



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 203691234 U

(45) 授权公告日 2014. 07. 02

(21) 申请号 201420044588. 6

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

(22) 申请日 2014. 01. 23

(73) 专利权人 江苏杰瑞科技集团有限责任公司
地址 222061 江苏省连云港市新浦区圣湖路
18 号

(72) 发明人 宋鑫 刘超 窦新民 郭旭东
秦广乐 赵一 向鑫 李武华

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心
32203

代理人 朱显国

(51) Int. Cl.

H02M 3/155(2006. 01)

H02M 1/32(2007. 01)

H02M 1/08(2006. 01)

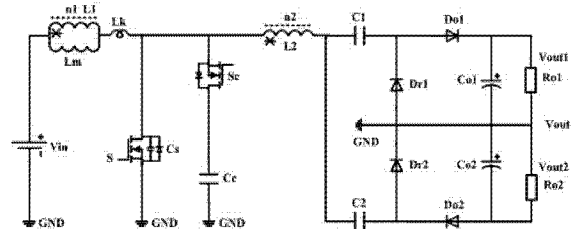
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54) 实用新型名称

基于耦合电感倍压结构的双输出母线型高增益变换器

(57) 摘要

本实用新型公开了一种基于耦合电感倍压结构的双输出母线型高增益变换器,包括一个主开关管器件S,箝位开关管 S_c ,两个续流二极管 D_{r1} 和 D_{r2} ,两个输出二极管 D_{o1} 和 D_{o2} ,箝位电容 C_c ,两个开关管电容 C_1 和 C_2 ,两个储能电容 C_{o1} 和 C_{o2} 和一个带有两个绕组的耦合电感;利用耦合电感倍压结构实现常规占空比下的高增益,降低开关器件S的电压应力;利用有源箝位电路结构有效抑制主开关管关断时产生的电压过冲,并回收储存在漏感中的能量;利用耦合电感的漏感 L_k 实现主开关和箝位开关管的零电压导通;利用开关管电容 C_1 、开关管电容 C_2 和第一储能电容 C_{o1} 、第二储能电容 C_{o2} 来使得第一输出二极管 D_{o1} 、第二输出二极管 D_{o2} 的电压应力小于输出电压。



1. 一种基于耦合电感倍压结构的双输出母线型高增益变换器,其特征在于:包括:
一个提供电能的供电电源 V_{in} ;

耦合电感,可以等效看作在理想变压器下由励磁电感 L_m 和原边漏感 L_k 组成,主要用于储存电荷,实现 LC 谐振电路和对其它电路结构的充放电,耦合电感的一端与供电电源 V_{in} 的正向端相连,耦合电感的另一端与原边漏感 L_k 相连;

主开关电路,主要用于对电路开关状态的控制,配合其它电路结构实现高增益直流电压的输出,其中主开关器件为增强型 N 型 MOS 管,主开关器件 S 的漏极与耦合电感的原边漏感 L_k 一端相连,源极与零参考电位 GND 相连,栅极连接外部控制单元;

箝位电路,主要用于抑制主开关器件 S 关断时产生的电压过冲,并可回收储存在漏感中的能量,包括一个箝位开关管 S_c 和一个箝位电容 C_c ,其中箝位开关管 S_c 的源极与主开关器件 S 的漏极相连,箝位开关管 S_c 的漏极与箝位电容 C_c 的一端相连,箝位电容 C_c 的另一端与零参考电位 GND 相连,箝位开关管 S_c 的栅极连接用于控制其导通和关断的外部控制单元;

耦合电感倍压结构,主要用实现常规占空比下的高增益,从而降低主开关器件 S_c 的电压应力,并可以选择低耐压和低导通电阻的功率器件来进一步降低导通损耗,包括耦合电感二次侧绕组 L_2 、第一开关管电容 C_1 、第二开关管电容 C_2 、第一续流二极管 D_{r1} 和第二续流二极管 D_{r2} ,其中耦合电感二次侧绕组 L_2 的一端与箝位开关管 S_c 的源极相连,耦合电感二次侧绕组 L_2 的另一端与第一开关管电容 C_1 的一端相连,同时与第二开关管电容 C_2 的一端相连,第一开关管电容 C_1 的另一端与第一续流二极管 D_{r1} 的阴极相连,第二开关管电容 C_2 的另一端与第二续流二极管 D_{r2} 的阳极相连,第一续流二极管 D_{r1} 的阳极与第二续流二极管 D_{r2} 的阴极相连,同时第一续流二极管 D_{r1} 的阳极与第二续流二极管 D_{r2} 的阴极相连的公共节点与零参考电位 GND 相连;

双输出电路结构,这种电路结构存在中点零电位,为后一级实现多电平逆变提供了有利条件,包括第一输出二极管 D_{o1} 、第二输出二极管 D_{o2} 、第一储能电容 C_{o1} 、第二储能电容 C_{o2} 、第一等效负载 R_{o1} 和第二等效负载 R_{o2} ,其中第一输出二极管 D_{o1} 的阳极与续流二极管 D_{r1} 的阴极相连,同时与第一开关管电容 C_1 的一端相连,第一输出二极管 D_{o1} 的阴极与第一储能电容 C_{o1} 的正极相连,第二输出二极管 D_{o2} 的阴极与续流二极管 D_{r2} 的阳极相连,同时与第二开关管电容 C_2 的一端相连,第二输出二极管 D_{o2} 的阳极与第二储能电容 C_{o2} 的负极相连,第一储能电容 C_{o1} 的负极与第二储能电容 C_{o2} 的正极相连,第一等效负载 R_{o1} 的一端与第一储能电容 C_{o1} 的正极相连,第二等效负载 R_{o2} 的一端与第二储能电容 C_{o2} 的负极相连,第一等效负载 R_{o1} 的另一端与第二等效负载 R_{o2} 的另一端相连,第一等效负载 R_{o1} 和第二等效负载 R_{o2} 相连的公共点与第一储能电容 C_{o1} 和第二储能电容 C_{o2} 相连的公共点相连,并且此公共点与零参考电位 GND 相连。

2. 根据权利要求 1 所述的基于耦合电感倍压结构的双输出母线型高增益变换器,其特征在于:主开关电路由主开关器件 S、寄生电容 C_s 和反并联二极管组成,主控器件 S 的漏极与寄生电容 C_s 的一端相连,同时与反并联二极管的阴极相连,源极与寄生电容 C_s 的另一端相连,同时与反并联二极管的阳极相连,主开关器件 S 的栅极连接用于控制其导通和关断的外部控制单元,其中反并联二极管可以为寄生反并联二极管或独立反并联二极管。

3. 根据权利要求 1 所述的基于耦合电感倍压结构的双输出母线型高增益变换器,其特

征在于：箝位电路中的箝位开关管 S_c 包括一个增强型 N 型 MOSFET 和一个反并联二极管，箝位开关管 S_c 的源极与主控制器件 S 的漏极相连，同时与反并联二极管的阳极相连，箝位开关管 S_c 的漏极与反并联二极管的阴极相连，同时经过箝位电容 C_c 接至零参考电位 GND，箝位开关管 S_c 的栅极连接用于控制其导通和关断的外部控制单元，其中反并联二极管为寄生反并联二极管或独立反并联二极管。

基于耦合电感倍压结构的双输出母线型高增益变换器

技术领域

[0001] 本实用新型涉及直流-直流变换器,具体说是一种基于耦合电感倍压结构实现的双输出母线型高增益变换器。

背景技术

[0002] 近些年来,随着能源危机的进一步加剧,可再生能源的发展和运用越来越受到世界各国的广泛关注。在可再生能源发电系统中,许多可再生能源发出的电能都是电压较低的直流电,而向电网送电需要电压较高的直流电,因此需要直流-直流变换器把低电压直流电转换为适合并网的高电压直流电,与此同时,出于对人身安全方面考虑,许多应用场合都有电气隔离的要求。所以低输入纹波、高增益、高效率的隔离型变换器在可再生能源并网发电领域里有着重要的作用。

[0003] 在实际运用中,传统的 Boost 电路无法完成高升压比和高效率转换要求。首先,高升压比需要极高的占空比,这样会导致较大的输出二极管电流尖峰,造成较大的反向恢复电流,增加了开关管导通损耗。第二,开关管的电压应力与输出电压相等,因此只能选择高耐压的功率器件,进一步增大了导通损耗。最后,开关管和二极管都工作在硬开关环境,开关损耗较大。

[0004] 基于耦合电感的高增益变流器拓扑结构日渐成熟。这一类型的拓扑通过利用耦合电感,为升压比提供了新的控制自由度,同时降低了功率器件的电压应力。但是,这些拓扑的主要缺点在于输出二极管的电压应力偏大。

发明内容

[0005] 本实用新型的目的在于提供一种基于耦合电感倍压结构的双输出母线型高增益变换器,开关管电压应力小且为软开通,结构简单的基于耦合电感倍压结构实现的有源箝位双输出母线型高增益变换器。

[0006] 实现本实用新型目的的技术解决方案为:一种基于耦合电感倍压结构的双输出母线型高增益变换器,包括:一个提供电能的供电电源 V_{in} ;耦合电感,可以等效看作在理想变压器下由励磁电感 L_m 和原边漏感 L_k 组成,主要用于储存电荷,实现 LC 谐振电路和对其它电路结构的充放电,耦合电感的一端与供电电源 V_{in} 的正向端相连,耦合电感的另一端与原边漏感 L_k 相连。

[0007] 主开关电路,主要用于对电路开关状态的控制,配合其它电路结构实现高增益直流电压的输出,其中主开关器件为增强型 N 型 MOS 管,主开关器件 S 的漏极与耦合电感的原边漏感 L_k 一端相连,源极与零参考电位 GND 相连,栅极连接外部控制单元。

[0008] 箝位电路,主要用于抑制主开关器件 S 关断时产生的电压过冲,并可回收储存在漏感中的能量,包括一个箝位开关管 S_c 和一个箝位电容 C_c ,其中箝位开关管 S_c 的源极与主开关器件 S 的漏极相连,箝位开关管 S_c 的漏极与箝位电容 C_c 的一端相连,箝位电容 C_c 的另一端与零参考电位 GND 相连,箝位开关管 S_c 的栅极连接用于控制其导通和关断的外部控

制单元。

[0009] 耦合电感倍压结构,主要用实现常规占空比下的高增益,从而降低主开关器件 S_c 的电压应力,并可以选择低耐压和低导通电阻的功率器件来进一步降低导通损耗,包括耦合电感二次侧绕组 L_2 、第一开关管电容 C_1 、第二开关管电容 C_2 、第一续流二极管 D_{r1} 和第二续流二极管 D_{r2} ,其中耦合电感二次侧绕组 L_2 的一端与箝位开关管 S_c 的源极相连,耦合电感二次侧绕组 L_2 的另一端与第一开关管电容 C_1 的一端相连,同时与第二开关管电容 C_2 的一端相连,第一开关管电容 C_1 的另一端与第一续流二极管 D_{r1} 的阴极相连,第二开关管电容 C_2 的另一端与第二续流二极管 D_{r2} 的阳极相连,第一续流二极管 D_{r1} 的阳极与第二续流二极管 D_{r2} 的阴极相连,同时第一续流二极管 D_{r1} 的阳极与第二续流二极管 D_{r2} 的阴极相连的公共节点与零参考电位 GND 相连。

[0010] 双输出电路结构,这种电路结构存在中点零电位,为后一级实现多电平逆变提供了有利条件,包括第一输出二极管 D_{o1} 、第二输出二极管 D_{o2} 、第一储能电容 C_{o1} 、第二储能电容 C_{o2} 、第一等效负载 R_{o1} 和第二等效负载 R_{o2} ,其中第一输出二极管 D_{o1} 的阳极与续流二极管 D_{r1} 的阴极相连,同时与第一开关管电容 C_1 的一端相连,第一输出二极管 D_{o1} 的阴极与第一储能电容 C_{o1} 的正极相连,第二输出二极管 D_{o2} 的阴极与续流二极管 D_{r2} 的阳极相连,同时与第二开关管电容 C_2 的一端相连,第二输出二极管 D_{o2} 的阳极与第二储能电容 C_{o2} 的负极相连,第一储能电容 C_{o1} 的负极与第二储能电容 C_{o2} 的正极相连,第一等效负载 R_{o1} 的一端与第一储能电容 C_{o1} 的正极相连,第二等效负载 R_{o2} 的一端与第二储能电容 C_{o2} 的负极相连,第一等效负载 R_{o1} 的另一端与第二等效负载 R_{o2} 的另一端相连,第一等效负载 R_{o1} 和第二等效负载 R_{o2} 相连的公共点与第一储能电容 C_{o1} 和第二储能电容 C_{o2} 相连的公共点相连,并且此公共点与零参考电位 GND 相连。

[0011] 主开关电路由主开关器件 S 、寄生电容 C_s 和反并联二极管组成,主开关器件 S 的漏极与寄生电容 C_s 的一端相连,同时与反并联二极管的阴极相连,源极与寄生电容 C_s 的另一端相连,同时与反并联二极管的阳极相连,主开关器件 S 的栅极连接用于控制其导通和关断的外部控制单元,其中反并联二极管可以为寄生反并联二极管或独立反并联二极管。

[0012] 箝位电路中的箝位开关管 S_c 包括一个增强型 N 型 MOSFET 和一个反并联二极管,箝位开关管 S_c 的源极与主开关器件 S 的漏极相连,同时与反并联二极管的阳极相连,箝位开关管 S_c 的漏极与反并联二极管的阴极相连,同时经过箝位电容 C_c 接至零参考电位 GND,箝位开关管 S_c 的栅极连接用于控制其导通和关断的外部控制单元,其中反并联二极管为寄生反并联二极管或独立反并联二极管。

[0013] 本实用新型与现有技术相比,其显著优点:(1) 本实用新型利用耦合电感倍压结构实现常规占空比下的高增益,同时降低主开关器件 S 的电压应力,这样可以选低耐压低导通电阻的功率器件来进一步降低导通损耗;(2) 利用有源箝位电路结构可以有效抑制主开关管关断时产生的电压过冲,并可回收储存在漏感中的能量;(3) 利用耦合电感的漏感 L_k 实现主开关和箝位开关管的零电压导通,同时二极管的反向恢复问题也得到了一定程度的缓解;(4) 利用倍压结构中的开关管电容 C_1 、开关管电容 C_2 和双输出电路结构中的第一储能电容 C_{o1} 和第二储能电容 C_{o2} 来使得第一输出二极管 D_{o1} 、第二输出二极管 D_{o2} 的电压应力小于输出电压。

附图说明

[0014] 图 1 是本实用新型基于耦合电感倍压结构的双输出母线型高增益变换器的电路图,其中 n_1 表示原边电感 L_1 的匝数比, n_2 表示副边电感 L_2 的匝数比。

[0015] 图 2 是图 1 电路的等效电路图。

[0016] 图 3 是变换器工作过程波形图。

[0017] 图 4a- 图 4h 是图 2 中电路在一个工作过程中各个阶段的电路图,其中箭头表示电流流向,虚线表示断开,即表示无电流流过,实线表示连接,即表示有电流流过。

具体实施方式

[0018] 下面结合附图对本实用新型作进一步详细描述。

[0019] 为了实现直流变换器的高增益,引入一个耦合电感倍压结构,通过控制主开关器件 S 的高速导通与关断,会在流经副边电感 L_2 的电流中产生很高的 di/dt ,在经过双输出电路结构后产生高增益电压输出,并使得输出二极管 (D_{o1} 和 D_{o2}) 的电压应力小于其输出电压;本实用新型通过引入一级有源箝位电路结构,可以有效的抑制主开关器件 S 漏极上产生的瞬时浪涌过压,同时利用漏感 L_k 实现了电路中功率开关器件(主开关器件 S 和箝位开关管 S_c) 的零电压导通。

[0020] 结合图 1 和图 2,一种基于耦合电感倍压结构的双输出母线型高增益变换器,包括一个提供电能的供电电源 V_{in} 、耦合电感、主开关电路、箝位电路、耦合电感倍压结构和双输出电路结构。

[0021] 耦合电感,可以等效看作在理想变压器下由励磁电感 L_m 和原边漏感 L_k 组成,主要用于储存电荷,实现 LC 谐振电路和对其它电路结构的充放电,耦合电感的一端与供电电源 V_{in} 的正向端相连,耦合电感的另一端与原边漏感 L_k 相连。

[0022] 主开关电路,主要用于对电路开关状态的控制,配合其它电路结构实现高增益直流电压的输出,其中主开关器件为增强型 N 型 MOS 管,主开关器件 S 的漏极与耦合电感的原边漏感 L_k 一端相连,源极与零参考电位 GND 相连,栅极连接外部控制单元。

[0023] 箝位电路,主要用于抑制主开关器件 S 关断时产生的电压过冲,并可回收储存在漏感中的能量,包括一个箝位开关管 S_c 和一个箝位电容 C_c ,其中箝位开关管 S_c 的源极与主开关器件 S 的漏极相连,箝位开关管 S_c 的漏极与箝位电容 C_c 的一端相连,箝位电容 C_c 的另一端与零参考电位 GND 相连,箝位开关管 S_c 的栅极连接用于控制其导通和关断的外部控制单元。

[0024] 耦合电感倍压结构,主要用实现常规占空比下的高增益,从而降低主开关器件 S_c 的电压应力,并可以选择低耐压和低导通电阻的功率器件来进一步降低导通损耗,包括耦合电感二次侧绕组 L_2 、第一开关管电容 C_1 、第二开关管电容 C_2 、第一续流二极管 D_{r1} 和第二续流二极管 D_{r2} ,其中耦合电感二次侧绕组 L_2 的一端与箝位开关管 S_c 的源极相连,耦合电感二次侧绕组 L_2 的另一端与第一开关管电容 C_1 的一端相连,同时与第二开关管电容 C_2 的一端相连,第一开关管电容 C_1 的另一端与第一续流二极管 D_{r1} 的阴极相连,第二开关管电容 C_2 的另一端与第二续流二极管 D_{r2} 的阳极相连,第一续流二极管 D_{r1} 的阳极第二与续流二极管 D_{r2} 的阴极相连,同时第一续流二极管 D_{r1} 的阳极与第二续流二极管 D_{r2} 的阴极相连的公共节点与零参考电位 GND 相连。

[0025] 双输出电路结构,这种电路结构存在中点零电位,为后一级实现多电平逆变提供了有利条件,包括第一输出二极管 D_{o1} 、第二输出二极管 D_{o2} 、第一储能电容 C_{o1} 、第二储能电容 C_{o2} 、第一等效负载 R_{o1} 和第二等效负载 R_{o2} ,其中第一输出二极管 D_{o1} 的阳极与续流二极管 D_{r1} 的阴极相连,同时与第一开关管电容 C_1 的一端相连,第一输出二极管 D_{o1} 的阴极与第一储能电容 C_{o1} 的正极相连,第二输出二极管 D_{o2} 的阴极与续流二极管 D_{r2} 的阳极相连,同时与第二开关管电容 C_2 的一端相连,第二输出二极管 D_{o2} 的阳极与第二储能电容 C_{o2} 的负极相连,第一储能电容 C_{o1} 的负极与第二储能电容 C_{o2} 的正极相连,第一等效负载 R_{o1} 的一端与第一储能电容 C_{o1} 的正极相连,第二等效负载 R_{o2} 的一端与第二储能电容 C_{o2} 的负极相连,第一等效负载 R_{o1} 的另一端与第二等效负载 R_{o2} 的另一端相连,第一等效负载 R_{o1} 和第二等效负载 R_{o2} 相连的公共点与第一储能电容 C_{o1} 和第二储能电容 C_{o2} 相连的公共点相连,并且此公共点与零参考电位 GND 相连。在本实例中,电路的输出电压为 $\pm 380V$ 。

[0026] 主开关电路由主开关器件 S、寄生电容 C_s 和反并联二极管组成,主开器件 S 的漏极与寄生电容 C_s 的一端相连,同时与反并联二极管的阴极相连,源极与寄生电容 C_s 的另一端相连,同时与反并联二极管的阳极相连,主开关器件 S 的栅极连接用于控制其导通和关断的外部控制单元,其中反并联二极管可以为寄生反并联二极管或独立反并联二极管。

[0027] 箝位电路中的箝位开关管 S_c 包括一个增强型 N 型 MOSFET 和一个反并联二极管,箝位开关管 S_c 的源极与主开器件 S 的漏极相连,同时与反并联二极管的阳极相连,箝位开关管 S_c 的漏极与反并联二极管的阴极相连,同时经过箝位电容 C_c 接至零参考电位 GND,箝位开关管 S_c 的栅极连接用于控制其导通和关断的外部控制单元,其中反并联二极管为寄生反并联二极管或独立反并联二极管。

[0028] 结合图 3 变换器工作过程波形图和图 4a- 图 4h 电路在一个工作过程中各个阶段的电路图,本实用新型基于耦合电感倍压结构的双输出母线型高增益变换器在一个周期内的工作过程:

[0029] 在图 3 的 t_0-t_1 阶段,本实用新型实施电路的电流流向与连接关系对应图 4a,在 t_1 时刻前,主开关管器件 S 导通,箝位开关管 S_c 关断。续流二极管 D_{r1} 和第二输出二极管 D_{o2} 导通,续流二极管 D_{r2} 和第二输出二极管 D_{o1} 反向截止。供电电源 V_{in} 对励磁电感 L_m 和漏感 L_k 充电,励磁电感电流和漏感电流都近似线性上升。对于输出的正半部分,耦合电感副边对开关管电容 C_1 充电;对与输出的负半部分,储存在关管电容 C_2 和耦合电感副边中的能量传递给第二等效负载 R_{o2} 。

[0030] 在图 3 的 t_1-t_2 阶段,本实用新型实施电路的电流流向与连接关系对应图 4b,主开关管器件 S 在 t_1 时刻关断,寄生电容 C_s 开始与漏感 L_k 谐振。考虑到 L_k 较大而 C_s 较小,主开关管器件 S 的漏源电压 V_{ds} 从零开始近似直线上升,关断损耗由于寄生电容 C_s 的存在而有所降低。此时区延续到 V_{ds} 上升到箝位电容电压 V_{cc} 。

[0031] 在图 3 的 t_2-t_3 阶段,本实用新型实施电路的电流流向与连接关系对应图 4c,在 t_2 时刻,主开关管器件 S 的漏源电压 V_{ds} 达到 V_{cc} ,箝位开关管 S_c 的反向寄生二极管导通, V_{ds} 被箝位到 V_{cc} 。由于箝位电容 C_c 远大于寄生电容 C_s ,所以几乎所有的电流都从 C_c 流过。 t_2 时刻后,原边漏感 L_k 放电,对箝位电容 C_c 进行充电。此阶段,漏感电流 i_{lk} 急剧下降,副边电流 i_{12} 也近似线性下降。

[0032] 在图 3 的 t_3-t_4 阶段,本实用新型实施电路的电流流向与连接关系对应图 4d,副边

电流 i_{L2} 在 t_3 时刻线性下降到零, 第一续流二极管 D_{r1} 和第二输出二极管 D_{o2} 反向截止, 第二续流二极管 D_{r2} 和第一输出二极管 D_{o1} 导通, 此时, 励磁电感 L_m 和原边漏感 L_k 同时放电, 原边漏感电流相对于上个阶段缓慢下降。对于输出的正半部分, 储存在第一开关管电容 C_1 和耦合电感副边中的能量传递给第一等效负载 R_{o1} ; 对于输出的负半部分, 耦合电感副边对第二开关管电容 C_2 开始充电。

[0033] 在图 3 的 t_4 - t_5 阶段, 本实用新型实施电路的电流流向与连接关系对应图 4e, 在 t_4 时刻, 箝位开关管 S_c 开通信号到来, S_c 此时开通。由于上个时区 S_c 寄生反向二极管已经导通, S_c 实现零电压开通。

[0034] 在图 3 的 t_5 - t_6 阶段, 本实用新型实施电路的电流流向与连接关系对应图 4f, 箝位开关管在 t_5 时刻关断, 寄生电容 C_s 开始与原边漏感 L_k 谐振。考虑到 L_k 较大而 C_s 较小, 主开关管器件 S 的漏源电压 V_{ds} 近似直线下降, 箝位开关管 S_c 的漏源电压 V_{cds} 近似直线上升。 S_c 的关断损耗由于 C_s 的存在有所降低。

[0035] 在图 3 的 t_6 - t_7 阶段, 本实用新型实施电路的电流流向与连接关系对应图 4g, 在 t_6 时刻, 寄生电容 C_s 两端的电压下降到零, 主开关管器件 S 反向寄生二极管导通。寄生电容 C_s 开始与原边漏感 L_k 停止谐振。流经原边漏感 L_k 的电流上升率由输出电压决定, 同时在 t_6 时刻, 流经副边绕组的电流 i_{L2} 开始下降。

[0036] 在图 3 的 t_7 - t_8 阶段, 本实用新型实施电路的电流流向与连接关系对应图 4h, 在 t_7 时刻, 主开关管器件 S 在寄生二极管导通后开通, 实现主开关管器件 S 的零电压开通。副边电流 i_{L2} 在 t_8 时刻线性下降到零, 第一续流二极管 D_{r1} 和第二输出二极管 D_{o2} 导通, 第二续流二极管 D_{r2} 和第一输出二极管 D_{o1} 反向截止。 t_8 时刻后, 供电电源 V_{in} 对励磁电感 L_m 和原边漏感 L_k 充电。相对于阶段 7 和阶段 8, 此时流经原边漏感 L_k 的电流缓慢上升。变换器重新回到阶段 1, 开始新的开关周期。

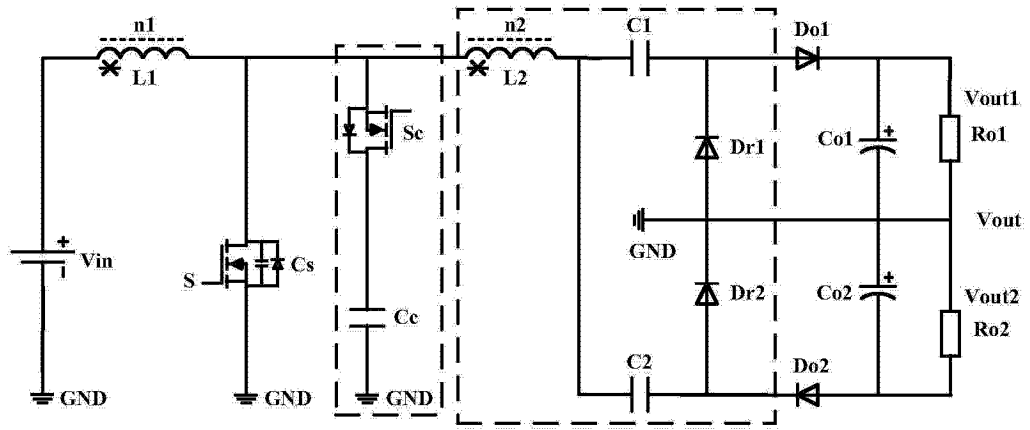


图 1

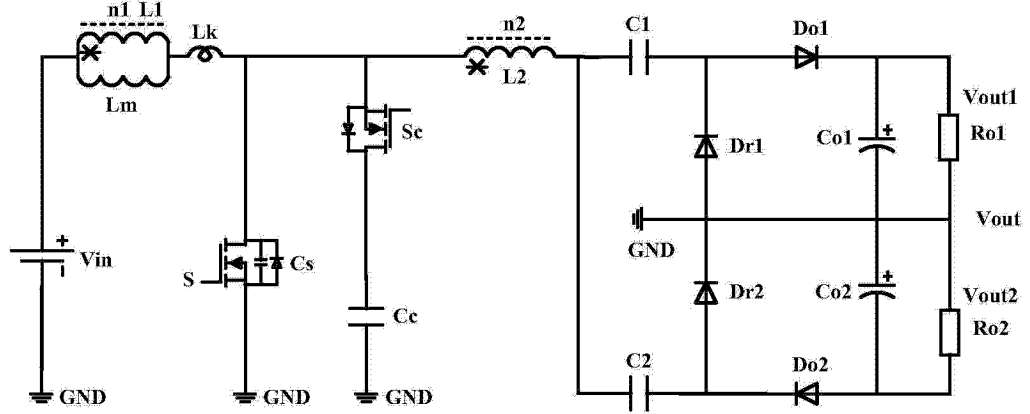


图 2

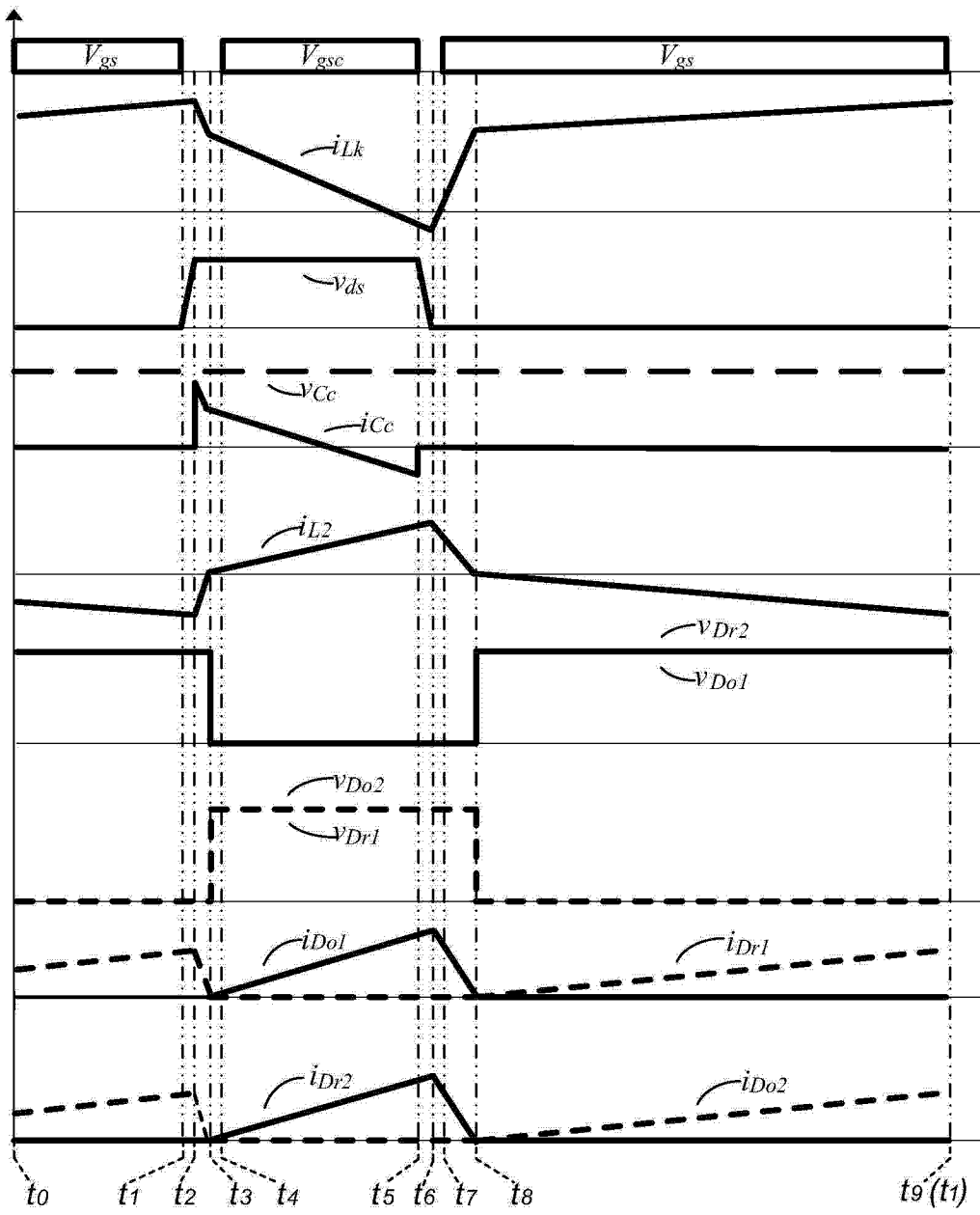


图 3

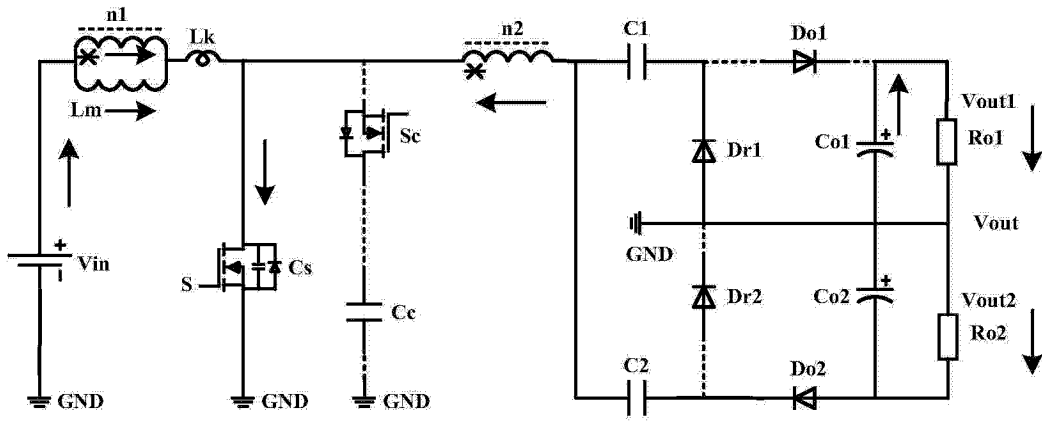


图 4a

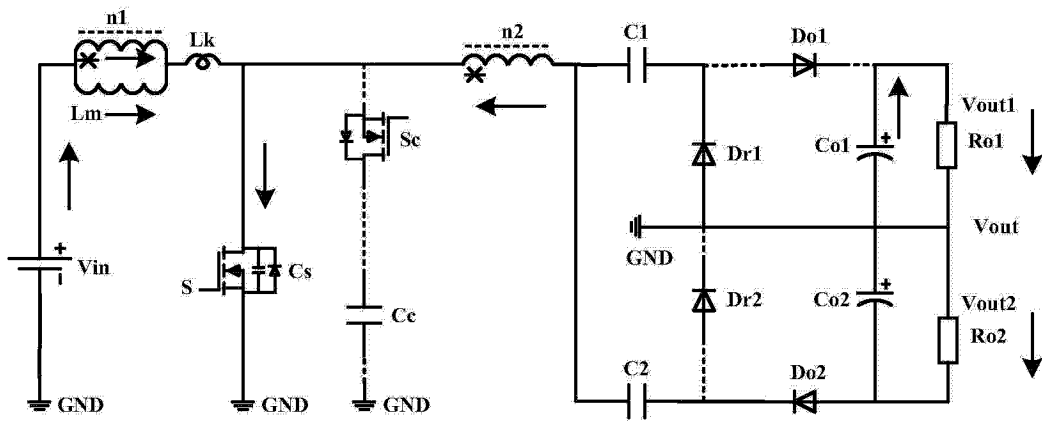


图 4b

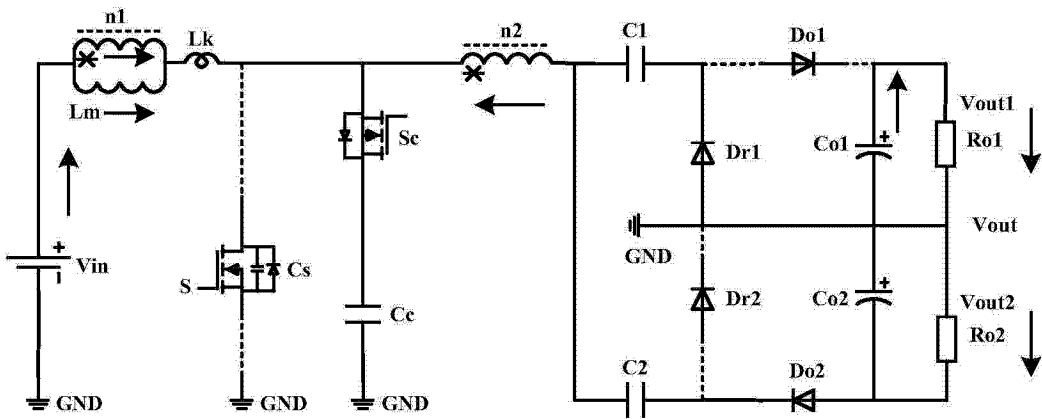


图 4c

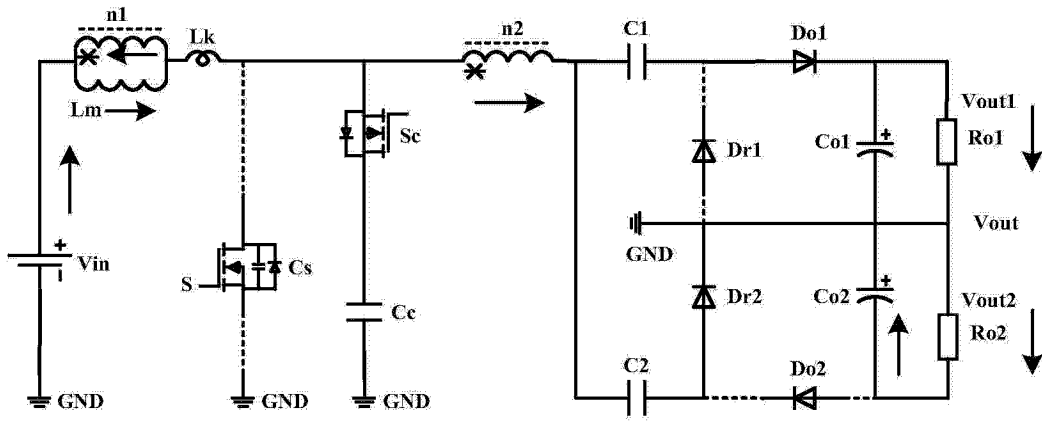


图 4d

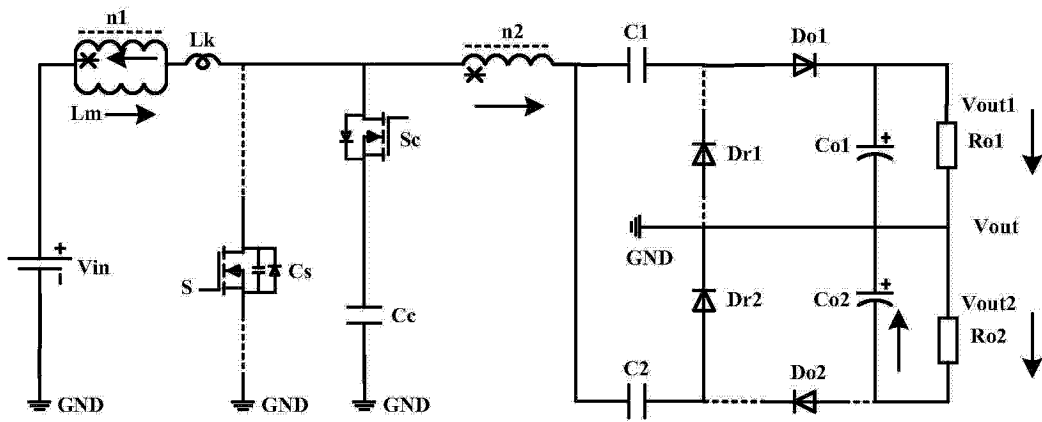


图 4e

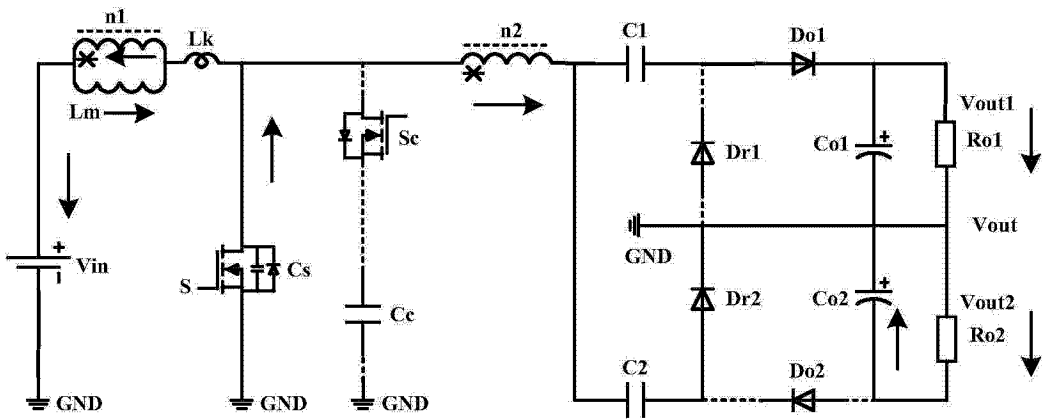


图 4f

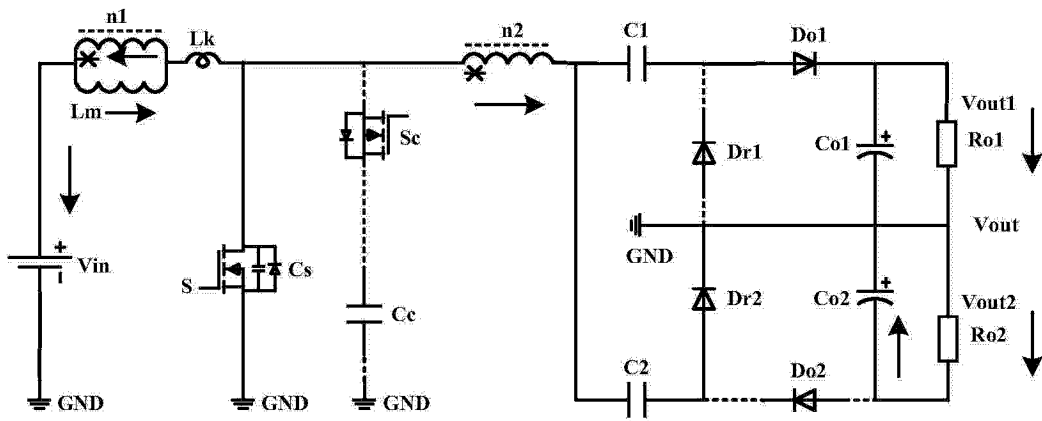


图 4g

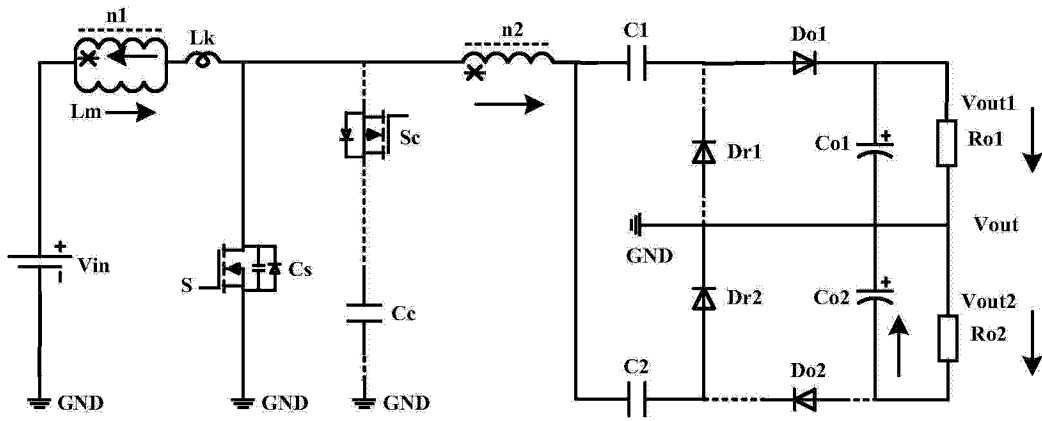


图 4h