.12.31

G01R 31/40(2014.01)

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104539165 A

(56)对比文件

CN 101164221 A,2008.04.16,
US 2011/0187335 A1,2011.08.04,
CN 102413622 A,2012.04.11,
CN 204376716 U,2015.06.03,
CN 104009620 A,2014.08.27,

(43)申请公布日 2015.04.22

(73)专利权人 杭州茂力半导体技术有限公司
地址 310012 浙江省杭州市西湖区西斗门
路三号天堂软件园D幢15-16楼

审查员 王伟

(72)发明人 刘白仁 盛立丞 余波 秦鸿强
赵启明 旷乃兴 杨先庆

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 王波波

(51)Int.Cl.

H02M 3/335(2006.01)

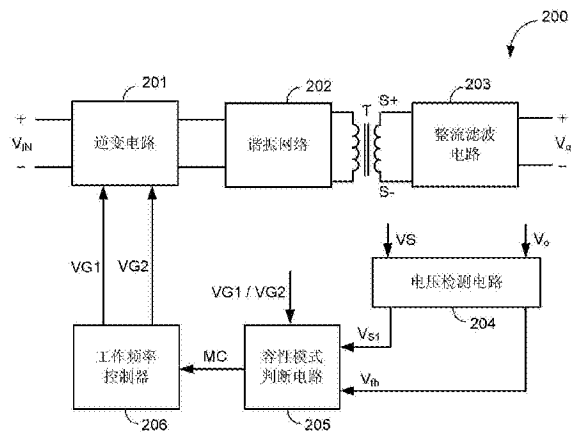
权利要求书3页 说明书9页 附图12页

(54)发明名称

用于谐振变换器的容性模式检测电路和方法及谐振变换器

(57)摘要

公开了用于谐振变换器的容性模式检测电路、容性模式检测方法及谐振变换器。该谐振变换器包括具有一对开关管的逆变电路、谐振网络、具有原边绕组和副边绕组的隔离变压器以及为负载提供直流输出电压的整流滤波电路,该容性模式检测方法包括:检测副边绕组的电压,产生与副边绕组电压有关的电压检测信号;检测整流滤波电路的输出电压,产生与输出电压有关的电压检测阈值;在该一对开关管中任一开关管的关断时刻将电压检测信号和电压检测阈值相比较;以及根据比较结果产生指示谐振变换器是否进入容性模式的模式标识信号。



1. 一种谐振变换器,包括:

 逆变电路,包括一对开关管,所述一对开关管由第一控制信号和第二控制信号控制,将输入的直流电压转换成方波电压;

 谐振网络,耦接至逆变电路以接收方波电压;

 隔离变压器,包括原边绕组和副边绕组,其中原边绕组耦接至谐振网络,副边绕组具有第一端和第二端;

 整流滤波电路,耦接至隔离变压器的副边绕组,整流滤波电路在其输出端为负载提供直流输出电压;

 电压检测电路,耦接至副边绕组,对副边绕组的电压进行检测以产生与副边绕组电压有关的电压检测信号,电压检测电路还耦接至整流滤波电路的输出端以接收输出电压,并产生与输出电压有关的电压检测阈值;

 容性模式判断电路,耦接至电压检测电路以接收电压检测信号和电压检测阈值,在所述一对开关管中任一开关管的关断时刻将电压检测信号和电压检测阈值相比较,基于比较结果,产生指示谐振变换器是否进入容性模式的模式标识信号;以及

 工作频率控制器,用于产生所述第一控制信号和第二控制信号,工作频率控制器还耦接至容性模式判断电路以接收模式标识信号,并在谐振变换器进入容性模式时,提高所述第一控制信号和第二控制信号的频率。

2. 如权利要求1所述的谐振变换器,其中副边绕组电压包括副边绕组第一端或第二端的电压。

3. 如权利要求1所述的谐振变换器,其中副边绕组电压包括副边绕组第一端与第二端的电压之差。

4. 如权利要求1所述的谐振变换器,其中逆变电路是由四个开关管构成的全桥结构。

5. 如权利要求1所述的谐振变换器,其中逆变电路是由两个开关管构成的半桥结构。

6. 如权利要求1所述的谐振变换器,其中谐振网络由电容器、第一电感器和第二电感器组成,第二电感器与隔离变压器的原边绕组并联。

7. 如权利要求1所述的谐振变换器,其中谐振网络由电容器、第一电感器组成,其中电容器、第一电感器以及隔离变压器的原边绕组串联。

8. 如权利要求1所述的谐振变换器,其中整流滤波电路包括:

 桥式整流电路,包括四个整流二极管,其中第一整流二极管的阳极和第三整流二极管的阴极耦接至副边绕组的第一端,第二整流管的阴极和第四整流管的阳极耦接至副边绕组的第二端;以及

 输出电容器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一整流二极管的阴极和第四整流二极管的阴极,第二端耦接至第二整流二极管的阳极、第三整流二极管的阳极以及副边参考地。

9. 如权利要求8所述的谐振变换器,其中电压检测电路包括:

 第一电阻分压电路,并联耦接在副边绕组的第一端与副边参考地之间,第一电阻分压电路在其输出端提供电压检测信号;以及

 第二电阻分压电路,与输出电容器并联,第二电阻分压电路在其输出端提供电压检测阈值。

10. 如权利要求1所述的谐振变换器,其中:

隔离变压器的副边绕组还具有中心抽头,该中心抽头耦接至副边参考地;

整流滤波电路包括:

全波整流电路,包括两个整流二极管,其中第一整流二极管的阳极耦接至副边绕组的第一端,第二整流管的阳极耦接至副边绕组的第二端;以及

输出电容器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一整流二极管的阴极和第二整流二极管的阴极,第二端耦接至副边参考地。

11. 如权利要求10所述的谐振变换器,其中电压检测电路包括:

第一电阻分压网络,包括:

第一电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至副边绕组的第一端;

第二电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一电阻器的第二端,第二端耦接至输出电容器的第一端;

第三电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第二电阻器的第一端,第二端耦接至副边参考地,第一电阻分压网络在第二电阻器的第一端提供电压检测信号;以及

第二电阻分压网络,与输出电容器并联,第二电阻分压网络在其输出端提供电压检测阈值。

12. 如权利要求1所述的谐振变换器,其中容性模式判断电路包括:

第一比较器,具有同相输入端、反相输入端以及输出端,其中同相输入端接收电压检测阈值,反相输入端接收电压检测信号,第一比较器在其输出端提供第一比较信号;

第一反相器,具有输入端和输出端,其中输入端耦接至第一控制信号;以及

第一D触发器,具有参考输入端、上升沿触发端以及输出端,其中参考输入端接收第一比较信号,上升沿触发端耦接至第一反相器的输出端,第一D触发器在其输出端提供模式标识信号。

13. 如权利要求1所述的谐振变换器,其中容性模式判断电路包括:

第二比较器,具有同相输入端、反相输入端以及输出端,其中同相输入端接收电压检测信号,反相输入端接收电压检测阈值,第二比较器在其输出端提供第二比较信号;

第二反相器,具有输入端和输出端,其中输入端耦接至第二控制信号;以及

第二D触发器,具有参考输入端、上升沿触发端以及输出端,其中参考输入端接收第二比较信号,上升沿触发端耦接至第二反相器的输出端,第二D触发器在其输出端提供模式标识信号。

14. 一种用于谐振变换器的容性模式检测电路,该谐振变换器包括具有一对开关管的逆变电路、谐振网络、具有原边绕组和副边绕组的隔离变压器以及耦接至变压器的副边绕组为负载提供直流输出电压的整流滤波电路,其中所述逆变电路将输入的直流电压转换成方波电压,谐振网络耦接至逆变电路以接收方波电压,原边绕组耦接至谐振网络,该容性模式检测电路包括:

电压检测电路,耦接至隔离变压器的副边绕组,对副边绕组的电压进行检测以产生与副边绕组电压有关的电压检测信号,电压检测电路还耦接至整流滤波电路以接收输出电压,产生与输出电压有关的电压检测阈值;以及

容性模式判断电路,耦接至电压检测电路以接收电压检测信号和电压检测阈值,在所

述一对开关管中任一开关管的关断时刻将电压检测信号和电压检测阈值相比较,基于比较结果,产生指示谐振变换器是否进入容性模式的模式标识信号。

15. 如权利要求14所述的容性模式检测电路,其中隔离变压器的副边绕组具有第一端和第二端,所述副边绕组的电压包括副边绕组第一端或第二端的电压。

16. 如权利要求14所述的容性模式检测电路,其中隔离变压器的副边绕组具有第一端和第二端,所述副边绕组的电压包括副边绕组第一端与第二端的电压之差。

17. 一种用于谐振变换器的容性模式检测方法,该谐振变换器包括具有一对开关管的逆变电路、谐振网络、具有原边绕组和副边绕组的隔离变压器以及耦接至变压器的副边绕组为负载提供直流输出电压的整流滤波电路,其中所述逆变电路将输入的直流电压转换成方波电压,谐振网络耦接至逆变电路以接收方波电压,原边绕组耦接至谐振网络,该容性模式检测方法包括:

检测副边绕组的电压,产生与副边绕组电压有关的电压检测信号;

检测整流滤波电路的输出电压,产生与输出电压有关的电压检测阈值;

在所述一对开关管中任一开关管的关断时刻将电压检测信号和电压检测阈值相比较;
以及

根据比较结果产生指示谐振变换器是否进入容性模式的模式标识信号。

18. 如权利要求17所述的容性模式检测方法,其中隔离变压器的副边绕组具有第一端和第二端,所述检测副边绕组的电压包括检测副边绕组第一端或第二端的电压。

19. 如权利要求17所述的容性模式检测方法,其中隔离变压器的副边绕组具有第一端和第二端,所述检测副边绕组的电压包括检测副边绕组第一端与第二端的电压之差。

用于谐振变换器的容性模式检测电路和方法及谐振变换器

技术领域

[0001] 本发明涉及电子电路,具体但不限于涉及容性模式检测电路、容性模式检测方法及使用该电路的谐振变换器。

背景技术

[0002] 图1为现有的半桥LLC谐振变换器100的简化示意图。图1中,谐振变换器100包括逆变电路101、谐振网络102、隔离变压器T以及整流滤波电路103。逆变电路101采用半桥结构,包括串联连接在直流电压源 V_{IN} 两端的高侧开关管M1和低侧开关管M2,这两个开关管由一对互补并且占空比恒定为0.5的控制信号来控制。通过交替驱动高侧开关管M1和低侧开关管M2,逆变电路101将直流电压 V_{IN} 转换为方波电压 V_d 。谐振网络102接收方波电压 V_d ,通过输出滤波电路103与负载耦接,为负载提供直流输出电压 V_o 。

[0003] 在现有技术中,谐振变换器采用原边控制,常常通过流入谐振网络102的原边输入电流 I_p 和施加在谐振网络102上方波电压 V_d 的相位差来进行感性/容性模式的判断。图2a和2b分别为谐振变换器100工作于感性和容性模式的关键波形图。如图2a所示,原边输入电流 I_p 滞后于方波电压 V_d ,谐振变换器100工作于感性模式,高侧开关管M1可以零电压开通。如图2b所示,输入电流 I_p 超前于方波电压 V_d ,谐振变换器100工作于容性模式,高侧开关管M1的体二极管在开关切换时发生反向恢复,引起较大的功率损耗。而且,这样的反向恢复过程较慢,可能使得高侧开关管M1与低侧开关管M2直通,引起电流尖峰和开关管故障问题。此外,电流尖峰还会引入严重的噪声。为此,我们总是希望谐振变换器100工作在感性模式,避免其工作于容性模式。然而,对于基于副边控制的谐振变换器,则很难采用上面所述的方法来进行感性/容性模式的判断。

发明内容

[0004] 为了解决前面描述的一个问题或者多个问题,本发明提出与现有技术不同的用于谐振变换器的容性模式检测电路、相应的谐振变换器和容性模式检测方法。

[0005] 根据本发明的一个方面,提出了一种谐振变换器,包括:逆变电路,包括一对开关管,该一对开关管由第一控制信号和第二控制信号控制,将输入的直流电压转换成方波电压;谐振网络,耦接至逆变电路以接收方波电压;隔离变压器,包括原边绕组和副边绕组,其中原边绕组耦接至谐振网络,副边绕组具有第一端和第二端;整流滤波电路,耦接至隔离变压器的副边绕组,整流滤波电路在其输出端为负载提供直流输出电压;电压检测电路,耦接至副边绕组,对副边绕组的电压进行检测以产生与副边绕组电压有关的电压检测信号,电压检测电路还耦接至整流滤波电路的输出端以接收输出电压,并产生与输出电压有关的电压检测阈值;容性模式判断电路,耦接至电压检测电路以接收电压检测信号和电压检测阈值,在该一对开关管中任一开关管的关断时刻将电压检测信号和电压检测阈值相比较,基于比较结果,产生指示谐振变换器是否进入容性模式的模式标识信号;以及工作频率控制器,用于产生该第一控制信号和第二控制信号,工作频率控制器还耦接至容性模式判断电

路以接收模式标识信号,并在谐振变换器进入容性模式时,提高该第一控制信号和第二控制信号的频率。

[0006] 根据本发明的另一个方面,提出了一种用于谐振变换器的容性模式检测电路,该谐振变换器包括具有一对开关管的逆变电路、谐振网络、具有原边绕组和副边绕组的隔离变压器以及为负载提供直流输出电压的整流滤波电路,该容性模式检测电路包括:电压检测电路,耦接至隔离变压器的副边绕组,对副边绕组的电压进行检测以产生与副边绕组电压有关的电压检测信号,电压检测电路还耦接至整流滤波电路以接收输出电压,产生与输出电压有关的电压检测阈值;以及容性模式判断电路,耦接至电压检测电路以接收电压检测信号和电压检测阈值,在该一对开关管中任一开关管的关断时刻将电压检测信号和电压检测阈值相比较,基于比较结果,产生指示谐振变换器是否进入容性模式的模式标识信号。

[0007] 根据本发明的又一个方面,提出了一种用于谐振变换器的容性模式检测方法,该谐振变换器包括具有一对开关管的逆变电路、谐振网络、具有原边绕组和副边绕组的隔离变压器以及为负载提供直流输出电压的整流滤波电路,该容性模式检测方法包括:检测副边绕组的电压,产生与副边绕组电压有关的电压检测信号;检测整流滤波电路的输出电压,产生与输出电压有关的电压检测阈值;在该一对开关管中任一开关管的关断时刻将电压检测信号和电压检测阈值相比较;以及根据比较结果产生指示谐振变换器是否进入容性模式的模式标识信号。

[0008] 根据本发明的实施例所提供的容性模式检测电路、谐振变换器及其容性模式检测方法,具有电路简单、成本低、易于实现等优点。

附图说明

[0009] 为了更好的理解本发明,将根据以下附图对本发明进行详细描述:

[0010] 图1为现有的半桥LLC谐振变换器100的简化示意图;

[0011] 图2a和2b分别为谐振变换器100工作于感性和容性模式的关键波形图;

[0012] 图3为根据本发明一实施例的具有容性模式检测功能的谐振变换器200的框图;

[0013] 图4为根据本发明一实施例的具有容性模式检测功能的谐振变换器300的简化示意图;

[0014] 图5a~5c分别为根据本发明一实施例的图4所示谐振变换器300在不同工作条件下的工作波形图;

[0015] 图6为根据本发明另一实施例的用于图4所示谐振变换器300的容性模式检测电路的简化示意图;

[0016] 图7为根据本发明又一实施例的用于图4所示谐振变换器300的容性模式判断电路505的简化示意图;

[0017] 图8a~8c分别为图6和7所示的实施例在不同工作条件下的工作波形图;

[0018] 图9为根据本发明再一实施例的用于图4所示谐振变换器300的容性模式判断电路605的简化示意图;

[0019] 图10为根据本发明另一实施例的具有容性模式检测功能的谐振变换器700的简化示意图;

[0020] 图11a和11b分别为根据本发明一实施例的图10所示谐振变换器700在不同工作频

率下的工作波形图；

[0021] 图12为根据本发明一实施例的用于谐振变换器的容性模式检测方法800的工作流程图。

[0022] 下面将参考附图详细说明本发明的具体实施方式。贯穿所有附图相同的附图标记表示相同的或相似的部件或特征。

具体实施方式

[0023] 下面将详细描述本发明的具体实施例，应当注意，这里描述的实施例只用于举例说明，并不用于限制本发明。在下面对本发明的详细描述中，为了更好地理解本发明，描述了大量的细节。然而，本领域技术人员将理解，没有这些具体细节，本发明同样可以实施。为了清晰明了地阐述本发明，本文简化了一些具体结构和功能的详细描述。此外，在一些实施例中已经详细描述过的类似的结构和功能，在其它实施例中不再赘述。尽管本发明的各项术语是结合具体的示范实施例来一一描述的，但这些术语不应理解为局限于这里阐述的示范实施方式。

[0024] 在整个说明书中，对“一个实施例”、“实施例”、“一个示例”或“示例”的提及意味着：结合该实施例或示例描述的特定特征、结构或特性被包含在本发明至少一个实施例中。因此，在整个说明书的各个地方出现的短语“在一个实施例中”、“在实施例中”、“一个示例”或“示例”不一定都指同一实施例或示例。此外，可以以任何适当的组合和/或子组合将特定的特征、结构或特性组合在一个或多个实施例或示例中。此外，本领域普通技术人员应当理解，在此提供的附图都是为了说明的目的，并且附图不一定是按比例绘制的。应当理解，当称“元件”“连接到”或“耦接”到另一元件时，它可以是直接连接或耦接到另一元件或者可以存在中间元件。相反，当称元件“直接连接到”或“直接耦接到”另一元件时，不存在中间元件。相同的附图标记指示相同的元件。这里使用的术语“和/或”包括一个或多个相关列出的项目的任何和所有组合。

[0025] 图3为根据本发明一实施例的具有容性模式检测功能的谐振变换器200的框图。谐振变换器200包括逆变电路201、谐振网络202、隔离变压器T、整流滤波电路203、容性模式检测电路以及工作频率控制器206。其中，逆变电路201包括一对开关管，该一对开关管由互补且占空比恒为0.5的第一控制信号VG1和第二控制信号VG2控制，将输入的直流电压 V_{IN} 转换为方波电压 V_d 。谐振网络202，耦接至逆变电路201以接收方波电压 V_d 。谐振网络202耦接至隔离变压器T的原边绕组。整流滤波电路203耦接至隔离变压器T的副边绕组，为负载提供直流输出电压 V_o 。

[0026] 容性模式检测电路包括电压检测电路204和容性模式判断电路205。电压检测电路204耦接至隔离变压器T的副边绕组，对副边绕组的电压 V_S 进行检测，用以产生与副边绕组电压 V_S 有关的电压检测信号 V_{S1} 。电压检测电路204还耦接至整流滤波电路203的输出端以接收输出电压 V_o ，在其输出端产生与输出电压 V_o 有关的电压检测阈值 V_{th} 。容性模式判断电路205在该一对开关管中任一开关管的关断时刻将电压检测信号 V_{S1} 和电压检测阈值 V_{th} 相比较，基于比较结果，产生指示谐振变换器200是否进入容性模式的模式标识信号MC。

[0027] 如图3所示，隔离变压器T的副边绕组具有第一端S+和第二端S-。在一个实施例中，副边绕组的电压 V_S 可以是副边绕组第一端S+的电压。在另一个实施例中，副边绕组的电压

VS可以是副边绕组第二端S-的电压或者副边绕组第一端与第二端的电压之差。

[0028] 工作频率控制器206用于产生第一控制信号VG1和第二控制信号VG2。此外,工作频率控制器206还耦接至容性模式判断电路205以接收模式标识信号MC。当模式标识信号MC指示谐振变换器200工作于感性模式时,工作频率控制器206基于与输出电压Vo有关的反馈信号来控制谐振变换器200的工作频率,即控制第一控制信号VG1和第二控制信号VG2的频率,以调节谐振变换器200的输出电压Vo。当模式标识信号MC指示谐振变换器200进入容性工作模式时,工作频率控制器205提高第一控制信号VG1和第二控制信号VG2的频率,以使得谐振变换器200尽快退出容性工作模式返回感性工作模式。

[0029] 图4为根据本发明一实施例的具有容性模式检测功能的谐振变换器300的简化示意图。图4中,谐振变换器300包括逆变电路301、谐振网络302、隔离变压器T、整流滤波电路303、容性模式检测电路以及工作频率控制器306。

[0030] 在图3所示的实施例中,逆变电路301采用半桥结构,包括高侧开关管M1和低侧开关管M2,这两个开关管串联耦接在直流电压源VIN的两端,分别由互补且占空比恒为0.5的第一控制信号VG1和第二控制信号VG2控制,以将输入的直流电压VIN转换为方波电压Vd。在另一个实施例中,逆变电路301是由四个开关管构成的全桥结构。

[0031] 谐振网络302包括由电容器Cs、第一电感器Ls和第二电感器LM组成的LLC串并联谐振网络,其中第二电感器LM与隔离变压器T的原边绕组Np并联。通常第二电感器LM为隔离变压器T的励磁电感。电容器Cs与第一电感器Ls决定第一谐振频率fr1,电容器Cs与第一电感器Ls、第二电感器LM决定第二谐振频率fr2,即:

$$[0032] \quad f_{r1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}}, \quad f_{r2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_s + L_M)C_s}}$$

[0033] 在图4所示的实施例中,整流滤波电路303耦接至隔离变压器T的副边绕组Ns,包括全波整流电路和输出电容器Co。全波整流电路包括第一和第二整流二极管D1和D2,其中第一整流二极管D1的阳极耦接至副边绕组的第一端S+,第二整流管D2的阳极耦接至副边绕组的第二端S-。输出电容器Co具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一整流二极管D1的阴极和第二整流二极管D2的阴极,第二端耦接至副边参考地。在其它实施例中,整流滤波电路303可具有其他结构。

[0034] 容性模式检测电路包括电压检测电路304和容性模式判断电路305。在图4所示的实施例中,电压检测电路304被设计为耦接至副边绕组的第一端S+,对副边绕组第一端S+的电压进行检测,产生的电压检测信号VSI是副边绕组第一端S+的电压VS+。

[0035] 根据工作频率和负载的不同,采用LLC串并联谐振网络的谐振变换器300具有三种工作情况:(1)工作频率大于第一谐振频率fr1,谐振变换器300工作于感性区;(2)工作频率小于第一谐振频率fr1且大于第二谐振频率fr2,由负载决定谐振变换器300工作于感性区还是容性区;(3)工作频率小于第二谐振频率fr2,谐振变换器300工作于容性区。

[0036] 图5a~5c分别为根据本发明一实施例的图4所示谐振变换器300在不同工作条件下的工作波形图。具体而言,图5a~5c分别依次给出第一控制信号VG1、第二控制信号VG2、方波电压Vd、原边侧的输入电流Ip、流过第二电感器LM的电流IM、副边侧输入电流Id、以及电压检测信号VSI在不同工作条件下的工作波形。其中,第一控制信号VG1和第二控制信号VG2

分别用于控制逆变电路301中高侧开关管M1和低侧开关管M2的通断。在实际应用中,为了避免高侧开关管M1与低侧开关管M2的直通问题,常常在第一控制信号VG1和第二控制信号VG2的方波脉冲之间增加一个合理的死区时间间隔。

[0037] 在5a~5c所示的实施例中,电压检测信号 V_{S1} 是副边绕组第一端S+的电压 V_{S+} ,容性模式判断电路305在高侧开关管M1的关断时刻,即 t_1 时刻,将电压检测信号 V_{S1} 和电压检测阈值 V_{th} 相比较以判断谐振变换器300的工作模式。若在 t_1 时刻电压检测信号 V_{S1} 大于电压检测阈值 V_{th} ,容性模式判断电路305产生具有第一电平的标识信号MC,指示谐振变换器300工作在感性模式。否则,标识信号MC具有第二电平,指示谐振变换器300工作在容模式。

[0038] 具体地,图5a中,谐振变换器300的工作频率大于第一谐振频率 f_{r1} 。原边输入电流 I_p 滞后于方波电压 V_d ,谐振变换器300工作于感性模式。根据前述的判断方式,在高侧开关管M1导通结束,即在 t_1 时刻时,电压检测信号 V_{S1} 大于电压检测阈值 V_{th} ,因此模式标识信号MC具有第一电平。

[0039] 图5b中,谐振变换器300的工作频率小于第一谐振频率 f_{r1} 且大于第二谐振频率 f_{r2} 。在图5b所示的实施例中,原边输入电流 I_p 滞后于方波电压 V_d ,谐振变换器300工作于感性模式。根据前述的判断方式,在高侧开关管M1导通结束,即在 t_1 时刻时,电压检测信号 V_{S1} 大于电压检测阈值 V_{th} ,因此模式标识信号MC具有第一电平。

[0040] 图5c中,谐振变换器300的工作频率小于第二谐振频率 f_{r2} ,原边输入电流 I_p 超前于方波电压 V_d ,谐振变换器300工作于容性模式。根据前述的判断方式,在高侧开关管M1导通结束,即在 t_1 时刻时,电压检测信号 V_{S1} 小于电压检测阈值 V_{th} ,因此模式标识信号MC具有第二电平。

[0041] 在5a~5c所示的实施例中,电压检测信号 V_{S1} 是副边绕组第一端S+的电压 V_{S+} 。在另一个实施例中,电压检测信号 V_{S1} 是副边绕组第二端S-的电压 V_{S-} 。为说明方便,结合附图5a~5c在下表中分别给出了上述两种实施例的工作情况。

[0042]

工作频率 f_s		V_{S1}	判断时刻	V_{th}	判断方式	MC
$f_s > f_{r1}$	实施例一	V_{S+}	t_1	$-0.95V_o$	$V_{S1} > V_{th}?$	第一电平
$f_{r2} < f_s < f_{r1}$						第一电平
$f_s < f_{r2}$						第二电平
$f_s > f_{r1}$	实施例二	V_{S-}	t_1	$0.95V_o$	$V_{S1} < V_{th}?$	第一电平
$f_{r2} < f_s < f_{r1}$						第一电平
$f_s < f_{r2}$						第二电平

[0043] 如上表的两个实施例所示,电压检测电路304耦接至副边绕组的第一端S+或第二端S-对副边绕组电压 V_S 进行检测,这两个实施例获得的电压检测信号 V_{S1} 与电压检测阈值 V_{th} 相比较均可以实现对容性/感性模式的判断。但电压检测阈值 V_{th} 、判断方式在不同的实施例下是变化的,电压检测阈值 V_{th} 的取值与电压检测信号 V_{S1} 、判断方式有关。尽管在上表

给出的两个实施例中,电压检测阈值 V_{th} 被设定为特定的值,本领域的普通技术人员应当理解,在其它实施例中,电压检测阈值 V_{th} 可以是任意其他合适的值。

[0044] 图6为根据本发明另一实施例的用于图4所示谐振变换器300的容性模式检测电路的简化示意图。在图6所示的实施例中,整流滤波电路403包括桥式整流电路和输出电容器 C_o 。桥式整流电路包括四个整流二极管 $D1\sim D4$,其中第一整流二极管 $D1$ 的阳极和第三整流二极管 $D3$ 的阴极耦接至副边绕组的第一端 $S+$,第二整流管 $D2$ 的阴极和第四整流管 $D4$ 的阳极耦接至副边绕组的第二端 $S-$ 。输出电容器 C_o 具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一整流二极管 $D1$ 的阴极和第四整流二极管 $D4$ 的阴极,第二端耦接至第二整流二极管 $D2$ 的阳极、第三整流二极管 $D3$ 的阳极以及副边参考地。

[0045] 继续如图6所示,容性模式检测电路包括电压检测电路404和容性模式判断电路405。电压检测电路404耦接至副边绕组的第一端 $S+$,以检测副边绕组第一端的电压 V_{S+} 。电压检测电路404还耦接至整流滤波电路403的输出端以接收输出电压 V_o ,并产生与输出电压 V_o 有关的电压检测阈值 V_{th} 。电压检测电路404包括第一电阻分压电路441和第二电阻分压电路442。第一电阻分压电路441并联耦接在副边绕组的第一端 $S+$ 与副边参考地之间,包括电阻器 R_a 和 R_b ,其连接方式如图6所示。第一电阻分压电路441在输出端提供电压检测信号 V_{S1} 。第二电阻分压电路442与输出电容器 C_o 并联,包括电阻器 R_A 和 R_B ,其连接方式如图6所示。第二电阻分压电路442在其输出端提供电压检测阈值 V_{th} 。

[0046] 继续如图6所示,容性模式判断电路405包括第一比较器 $CMP1$ 、第一反相器 $N1$ 和第一D触发器 DA 。第一比较器 $CMP1$ 具有同相输入端、反相输入端和输出端,其中同相输入端耦接至电压检测阈值 V_{th} ,反相输入端耦接至电压检测信号 V_{S1} ,第一比较器 $CMP1$ 在其输出端提供第一比较信号。第一反相器 $N1$ 和第一D触发器 DA 一起,用于在高侧开关管 $M1$ 导通结束时,即控制高侧开关管 $M1$ 通断的第一控制信号 $VG1$ 的下降沿来临时,将第一比较信号在第一D触发器 DA 的输出端输出。第一反相器 $N1$ 具有输入端和输出端,其输入端接收第一控制信号 $VG1$,对第一控制信号 $VG1$ 进行反相。第一D触发器 DA 具有参考输入端、上升沿触发端以及输出端,其中参考输入端接收第一比较信号,上升沿触发端耦接至第一反相器 $N1$ 的输出端。第一D触发器 DA 在其输出端提供模式标识信号 MC 。

[0047] 在图6所示的实施例中,第一电阻分压电路441对副边绕组电压 V_S 进行检测,产生的电压检测信号 V_{S1} ,其中 $V_{S1}=K*V_S$, K 为第一电阻分压电路441的分压系数。电压检测阈值 V_{th} 被设定为大于0但接近0的小信号。在一个实施例中,电压检测阈值 V_{th} 被设定为 $0.05*K*V_o$,其中 $0.05*K$ 为第二电阻分压电路442的分压系数。

[0048] 图7为根据本发明又一实施例的用于图4所示谐振变换器300的容性模式判断电路505的简化示意图。图7所示的容性模式判断电路505与图6所示容性模式判断电路405的判断时刻不同。在图6所示的实施例中,容性模式判断电路405在高侧开关管 $M1$ 的关断时刻将电压检测信号 V_{S1} 和电压检测阈值 V_{th} 相比较,而在图7所示的实施例中,容性模式判断电路505在低侧开关管 $M2$ 的关断时刻比较。

[0049] 在图7所示的实施例中,容性模式判断电路505包括第二比较器 $CMP2$ 、第二反相器 $N2$ 和第二D触发器 DB 。第二比较器 $CMP2$ 具有同相输入端、反相输入端和输出端,其中同相输入端耦接至电压检测信号 V_{S1} ,反相输入端耦接至电压检测阈值 V_{th} ,第二比较器 $CMP2$ 在其输出端提供第二比较信号。第二反相器 $N2$ 和第二D触发器 DB 一起,用于在低侧开关管 $M2$ 导通结

束时,即控制低侧开关管M2通断的第二控制信号VG2的下降沿来临时,将第二比较信号在第二D触发器DB的输出端输出。第二反相器N2具有输入端和输出端,其输入端接收第二控制信号VG2,对第二控制信号VG2进行反相。第二D触发器DB具有参考输入端、上升沿触发端以及输出端,其中参考输入端接收第二比较信号,上升沿触发端耦接至第二反相器N2的输出端。第二D触发器DB在其输出端提供模式标识信号MC。在图7所示的实施例中,电压检测阈值 V_{th} 被设定为小于 $K*V_o$ 但接近 $K*V_o$ 的值。在一个实施例中,电压检测阈值 V_{th} 被设定为 $0.95*K*V_o$,其中 $0.95*K$ 为第二电阻分压电路442的分压系数。下表结合图8a~8c中给出了图6和7所示实施例的工作情况。

[0050]

工作频率 f_s		V_{S1}	判断时刻	V_{th}	判断方式	MC
$f_s > f_{r1}$	实施例三	V_{S+}	t1	$0.05*K*V_o$	$V_{S1} > V_{th}?$	0
$f_{r2} < f_s < f_{r1}$						0
$f_s < f_{r2}$						1
$f_s > f_{r1}$	实施例四	V_{S+}	t2	$0.95*K*V_o$	$V_{S1} < V_{th}?$	0
$f_{r2} < f_s < f_{r1}$						0
$f_s < f_{r2}$						1

[0051] 图8a~8c分别为图6和7所示的实施例在不同工作条件下的工作波形图。具体而言,图8a~8c分别依次给出第一控制信号VG1、第二控制信号VG2、副边绕组电压VS以及电压检测信号 V_{S1} 在不同工作条件下的工作波形。如上表的两个实施例所示,在逆变电路301的高侧开关管M1与低侧开关管M2中任一开关管的关断时刻,将电压检测信号 V_{S1} 与电压检测阈值 V_{th} 相比较,均可以实现对容性/感性模式的判断。电压检测阈值 V_{th} 在不同的实施例下是变化的,其取值与电压检测信号 V_{S1} 、判断时刻、判断方式有关。

[0052] 图9为根据本发明再一实施例的用于图4所示谐振变换器300的容性模式判断电路605的简化示意图。图9为图6中容性模式判断电路405与图7所示的容性模式判断电路505的组合,其结构和功能在此不再赘述。

[0053] 图10为根据本发明另一实施例的具有容性模式检测功能的谐振变换器700的简化示意图。谐振变换器700包括逆变电路701、谐振网络702、隔离变压器T、整流滤波电路703、容性模式检测电路以及工作频率控制器706。

[0054] 在图10所示的实施例中,逆变电路701采用半桥结构,包括高侧开关管M1和低侧开关管M2,这两个开关管分别由第一控制信号VG1和第二控制信号VG2控制。谐振网络702耦接至逆变电路701的输出端以接收方波电压 V_d ,包括由电容器 C_s 、第一电感器 L_s 组成的LC串联谐振网络,其中电容器 C_s 、第一电感器 L_s 与隔离变压器T的原边绕组 N_p 串联。电容器 C_s 、第一电感器 L_s 决定谐振变换器700的谐振频率 f_r ,即:

[0055]
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}}$$

[0056] 如图10所示,隔离变压器T的副边绕组Ns具有第一端S+、第二端S-以及中心抽头,其中中心抽头接副边参考地。整流滤波电路703包括全波整流电路和输出电容器Co。

[0057] 在图10所示的实施例中,容性模式检测电路包括电压检测电路704和容性模式判断电路705。电压检测电路704包括第一电阻分压网络741和第二电阻分压网络742。第一电阻分压网络741包括电阻器R1~R3。第一电阻器R1具有第一端和第二端,其中第一端耦接至副边绕组的第一端S+。第二电阻器R2具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一电阻器R1的第二端,第二端耦接至输出电容器Co的第一端。第三电阻器R3具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一电阻器R1的第二端,第二端耦接至副边参考地。第一电阻分压网络741在第二电阻器R2的第一端提供电压检测信号Vs1。第二电阻分压网络742与输出电容器Co并联,包括第四和第五电阻器R4和R5,其连接方式如图10所示。第二电阻分压网络742在其输出端提供电压检测阈值Vth。在一个实施例中,第一电阻器R1和第二电阻器R2的电阻值相等。第三电阻器R3和第五电阻器R5的电阻值相等,第四电阻器R4的阻值等于第一电阻器R1的阻值的一半。在其它实施例中,上述电阻器具有其他合适的阻值关系。第一电阻分压网络741对交流的副边绕组电压VS进行检测,产生直流的、幅值为K1*Vo的电压检测信号Vs1,其中K1为第一电阻分压网络741的分压系数。电压检测阈值Vth被设定为大于0但接近0的小信号。在一个实施例中,电压检测阈值Vth被设定为0.05*K1*Vo,其中0.05*K1为第二电阻分压网络742的分压系数。

[0058] 采用LC串联谐振网络的谐振变换器700具有两种工作情况:(1)工作频率大于谐振频率fr;(2)工作频率小于谐振频率fr。

[0059] 在图10所示的实施例中,容性模式判断电路705被设计为在高侧开关管M1的关断时刻,将电压检测信号Vs1和电压检测阈值Vth相比较以判断谐振变换器700的工作模式。若在该时刻电压检测信号Vs1大于电压检测阈值Vth,容性模式判断电路705产生具有第一电平的标识信号MC,指示谐振变换器700工作在感性模式。否则,容性模式判断电路705产生标识信号MC具有第二电平,指示谐振变换器700工作于容性模式。

[0060] 下面参照图11a和11b说明谐振变换器700在不同工作频率下的工作情况。图11a和11b分别为根据本发明一实施例的图10所示谐振变换器700在不同工作频率下的工作波形图。具体而言,图11a和11b分别依次给出第一控制信号VG1、第二控制信号VG2、方波电压Vd、原边侧的输入电流Ip、副边侧输入电流Id、副边绕组电压VS、以及电压检测信号Vs1在不同工作频率下的工作波形。

[0061] 具体地,图11a中,谐振变换器700的工作频率大于谐振频率fr,原边输入电流Ip滞后于方波电压Vd,谐振变换器300工作于感性模式。根据前述的判断方式,在高侧开关管M1导通结束,即在t1时刻时,电压检测信号Vs1大于电压检测阈值Vth,因此模式标识信号MC具有第一电平。

[0062] 图11b中,谐振变换器700的工作频率小于谐振频率fr,原边输入电流Ip超前于方波电压Vd,说明谐振变换器700工作于容性模式。根据前述的判断方式,在高侧开关管M1导通结束,即在t1时刻时,电压检测信号Vs1小于电压检测阈值Vth,因此模式标识信号MC具有第二电平。

[0063] 图12为根据本发明一实施例的用于谐振变换器的容性模式检测方法800的工作流程图。该谐振变换器包括具有一对开关管的逆变电路、谐振网络、具有原边绕组和副边绕组

的隔离变压器以及为负载提供直流输出电压的整流滤波电路,该容性模式检测方法包括步骤S801~S804:

[0064] 步骤S801:检测副边绕组的电压,产生与副边绕组电压有关的电压检测信号。

[0065] 步骤S802:检测整流滤波电路的输出电压,产生与输出电压有关的电压检测阈值。

[0066] 步骤S803:在该一对开关管中任一开关管关断时刻将电压检测信号和电压检测阈值相比较。

[0067] 步骤S804:根据比较结果产生指示谐振变换器是否进入容性模式的模式标识信号。

[0068] 具体地,隔离变压器的副边绕组具有第一端和第二端,在本发明的实施例中,副边绕组的电压可以是副边绕组第一端的电压、副边绕组第二端的电压或者副边绕组第一端与第二端的电压之差。

[0069] 虽然已参照几个典型实施例描述了本发明,但应当理解,所用的术语是说明和示例性、而非限制性的术语。由于本发明能够以多种形式具体实施而不脱离发明的精神或实质,所以应当理解,上述实施例不限于任何前述的细节,而应在随附权利要求所限定的精神和范围内广泛地解释,因此落入权利要求或其等效范围内的全部变化和改型都应随附权利要求所涵盖。

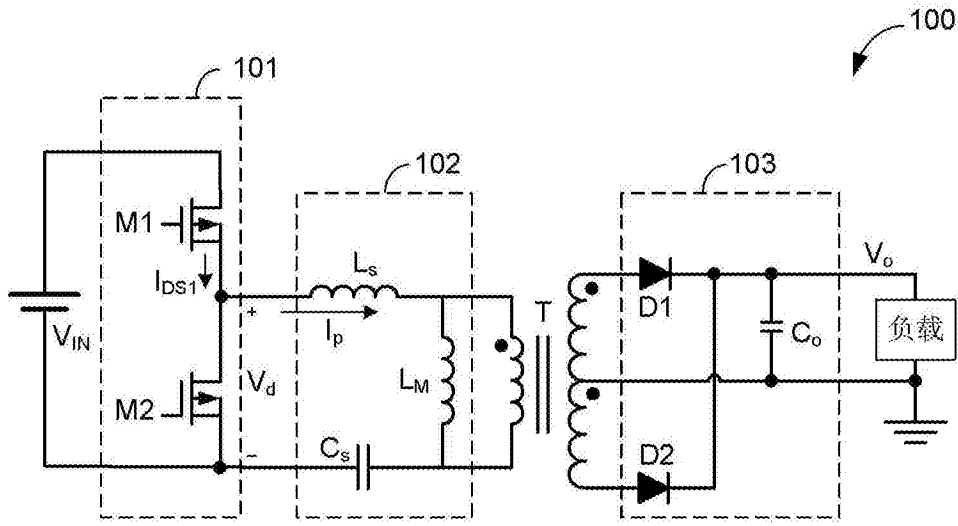


图1

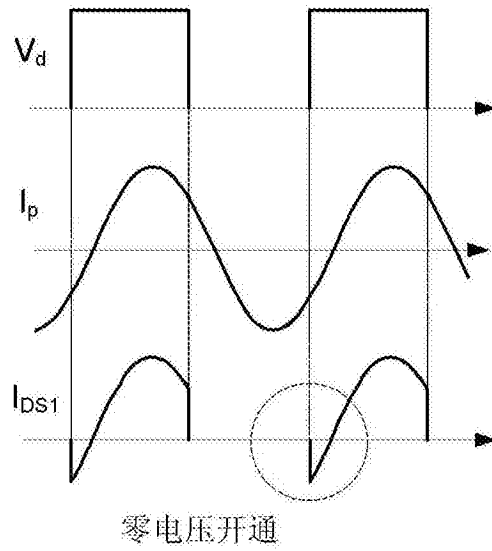


图2a

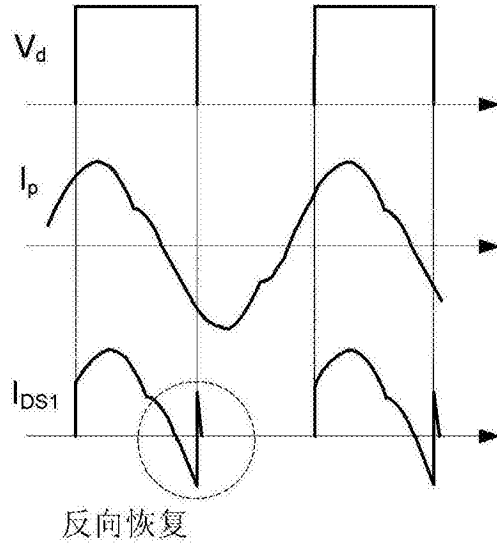


图2b

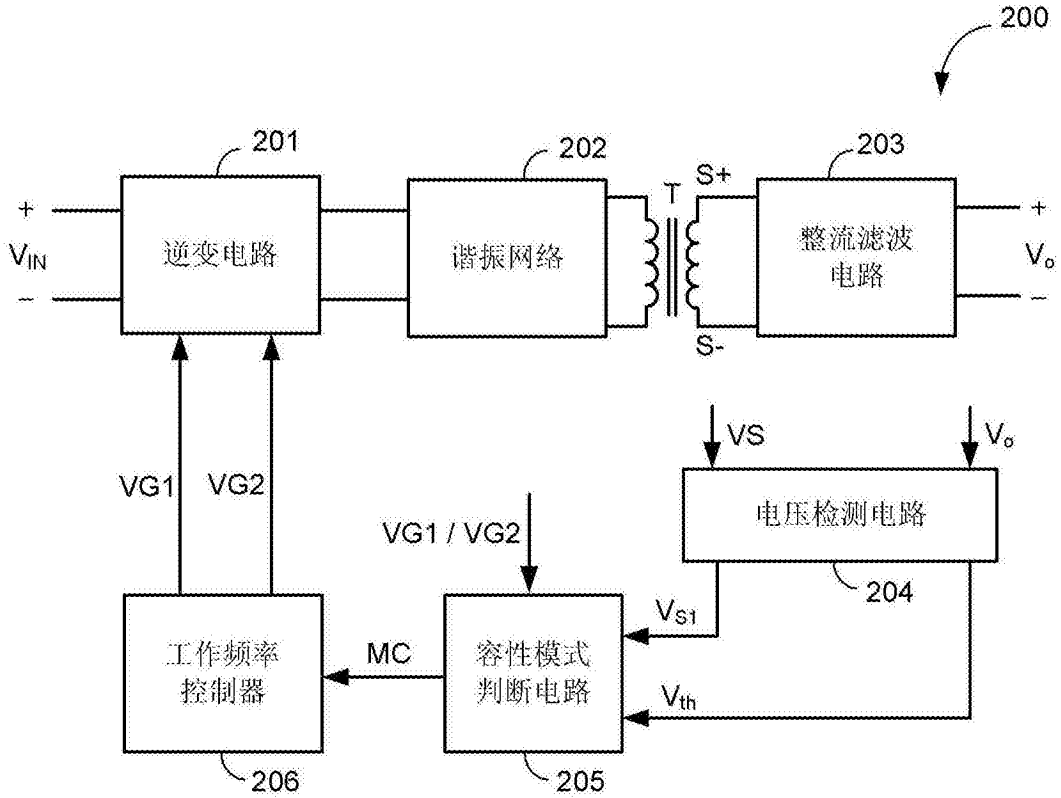


图3

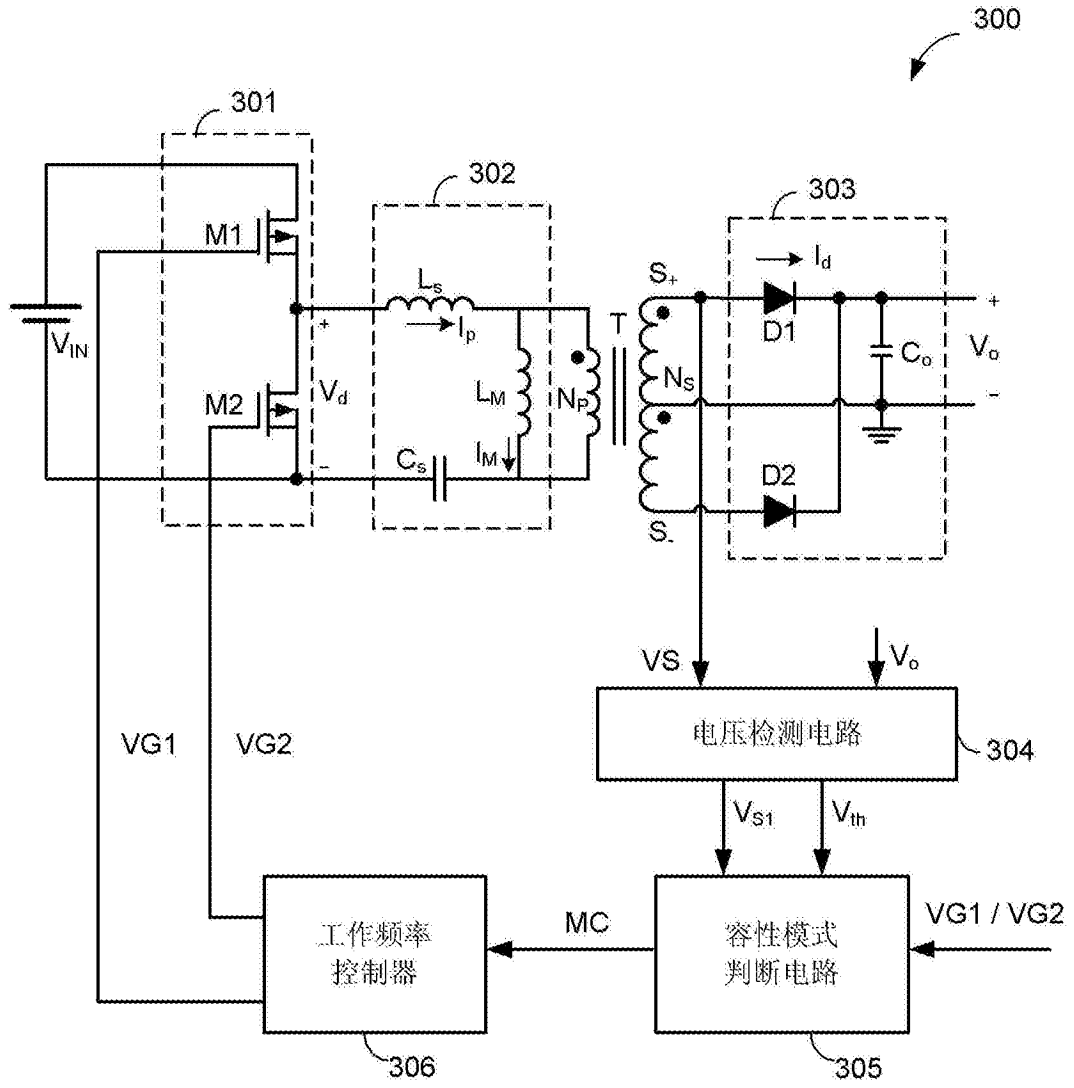


图4

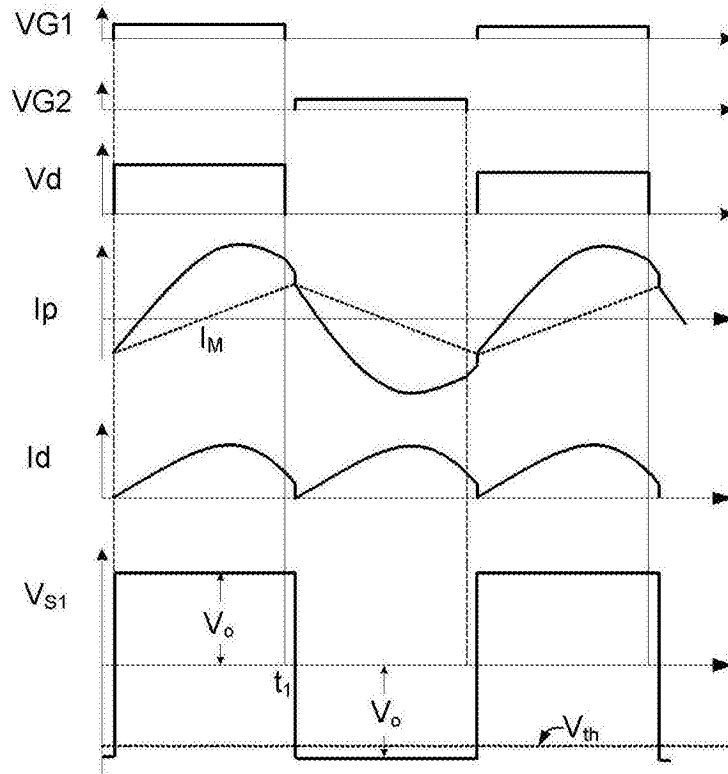


图5a

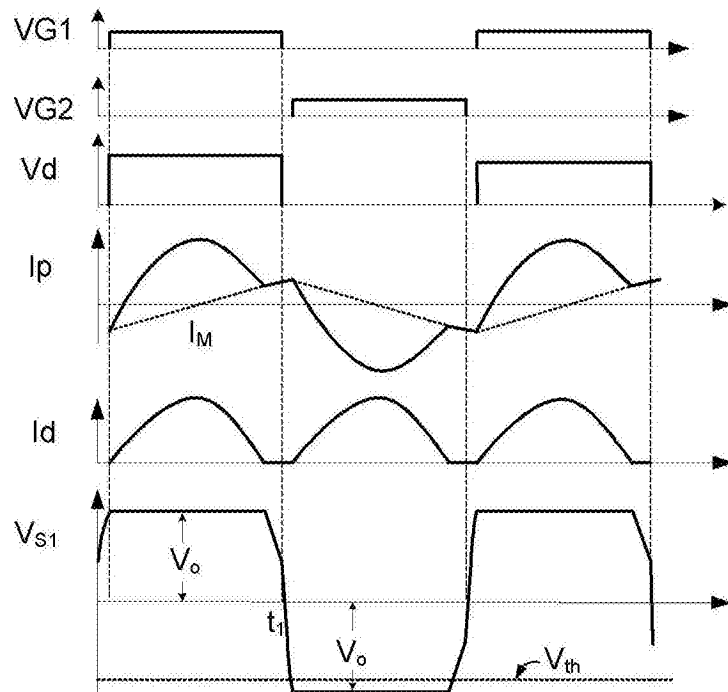


图5b

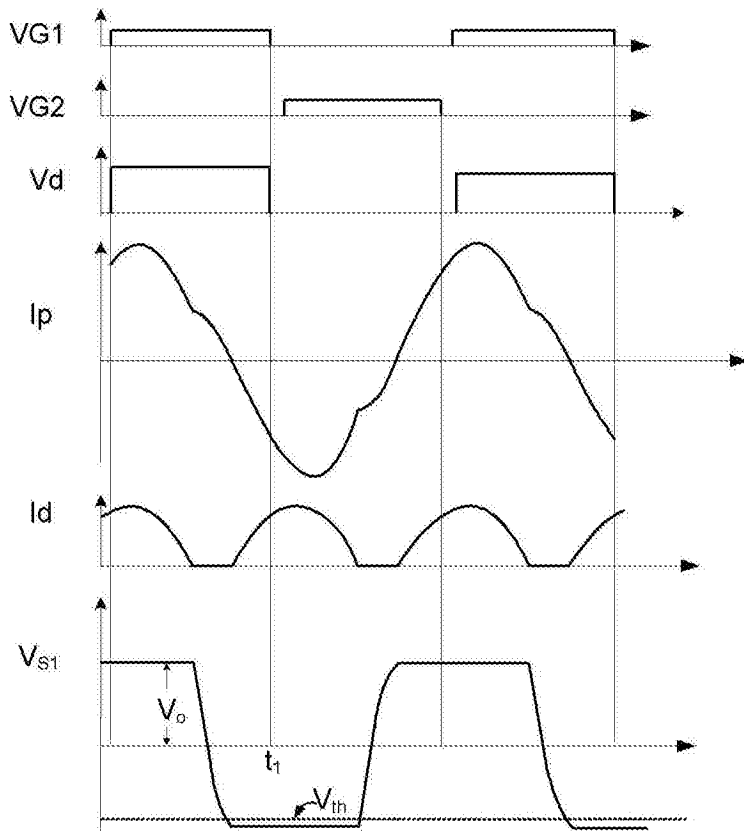


图5c

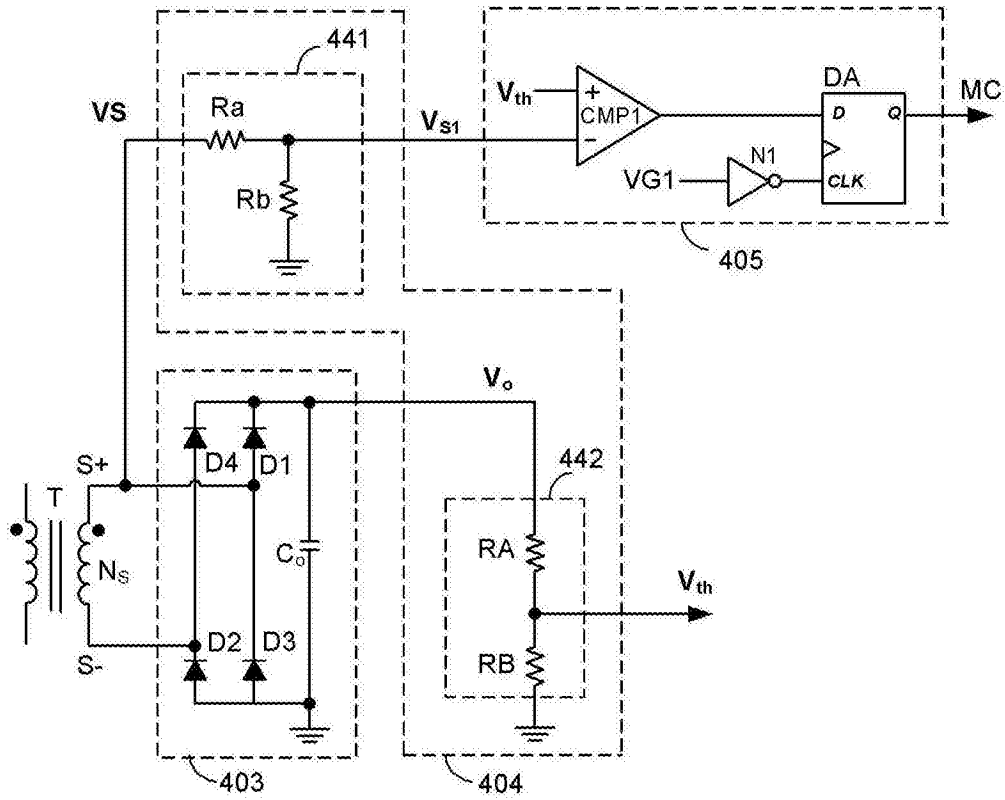


图6

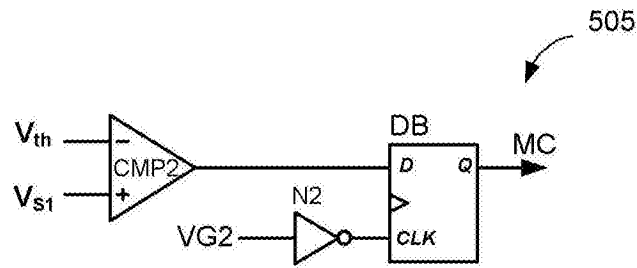


图7

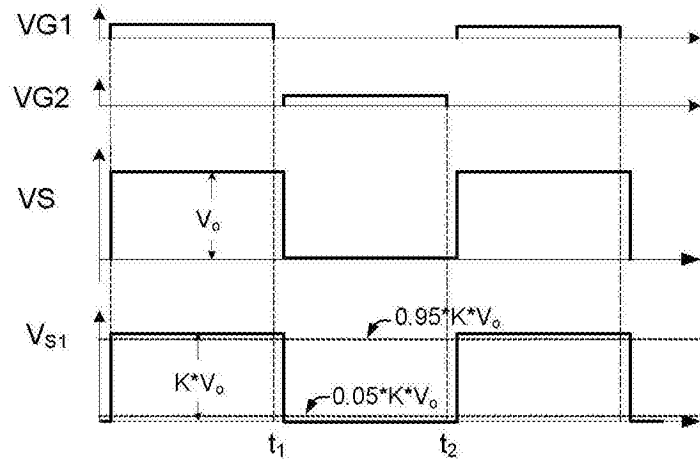


图8a

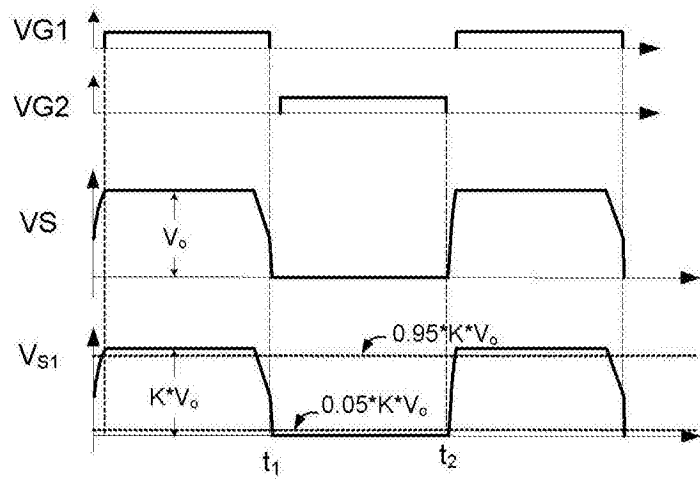


图8b

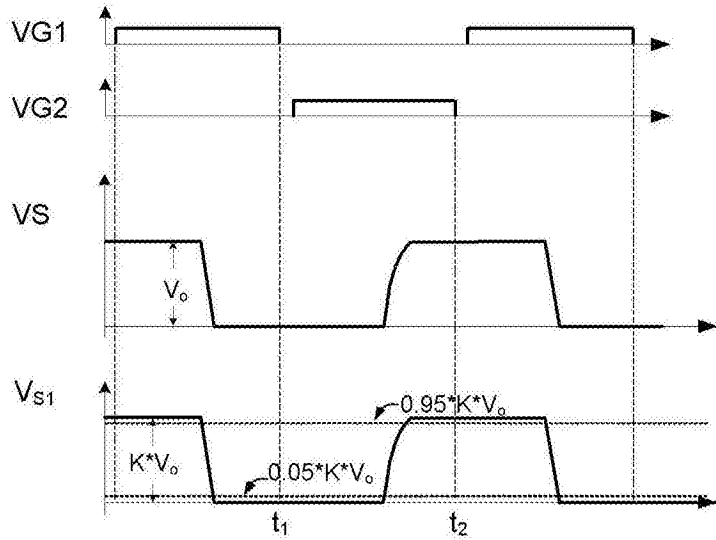


图8c

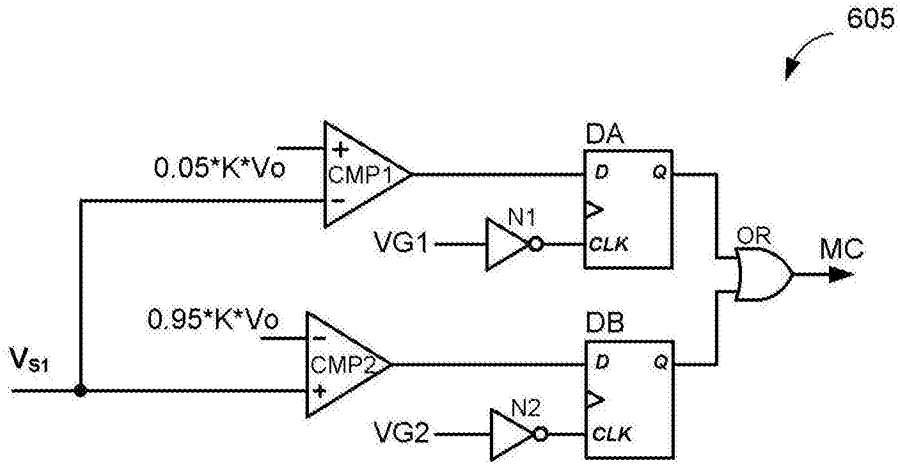


图9

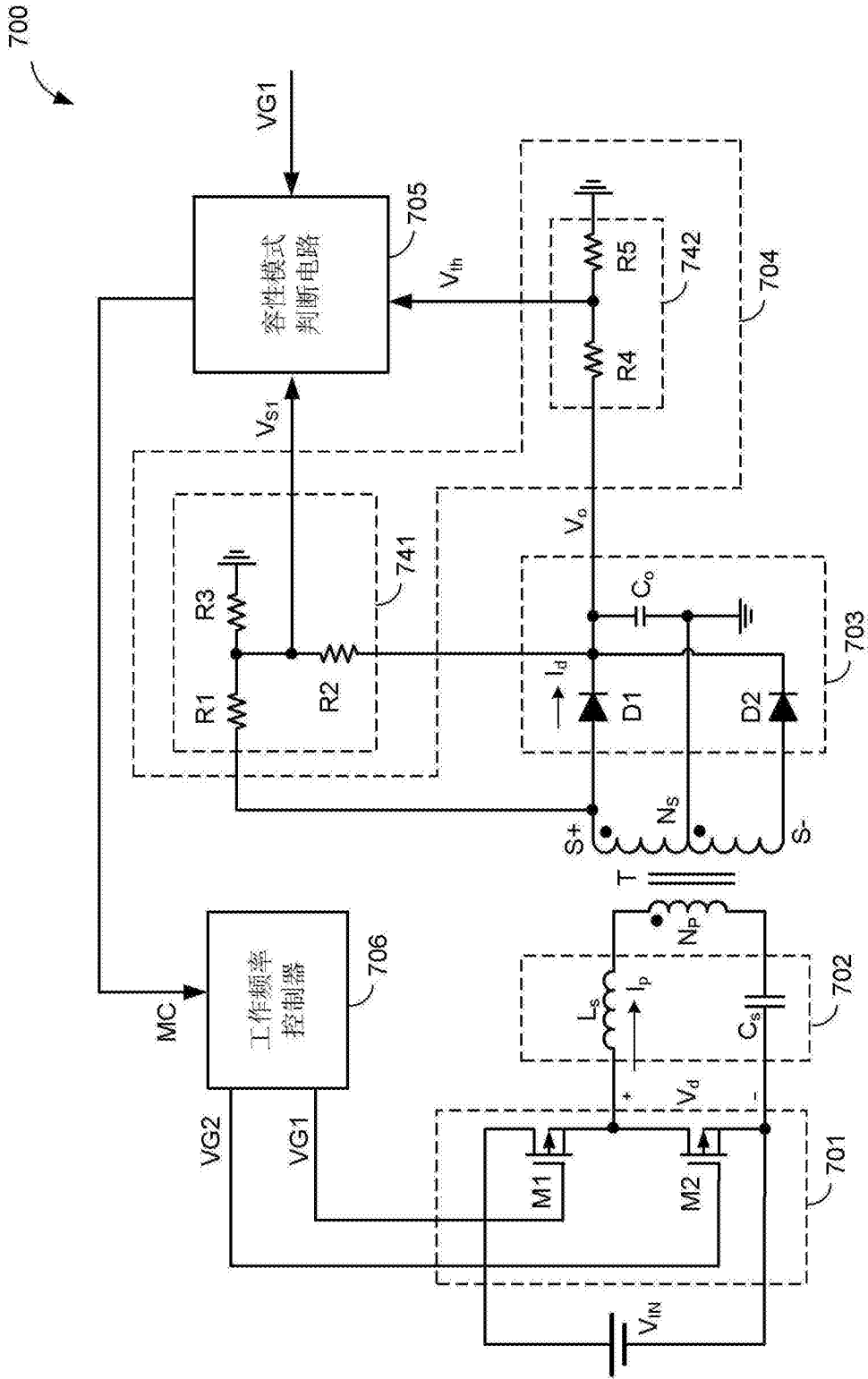


图10

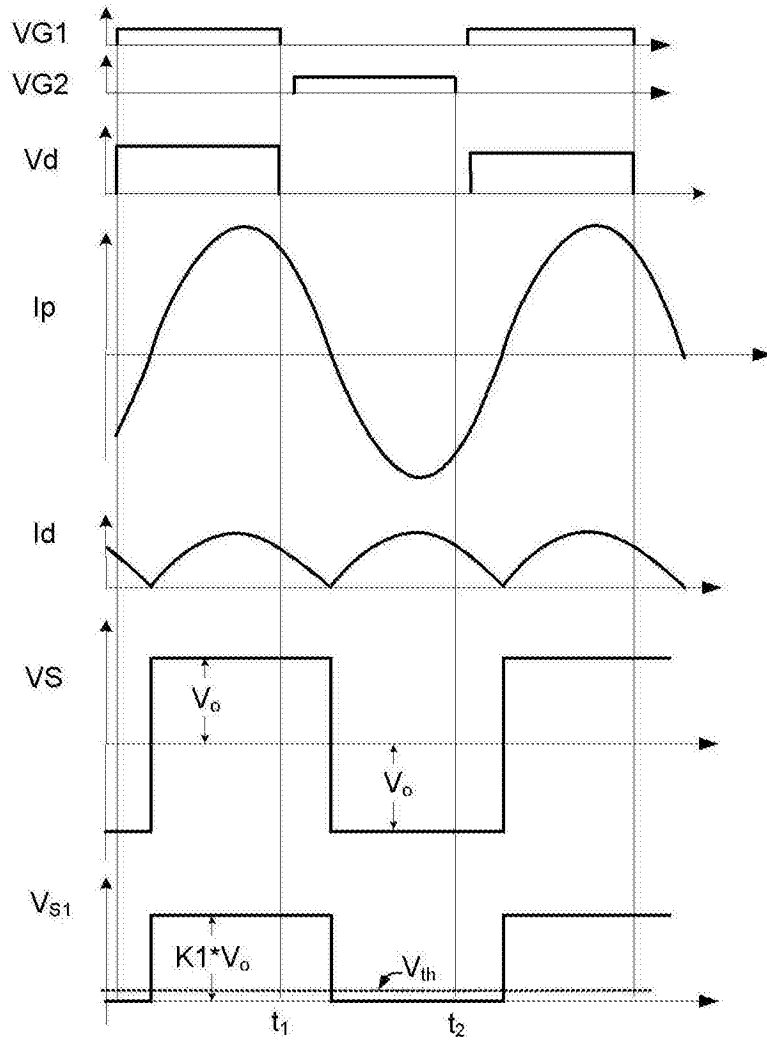


图11a

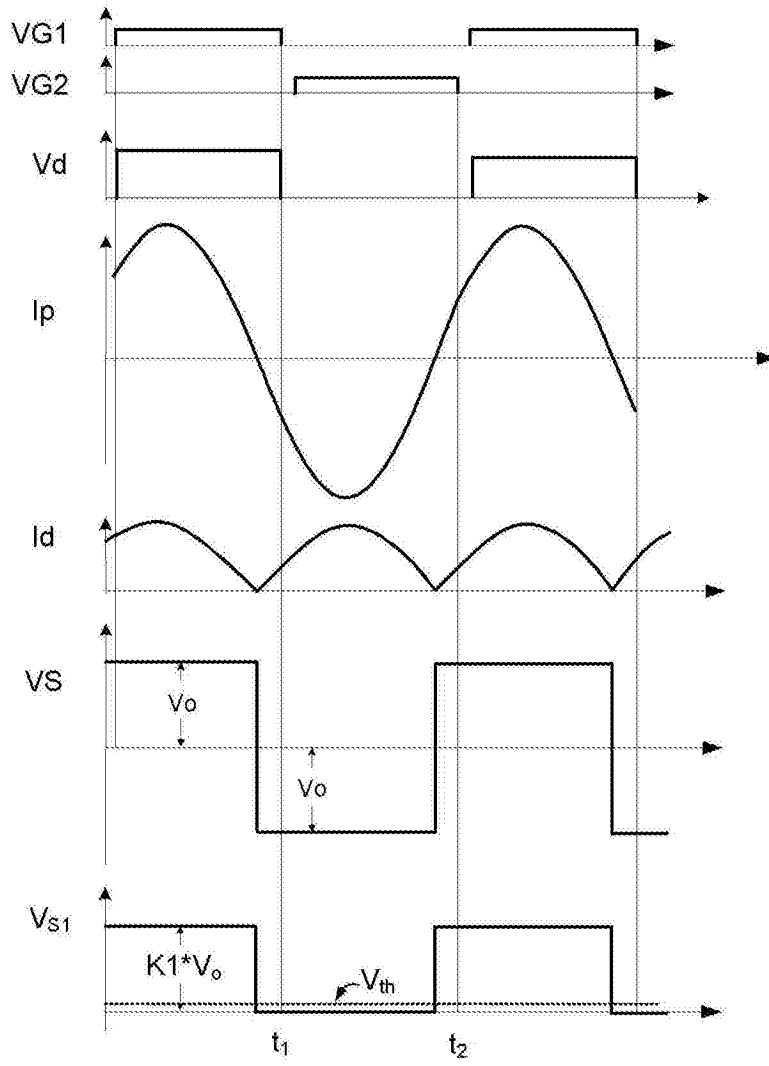


图11b

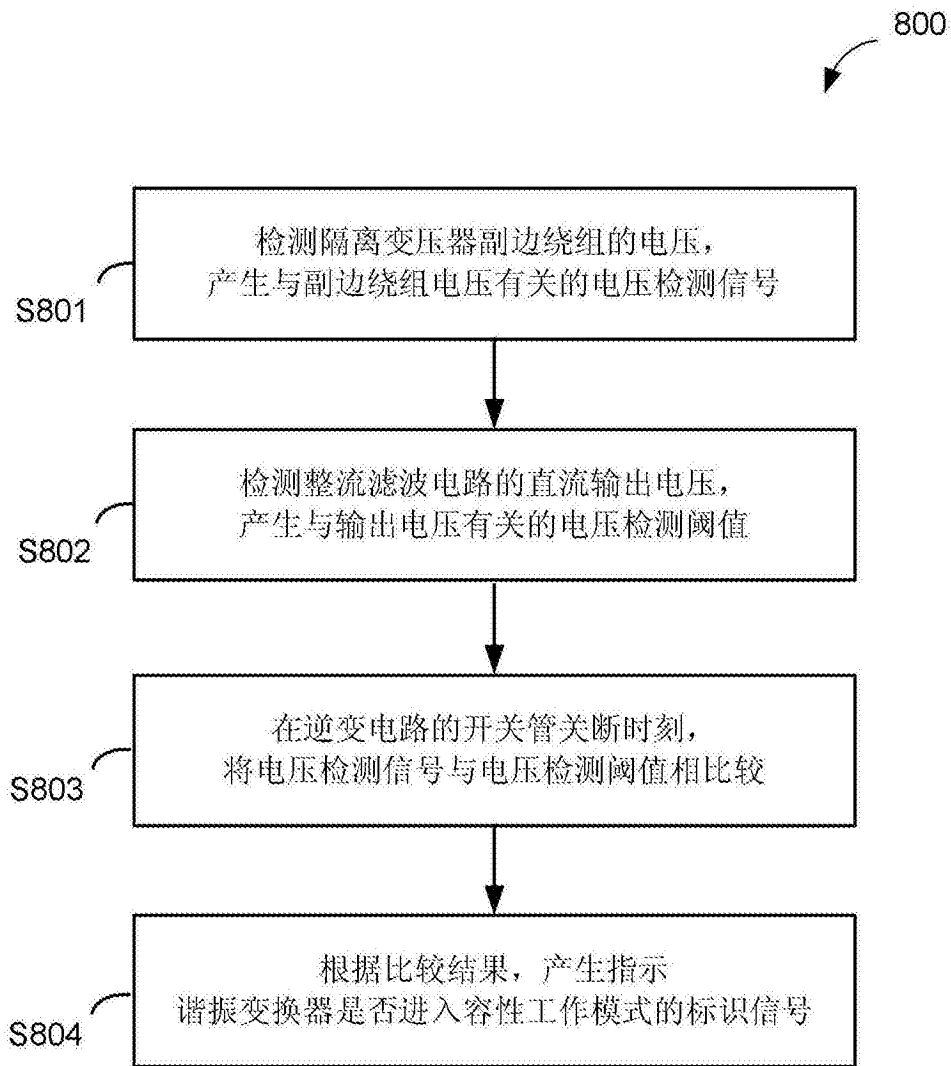


图12