



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117240103 B

(45) 授权公告日 2024. 01. 30

(21) 申请号 202311500358.6

H02M 1/38 (2007.01)

(22) 申请日 2023.11.13

H02M 1/44 (2007.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 117240103 A

(56) 对比文件

CN 101355307 A, 2009.01.28

KR 101552284 B1, 2015.09.11

(43) 申请公布日 2023.12.15

Xinping Ding等. A High Step-Up

(73) 专利权人 南京信息工程大学
地址 210044 江苏省南京市江北新区宁六
路219号

Coupled-Inductor-Integrated DC-DC

Multilevel Boost Converter With

Continuous Input Current.《IEEE JOURNAL OF

(72) 发明人 丁新平 严智强 张鹏程 戴万宜
蒋凯新 张春林

EMERGING AND SELECTED TOPICS IN POWER

ELECTRONICS》.2022, 第10卷卷(第6期),

第7346-7360页.

(74) 专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限
公司 32224

审查员 谢冬莹

专利代理师 蔡志庆

(51) Int. Cl.

H02M 3/335 (2006.01)

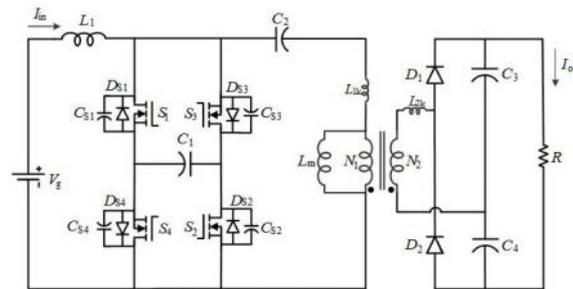
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器

(57) 摘要

本发明公开了一种高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器,包括直流输入电压源、储能电感、钳位单元、第二储能电容、双耦合绕组以及整流输出单元;钳位单元包括第一、二、三、四开关管以及第一储能电容;整流输出单元包括第一、二二极管、第三、四储能电容;双耦合绕组包括相互耦合的第一耦合电感和第二耦合电感;该变换器结构简单,对称性强,输入电流连续,具有较高的电压增益;通过H桥式的钳位单元,使得开关管被有源钳位,限制了其电压应力,同时钳位电容也用于升压,提高了器件的利用率,并且变压器一次侧各个开关管都实现了ZVS零电压启动,变压器二次侧二极管由于漏感的存在实现了ZVC零电流启动,使得本发明的损耗下降,从而保证了较高的效率。



1. 一种高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器,其特征在于,包括直流输入电压源、储能电感、钳位单元、第二储能电容、双耦合绕组以及整流输出单元;所述钳位单元包括第一开关管、第二开关管、第三开关管、第四开关管以及第一储能电容,所述第一储能电容一端连接至第一开关管和第四开关管的源极,另一端连接至第二开关管和第三开关管的漏极;所述双耦合绕组包括相互耦合的第一耦合电感和第二耦合电感;

所述储能电感一端连接至直流输入电压源的正极,另一端连接至第一开关管的漏极、第三开关管的源极以及第二储能电容的正极,所述第二储能电容的负极连接至第一耦合电感的异名端,所述第一耦合电感的同名端连接至直流输入电压源的负极、第二开关管的源极以及第四开关管的漏极;

所述整流输出单元包括第一二极管、第二二极管、第三储能电容以及第四储能电容,所述第一二极管的负极和第三储能电容的正极连接至负载的一端,所述第二二极管的正极和第四储能电容的负极连接至负载的另一端,所述第一二极管的正极和第二二极管的负极连接至第二耦合电感的异名端,所述第三储能电容的负极和第四储能电容的正极连接至第二耦合电感的同名端。

2. 根据权利要求1所述的高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器,其特征在于,

所述第一开关管上还包括其第一体二极管和第一缓冲电容,所述第一体二极管的阳极和负极分别连接至所述第一开关管的源极和漏极,所述第一缓冲电容的负极和阳极分别连接至所述第一开关管的源极和漏极;

所述第二开关管上还包括其第二体二极管和第二缓冲电容,所述第二体二极管的阳极和负极分别连接至所述第二开关管的源极和漏极,所述第二缓冲电容的负极和阳极分别连接至所述第二开关管的源极和漏极;

所述第三开关管上还包括其第三体二极管和第三缓冲电容,所述第三体二极管的阳极和负极分别连接至所述第三开关管的源极和漏极,所述第三缓冲电容的负极和阳极分别连接至所述第三开关管的源极和漏极;

所述第四开关管上还包括其第四体二极管和第四缓冲电容,所述第四体二极管的阳极和负极分别连接至所述第四开关管的源极和漏极,所述第四缓冲电容的负极和阳极分别连接至所述第四开关管的源极和漏极。

3. 根据权利要求1所述的高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器,其特征在于,所述第一开关管、第二开关管、第三开关管以及第四开关管均采用N沟道的MOS管。

4. 根据权利要求1所述的高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器,其特征在于,所述第一开关管、第二开关管、第三开关管以及第四开关管接收外部控制器的控制信号,所述控制信号为单极性PWM控制信号。

5. 根据权利要求1所述的高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器,其特征在于,所述第一开关管和第二开关管为主开关管同时导通,所述第三开关管和第四开关管为辅助开关管同时导通,所述主开关管和辅助开关管互补导通。

6. 根据权利要求1所述的高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器,其特征在于,所述双耦合绕组等效为匝比 $N_1:N_2$ 的理想变压器、一次侧励磁电感、一次侧漏感和二次侧漏感。

一种高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器,属于DC-DC变换设备技术领域。

背景技术

[0002] 当下全球电力生产结构慢慢向可再生能源发电转型,例如太阳能发电,太阳能光伏发电板的输出电压较低,不能直接供电网使用,在能源转换时往往会面临输出电压不稳、升压比和效率较低的问题,为了解决上述问题,需要高增益、输出电压稳定的DC-DC变换器。

[0003] 文献“MIAO, SHAN, LIU, WEI, GAO, JINFENG. Single-Inductor Boost Converter With Ultrahigh Step-Up Gain, Lower Switches Voltage Stress, Continuous Input Current, and Common Grounded Structure[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2021, 36(7): 7841-7852. DOI:10.1109/TPEL.2020.3047660.”在H结构的开关上增加多个倍压整流模块,获得了较高的升压,但是电路没有实现软开关,在高频时,开关管和二极管上会产生开关损耗,造成功率率的损耗。文献“KONSTANTINOS ZAOSKOUFIS, EMMANUEL C. TATAKIS. Isolated ZVS-ZCS DC-DC High Step-Up Converter With Low-Ripple Input Current[J]. 2021, 2(4): 464-480. DOI:10.1109/JESTIE.2021.3063913.”通过有源钳位电路和变压器一次侧漏感,实现了开关管的软开关,同时在变压器二次侧由于漏感的存在减小了二级管的开关损耗,从而提高了效率。但是有源钳位中的电容仅用来钳位,成本增加。文献“LEE, SIN-WOO, DO, HYUN-LARK. High Step-Up Coupled-Inductor Cascade Boost DC-DC Converter With Lossless Passive Snubber[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018, 65(10): 7753-7761. DOI:10.1109/TIE.2018.2803731.”采用无损无源缓冲电路,使变换器具有较高的电压增益和更高的功率效率,但是采用的电子器件较多,变换器功率密度低,成本较高。文献“He L Z, Zheng Z P, and Guo D. High step-up DC-DC converter with active soft-switching and voltage-clamping for renewable energy systems[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2018, 33(11): 9496-9505.”虽然通过耦合电感和有源钳位实现了开关管的软开关,但是由于其将输入电感替换为了耦合电感,导致了输入电流不连续,限制了变换器的使用场合。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有技术中的不足,提供一种高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器,解决现有的DC-DC变换器存在开关功耗高、成本高以及输入电流不连续的技术问题。

[0005] 为达到上述目的,本发明是采用下述技术方案实现的:

[0006] 本发明提供了一种高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器,包括直流输入电压源、储能电感、钳位单元、第二储能电容、双耦合绕组以及整流输出单元;所述钳位单元包括第

一开关管、第二开关管、第三开关管、第四开关管以及第一储能电容,所述第一储能电容一端连接至第一开关管和第四开关管的源极,另一端连接至第二开关管和第三开关管的漏极;所述双耦合绕组包括相互耦合的第一耦合电感和第二耦合电感;

[0007] 所述储能电感一端连接至直流输入电压源的正极,另一端连接至第一开关管的漏极、第三开关管的源极以及第二储能电容的正极,所述第二储能电容的负极连接至第一耦合电感的异名端,所述第一耦合电感的同名端连接至直流输入电压源的负极、第二开关管的源极以及第四开关管的漏极;

[0008] 所述整流输出单元包括第一二极管、第二二极管、第三储能电容以及第四储能电容,所述第一二极管的负极和第三储能电容的正极连接至负载的一端,所述第二二极管的正极和第四储能电容的负极连接至负载的另一端,所述第一二极管的正极和第二二极管的负极连接至第二耦合电感的异名端,所述第三储能电容的负极和第四储能电容的正极连接至第二耦合电感的同名端。

[0009] 可选的,所述第一开关管上还包括其第一体二极管和第一缓冲电容,所述第一体二极管的阳极和负极分别连接至所述第一开关管的源极和漏极,所述第一缓冲电容的负极和阳极分别连接至所述第一开关管的源极和漏极;

[0010] 所述第二开关管上还包括其第二体二极管和第二缓冲电容,所述第二体二极管的阳极和负极分别连接至所述第二开关管的源极和漏极,所述第二缓冲电容的负极和阳极分别连接至所述第二开关管的源极和漏极;

[0011] 所述第三开关管上还包括其第三体二极管和第三缓冲电容,所述第三体二极管的阳极和负极分别连接至所述第三开关管的源极和漏极,所述第三缓冲电容的负极和阳极分别连接至所述第三开关管的源极和漏极;

[0012] 所述第四开关管上还包括其第四体二极管和第四缓冲电容,所述第四体二极管的阳极和负极分别连接至所述第四开关管的源极和漏极,所述第四缓冲电容的负极和阳极分别连接至所述第四开关管的源极和漏极。

[0013] 可选的,所述第一开关管、第二开关管、第三开关管以及第四开关管均采用N沟道的MOS管。

[0014] 可选的,所述第一开关管、第二开关管、第三开关管以及第四开关管接收外部控制器的控制信号,所述控制信号为单极性PWM控制信号。

[0015] 可选的,所述第一开关管和第二开关管为主开关管同时导通,所述第三开关管和第四开关管为辅助开关管同时导通,所述主开关管和辅助开关管互补导通。

[0016] 可选的,所述双耦合绕组等效为匝比 $N_1 : N_2$ 的理想变压器、一次侧励磁电感、一次侧漏感和二次侧漏感。

[0017] 与现有技术相比,本发明所达到的有益效果:

[0018] 本发明提供了一种高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器,该电路可以满足在低于0.5占空比的条件下实现较高的电压增益,所有的开关管和二极管都有电容进行钳位,减小了开关管和二极管的电压应力,从而降低了对开关管和二极管的电压要求并提高的可靠性;本发明通过有源钳位软开关的方式,使一次侧漏感与开关管缓冲电容在PWM死区时进行谐振,控制方便;同时抑制了耦合电感漏感产生的电压尖峰,优化了变换器的电磁干扰;功率开关管实现了ZVS零电压启动,二极管实现了ZVC零电流启动,减少了开关损耗,提升了变

换器效率;本发明通过双耦合绕组实现了输入端和输出端的电气隔离,提高了用电的安全性;本发明结构对称性高,控制方便,设计成本低,具有较高的安全性和可靠性;本发明非常适合应用于电压波动较大的可再生能源发电系统中,实现电路隔离和升压功能,满足分布式发电系统并网所需直流电压和隔离要求。

附图说明

- [0019] 图1是本发明实施例提供的高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器的电路原理图;
 [0020] 图2是本发明实施例提供的钳位单元中开关管控制信号的波形图;
 [0021] 图3是本发明实施例提供的主开关管导通的工作状态示意图;
 [0022] 图4是本发明实施例提供的主开关管关断的工作状态示意图;
 [0023] 图5是本发明实施例提供的变换器的软开关saber仿真效果图。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图对本发明作进一步描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案,而不能以此来限制本发明的保护范围。

[0025] 实施例一:

[0026] 如图1所示,本发明提供了一种高增益隔离H桥式软开关DC-DC变换器,包括直流输入电压源 V_g 、储能电感 L_1 、钳位单元、第二储能电容 C_2 、双耦合绕组以及整流输出单元;钳位单元包括第一开关管 S_1 、第二开关管 S_2 、第三开关管 S_3 、第四开关管 S_4 以及第一储能电容 C_1 ,第一储能电容 C_1 一端连接至第一开关管 S_1 和第四开关管 S_4 的源极,另一端连接至第二开关管 S_2 和第三开关管 S_3 的漏极;双耦合绕组包括相互耦合的第一耦合电感 L_{N1} 和第二耦合电感 L_{N2} ;具体的连接关系为:

[0027] 储能电感 L_1 一端连接至直流输入电压源 V_g 的正极,另一端连接至第一开关管 S_1 的漏极、第三开关管 S_3 的源极以及第二储能电容 C_2 的正极,第二储能电容 C_2 的负极连接至第一耦合电感 L_{N1} 的异名端,第一耦合电感 L_{N1} 的同名端连接至直流输入电压源 V_g 的负极、第二开关管 S_2 的源极以及第四开关管 S_4 的漏极;整流输出单元包括第一二极管 D_1 、第二二极管 D_2 、第三储能电容 C_3 以及第四储能电容 C_4 ,第一二极管 D_1 的负极和第三储能电容 C_3 的正极连接至负载 R 的一端,第二二极管 D_2 的正极和第四储能电容 C_4 的负极连接至负载 R 的另一端,第一二极管 D_1 的正极和第二二极管 D_2 的负极连接至第二耦合电感 L_{N2} 的异名端,第三储能电容 C_3 的负极和第四储能电容 C_4 的正极连接至第二耦合电感 L_{N2} 的同名端。

[0028] 具体在本实施方式中,第一开关管 S_1 上还包括其第一体二极管 D_{S1} 和第一缓冲电容 C_{S1} ,第一体二极管 D_{S1} 的阳极和负极分别连接至第一开关管 S_1 的源极和漏极,第一缓冲电容 C_{S1} 的负极和阳极分别连接至第一开关管 S_1 的源极和漏极;第二开关管 S_2 上还包括其第二体二极管 D_{S2} 和第二缓冲电容 C_{S2} ,第二体二极管 D_{S2} 的阳极和负极分别连接至第二开

关管 S_2 的源极和漏极,第二缓冲电容 C_{S2} 的负极和阳极分别连接至第二开关管 S_2 的源极和漏极;第三开关管 S_3 上还包括其第三体二极管 D_{S3} 和第三缓冲电容 C_{S3} ,第三体二极管 D_{S3} 的阳极和负极分别连接至第三开关管 S_3 的源极和漏极,第三缓冲电容 C_{S3} 的负极和阳极分别连接至第三开关管 S_3 的源极和漏极;第四开关管 S_4 上还包括其第四体二极管 D_{S4} 和第四缓冲电容 C_{S4} ,第四体二极管 D_{S4} 的阳极和负极分别连接至第四开关管 S_4 的源极和漏极,第四缓冲电容 C_{S4} 的负极和阳极分别连接至第四开关管 S_4 的源极和漏极。

[0029] 具体在本实施方式中,第一开关管 S_1 、第二开关管 S_2 、第三开关管 S_3 以及第四开关管 S_4 均采用N沟道的MOS管。通过对MOS管的源极和栅极提供高低电平来控制其导通和关断。如:第一开关管 S_1 、第二开关管 S_2 、第三开关管 S_3 以及第四开关管 S_4 接收外部控制器的控制信号,控制信号为单极性PWM控制信号。

[0030] 具体在本实施方式中,双耦合绕组等效为匝比 $N_1:N_2$ 的理想变压器、一次侧励磁电感 L_m 、一次侧漏感 L_{1k} 和二次侧漏感 L_{2k} 。

[0031] 第一开关管 S_1 、第二开关管 S_2 、第三开关管 S_3 以及第四开关管 S_4 的控制信号,如图2所示, v_{GS1} 、 v_{GS2} 、 v_{GS3} 、 v_{GS4} 为第一开关管 S_1 、第二开关管 S_2 、第三开关管 S_3 以及第四开关管 S_4 的栅极输入;第一开关管和第二开关管为主开关管同时导通,第三开关管和第四开关管为辅助开关管同时导通,主开关管和辅助开关管互补导通。由于采用有源钳位的方式进行软开关,一次侧漏感 L_{1k} 与开关管缓冲电容(C_{S1} 、 C_{S2} 、 C_{S3} 、 C_{S4})谐振仅发生在主开关管和辅助开关管同时关断的时候,即PWM控制信号死区时刻。在控制信号死区时,一次侧漏感 L_{1k} 电流与输出电流 I_{in} 的代数和流经开关管缓冲电容,使开关管上的缓冲电容(C_{S1} 、 C_{S2} 、 C_{S3} 、 C_{S4})进行完全的充放电,当缓冲电容完全放电时,开关管体二极管(D_{S1} 、 D_{S2} 、 D_{S3} 、 D_{S4})导通,从而实现了开关管的ZVS零电压导通,实现软开关的效果。

[0032] 在一个稳态工作周期中,主要存在2种工作模式。主开关管导通的工作状态示意图,如图3所示。在此时刻之前的死区内,由于第一开关管 S_1 、第二开关管 S_2 上的缓冲电容(C_{S1} 、 C_{S2})与一次侧漏感 L_{1k} 谐振,缓冲电容(C_{S1} 、 C_{S2})完全释放能量,第一、二开关管(S_1 、 S_2)上反并联体二极管(D_{S1} 、 D_{S2})导通,故当第一、二开关管(S_1 、 S_2)源极和栅极承受高电平触发信号时,便可ZVS零电压导通。第三开关管 S_3 、第四开关管 S_4 关断。第二二极管 D_2 流经正向电流,由于漏感 L_{2k} 的存在,第二二极管 D_2 ZVC零电流导通。第一二极管 D_1 反向偏置。输入直流电压源 V_g 和第一储能电容 C_1 给储能电感 L_1 充电,第一储能电容 C_1 、第二储能电容 C_2 给第一耦合电感 L_{N1} 正向充电,一次侧漏感 L_{1k} 上正向电流增大。同时电容 C_1 、 C_2 通过变压器给电容 C_4 充电,电容 C_3 给负载R供电。

[0033] 主开关管关断的工作状态示意图如图4所示。第一开关管 S_1 、第二开关管 S_2 关断。在主开关管导通结束后的死区内,由于主开关管上流经正向电流,开关管缓冲电容(C_{S1} 、 C_{S2})与一次侧漏感 L_{1k} 谐振,缓冲电容(C_{S1} 、 C_{S2})充电,缓冲电容(C_{S3} 、 C_{S4})放电且完全释放能量,第三开关管 S_3 、第四开关管 S_4 上反并联体二极管(D_{S3} 、 D_{S4})导通,从而ZVS零电压启动。第一二极管 D_1 流经正向电流,由于漏感 L_{2k} 的存在,第一二极管 D_1 零电流导通。输入直流电压源 V_g 和储能电感 L_1 给第一储能电容 C_1 和第二储能电容 C_2 充电,一次侧耦合电感 L_{N1} 反向充电。第三储能电容 C_3 充电,第四储能电容 C_4 给负载R供电。当一次侧耦合电感 L_{N1} 上反向电流大于输入电流 I_{in} 时,辅助开关管上电流换向,辅助开关管正向导通,流过正向电流,从而保证了下个循环中,辅助开关管上缓冲电容与漏感谐振充电,主开关管上电容与漏感谐振放电,保证主开关管能够ZVS导通。

[0034] 对储能电感 L_1 和第一、第二耦合电感 L_{N1} 、 L_{N2} 使用伏秒平衡法则,得到软开关DC-DC变换器的输出电压 V_o 电压增益 B :

$$[0035] \quad V_o = \frac{2n}{1-2D} V_g;$$

$$[0036] \quad B = \frac{V_o}{V_g} = \frac{2n}{1-2D};$$

[0037] 式中, D 为主开关管占空比, n 为变压器匝比, $n = \frac{N_2}{N_1}$ 。

[0038] 该变换器由于电路拓扑结构的优越,使得能够在低于0.5的占空比下,获得较高的升压比,并且可以通过调节变换器匝比 n ,从而避免产生极限占空比的情况,保证了电路的安全可靠性。

[0039] 图5为所提变换器的软开关saber仿真效果图,根据开关管电流电压波形图可以看出,4个开关管(S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4)均实现了ZVS零电压启动软开关,一次侧耦合电感 L_{N1} 在开关管上的电压尖峰也被有效的抑制了,第一、第二二极管(D_1 、 D_2)均实现了ZVC零电流启动。减小了开关管(S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4)和二极管(D_1 、 D_2)的开关损耗,保证了该电路具有较高的效率。

[0040] 上述分析表明,该电路由于储能电感 L_1 保证了输入电流的连续,并且通过耦合电感实现了电气的隔离,具有更高的安全性和可靠性。同时通过对开关管的有源钳位和利用漏感能量进行谐振软开关,减小了开关管的电压应力和漏感产生的电压尖峰毛刺,并减小了开关管和二极管的损耗,提升了效率。变换器结构简单、优势明显,具有广泛的应用前景。

[0041] 本领域内的技术人员应明白,本发明的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本发明可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本发明可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产

品的形式。

[0042] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明技术原理的前提下,还可以做出若干改进和变形,这些改进和变形也应视为本发明的保护范围。

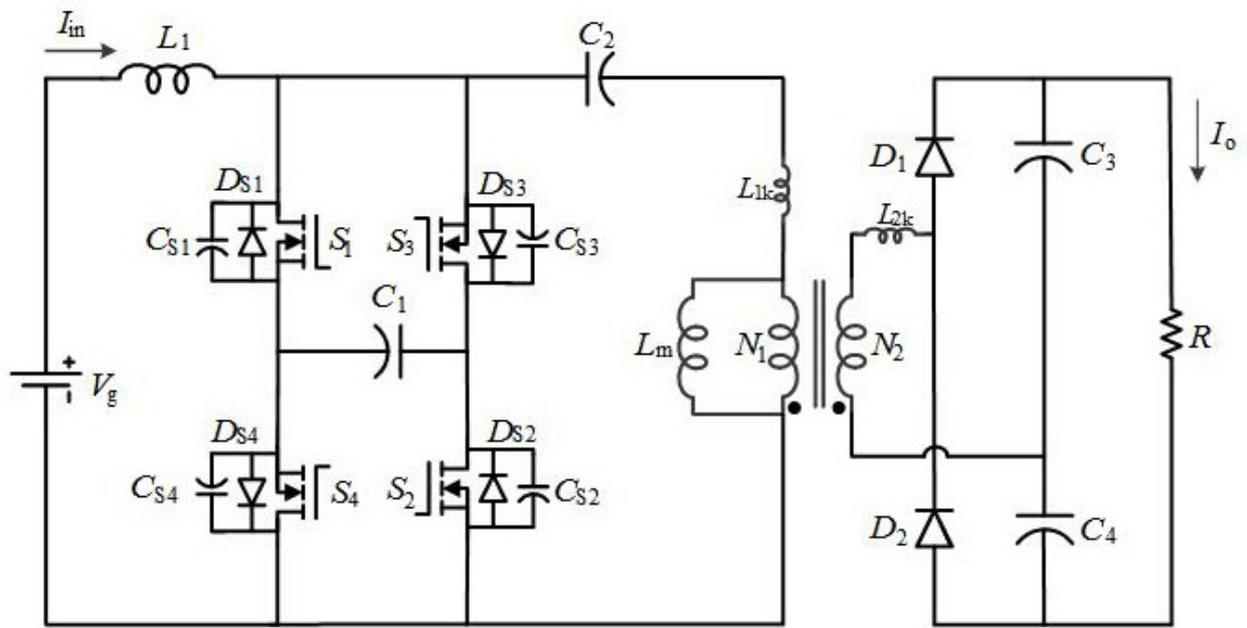


图 1

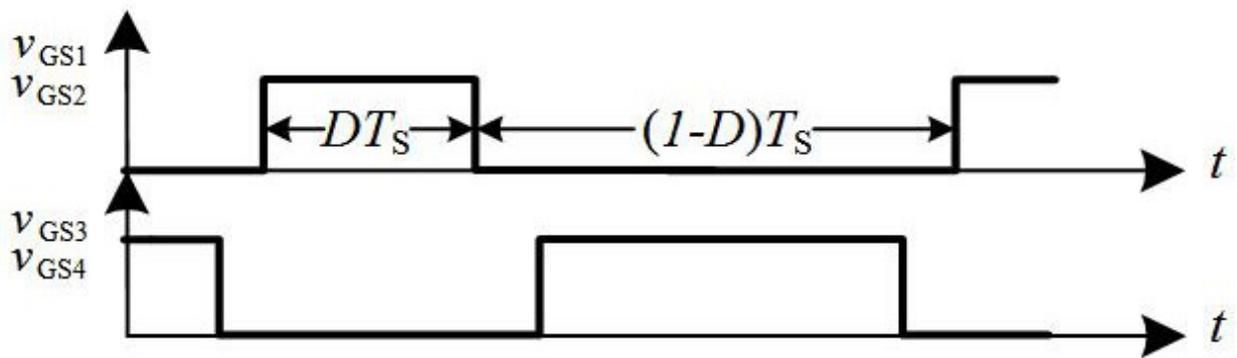


图 2

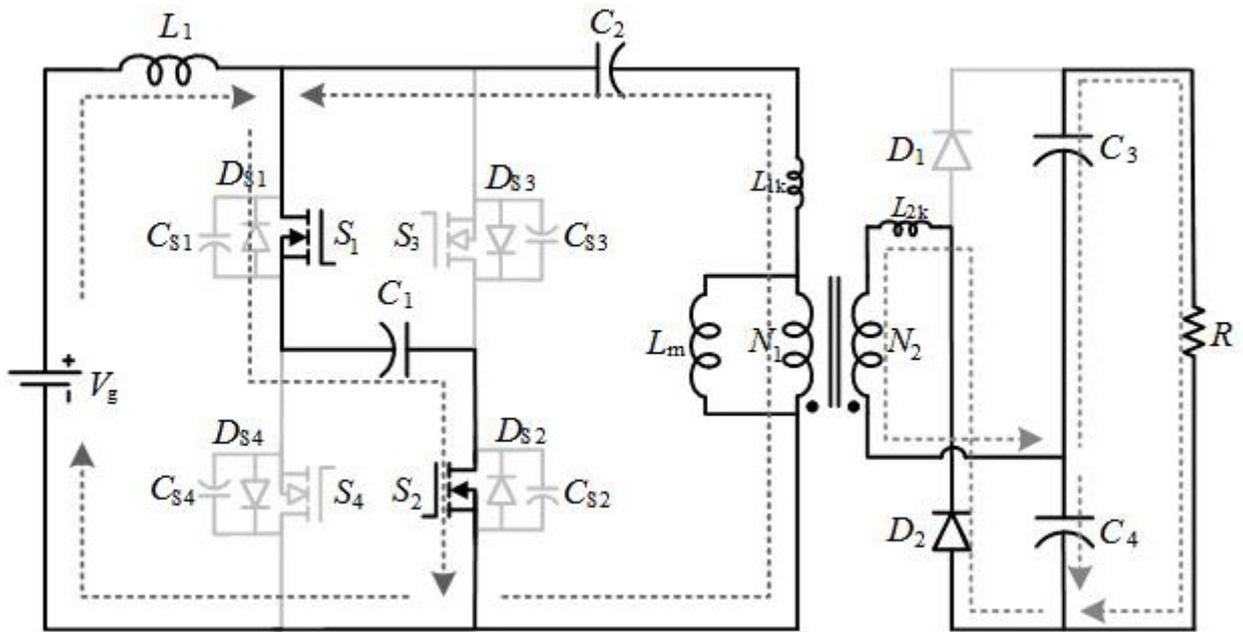


图 3

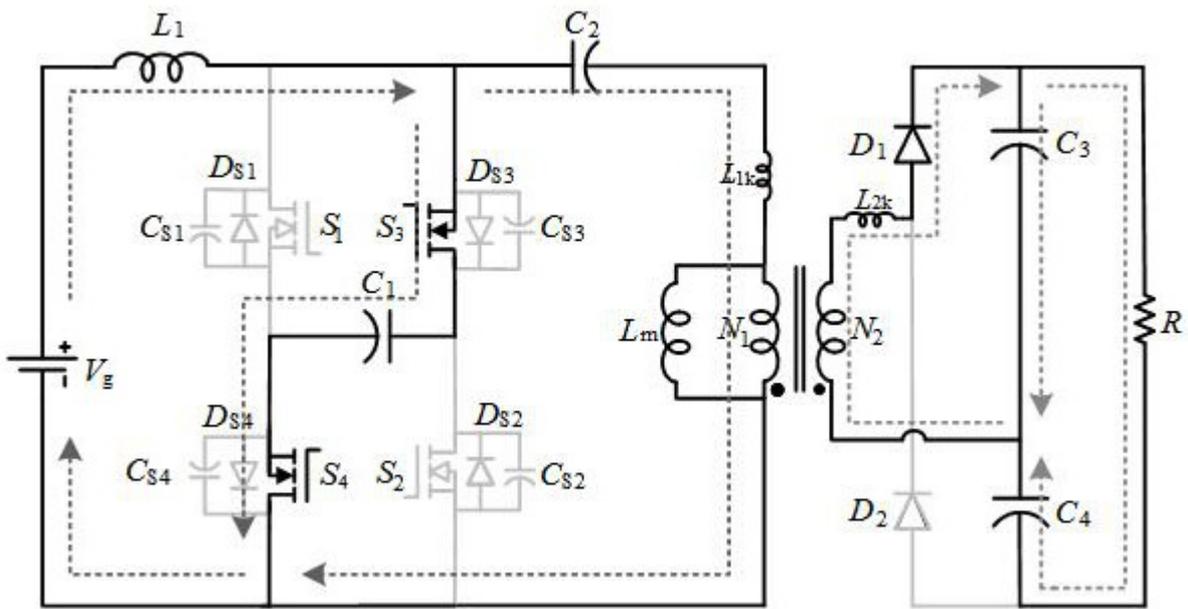


图 4

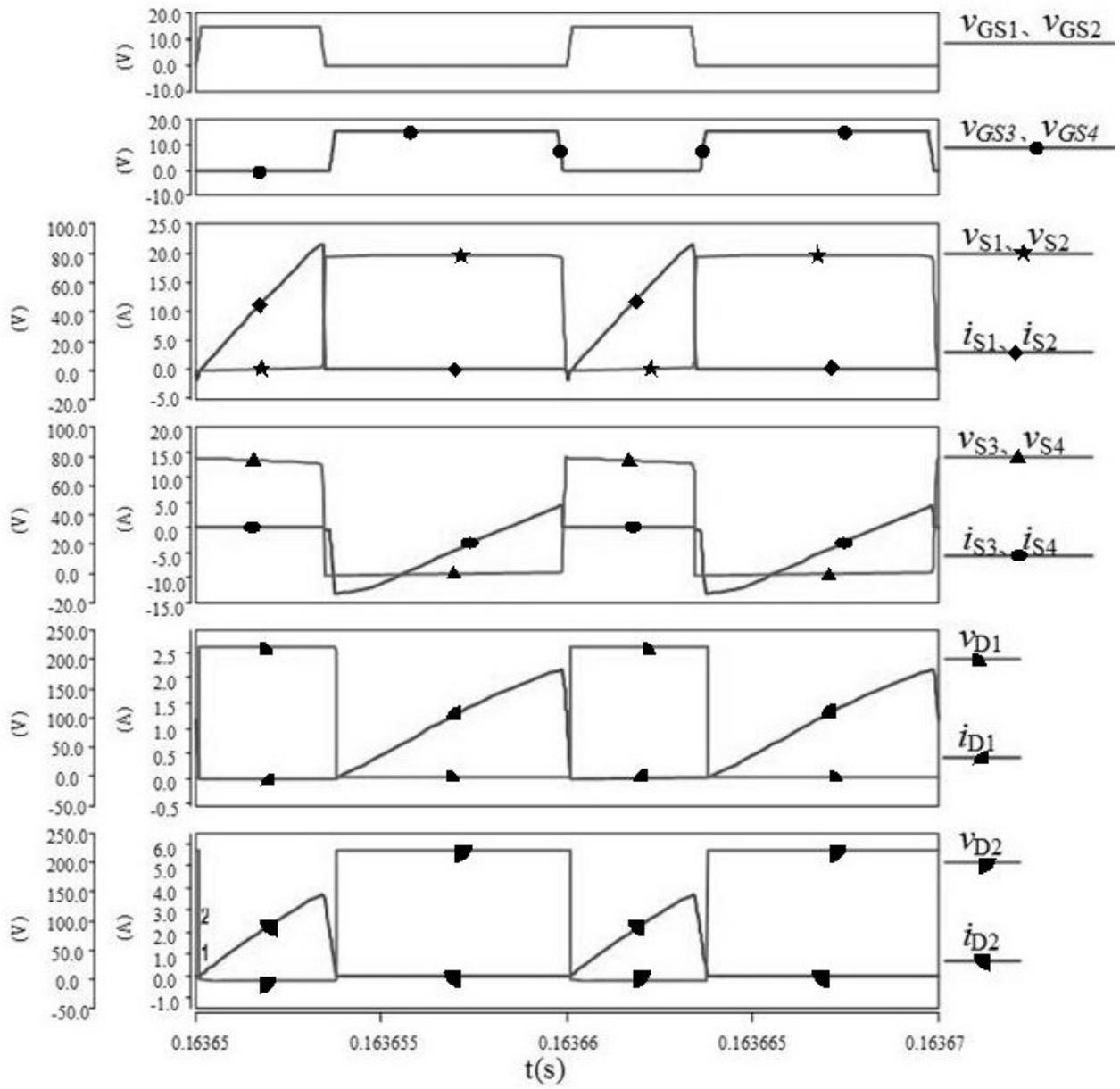


图 5