



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104348356 A

(43) 申请公布日 2015. 02. 11

(21) 申请号 201310312142. 7

(22) 申请日 2013. 07. 23

(71) 申请人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路 1239 号

(72) 发明人 韦莉 刘帅 张逸成 杨晓盛

詹地夫 姚勇涛 沈玉琢 张佳佳

顾帅 叶尚斌

(74) 专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限

公司 31225

代理人 宣慧兰

(51) Int. Cl.

H02M 3/10(2006. 01)

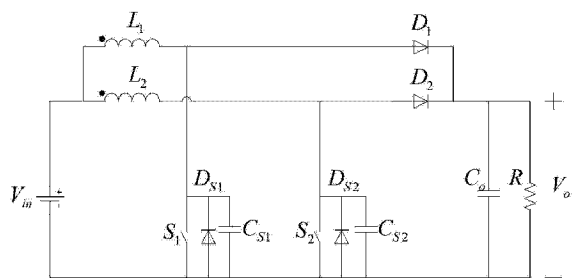
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路

(57) 摘要

本发明涉及一种耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路,该电路包括升压电感,该升压电感采用两个相互耦合的电感替代了传统交错并联 Boost 拓扑中的普通升压电感。与现有技术相比,本发明通过开关管实现了零电压开通(占空比大于 0.5)与零电流开通(占空比小于 0.5),减小了开关损耗,提高了电路总体效率;软开关效果利用耦合电感漏感实现,没有添加额外辅助元件,不会对变换器功率密度造成影响。



1. 一种耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路, 该电路包括升压电感, 其特征在于, 所述的升压电感为两个相互耦合的电感。

2. 根据权利要求 1 所述的耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路, 其特征在于, 所述的电路具体包括第一升压电感 (L_1)、第二升压电感 (L_2), 第一续流二极管 (D_1)、第二续流二极管 (D_2), 第一功率开关管 (S_1)、第二功率开关管 (S_2), 第一辅助二极管 (D_{S1})、第二辅助二极管 (D_{S2}), 第一辅助电容 (C_{S1})、第二辅助电容 (C_{S2}); 其中, 电路中第一续流二极管 (D_1) 共阳极接第一功率开关管 (S_1) 的漏极, 第二续流二极管 (D_2) 共阳极接第二功率开关管 (S_2) 的漏极; 第一辅助二极管 (D_{S1})、第二辅助二极管 (D_{S2}) 分别并联于两个功率开关管 (S_1 、 S_2) 两端; 第一辅助电容 (C_{S1})、第二辅助电容 (C_{S2}) 分别并联于两个功率开关管 (S_1 、 S_2) 两端; 第一升压电感 (L_1) 和第二升压电感 (L_2) 相互耦合, 输入直流电源 (V_{in}) 一端接第一升压电感 (L_1) 和第二升压电感 (L_2), 另一端接第一功率开关管 (S_1)、第二功率开关管 (S_2) 的源极; 第一续流二极管 (D_1)、第二续流二极管 (D_2) 的共阴极接到滤波电容 (C_o) 一端, 第一功率开关管 (S_1)、第二功率开关管 (S_2) 的源极接到滤波电容 (C_o) 另一端; 负载 (R) 并接于滤波电容 (C_o) 两端。

3. 根据权利要求 2 所述的耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路, 其特征在于, 第一升压电感 (L_1)、第二升压电感 (L_2) 紧密耦合且绕向相同。

4. 根据权利要求 2 所述的耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路, 其特征在于, 第一辅助二极管 (D_{S1})、第二辅助二极管 (D_{S2}) 可以是所述第一功率开关管 (S_1)、第二功率开关管 (S_2) 的体二极管。

5. 根据权利要求 2 所述的耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路, 其特征在于, 第一辅助电容 (C_{S1})、第二辅助电容 (C_{S2}) 可以是所述第一功率开关管 (S_1)、第二功率开关管 (S_2) 的输出电容。

6. 根据权利要求 2 所述的耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路, 其特征在于, 第一续流二极管 (D_1) 和第二续流二极管 (D_2) 是 Si 快恢复二极管、Si 肖特基二极管、或者 SiC 肖特基二极管。

一种耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路

技术领域

[0001] 本发明涉及一种软开关电路,尤其是涉及大功率非隔离 DC/DC 应用场合的耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路。

背景技术

[0002] 在航空航天、电动汽车、光伏发电等诸多领域中,大功率 DC/DC 变换器是必不可少的部件。如何有效地选取和调节其参数,提升功率密度,提高转换效率,改善电磁干扰 (EMI) 情况,不仅关系到变换器本身的正常工作,而且也关系到系统整体性能的优化、能源利用效率的提高以及控制部分的稳定可靠运行。

[0003] 提高开关频率是提升 DC/DC 变换器功率密度的重要手段。但是由于功率器件的非理想特性,开关频率越高,工作在硬开关状态下的功率器件开关损耗也越大,从而导致变换器效率下降。而且,较大的电压与电流变化率会给电路带来严重的 EMI 影响。

[0004] 针对高频化带来的一系列问题,软开关技术是重要的解决方法。它可以通过改善功率器件电流电压波形,有效降低开关损耗,提高高频工作下变换器效率;还可以降低开关应力,减小 EMI 影响。但是为实现软开关效果而额外添加的辅助网络往往会造成变换器整体体积的增加,从而影响软开关变换器在对空间要求严苛的高功率密度场合的应用。

发明内容

[0005] 本发明的目的就是为了克服上述现有技术存在的缺陷而提供一种能够降低开关损耗同时不影响功率密度的耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路。

[0006] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0007] 一种耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路,该电路包括升压电感,该升压电感采用两个相互耦合的电感替代了传统交错并联 Boost 拓扑中的普通升压电感。

[0008] 该软开关电路具体包括第一升压电感、第二升压电感,第一续流二极管、第二续流二极管,第一功率开关管、第二功率开关管,第一辅助二极管、第二辅助二极管,第一辅助电容、第二辅助电容。其中第一辅助二极管、第二辅助二极管分别并联于两个功率开关管两端;第一辅助电容、第二辅助电容分别并联于两个功率开关管两端;输入直流电源一端接第一升压电感和第二升压电感,另一端接第一功率开关管、第二功率开关管的源极;第一续流二极管、第二续流二极管的共阴极接到滤波电容一端,第一功率开关管、第二功率开关管的源极接到滤波电容另一端;负载并接于滤波电容两端。

[0009] 第一与第二升压电感紧密耦合且绕向相同。当电路占空比大于 0.5 时,利用耦合电感的漏感与第一或第二辅助电容的谐振,在功率开关管开通前将第一或第二辅助电容完全放电,从而实现功率开关管的零电压开通;当电路占空比小于 0.5 时,利用耦合电感漏感上电流不能突变的特性,实现功率开关管的零电流开通。

[0010] 第一辅助二极管、第二辅助二极管可以是所述第一功率开关管、第二功率开关管的体二极管。

[0011] 第一辅助电容、第二辅助电容可以是所述第一功率开关管、第二功率开关管的输出电容。

[0012] 第一续流二极管和第二续流二极管是 Si 快恢复二极管、Si 肖特基二极管、或者 SiC 肖特基二极管。

[0013] 与现有技术相比,本发明合理设计耦合系数,利用耦合电感漏感实现传统交错并联 Boost 拓扑的软开通工作,较之硬开关电路减小了开关损耗,提高了电路转换效率;较之添加辅助电感的软开关电路,减少了额外器件,最大程度上避免了变换器整体体积的增加与功率密度的降低,在大功率等级高功率密度应用场合具有较大应用价值。

附图说明

[0014] 附图 1 是本发明的电路原理图;

[0015] 附图 2 是本发明的等效电路原理图;

[0016] 附图 3 是本发明在半个工作周期内的五种工作模态(占空比小于 0.5);

[0017] 附图 4 是本发明在半个工作周期内的五种工作模态(占空比大于 0.5)。

具体实施方式

[0018] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0019] 实施例

[0020] 参见附图 1,本发明电路采用耦合电感替代了传统交错并联 Boost 拓扑中的普通升压电感。所述耦合电感式交错并联 Boost 软开关电路包括两个升压电感 L_1 、 L_2 ,两个续流二极管 D_1 、 D_2 ,两个功率开关管 S_1 、 S_2 ,两个辅助二极管 D_{S1} 、 D_{S2} ,两个辅助电容 C_{S1} 、 C_{S2} 。第一续流二极管 D_1 共阳极接第一功率开关管 S_1 的漏极,第二续流二极管 D_2 共阳极接第二功率开关管 S_2 的漏极;第一辅助二极管 D_{S1} 、第二辅助二极管 D_{S2} 分别并联于两个功率开关管 S_1 、 S_2 两端;第一辅助电容 C_{S1} 、第二辅助电容 C_{S2} 分别并联于两个功率开关管 S_1 、 S_2 两端;输入直流电源 V_{in} 一端接第一升压电感 L_1 和第二升压电感 L_2 ,另一端接第一功率开关管 S_1 、第二功率开关管 S_2 的源极;第一续流二极管 D_1 、第二续流二极管 D_2 的共阴极接到滤波电容 C_o 一端,第一功率开关管 S_1 、第二功率开关管 S_2 的源极接到滤波电容 C_o 另一端;负载 R 并接于滤波电容 C_o 两端。

[0021] 第一升压电感 L_1 和第二升压电感 L_2 紧密耦合且绕向相同,可以解耦为三个非耦合电感。参见附图 2,三个非耦合电感包括第一互感 L_m 、第一漏感 L_{1k1} 与第二漏感 L_{1k2} 。

[0022] 按功率开关管占空比 D 不同,本发明电路存在两种工作情况: $D < 0.5$ 与 $D > 0.5$ 。

[0023] $D < 0.5$ 时,由于电路结构的对称性,仅以半个工作周期五种模态为例,分析如下:

[0024] 模态 1,如图 3(a):该模态之前,电路处于第一功率开关管 S_1 、第二功率开关管 S_2 、第一续流二极管 D_1 关断,第二续流二极管 D_2 续流的工作状态,存在两个电流回路:电源 $V_{in} \rightarrow$ 第一互感 $L_m \rightarrow$ 第二漏感 $L_{1k2} \rightarrow$ 第二续流二极管 $D_2 \rightarrow$ 滤波电容 C_o 与输出负载 R ,第一漏感 $L_{1k1} \rightarrow$ 第二漏感 $L_{1k2} \rightarrow$ 第二续流二极管 $D_2 \rightarrow$ 滤波电容 C_o 与输出负载 $R \rightarrow$ 第一辅助二极管 D_{S1} 。模态 1 初始时,开通第一功率开关管 S_1 ,由于第一漏感 L_{1k1} 、第二漏感 L_{1k2} 的存在,第一功率开关管 S_1 实现了零电流开通,第一漏感 L_{1k1} 、第二漏感 L_{1k2} 、第一辅助二极管 D_{S1} 上电流开始下降。该模态期间,除上述两个电流回路外另有一个回路:电源 $V_{in} \rightarrow$ 第一互感 $L_m \rightarrow$

第一漏感 L_{1k1} → 第一功率开关管 S_1 。

[0025] 模态 2, 如图 3(b): 模态 2 初始时, 第一辅助二极管 D_{S1} 上电流下降至零, 第一漏感 L_{1k1} 上电流开始反向上升, 第二漏感 L_{1k2} 上电流继续减小, 第一功率开关管 S_1 上电流继续增加。此模态内存在两个电流回路: 电源 V_{in} → 第一互感 L_m → 第一漏感 L_{1k1} → 第一功率开关管 S_1 , 电源 V_{in} → 第一互感 L_m → 第二漏感 L_{1k2} → 第二续流二极管 D_2 → 滤波电容 C_o 与输出负载 R 。模态 2 结束时, 第二漏感 L_{1k2} 上电流下降至零。

[0026] 模态 3, 如图 3(c): 之后第二续流二极管 D_2 自然关断, 第二辅助电容 C_{S2} 开始与第二漏感 L_{1k2} 、第一漏感 L_{1k1} 谐振。该模态内存在两个电流回路: 电源 V_{in} → 第一互感 L_m → 第一漏感 L_{1k1} → 第一功率开关管 S_1 , 第二辅助电容 C_{S2} → 第二漏感 L_{1k2} → 第一漏感 L_{1k1} → 第一功率开关管 S_1 。模态 3 结束时, 第二辅助电容 C_{S2} 完全放电。

[0027] 模态 4, 如图 3(d): 第二辅助电容 C_{S2} 放电结束后, 第二辅助二极管 D_{S2} 导通续流, 该模态内存在两个电流回路: 电源 V_{in} → 第一互感 L_m → 第一漏感 L_{1k1} → 第一功率开关管 S_1 , 第二漏感 L_{1k2} → 第一漏感 L_{1k1} → 第一功率开关管 S_1 → 第二辅助二极管 D_{S2} 。

[0028] 模态 5, 如图 3(e): 模态 5 初始时, 关断第一功率开关管 S_1 , 电路进入第一功率开关管 S_1 、第二功率开关管 S_2 均关断, 第一续流二极管 D_1 导通的工作状态。该模态内存在两个电流回路: 电源 V_{in} → 第一互感 L_m → 第一漏感 L_{1k1} → 第一续流二极管 D_1 → 滤波电容 C_o 与输出负载 R , 第二漏感 L_{1k2} → 第一漏感 L_{1k1} → 第一续流二极管 D_1 → 滤波电容 C_o 与输出负载 R → 第二辅助二极管 D_{S2} 。模态 5 结束时, 开通第二功率开关管 S_2 , 进入另外半个开关周期。

[0029] $D > 0.5$ 时, 由于电路结构的对称性, 仅以半个工作周期五种模态为例, 分析如下:

[0030] 模态 1, 如图 4(a): 该模态之前, 电路处于第一功率开关管 S_1 关断, 第二功率开关管 S_2 导通状态, 存在两个电流回路: 电源 V_{in} → 第一互感 L_m → 第二漏感 L_{1k2} → 第二功率开关管 S_2 , 第一漏感 L_{1k1} → 第二漏感 L_{1k2} → 第二功率开关管 S_2 → 第一辅助二极管 D_{S1} 。模态 1 初始时, 开通第一功率开关管 S_1 , 由于第一辅助二极管 D_{S1} 导通, 第一功率开关管 S_1 实现了零电压开通。由于第一漏感 L_{1k1} 、第二漏感 L_{1k2} 的存在, 电流回路并没有变化。

[0031] 模态 2, 如图 4(b): 模态 2 初始时, 关断第二功率开关管 S_2 , 电路存在三个电流回路: 电源 V_{in} → 第一互感 L_m → 第二漏感 L_{1k2} → 第二续流二极管 D_2 → 滤波电容 C_o 与输出负载 R , 第一漏感 L_{1k1} → 第二漏感 L_{1k2} → 第二续流二极管 D_2 → 滤波电容 C_o 与输出负载 R → 第一辅助二极管 D_{S1} , 电源 V_{in} → 第一互感 L_m → 第一漏感 L_{1k1} → 第一功率开关管 S_1 。流过第一功率开关管 S_1 的电流上升, 第一漏感 L_{1k1} 、第二漏感 L_{1k2} 上电流下降。模态 2 结束时, 第一漏感 L_{1k1} 上电流下降至零, 第一辅助二极管 D_{S1} 自然关断。

[0032] 模态 3, 如图 4(c): 之后第一漏感 L_{1k1} 上电流反向上升, 流过第一功率开关管 S_1 的电流继续上升, 第二漏感 L_{1k2} 上电流继续下降。模态 3 结束时, 第二漏感 L_{1k2} 上电流下降至零。

[0033] 模态 4, 如图 4(d): 第二漏感 L_{1k2} 上电流下降至零后, 第二续流二极管 D_2 自然关断, 此后第二漏感 L_{1k2} 上电流反向上升, 第二辅助电容 C_{S2} 与第一漏感 L_{1k1} 、第二漏感 L_{1k2} 谐振放电, 电路存在两个电流回路: 电源 V_{in} → 第一互感 L_m → 第一漏感 L_{1k1} → 第一功率开关管 S_1 , 第二辅助电容 C_{S2} → 第二漏感 L_{1k2} → 第一漏感 L_{1k1} → 第一功率开关管 S_1 。模态 4 结束时, 第二辅助电容 C_{S2} 放电结束。

[0034] 模态 5, 如图 4(e): 第二辅助电容 C_{S2} 放电结束后, 第二辅助二极管 D_{S2} 开始导通续

流,电路存在两个电流回路:电源 V_{in} \rightarrow 第一互感 L_m \rightarrow 第一漏感 L_{lk1} \rightarrow 第一功率开关管 S_1 , 第二漏感 L_{lk2} \rightarrow 第一漏感 L_{lk1} \rightarrow 第一功率开关管 S_1 \rightarrow 第二辅助二极管 D_{S2} 。模态 5 结束时, 开通第二功率开关管 S_2 , 开始另外半个开关周期工作。

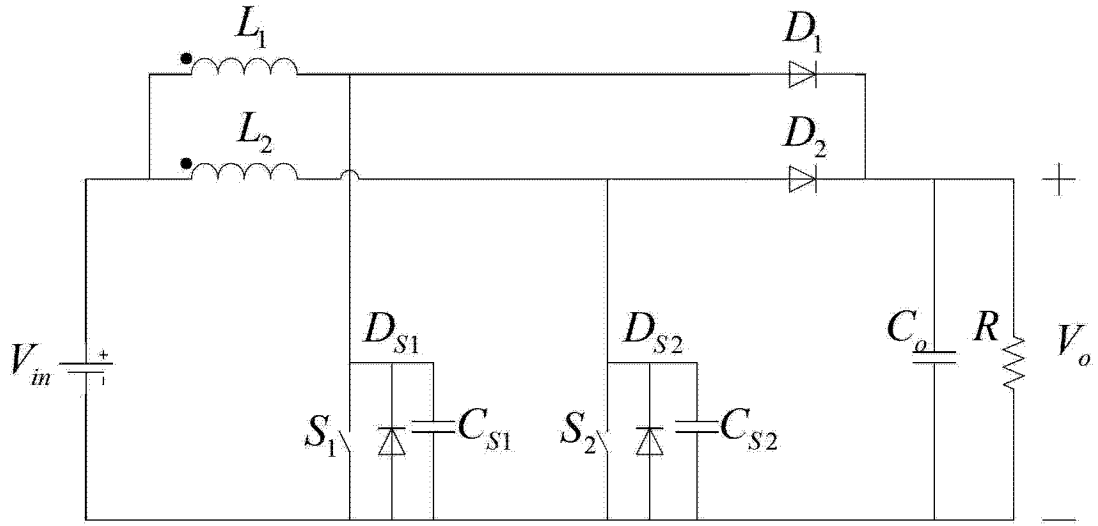


图 1

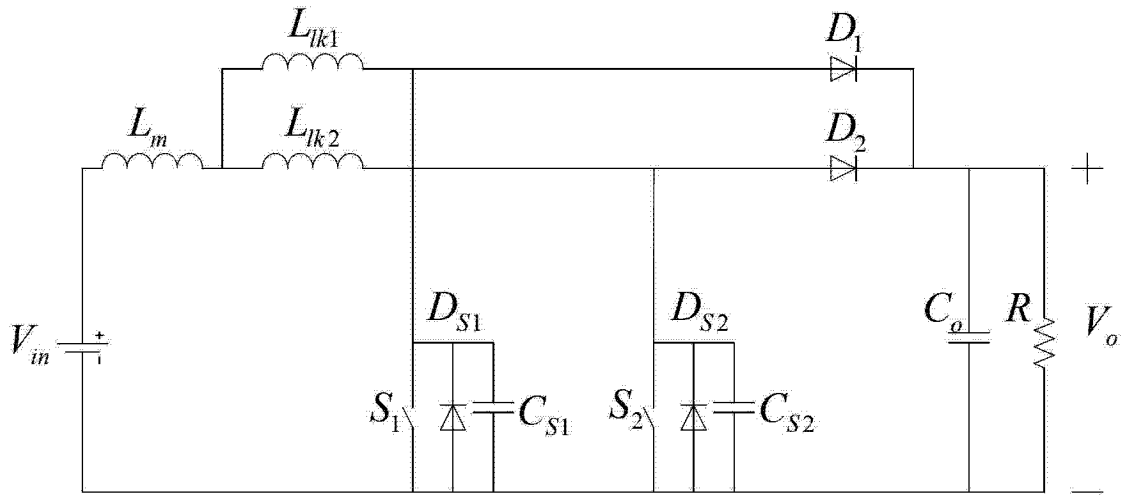


图 2

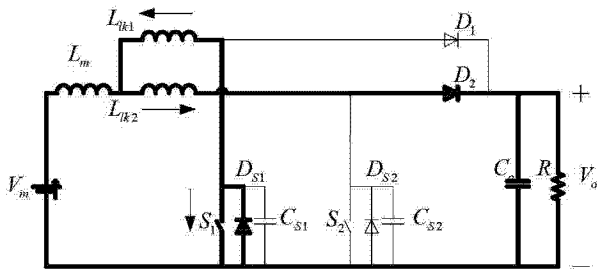


图 3(a)

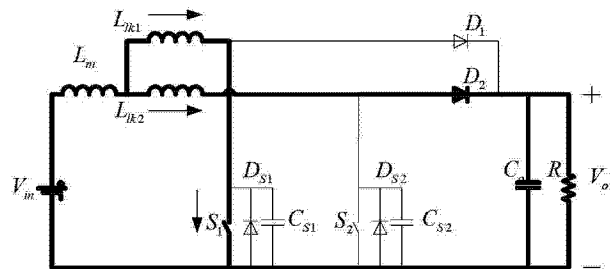


图 3(b)

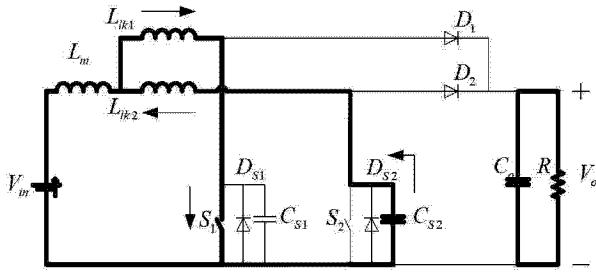


图 3(c)

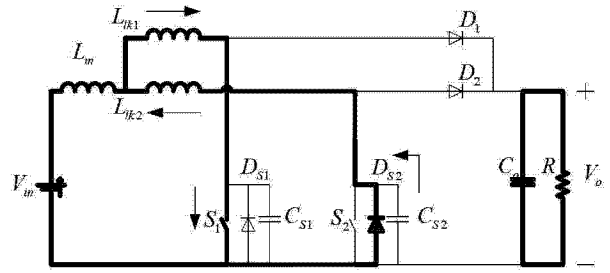


图 3(d)

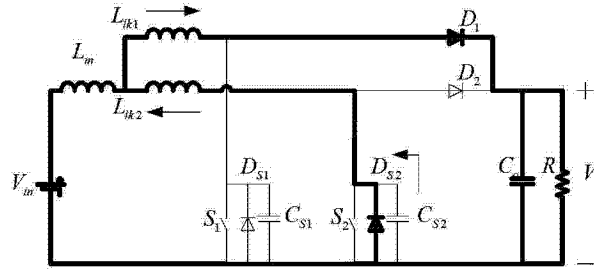


图 3(e)

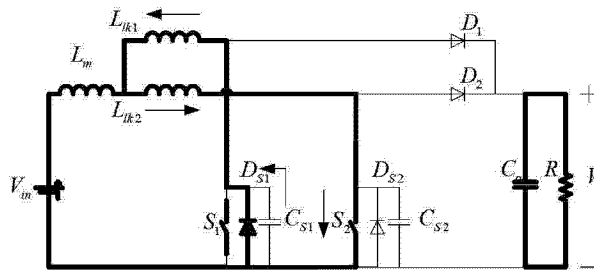


图 4(a)

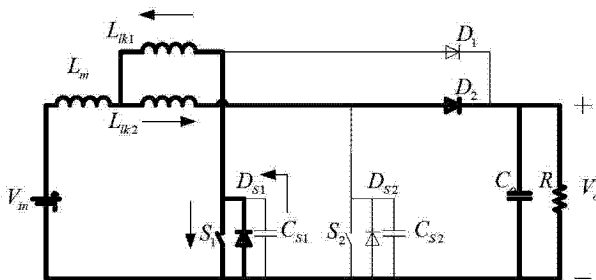


图 4(b)

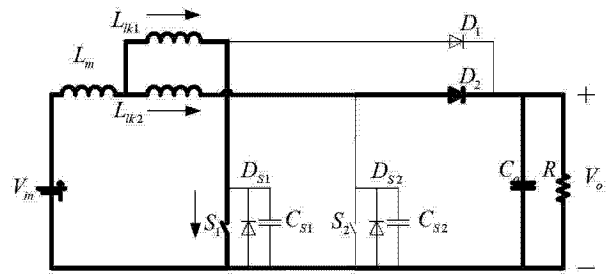


图 4(c)

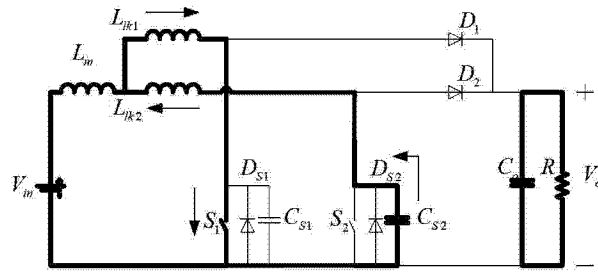


图 4(d)

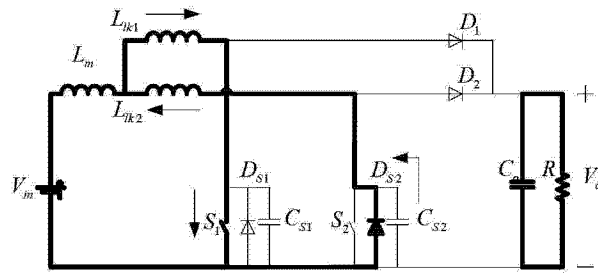


图 4(e)