



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103595257 A

(43) 申请公布日 2014. 02. 19

(21) 申请号 201310637118. 0

(22) 申请日 2013. 11. 28

(71) 申请人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市白下区御道街
29 号

(72) 发明人 吴红飞 牟恬恬 邢岩

(51) Int. Cl.

H02M 3/335 (2006. 01)

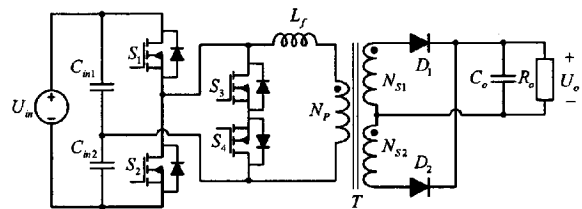
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种隔离型软开关降压直流变换器及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种隔离型软开关降压直流变换器及其控制方法,属于电力电子变换器技术领域。该变换器由输入源 (U_{in})、第一和第二输入滤波电容 (C_{in1} 、 C_{in2})、第一、第二、第三和第四开关管 (S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4)、电感 (L_f)、变压器 (T)、第一和第二二极管 (D_1 、 D_2)、输出滤波电容 (C_o) 和负载 (R_o) 构成;该变换器中第一 (S_1) 和第二开关管 (S_2) 交错工作,第一开关管 (S_1) 与第三开关管 (S_3) 互补工作,第二开关管 (S_2) 与第四开关管 (S_4) 互补工作,从而实现输出电压的控制;本发明隔离型软开关降压直流变换器具有开关器件电压应力低、整个负载范围内能够实现所有开关管软开关等优点,可以实现高频、高效率功率变换,有效减小电感和变压器体积,实现高功率密度,且控制简单、可靠性高、易于实现。



1. 一种隔离型软开关降压直流变换器,其特征在于:

所述隔离型软开关降压直流变换器由输入源 (U_{in})、第一输入滤波电容 (C_{in1})、第二输入滤波电容 (C_{in2})、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)、电感 (L_f)、变压器 (T)、第一二极管 (D_1) 第二二极管 (D_2)、输出滤波电容 (C_o) 和负载 (R_o) 构成,其中变压器 (T) 由原边绕组 (N_p)、第一副边绕组 (N_{s1}) 和第二副边绕组 (N_{s2}) 构成;

所述输入源 (U_{in}) 的正极分别连接第一输入滤波电容 (C_{in1}) 的一端和第一开关管 (S_1) 的漏极,输入源 (U_{in}) 的负极分别连接第二输入滤波电容 (C_{in2}) 的一端和第二开关管 (S_2) 的源极,第一开关管 (S_1) 的源极分别连接第二开关管 (S_2) 的漏极、第三开关管 (S_3) 的漏极和滤波电感 (L_f) 的一端,滤波电感 (L_f) 的另一端与变压器 (T) 原边绕组 (N_p) 的同名端相连,变压器 (T) 原边绕组 (N_p) 的非同名端分别连接第四开关管 (S_4) 的漏极、第一输入滤波电容 (C_{in1}) 的另一端和第二输入滤波电容 (C_{in2}) 的另一端,第三开关管 (S_3) 的源极与第四开关管 (S_4) 的源极相连;

所述变压器 (T) 第一副边绕组 (N_{s1}) 的同名端与第一二极管 (D_1) 的阳极相连,变压器 (T) 第一副边绕组 (N_{s1}) 的非同名端分别与变压器 (T) 第二副边绕组 (N_{s2}) 的同名端、输出滤波电容 (C_o) 的一端和负载 (R_o) 的一端相连,变压器 (T) 第二副边绕组 (N_{s2}) 的非同名端与第二二极管 (D_2) 的阳极相连,第二二极管 (D_2) 的阴极分别与第一二极管 (D_1) 的阴极、输出滤波电容 (C_o) 的另一端和负载 (R_o) 的另一端相连。

2. 一种基于权利要求 1 的隔离型软开关降压直流变换器,其特征在于:所述电感 (L_f) 可以由变压器 (T) 的漏感代替。

3. 一种基于权利要求 1 所述的隔离型软开关降压直流变换器的控制方法,其特征在于:

所述第一开关管 (S_1) 与第三开关管 (S_3) 互补导通,第二开关管 (S_2) 和第四开关管 (S_4) 互补导通,第一开关管 (S_1) 和第二开关管 (S_2) 的占空比相等且交错导通,通过调节第一开关管 (S_1) 和第二开关管 (S_2) 的占空比实现输出电压的控制。

一种隔离型软开关降压直流变换器及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种隔离型软开关降压直流变换器及其控制方法,属于电力电子变换器技术领域。

背景技术

[0002] 隔离型直流降压变换器适用于要求输入输出电气隔离且输出电压低于输入电压的场合,这类变换器在通信电源、服务器电源、航空航天等各个领域具有广泛的应用。

[0003] 传统的隔离型直流变换器,例如正激变换器、推挽变换器、半桥变换器、全桥变换器等,都属于降压型直流变换器。在输出电压远低于输入电压的应用场合,半桥变换器的应用最为广泛。然而,以半桥变换器为代表的传统隔离型降压直流变换器存在以下问题:变换器副边整流二极管的电压应力高;变压器漏感大且漏感能量得不到有效利用,引起开关器件的电压尖峰和震荡,进一步加剧了开关器件的应力、降低了可靠性和效率。此外,传统的直流变换器通常不能实现开关管的软开关,限制了变换器的效率提高。近年来,LLC 谐振变换器以其出色的软开关、低电压应力等优势获得了广泛关注和应用,然而,LLC 谐振变换器需要采用变频控制,变换器设计、实现和控制都较传统变换器复杂的多。

[0004] 正是上述因素促使电力电子技术领域研发人员不断研究和提出新型高性能、高可靠性、易于控制和实现的直流变换器解决方案。

发明内容

[0005] 发明目的:

[0006] 本发明针对现有技术的不足,提供一种隔离型软开关降压直流变换器及其控制方法。

[0007] 技术方案:

[0008] 本发明采用以下技术方案:

[0009] 所述隔离型软开关降压直流变换器由输入源 (U_{in})、第一输入滤波电容 (C_{in1})、第二输入滤波电容 (C_{in2})、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)、电感 (L_f)、变压器 (T)、第一二极管 (D_1) 第二二极管 (D_2)、输出滤波电容 (C_o) 和负载 (R_o) 构成,其中变压器 (T) 由原边绕组 (N_p)、第一副边绕组 (N_{s1}) 和第二副边绕组 (N_{s2}) 构成;

[0010] 所述输入源 (U_{in}) 的正极分别连接第一输入滤波电容 (C_{in1}) 的一端和第一开关管 (S_1) 的漏极,输入源 (U_{in}) 的负极分别连接第二输入滤波电容 (C_{in2}) 的一端和第二开关管 (S_2) 的源极,第一开关管 (S_1) 的源极分别连接第二开关管 (S_2) 的漏极、第三开关管 (S_3) 的漏极和滤波电感 (L_f) 的一端,滤波电感 (L_f) 的另一端与变压器 (T) 原边绕组 (N_p) 的同名端相连,变压器 (T) 原边绕组 (N_p) 的非同名端分别连接第四开关管 (S_4) 的漏极、第一输入滤波电容 (C_{in1}) 的另一端和第二输入滤波电容 (C_{in2}) 的另一端,第三开关管 (S_3) 的源极与第四开关管 (S_4) 的源极相连;

[0011] 所述变压器 (T) 第一副边绕组 (N_{s1}) 的同名端与第一二极管 (D_1) 的阳极相连,变

压器 (T) 第一副边绕组 (N_{S1}) 的非同名端分别与变压器 (T) 第二副边绕组 (N_{S2}) 的同名端、输出滤波电容 (C_o) 的一端和负载 (R_o) 的一端相连, 变压器 (T) 第二副边绕组 (N_{S2}) 的非同名端与第二二极管 (D_2) 的阳极相连, 第二二极管 (D_2) 的阴极分别与第一二极管 (D_1) 的阴极、输出滤波电容 (C_o) 的另一端和负载 (R_o) 的另一端相连。

[0012] 本发明隔离型软开关降压直流变换器中所述电感 (L_f) 可以由变压器 (T) 的漏感代替。

[0013] 所述第一开关管 (S_1) 与第三开关管 (S_3) 互补导通, 第二开关管 (S_2) 和第四开关管 (S_4) 互补导通, 第一开关管 (S_1) 和第二开关管 (S_2) 的占空比相等且交错导通, 通过调节第一开关管 (S_1) 和第二开关管 (S_2) 的占空比实现输出电压的控制。

[0014] 本发明具有如下技术效果:

[0015] (1) 所有开关器件的电压都直接由输入电压或输出电压钳位, 开关器件电压应力低;

[0016] (2) 所有开关器件能够在全负载范围内实现软开关, 变换效率高;

[0017] (3) 变压器漏感得到有效利用, 不存在漏感引起的环流或电压尖峰问题;

[0018] (4) 该变换器可以高频开关工作, 从而有效减小电感和变压器的体积重量, 实现高功率密度;

[0019] (5) 拓扑结构简洁、控制简单。

附图说明

[0020] 附图 1 是本发明隔离型软开关降压直流变换器的电路原理图;

[0021] 附图 2 是本发明隔离型软开关降压直流变换器在电感电流连续工作模式下的主要波形图;

[0022] 附图 3 ~ 附图 7 是本发明隔离型软开关降压直流变换器在电感电流连续工作模式下各开关模态的等效电路图;

[0023] 附图 8 是本发明隔离型软开关降压直流变换器在电感电流断续工作模式下的主要波形图;

[0024] 附图 9 ~ 附图 13 是本发明隔离型软开关降压直流变换器在电感电流断续工作模式下各开关模态的等效电路图;

[0025] 以上附图中的符号名称: U_{in} 为输入源; L_f 为电感; T 为变压器; N_p 和 N_{S1} 和 N_{S2} 分别为变压器 (T) 的原边绕组、第一副边绕组和第二副边绕组; C_{in1} 和 C_{in2} 分别为第一和第二输入滤波电容; C_o 为输出滤波电容; R_o 为负载; S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 分别为第一、第二、第三和第四开关管; D_1 、 D_2 分别为第一和第二二极管; U_o 为输出电压; u_{DS1} 和 u_{DS3} 分别为第一开关管 (S_1) 和第三开关管 (S_3) 的漏极和源极之间的电压; u_p 为变压器 (T) 原边绕组 (N_p) 同名端和非同名端之间的电压; u_M 为第一开关管 (S_1) 源极和第四开关管 (S_4) 漏极之间的电压; i_{L_f} 为电感 (L_f) 的电流; i_{S1} 和 i_{S2} 分别为流入第一和第二开关管漏极的电流; t 、 t_0 、 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 和 t_5 为时间。

具体实施方式

[0026] 下面结合附图对本发明的技术方案进行详细说明。

[0027] 如附图 1 所示,本发明所述隔离型软开关降压直流变换器由输入源 (U_{in})、第一输入滤波电容 (C_{in1})、第二输入滤波电容 (C_{in2})、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)、电感 (L_f)、变压器 (T)、第一二极管 (D_1) 第二二极管 (D_2)、输出滤波电容 (C_o) 和负载 (R_o) 构成,其中变压器 (T) 由原边绕组 (N_p)、第一副边绕组 (N_{s1}) 和第二副边绕组 (N_{s2}) 构成;所述输入源 (U_{in}) 的正极分别连接第一输入滤波电容 (C_{in1}) 的一端和第一开关管 (S_1) 的漏极,输入源 (U_{in}) 的负极分别连接第二输入滤波电容 (C_{in2}) 的一端和第二开关管 (S_2) 的源极,第一开关管 (S_1) 的源极分别连接第二开关管 (S_2) 的漏极、第三开关管 (S_3) 的漏极和滤波电感 (L_f) 的一端,滤波电感 (L_f) 的另一端与变压器 (T) 原边绕组 (N_p) 的同名端相连,变压器 (T) 原边绕组 (N_p) 的非同名端分别连接第四开关管 (S_4) 的漏极、第一输入滤波电容 (C_{in1}) 的另一端和第二输入滤波电容 (C_{in2}) 的另一端,第三开关管 (S_3) 的源极与第四开关管 (S_4) 的源极相连;所述变压器 (T) 第一副边绕组 (N_{s1}) 的同名端与第一二极管 (D_1) 的阳极相连,变压器 (T) 第一副边绕组 (N_{s1}) 的非同名端分别与变压器 (T) 第二副边绕组 (N_{s2}) 的同名端、输出滤波电容 (C_o) 的一端和负载 (R_o) 的一端相连,变压器 (T) 第二副边绕组 (N_{s2}) 的非同名端与第二二极管 (D_2) 的阳极相连,第二二极管 (D_2) 的阴极分别与第一二极管 (D_1) 的阴极、输出滤波电容 (C_o) 的另一端和负载 (R_o) 的另一端相连。

[0028] 在具体实施时,电感 (L_f) 可以全部或者部分由变压器 (T) 的漏感代替,这表明变压器 (T) 的漏感将得到有效利用,而且漏感用作了能量传输电感后,该变换器不再存在传统隔离变换器中漏感引起的电压尖峰或者损耗问题。

[0029] 本发明所述隔离型软开关降压直流变换器中的第一开关管 (S_1) 与第三开关管 (S_3) 互补导通,第二开关管 (S_2) 和第四开关管 (S_4) 互补导通,第一开关管 (S_1) 和第二开关管 (S_2) 的占空比相等且交错导通,通过调节第一开关管 (S_1) 和第二开关管 (S_2) 的占空比实现输出电压的控制。

[0030] 在具体实施时,第一开关管 (S_1) 与第三开关管 (S_3) 的开关信号之间必须设置合理的死区时间以实现第一开关管 (S_1) 与第三开关管 (S_3) 的软开关,第二开关管 (S_2) 与第四开关管 (S_4) 的开关信号之间也必须设置合理的死区时间以实现第二开关管 (S_2) 与第四开关管 (S_4) 的软开关。

[0031] 在具体实施时,所有的开关管应选用带有寄生体二极管的半导体开关器件,例如金属氧化物半导体场效应晶体管等。如果所选用的开关管不带有寄生体二极管,则应该在其漏极和源极两端反并联二极管。

[0032] 从附图 1 所示的本发明隔离型软开关降压直流变换器的电路结构可以直观的看出,该变换器第一和第二开关管 (S_1 、 S_2) 的漏源电压都直接被输入电压钳位,即其电压应力就等于输入电压,第三和第四开关管 (S_3 、 S_4) 的漏源电压则直接被输入滤波电容电压钳位,其电压应力只有输入电压的一半,而变换器副边的开关器件则由输出电压钳位,原边和副边的所有开关器件都不存在电压尖峰问题,开关器件的电压应力低。

[0033] 假设所有电感、电容、开关管和二极管都为理想器件,忽略所有电容上的电压纹波,则第一和第二输入滤波电容 C_{in1} 和 C_{in2} 的电压之和等于输入电压 U_{in} 。根据电感 (L_f) 的工作状态,本发明隔离型软开关降压直流变换器(以下简称变换器)可以工作于电感电流连续模式或电感电流断续模式。下面分别分析变换器在两种工作模式下的工作原理。

[0034] 当输出功率较大时变换器通常工作在电感电流连续模式。附图 2 是变换器在电感电流连续模式下的主要工作波形。在该模式下,半个开关周期内共有五种开关模态。

[0035] 开关模态 1 $[t_0, t_1]$: t_0 时刻之前,开关管 S_3 和 S_4 导通,电感 L_f 电流 i_{L_f} 为负值,电感 L_f 中储存的能量经变压器和二极管 D_2 传输给负载, t_0 时刻,开关管 S_3 关断,电感 L_f 的电流换向到开关管 S_1 的体二极管中,开关管 S_1 的漏源电压降为 0,因此 S_1 具备了零电压开通的条件,同时,电感 L_f 的电流 i_{L_f} 在输入和输出电压的共同作用下线性减小,该模态等效电路如附图 3 所示。

[0036] 开关模态 2 $[t_1, t_2]$: t_1 时刻,开关管 S_1 零电压开通,电感 L_f 电流继续减小,直到 t_2 时刻 i_{L_f} 减小到 0,第二二极管 D_2 自然关断,该模态等效电路如附图 4 所示。

[0037] 开关模态 3 $[t_2, t_3]$: t_2 时刻,电感 L_f 电流 i_{L_f} 从 0 开始线性增加,第一二极管 D_1 导通,输入源经过电感 L_f 向负载传输能量,电感 L_f 储能,该模态等效电路如附图 5 所示。值得注意的是,该模态持续的时间越长,电感电流的峰值越大,输入源向负载传输能量的时间也越长,即变换器输出电压或输出功率与该模态的持续时间成正比,也即与开关管 S_1 的占空比成正比。

[0038] 开关模态 4 $[t_3, t_4]$: t_3 时刻,开关管 S_1 关断,电感 L_f 的电流换向到第三开关管 S_3 的体二极管中, S_3 具备了零电压开通的条件,电感 L_f 电流线性减小,该模态等效电路如附图 6 所示。

[0039] 开关模态 5 $[t_4, t_5]$: t_4 时刻,开关管 S_3 零电压开通,电感 L_f 中储存的能量经变压器和二极管 D_1 传输给负载,电感 L_f 电流线性减小,该模态等效电路如附图 7 所示。

[0040] t_5 时刻后,下半开关周期开始,工作过程类似,不再重复叙述。

[0041] 总结电感电流连续模式下的工作过程可知,电感电流连续模式下,所有的开关管都能够实现零电压开通,两个二极管的电流都是自然减小到 0、自然从 0 开始增加,因此不存在二极管反向恢复问题,因此,所有的开关器件都是软开关工作状态。

[0042] 当输出功率较低时变换器通常工作在电感电流断续模式。附图 8 是变换器在电感电流断续模式下的主要工作波形。在该模式下,半个开关周期内共有五种开关模态。

[0043] 开关模态 1 $[t_0, t_1]$: t_0 时刻之前,开关管 S_3 和 S_4 导通,但电感 L_f 的电流为 0,因此两个二极管都是关断状态; t_0 时刻, S_3 关断,电感 L_f 的电流保持为 0,该模态等效电路如附图 9 所示。

[0044] 开关模态 2 $[t_1, t_2]$: t_1 时刻,开关管 S_1 零电流开通,电感 L_f 电流 i_{L_f} 从 0 开始线性增加,第一二极管 D_1 导通,输入源经过电感 L_f 向负载传输能量,电感 L_f 储能,该模态等效电路如附图 10 所示。

[0045] 开关模态 3 $[t_2, t_3]$: t_2 时刻,开关管 S_1 关断,电感 L_f 的电流换向到第三开关管 S_3 的体二极管中, S_3 具备了零电压开通的条件,电感 L_f 电流线性减小,该模态等效电路如附图 11 所示。

[0046] 开关模态 4 $[t_3, t_4]$: t_3 时刻,开关管 S_3 零电压开通,电感 L_f 中储存的能量经变压器和二极管 D_1 传输给负载,电感 L_f 电流线性减小,该模态等效电路如附图 12 所示。

[0047] 开关模态 5 $[t_4, t_5]$: t_4 时刻,电感 L_f 的电流减小为 0,二极管 D_1 自然关断,在该模态,虽然开关管 S_3 和 S_4 同时导通,但没有电流流过,该模态等效电路如附图 13 所示。

[0048] t_5 时刻后,下半开关周期开始,工作过程类似,不再重复叙述。

[0049] 总结电感电流断续模式下的工作过程可知,电感电流断续模式下,第一和第二开关管 (S_1 、 S_2) 都能够实现零电流开通,第三和第四开关管 (S_3 、 S_4) 都能够实现零电压开通,两个二极管的电流都是自然减小到 0、自然从 0 开始增加,因此不存在二极管反向恢复问题,因此,所有的开关器件也都是软开关工作状态。

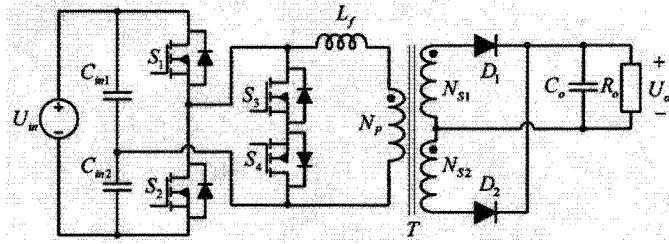


图 1

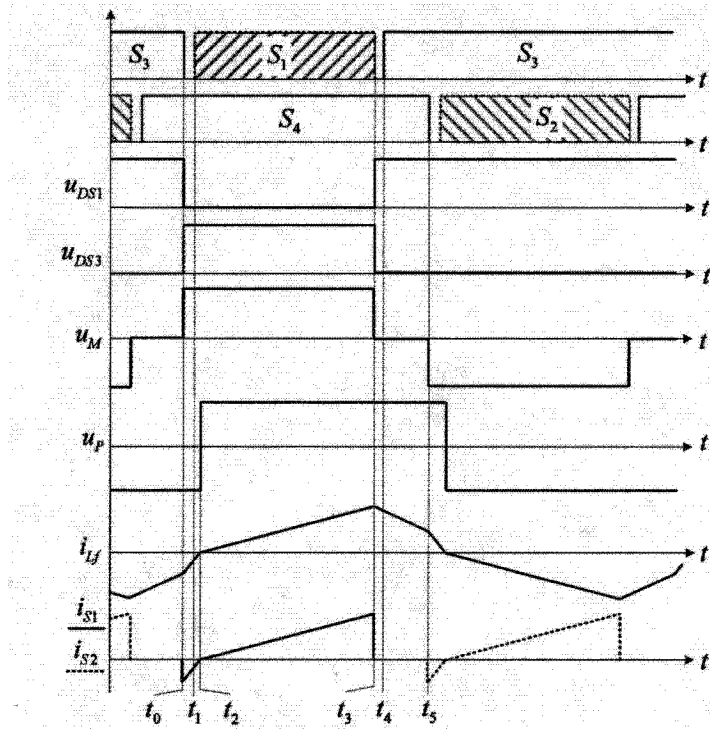


图 2

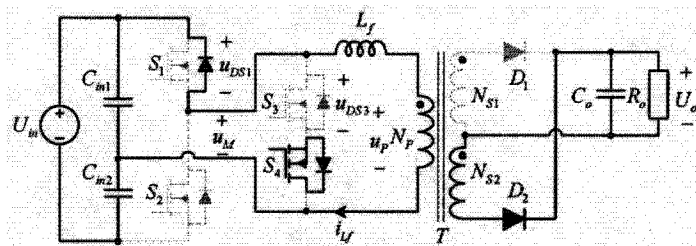


图 3

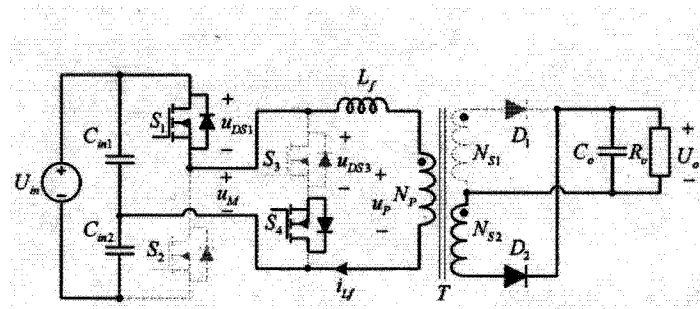


图 4

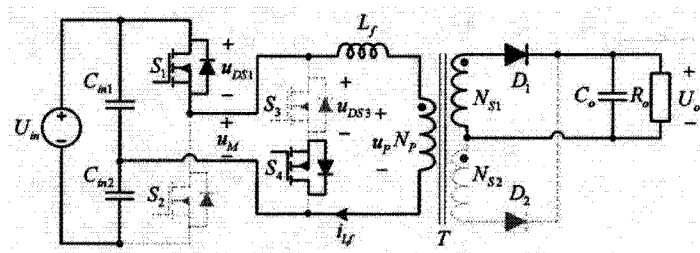


图 5

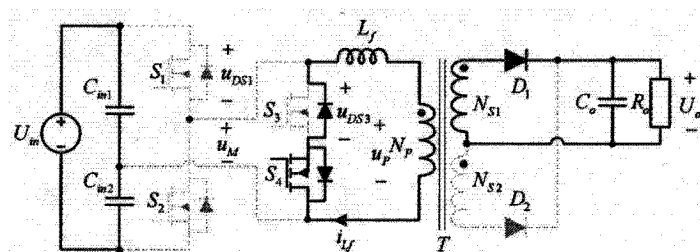


图 6

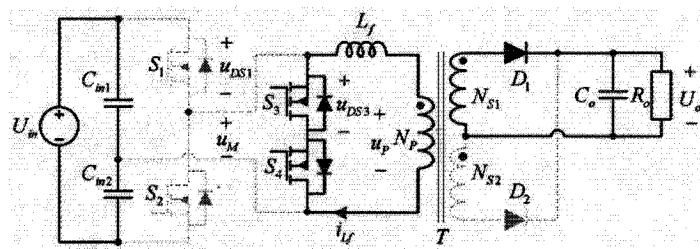


图 7

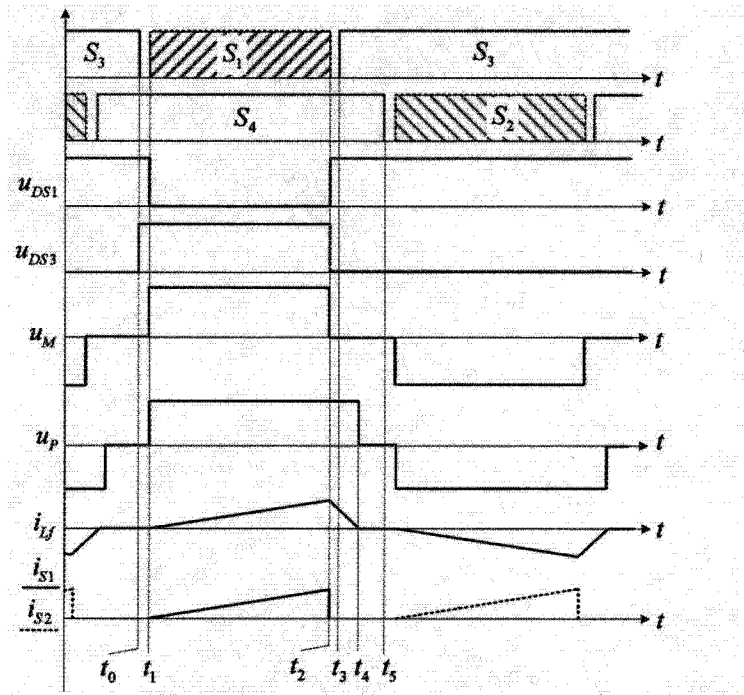


图 8

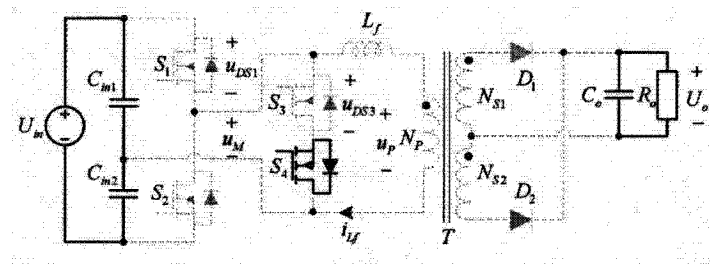


图 9

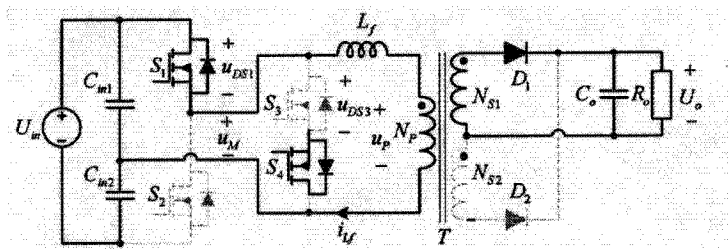


图 10

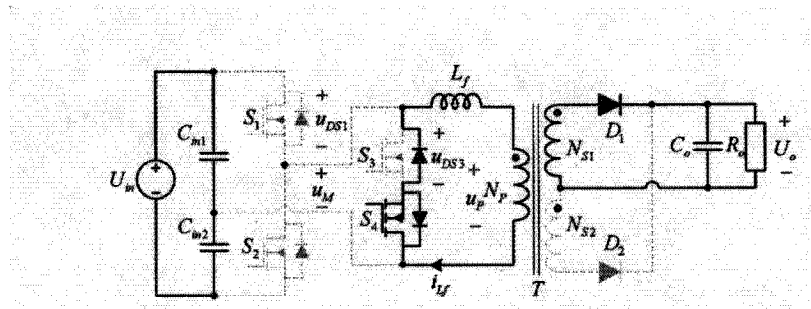


图 11

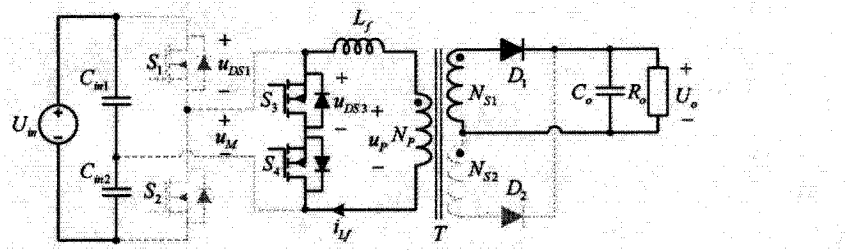


图 12

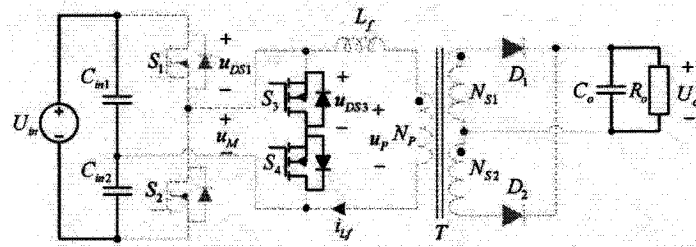


图 13