



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105553272 A

(43) 申请公布日 2016. 05. 04

(21) 申请号 201510900119. 9

(22) 申请日 2015. 12. 09

(71) 申请人 燕山大学

地址 066004 河北省秦皇岛市海港区河北大街西段 438 号

(72) 发明人 赵清林 范满义 杨秋霞 李晓菊

(74) 专利代理机构 石家庄一诚知识产权事务所
13116

代理人 崔凤英

(51) Int. Cl.

H02M 3/335(2006. 01)

H02M 1/38(2007. 01)

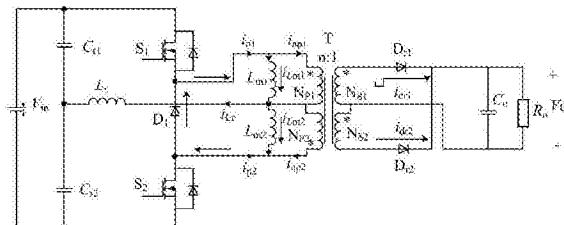
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

一种抗直通半桥 LLC 谐振变换器

(57) 摘要

本发明公开了一种抗直通半桥 LLC 谐振变换器，该变换器是由输入源 V_{in} 、原边电路、LLC 谐振网络和变压器以及副边电路构成，所述的原边电路是由两个功率开关管与二极管串联构成的抗直通半桥结构电路构成，所述的副边电路是由整流电路构成；LLC 谐振网络和变压器是由高频变压器、谐振电感 L_r 、励磁电感 L_m 和谐振电容 C_r 构成。本发明采用 LLC 谐振结构与抗直通半桥结构相结合，通过将 LLC 谐振结构与抗直通半桥桥臂集成到一起，实现原边抗直通结构以及原边功率开关管的软开关，提高了功率变换器的可靠性、功率密度和效率。本发明适用于高可靠要求的航空航天、军事领域，能够应用于高输入电压的场合，同时具备抗直通、高可靠、高效率、高功率密度特性的变换器。



1. 一种抗直通半桥LLC谐振变换器，其特征在于：该变换器是由输入源 V_{in} 、原边电路、LLC谐振网络和变压器以及副边电路构成，所述的原边电路是由两个功率开关管与二极管串联构成的抗直通半桥结构电路构成，所述的副边电路是由整流电路构成；LLC谐振网络和变压器是由高频变压器、谐振电感 L_r 、励磁电感 L_m 和谐振电容 C_r 构成；

所述的原边电路包括第一功率开关管 S_1 、第二功率开关管 S_2 、抗直通二极管 D_1 ；第一功率开关管 S_1 、抗直通二极管 D_1 和第二功率开关管 S_2 依次串联连接构成抗直通半桥结构，然后与输入电压源 V_{in} 并联连接；其中第一功率开关管 S_1 的漏极与输入电压源 V_{in} 的正极连接，第一功率开关管 S_1 的源极与抗直通二极管 D_1 的阴极连接，第二功率开关管 S_2 的漏极与抗直通二极管 D_1 的阳极连接，第二功率开关管 S_2 的源极与输入电压源 V_{in} 的负极连接；

所述的LLC谐振网络和变压器包括第一谐振电容 C_{r1} 、第二谐振电容 C_{r2} 、谐振电感 L_r 和高频变压器T，高频变压器T原边与副边的匝比为n:1，第一谐振电容 C_{r1} 与第二谐振电容 C_{r2} 串联连接，然后与输入电压源 V_{in} 并联连接，第一谐振电容 C_{r1} 与第二谐振电容 C_{r2} 的连接点与谐振电感 L_r 的一端连接；高频变压器T有两个原边绕组 N_{p1} 、 N_{p2} 和两个副边绕组 N_{s1} 、 N_{s2} ，高频变压器T的第一原边绕组 N_{p1} 同名端与第一功率开关管 S_1 的源极以及抗直通二极管 D_1 的阴极连接；高频变压器T的第一原边绕组 N_{p1} 的非同名端与高频变压器T第二原边绕组 N_{p2} 的非同名端以及谐振电感 L_r 的另一端连接，高频变压器T第二原边绕组 N_{p2} 的同名端与第二功率开关管 S_2 的漏极以及抗直通二极管 D_1 的阳极连接；高频变压器T的第一副边绕组 N_{s1} 的非同名端与高频变压器T的第二副边绕组 N_{s2} 的同名端连接；

所述副边电路包括第一输出整流二极管管 D_{r1} 、第二输出整流二极管 D_{r2} 、输出电容 C_o 和负载电阻 R_o ，第一输出整流二极管 D_{r1} 的阴极与第二输出整流二极管 D_{r2} 的阴极连接，第一输出整流二极管 D_{r1} 的阳极与高频变压器T的第一副边绕组 N_{s1} 的同名端连接，第二输出整流管 D_{r2} 的阳极与高频变压器T的第二副边绕组 N_{s2} 的非同名端连接；输出电容 C_o 与负载电阻 R_o 并联，输出电容 C_o 和负载电阻 R_o 的正极连接到第一输出整流二极管 D_{r1} 与第二输出整流二极管 D_{r2} 的共阴极处，其负极连接到高频变压器T的第一副边绕组 N_{s1} 的非同名端以及高频变压器T的第二副边绕组 N_{s2} 的同名端。

一种抗直通半桥LLC谐振变换器

技术领域

[0001] 本发明涉及通信电源、航空航天高可靠电源、混合电动汽车等系统的电力电子变换器领域，尤其涉及一种抗直通半桥LLC谐振变换器。

背景技术

[0002] 开关电源被广泛应用于国民生产的各个领域，航空航天和军工领域的不断发展对高可靠、高功率密度、高效率、大功率的电源变换器的研制提出了更高的要求。LLC谐振变换器由其能够在全负载范围内实现软开关，效率高而被广泛应用。本发明采用LLC谐振与抗直通半桥结构相结合，构造高可靠，高效率变换器。

[0003] 近年来，由于航空航天事业的不断发展，对航天二次电源的研发提出了更高的要求，传统的推挽变换器由于其开关管电压应力高，且为硬开关，变换器效率低，只能应用于低输入电压的场合，而桥式变换器存在桥臂直通的隐患，因此被禁止应用。

[0004] 针对以上结构弊端，为实现对电路的优化，提出一种抗直通半桥LLC谐振变换器。采用抗直通半桥结构与LLC谐振结构相结合的思想，实现开关管的软开关，提高变换器效率，同时该变换器不存在桥臂直通的隐患，可靠性高，同时原边开关管电压应力低，适用于高输入电压的场合。该变换器副边整流管能够实现零电流关断，有效地提高了变换器的效率。变换器采用变频控制，实现对输出电压和功率的调节。

发明内容

[0005] 本发明要解决的问题是提供一种适合于高输入电压的、抗桥臂直通的、高可靠、抗直通半桥LLC谐振变换器。

[0006] 本发明是通过以下技术方案来实现的：

[0007] 一种抗直通半桥LLC谐振变换器，该变换器是由输入源 V_{in} 、原边电路、LLC谐振网络和变压器以及副边电路构成，所述的原边电路是由两个功率开关管与二极管串联构成的抗直通半桥结构电路构成，所述的副边电路是由整流电路构成；LLC谐振网络和变压器是由高频变压器、谐振电感 L_r 、励磁电感 L_m 和谐振电容 C_r 构成；

[0008] 所述的原边电路包括第一功率开关管 S_1 、第二功率开关管 S_2 、抗直通二极管 D_1 ；第一功率开关管 S_1 、抗直通二极管 D_1 和第二功率开关管 S_2 依次串联连接构成抗直通半桥结构，然后与输入电压源 V_{in} 并联连接；其中第一功率开关管 S_1 的漏极与输入电压源 V_{in} 的正极连接，第一功率开关管 S_1 的源极与抗直通二极管 D_1 的阴极连接，第二功率开关管 S_2 的漏极与抗直通二极管 D_1 的阳极连接，第二功率开关管 S_2 的源极与输入电压源 V_{in} 的负极连接；

[0009] 所述的LLC谐振网络和变压器包括第一谐振电容 C_{r1} 、第二谐振电容 C_{r2} 、谐振电感 L_r 和高频变压器T，高频变压器T原边与副边的匝比为 $n:1$ ，第一谐振电容 C_{r1} 与第二谐振电容 C_{r2} 串联连接，然后与输入电压源 V_{in} 并联连接，第一谐振电容 C_{r1} 与第二谐振电容 C_{r2} 的连接点与谐振电感 L_r 的一端连接；高频变压器T有两个原边绕组 N_{p1} 、 N_{p2} 和两个副边绕组 N_{r1} 、 N_{r2} ，高频变压器T的第一原边绕组 N_{p1} 同名端与第一功率开关管 S_1 的源极以及抗直通二极管 D_1 的阴

极连接；高频变压器T的第一原边绕组N_{p1}的非同名端与高频变压器T第二原边绕组N_{p2}的非同名端以及谐振电感L_r的另一端连接，高频变压器T第二原边绕组N_{p2}的同名端与第二功率开关管S₂的漏极以及抗直通二级管D₁的阳极连接；高频变压器T的第一副边绕组N_{s1}的非同名端与高频变压器T的第二副边绕组N_{s2}的同名端连接；

[0010] 所述副边电路包括第一输出整流二极管管D_{r1}、第二输出整流二极管D_{r2}、输出电容C_o和负载电阻R_o，第一输出整流二极管D_{r1}的阴极与第二输出整流二极管D_{r2}的阴极连接，第一输出整流二极管D_{r1}的阳极与高频变压器T的第一副边绕组N_{s1}的同名端连接，第二输出整流管D_{r2}的阳极与高频变压器T的第二副边绕组N_{s2}的非同名端连接；输出电容C_o与负载电阻R_o并联，输出电容C_o和负载电阻R_o的正极连接到第一输出整流二极管D_{r1}与第二输出整流二极管D_{r2}的共阴极处，其负极连接到高频变压器T的第一副边绕组N_{s1}的非同名端以及高频变压器T的第二副边绕组N_{s2}的同名端。

[0011] 本发明的目的是实现抗直通、高可靠、高效率、高功率密度的隔离直流变换器，本发明采用LLC谐振结构与抗直通半桥结构相结合，通过将LLC谐振结构与抗直通半桥桥臂集成到一起，实现原边抗直通结构以及原边功率开关管的软开关，提高了功率变换器的可靠性、功率密度和效率。本发明只有两个开关管，能够有效降低成本。本发明适用于高可靠要求的航空航天、军事领域，能够应用于高输入电压的场合，同时具备抗直通、高可靠、高效率、高功率密度特性的变换器。

[0012] 由于采用上述技术方案，本发明提供的一种抗直通半桥LLC谐振变换器，与现有技术相比具有这样的有益效果：

[0013] (1)变换器不存在桥臂直通的结构，消除桥臂直通的隐患，可靠性高；

[0014] (2)原边开关管承受电压应力为输入电压值，开关管电压应力低，适用于高压输入场合；

[0015] (3)所有原边开关管和副边的整流管都能够实现软开关，有效提高变换器效率，同时易于高频化设计。

[0016] (4)变压器漏感能够与谐振电感磁集成，提高变换器的功率密度。

附图说明

[0017] 图1是本发明抗直通半桥LLC谐振变换器的电路结构原理图；

[0018] 图2是本发明抗直通半桥LLC谐振变换器的主要工作波形图；

[0019] 图3是本发明抗直通半桥LLC谐振变换器t₀–t₁阶段的等效电路图；

[0020] 图4是本发明抗直通半桥LLC谐振变换器t₁–t₂阶段的等效电路图；

[0021] 图5是本发明抗直通半桥LLC谐振变换器t₂–t₃阶段的等效电路图；

[0022] 图6是本发明抗直通半桥LLC谐振变换器t₃阶段后，进入负半周的等效电路图；

[0023] 以上图中的符号名称：V_{in}为输入电压源；V_{gs1}、V_{gs2}为第一功率开关管S₁、第二功率开关管S₂的驱动；V_{ds1}、V_{ds2}为第一功率开关管S₁、第二功率开关管S₂两端电压，i_{dr1}、i_{dr2}为副边第一整流二极管D_{r1}、第二整流二极管D_{r2}的电流，i_{p1}、i_{p2}为第一原边绕组N_{p1}和第二原边绕组N_{p2}的电流，S₁为第一功率开关管、S₂为第二功率开关管；C_{r1}为第一谐振电容，C_{r2}为第二谐振电容；L_r为谐振电感；D₁为抗直通二极管；T为高频变压器；N_{p1}、N_{p2}、N_{s1}、N_{s2}分别为高频变压器T的第一原边绕组、第二原边绕组、第一副边绕组和第二副边绕组；L_{m1}、L_{m2}分别为第一绕

组激磁电感和第二绕组激磁电感； i_{Lr} 为谐振电感 L_r 的电流， i_{p1} 、 i_{p2} 为第一原边绕组 N_{p1} 、第二原边绕组 N_{p2} 电流； D_{r1} 、 D_{r2} 分别为第一输出整流二极管、第二输出整流二极管； C_o 为输出滤波电容； R_o 为负载电阻， D 为开关管占空比； t_{dead} 是死区时间。

具体实施方案

[0024] 下面结合附图对本发明作进一步说明。

[0025] 本发明的一种抗直通半桥LLC谐振变换器，如图1所示，该变换器是由输入源 V_{in} 、原边电路、LLC谐振网络和变压器以及副边电路构成，所述的原边电路是由两个功率开关管与二极管串联构成的抗直通半桥结构电路构成，所述的副边电路是由整流电路构成；LLC谐振网络和变压器是由高频变压器、谐振电感 L_r 、励磁电感 L_m 和谐振电容 C_r 构成；

[0026] 所述的原边电路包括第一功率开关管 S_1 、第二功率开关管 S_2 、抗直通二极管 D_1 ；第一功率开关管 S_1 、抗直通二极管 D_1 和第二功率开关管 S_2 依次串联连接构成抗直通半桥结构，然后与输入电压源 V_{in} 并联连接；其中第一功率开关管 S_1 的漏极与输入电压源 V_{in} 的正极连接，第一功率开关管 S_1 的源极与抗直通二极管 D_1 的阴极连接，第二功率开关管 S_2 的漏极与抗直通二极管 D_1 的阳极连接，第二功率开关管 S_2 的源极与输入电压源 V_{in} 的负极连接；

[0027] 所述的LLC谐振网络和变压器包括第一谐振电容 C_{r1} 、第二谐振电容 C_{r2} 、谐振电感 L_r 和高频变压器 T ，高频变压器 T 原边与副边的匝比为 $n:1$ ，第一谐振电容 C_{r1} 与第二谐振电容 C_{r2} 串联连接，然后与输入电压源 V_{in} 并联连接，第一谐振电容 C_{r1} 与第二谐振电容 C_{r2} 的连接点与谐振电感 L_r 的一端连接；高频变压器 T 有两个原边绕组 N_{p1} 、 N_{p2} 和两个副边绕组 N_{s1} 、 N_{s2} ，高频变压器 T 的第一原边绕组 N_{p1} 同名端与第一功率开关管 S_1 的源极以及抗直通二极管 D_1 的阴极连接；高频变压器 T 的第一原边绕组 N_{p1} 的非同名端与高频变压器 T 第二原边绕组 N_{p2} 的非同名端以及谐振电感 L_r 的另一端连接，高频变压器 T 第二原边绕组 N_{p2} 的同名端与第二功率开关管 S_2 的漏极以及抗直通二级管 D_1 的阳极连接；高频变压器 T 的第一副边绕组 N_{s1} 的非同名端与高频变压器 T 的第二副边绕组 N_{s2} 的同名端连接；

[0028] 所述副边电路包括第一输出整流二极管管 D_{r1} 、第二输出整流二极管 D_{r2} 、输出电容 C_o 和负载电阻 R_o ，第一输出整流二极管 D_{r1} 的阴极与第二输出整流二极管 D_{r2} 的阴极连接，第一输出整流二极管 D_{r1} 的阳极与高频变压器 T 的第一副边绕组 N_{s1} 的同名端连接，第二输出整流管 D_{r2} 的阳极与高频变压器 T 的第二副边绕组 N_{s2} 的非同名端连接；输出电容 C_o 与负载电阻 R_o 并联，输出电容 C_o 和负载电阻 R_o 的正极连接到第一输出整流二极管 D_{r1} 与第二输出整流二极管 D_{r2} 的共阴极处，其负极连接到高频变压器 T 的第一副边绕组 N_{s1} 的非同名端以及高频变压器 T 的第二副边绕组 N_{s2} 的同名端。

[0029] 图2所示是本发明抗直通半桥LLC谐振变换器的主要工作波形图；下面以图3—图6对本发明抗直通半桥LLC谐振变换器的具体工作过程进行分析：

[0030] (t_0-t_1)时刻，如图3所示，原边第一开关管 S_1 导通，副边第一输出整流二极管 D_{r1} 处于导通状态，副边第二输出整流二极管 D_{r2} 承受反向电压处于截止状态。由于抗直通二极管 D_1 一直处于续流的状态，因此高频变压器 T 原边两个绕组第一原边绕组 N_{p1} 与第二原边绕组 N_{p2} 等效为并联连接，因此高频变压器 T 原边两个绕组两端的电压被钳位在输出电压 V_o 反馈到原边的电压值 nV_o ，原边第一绕组励磁电感 L_{m1} 的电流 i_{Lm1} 线性上升，第二原边绕组 N_{p2} 耦合第一原边绕组 N_{p1} 的电压，使原边第二绕组励磁电感 L_{m2} 的电流 i_{Lm2} 线性下降，谐振电感 L_r 与第

一谐振电容 C_{r1} 和第二谐振电容 C_{r2} 进行谐振，谐振电感 L_r 的电流 i_{Lr} 处于上升阶段，谐振电感 L_r 的电流 i_{Lr} 与原边第一绕组励磁电感 L_{m1} 电流 i_{Lm1} 和原边第二绕组励磁电感 L_{m2} 电流 i_{Lm2} 之和的差值通过高频变压器T内部两个绕组分流得到 i_{np1} 和 i_{np2} ， i_{np1} 和 i_{np2} 的绝对值之和的 $1/n$ 倍为副边第一输出整流二极管 D_{r1} 的电流。此阶段，输入电压源 V_{in} 通过高频变压器T向副边传递功率。

[0031] (t_1-t_2)时刻，如图4所示，谐振电感电流 i_{Lr} 与原边第一绕组励磁电感 L_{m1} 电流 i_{Lm1} 和原边第二励磁电感 L_{m2} 电流 i_{Lm2} 之和($i_{Lm1}+i_{Lm2}$)相等，副边第一输出整流二极管 D_{r1} 的电流 i_{dr1} 降为零，实现零电流关断，原边第一绕组励磁电感 L_{m1} 和原边第二绕组励磁电感 L_{m2} 并联参与谐振，此阶段为 L_{m1} 与 L_{m2} 并联电感与 L_r 串联($L_{m1} \parallel L_{m2} + L_r$)参与谐振，由于第一绕组励磁电感 L_{m1} 和第二绕组励磁电感 L_{m2} 的电感值远远大于谐振电感 L_r 的值，因此，此阶段谐振周期远大于谐振电感 L_r 与第一谐振电容 C_{r1} 和第二谐振电容 C_{r2} 的谐振周期，此阶段电流可视为恒定不变状态。副边滤波电容 C_o 向负载提供能量。

[0032] (t_2-t_3)时刻，如图5所示，原边第一开关管 S_1 关断，原边第一绕组励磁电感 L_{m1} 电流以及谐振电感 L_r 的电流通过抗直通二极管 D_1 以及第二功率开关管 S_2 的寄生二极管续流，第二功率开关管 S_2 实现软开通条件，第一励磁电感 L_{m1} 、第二励磁电感 L_{m2} 之和 $i_{Lm1}+i_{Lm2}$ 开始下降，谐振电感 L_r 的电流 i_{Lr} 大于第一励磁电感 L_{m1} 、第二励磁电感 L_{m2} 之和 $i_{Lm1}+i_{Lm2}$ ，此时副边第二输出整流二极管 D_{r2} 导通，高频变压器T两端电压反向被钳位，原边第一绕组励磁电感 L_{m1} 电流线性下降，原边第二绕组励磁电感 L_{m2} 电流线性上升， i_{Lr} 与 $i_{Lm1}+i_{Lm2}$ 的差值，通过高频变压器T传递到副边，因为 i_{np1} 与 i_{np2} 方向相反，因此 $i_{np1}-i_{np2}$ 等于 i_{Lr} 与 $i_{Lm1}+i_{Lm2}$ 的差值即 $i_{np1}-i_{np2}=i_{Lr}-(i_{Lm1}+i_{Lm2})$ ，而 $i_{np1}-i_{np2}$ 等于副边整流电流通过变压器耦合到原边的电流值，输入电压源 V_{in} 向副边传递功率。

[0033] t_3 时刻之后，如图6所示，原边第二开关管 S_2 开通，实现零电压开通，因为原边第二开关管 S_2 开通之后，其工作波形与原边第一开关管 S_1 开通时的工作波形完全对称，因此后面的工作过程不在赘述。

[0034] 根据上述工作过程的描述可知，本发明不存在桥臂直通隐患，可以显著提高变换器的可靠性，降低开关管电压应力，同时能够实现功率开关管以及输入整流管的软开关，提高变换器的效率。

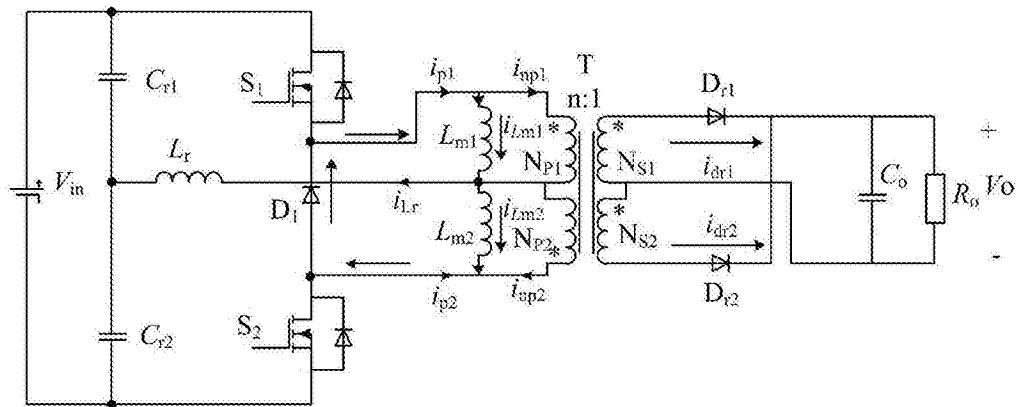


图1

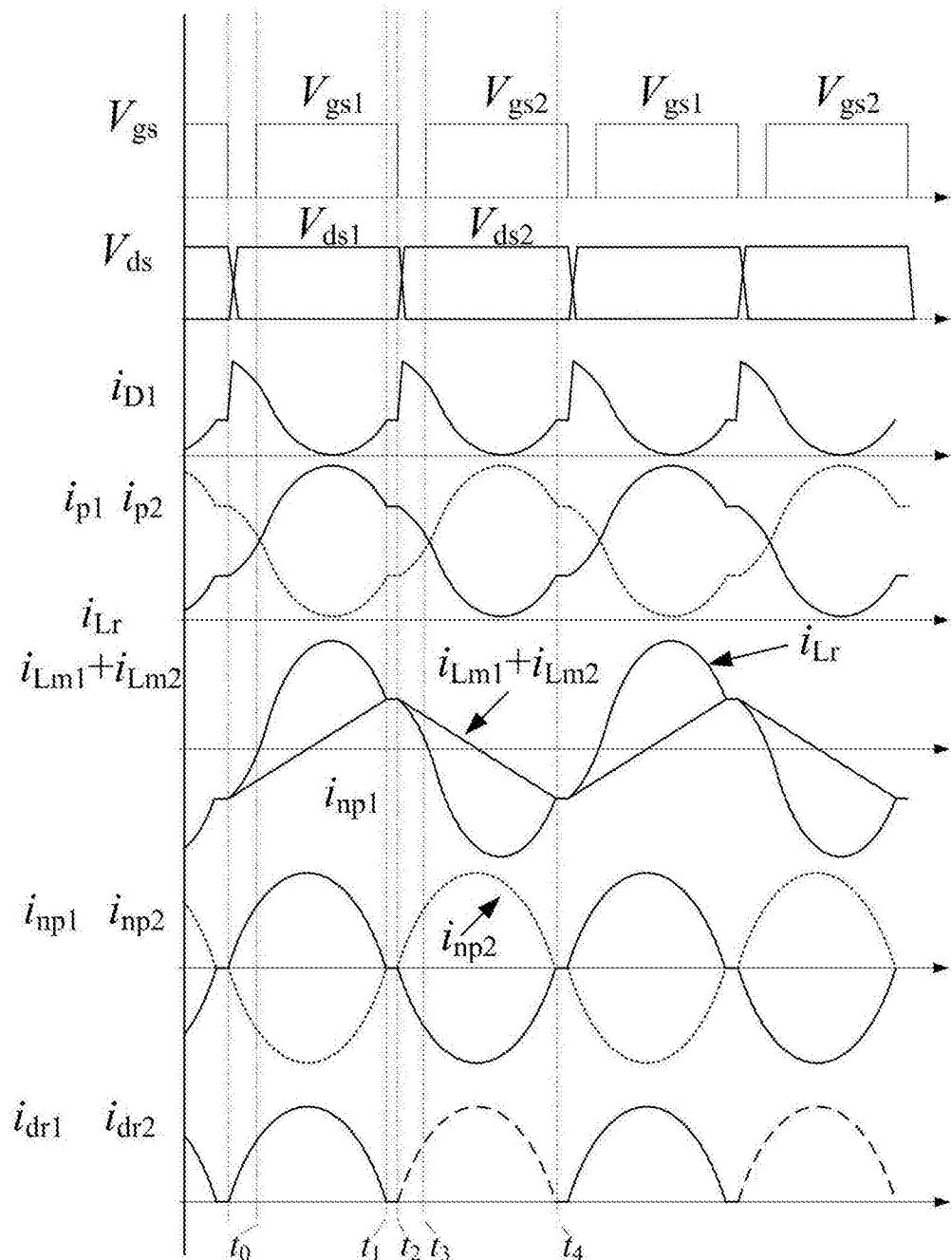


图2

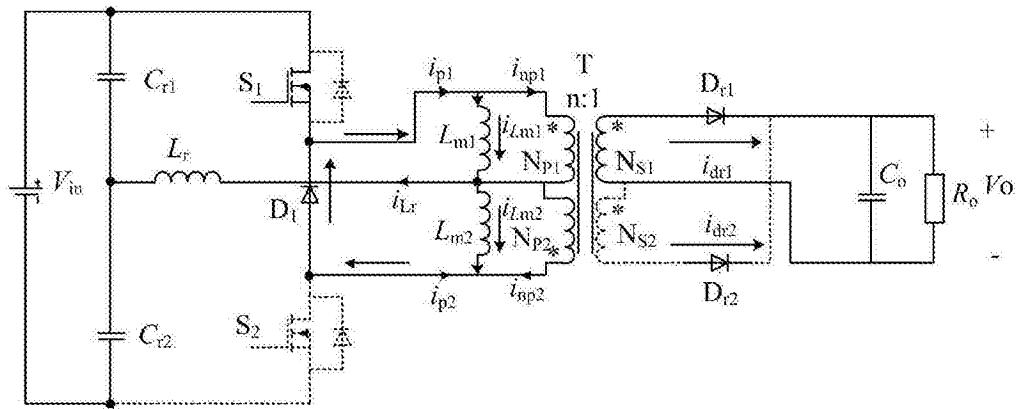


图3

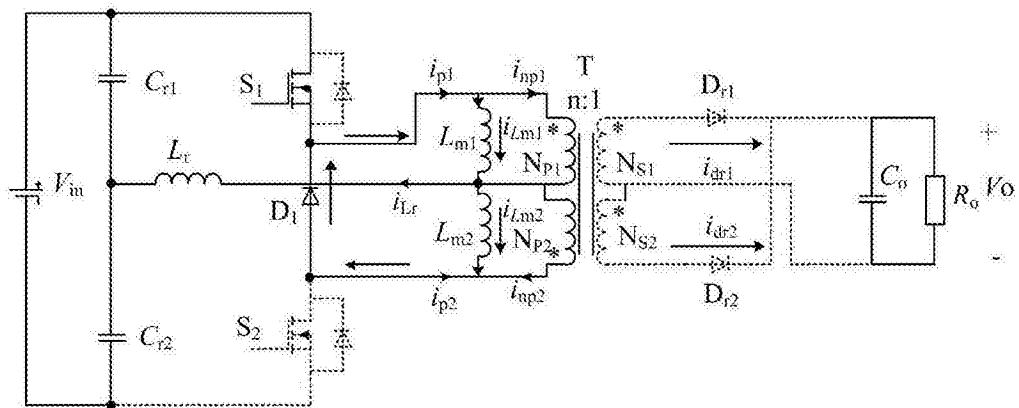


图4

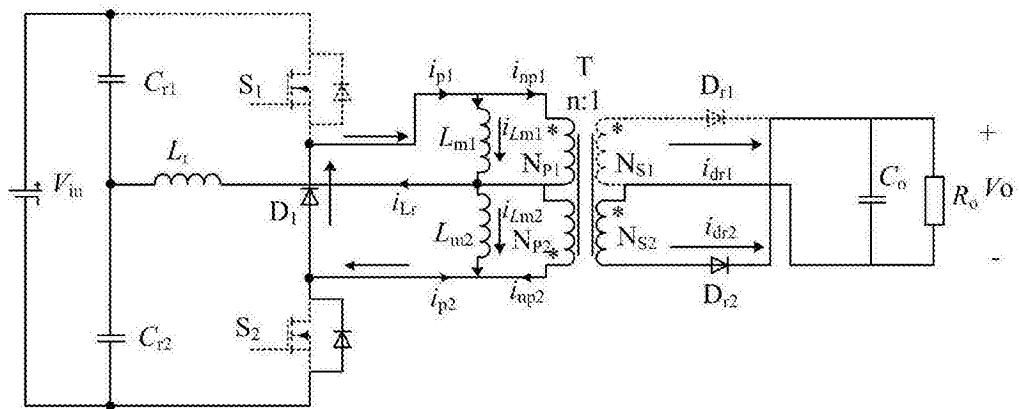


图5

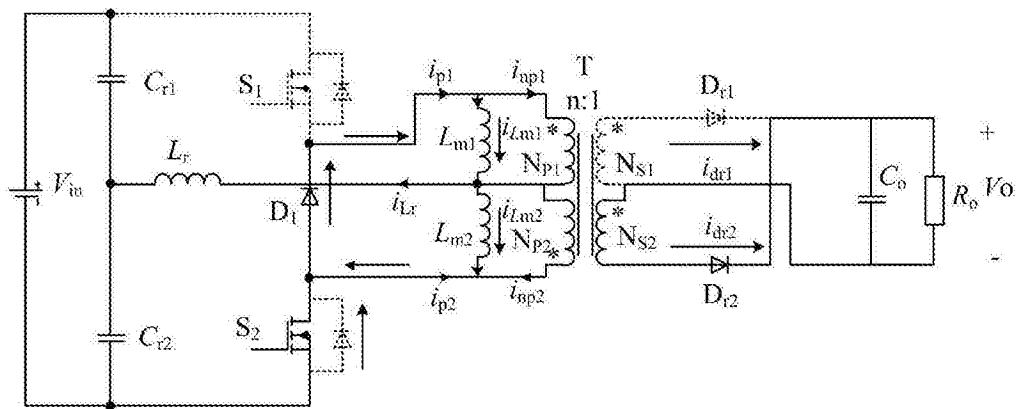


图6