证书号第3722983号

发明专利证书

发明名称：一种基于元器件复用的半桥-全桥组合式直流变换器

发明人：赵雷;范衡;施羿

专利号：ZL 2018 1 1292961.9

专利申请日：2018年10月31日

专利权人：汕头大学

地址：515000 广东省汕头市大学路243号

授权公告日：2020年03月20日　　授权公告号：CN 109546860 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

国家知识产权局
2020年03月20日

其他事项参见续页

(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109546860 B
(45)授权公告日 2020.03.20

(21)申请号 201811292961.9

(22)申请日 2018.10.31

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109546860 A

(43)申请公布日 2019.03.29

(73)专利权人 汕头大学
地址 515000 广东省汕头市大学路243号

(72)发明人 赵雷 范衡 施羿

(74)专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司 44202
代理人 周增元 曹江

(51)Int.Cl.
H02M 3/28(2006.01)
H02M 3/335(2006.01)

审查员 姜婷婷

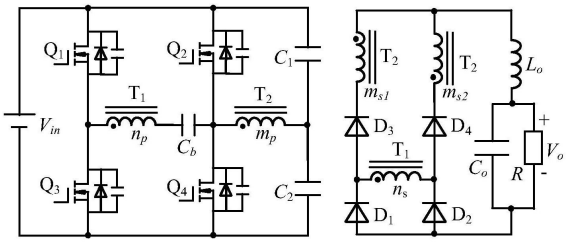
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种基于元器件复用的半桥-全桥组合式直流变换器

(57)摘要

本发明实施例公开了一种基于元器件复用的半桥－全桥组合式直流变换器，包括直流电源、逆变桥臂、隔离变压器、隔直电容和整流以及滤波电路组成的全桥结构的基础上，引入辅助变压器和分压电容，通过复用逆变桥臂，构成半桥结构，两种结构在副边分别采用全桥整流和全波整流的方式，并通过复用一组整流二极管将其进行串联组合，实现滤波电路的复用。该直流变换器具有零电压开关范围宽、无环流损耗、电流纹波小等特点，并且电路结构简单、转换效率高。



CN 109546860 B

1.一种基于元器件复用的半桥－全桥组合式直流变换器，其特征在于，包括第一至第四开关管、第一至第三电容、第一、第二隔离变压器、第一至第四整流二极管、直流电源；

所述第一、第二电容串联后并联在所述直流电源的正负输出端；

所述第一隔离变压器包含一个原边绕组和一个副边绕组，原边绕组的同名端与所述第一、第三开关管的第一端的连接点相连，异名端与所述第三电容的一端相连，所述第一开关管、第二开关管的第二端相连接于电源正端，所述第三开关管、第四开关管的第二端相连接于电源负端，副边绕组的同名端与所述第一整流二极管的阴极、所述第三整流二极管的阳极相连，异名端与所述第二整流二极管的阴极、所述第四整流二极管的阳极相连，所述第一、第二整流二极管的阳级相连接形成负输出端，所述第三电容的另一端与所述第二、第四开关管的第一端连接点相连；

所述第二隔离变压器包含一个原边绕组和第一、第二副边绕组，原边绕组的同名端与所述第二、第四开关管的连接点相连，异名端与所述第一、第二电容的连接点相连，所述第一副边绕组的异名端与所述第三整流二极管的阴极相连，所述第二副边绕组的同名端与所述第四整流二极管的阴极相连，所述第一副边绕组的同名端与所述第二副边绕组的异名端直接相连。

2.根据权利要求1所述的基于元器件复用的半桥－全桥组合式直流变换器，其特征在于，还包括第四电容、滤波电感，所述第二隔离变压器的第一副边绕组的同名端、第二副边绕组的异名端均与所述滤波电感的一端连接，所述滤波电感的另一端与所述第四电容的一端连接，作为输出电压的正端，所述第四电容的另一端与所述第一、第二整流二极管的阳极相连，作为输出电压的负端。

一种基于元器件复用的半桥-全桥组合式直流变换器

技术领域

[0001] 本发明涉及电力电子技术领域，尤其涉及一种基于元器件复用的半桥－全桥组合式直流变换器。

背景技术

[0002] 在电力电子设备中，直流变换器的作用是将直流信号变为另一固定或可调电压的直流量，有关直流变换器的研究同样受到国内外电力电子技术从业者的广泛关注。根据直流变换器内含有开关管的数量，可以分为单管式、双管式和全桥式三种拓扑。通常来说，直流变换器的功率等级与开关管数量成正比，由四个开关管构成的全桥变换器具有最高的功率等级，当采用移相控制模式时，开关管能够实现软开关，并且开关频率固定，在中大功率场合得到广泛的应用。

[0003] 虽然不同形式的直流变换器结构差异较大，但其构成可以分为三部分：一为斩波，利用电力电子器件的开关可控性，对输入的直流量进行斩波，获得含有高频交流分量的信号；二为整流，对交流部分进行整定，得到含有直流分量和高频交流分量叠加的信号；三为滤波，滤除信号中的高频交流分量，实现稳定的直流输出。虽然不同形式的直流变换器拓扑结构差异较大，但是其构成单元通常具有一定的规律性。该特性使不同拓扑之间元器件的复用成为可能，进而改善变换系统的运行特性。

[0004] 传统的移相全桥变换器在实际应用中，主要存在以下几个问题：整流二极管电压振荡、滞后桥臂软开关范围窄、原边存在环流损耗、占空比丢失。全桥变换器含有四个开关管，包含了两个半桥桥臂，基于元器件复用的思想，可以利用其中一个桥臂构成半桥拓扑，实现开关管的复用。半桥和全桥拓扑的二次侧可以采用不同的拓扑形式进行组合实现对传统移相全桥变换器的性能提升。

发明内容

[0005] 本发明实施例所要解决的技术问题在于，提供一种基于元器件复用的半桥－全桥组合式直流变换器。可实现拓宽开关管零电压开关范围、消除环流损耗、降低输出纹波，以提高变换器的转换效率。

[0006] 为了解决上述技术问题，本发明实施例提供了一种基于元器件复用的半桥－全桥组合式直流变换器，包括第一至第四开关管、第一至第三电容、第一、第二隔离变压器、第一至第四整流二极管、直流电源；

[0007] 所述第一至第四开关管构成全桥电路，正向并联在所述直流电源正负输出端，所述第一、第二电容串联后并联在所述直流电源的正负输出端；

[0008] 所述第一隔离变压器包含一个原边绕组和一个副边绕组，原边绕组的一端与所述第一、第三开关管的连接点相连，另一端与所述第三电容的一端相连，副边绕组的一端与所述第一整流二极管的阴极、所述第三整流二极管的阳极相连，另一端与所述第二整流二极管的阴极、所述第四整流二极管的阳极相连，所述第三电容的另一端与所述第二、第四开关

管的连接点相连；

[0009] 所述第二隔离变压器包含一个原边绕组和两个副边绕组，原边绕组的一端与所述第二、第四开关管的连接点相连，另一端与所述第一、第二电容的连接点相连，其中一个副边绕组的一端与所述第三整流二极管的阴极相连，另一副边绕组的一端与所述第四整流二极管的阴极相连，两个副边绕组的另一端直接相连。

[0010] 进一步地，还包括第四电容、滤波电感，所述第二隔离变压器的两个副边绕组的另一端与所述滤波电感的一端连接，所述滤波电感的另一端与所述第四电容的一端连接，作为输出电压的正端，所述第四电容的另一端与所述第一、第二整流二极管的阳极相连，作为输出电压的负端。

[0011] 实施本发明实施例，具有如下有益效果：在变换器的原边，与常规全桥变换器采用相同的移相控制模式，通过复用全桥变换器的滞后桥臂，引入辅助变压器和分压电容，构建出半桥拓扑结构，半桥拓扑运行在满占空比工况下，保证了原副边功率传递的连续性，能够消除原边环流损耗、降低输出纹波，同时通过增加辅助变压器的励磁电流，可以拓宽滞后开关管的软开关范围，并且励磁电流只流过滞后桥臂，不会导致过多的传导损耗。

[0012] 在变换器的副边，全桥拓扑采用桥式整流结构，引入的半桥拓扑采用全波整流结构，两整流器进行串联组合并且复用一组整流二极管和输出滤波器，以减少附加元器件的数量、提高变换器的功率密度。

附图说明

[0013] 图1是本发明的整体电路结构示意图；

[0014] 其中：V_{in}为直流电源，Q_1、Q_2、Q_3、Q_4分别为第一至第四开关管，C_1、C_2、C_b、C_o分别为第一至第四电容，T_1、T_2分别为第一、第二隔离变压器，n_p、m_p分别为第一、第二隔离变压器的初级绕组，n_s为第一隔离变压器的副边绕组，m_{s1}、m_{s2}分别为第二隔离变压器的副边绕组，D_1、D_2、D_3、D_4分别为第一至第四整流二极管，L_o为滤波电感，R为负载电阻。

[0015] 图2是本发明的等效电路图结构示意图；

[0016] 图3为本发明提供给的图2的主要工作波形示意图；

[0017] 图4～10是本发明提供给的图2在不同模态下的等效电路图。

[0018] 上述附图中的主要物理量为：D是占空比，T_s是开关周期，负载电流为I_o，n为T_1、T_2变压器副边与原边匝数之比，L_{k1}为T_1的漏感，L_{k2}为T_2的漏感，L_m为T_2的励磁电感，C_1和C_2等效为恒定电压源$0.5V_{in}$，滤波电感等效为恒定电流源I_o。

具体实施方式

[0019] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对本发明作进一步地详细描述。

[0020] 本发明专利的电路连接示意图如图1所示，一种基于元器件复用的半桥－全桥组合式直流变换器，包括第一至第四开关管(Q_1～Q_4)、第一和第二隔离变压器(T_1、T_2)、第一至第四整流二极管(D_1～D_4)、第一至第四电容(C_1、C_2、C_b、C_o)、直流电源(V_{in})和滤波电感(L_o)，变压器T_1包括原边绕组n_p和副边绕组n_s，变压器T_2包括原边绕组m_p和副边绕组m_{s1}、m_{s2}。

[0021] 所述第一至第四开关管构成全桥电路，正向并联在直流电源正负输出端，第一、第

二电容串联后并联在直流电源的正负输出端，第一隔离变压器包含一个原边绕组和一个副边绕组，原边绕组的一端与第一、第三开关管的连接点相连，另一端与第三电容的一端相连，副边绕组的一端与第一整流二极管的阴极、第三整流二极管的阳极相连，另一端与第二整流二极管的阴极、第四整流二极管的阳极相连，第三电容的另一端与第二、第四开关管的连接点相连，第二隔离变压器包含一个原边绕组和两个副边绕组，原边绕组的一端与第二、第四开关管的连接点相连，另一端与第一、第二电容的连接点相连，其中一个副边绕组的一端与第三整流二极管的阴极相连，另一副边绕组的一端与第四整流二极管的阴极相连，副边绕组的另一端直接相连并以滤波电感的一端连接，滤波电感的另一端与第四电容的一端连接，连接点为输出电压的正端，第四电容的另一端与第一、第二整流二极管的阳极相连，作为输出电压的负端。

[0022] 在本发明专利的一个具体实施例中，Q_1、Q_3构成超前桥臂，Q_2、Q_4构成滞后桥臂，与变压器T_1、隔直电容C_b构成全桥拓扑，Q_2、Q_4、C_1、C_2和T_2构成半桥拓扑，忽略死区时间时，每个开关管的占空比为0.5，通过调整两个桥臂之间的移相角，实现对输出电压的调节，在二次侧，全桥拓扑采用桥式整流结构，半桥拓扑采用全波整流结构，两组整流器共用D_2、D_4二极管和输出滤波器，如附图1。

[0023] 下面以附图2简化的等效电路，结合附图3～10叙述本发明的具体工作原理。由附图3可知整个变换器在一个开关周期有14种开关模态，分别是[t_0～t_1]、[t_1～t_2]、[t_2～t_3]、[t_3～t_4]、[t_4～t_5]、[t_5～t_6]、[t_6～t_7]、[t_7～t_8]、[t_8～t_9]、[t_9～t_{10}]、[t_{10}～t_{11}]、[t_{11}～t_{12}]、[t_{12}～t_{13}]、[t_{13}～t_{14}]，其中，[t_0～t_7]为前半周期，[t_7～t_{14}]为后半周期，下面对各开关模态的工作情况进行具体分析。

[0024] 为简化分析，作如下假设：1)所有器件均为理想器件；2)开关管的寄生器件只考虑体二极管和结电容；3)忽略T_1变压器的励磁电感，其漏感为L_{k1}；4)T_2的励磁电感为L_m，漏感为L_{k2}；5)输出滤波电感L_o看作恒流源，电容C_1和C_2等效为恒压源。

[0025] 开关模态1[t_0～t_1](对应于附图4)：Q_1、Q_4、D_2、D_3导通，该时段为占空比时段，输出滤波电感能够映射到初级侧，原边电流近似为恒定值，C_b电压线性增加。

[0026] 开关模态2[t_1～t_2](对应于附图5)：在t_1时刻，Q_1关断，Q_1、Q_3的结电容通过恒流源线性充放电，超前臂中点电压、整流电压、T_1变压器原副边电压开始线性下降。

[0027] 开关模态3[t_2～t_3](对应于附图6)：在t_2时刻，超前臂中点电压、T_1变压器原副边电压下降到0，D_1导通，D_1、D_2开始换流，T_1的次级绕组被短路。在t_3时刻，v_{1ea}下降到0，Q_3的体二极管导通，Q_3可以实现零电压开通，在该时段C_b电压近似恒定作用到L_{k1}上，原边电流i_p线性下降，在t_4时刻，原边电流下降到零，同时D_1、D_2换流结束，D_2关断。

[0028] 开关模态4[t_3～t_4](对应于附图7)：在该时段内，全桥拓扑原边电流i_p为零，D_1、D_3保持导通，该时段称为非占空比时段。

[0029] 开关模态5[t_4～t_5](对应于附图8)：在t_4时刻，Q_4关断，滞后臂中点电压线性上升，D_4两端反向电压逐渐减小。

[0030] 开关模态6[t_5～t_6](对应于附图9)：在t_5时刻，D_4两端电压下降到零，T_1与T_2副边绕组并联，结电容与漏感开始谐振，滞后臂中点电压谐振上升，在t_6时刻，滞后臂中点电压上升到V_{in}，Q_2体二极管开始导通，因此，Q_2能够实现零电压开通。

[0031] 开关模态7[t_6～t_7](对应于附图10)：D_4电流逐渐增大，D_3电流逐渐减小，在t_7时刻

D_3电流下降到零，变换器进入到后半周期。

[0032] 后半周期[t_7～t_{14}]的工作原理与前半周期[t_0～t_7]基本相同，只是电流、电压反方向变化，不再重复叙述。

[0033] 总结上述工作过程可知，该变换器的所有开关管都能够实现零电压开关，半桥拓扑满占空比运行，保证了原副边功率传递的连续性，有利于减小原边环流损耗和输出电流纹波，同时励磁电流只通过滞后臂，因此，励磁电流的增大可以拓宽滞后管的软开关范围，但不会导致传导损耗的显著增加。

[0034] 以上所揭露的仅为本发明一种较佳实施例而已，当然不能以此来限定本发明之权利范围，因此依本发明权利要求所作的等同变化，仍属本发明所涵盖的范围。

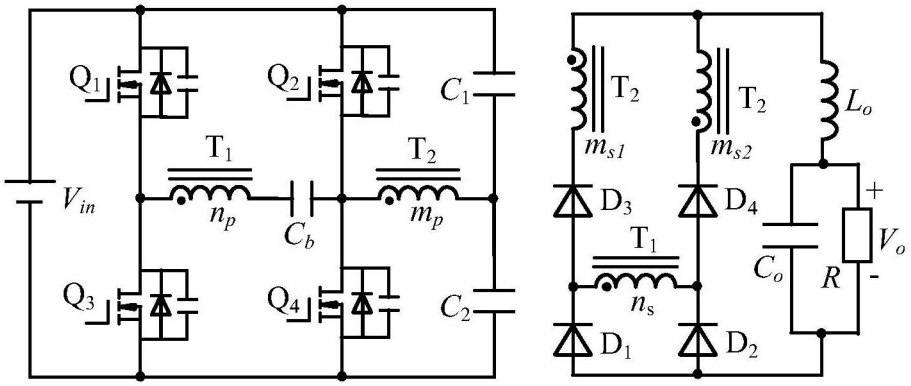

Q1
Q2
C1
T1
T2
Vin
np
Cb
mp
Q3
Q4
C2
T2
T2
Lo
ms1
ms2
D3
D4
T1
Vo
Co
R
ns
D1
D2

图1

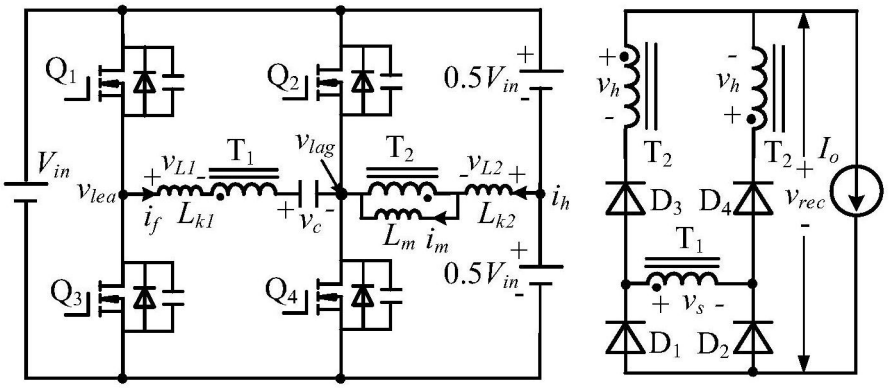

Q1
Q2
0.5Vin
Vin
vLeа
vL1
T1
vlag
T2
vL2
ih
if
Lk1
vc
Lm
im
Lk2
0.5Vin
Q3
Q4
vh
vh
T2
T2
Io
D3
D4
vrec
T1
vs
D1
D2

图2

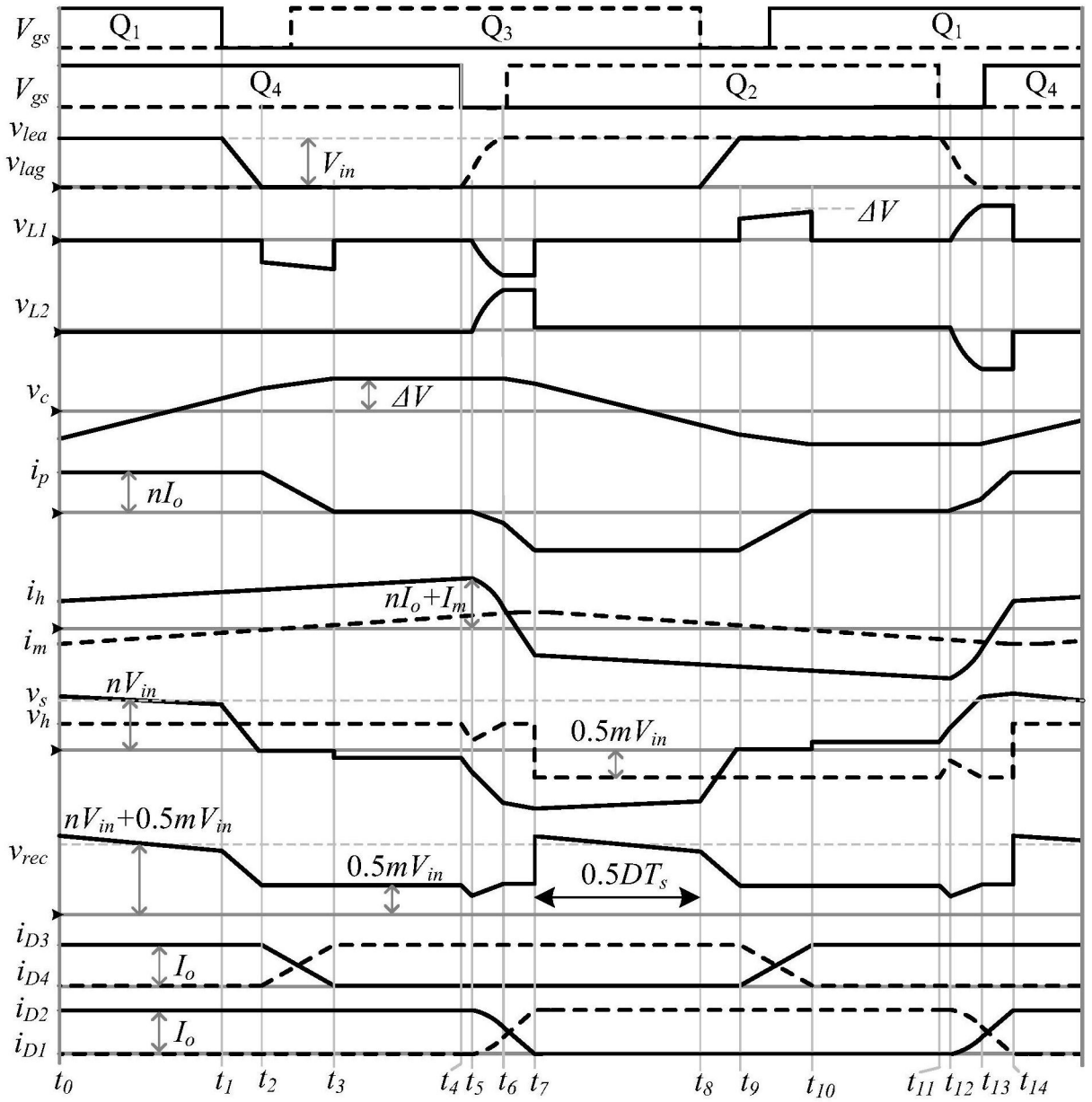

V_{gs}
Q1
Q3
Q1
V_{gs}
Q4
Q2
Q4
v_{lea}
v_{lag}
V_{in}
ΔV
v_{L1}
v_{L2}
v_c
ΔV
i_p
nI_o
i_h
nI_o+I_m
i_m
v_s
nV_{in}
v_h
$0.5mV_{in}$
$nV_{in}+0.5mV_{in}$
v_{rec}
$0.5mV_{in}$
$0.5DT_s$
i_{D3}
i_{D4}
I_o
i_{D2}
i_{D1}
I_o
t_0 t_1 t_2 t_3 t_4 t_5 t_6 t_7 t_8 t_9 t_{10} t_{11} t_{12} t_{13} t_{14}

图3

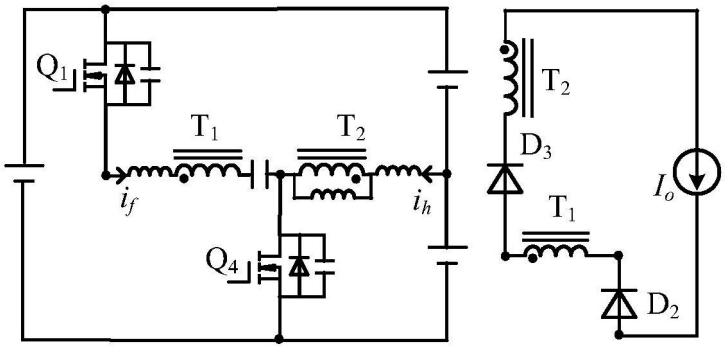

Q1
T1
T2
i_f
i_h
Q4
T2
D3
T1
I_o
D2

图4

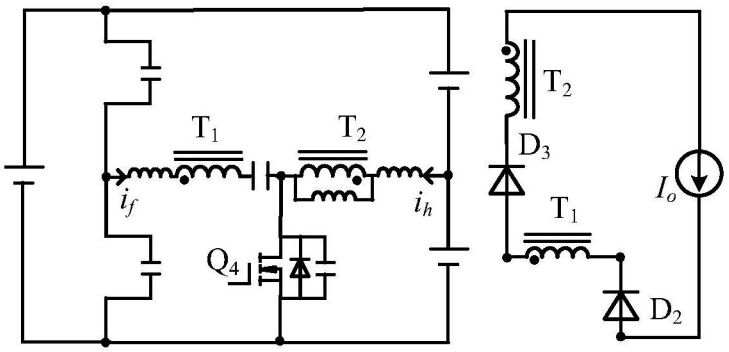

T1
T2
T2
D3
T1
D2
Io
if
ih
Q4

图5

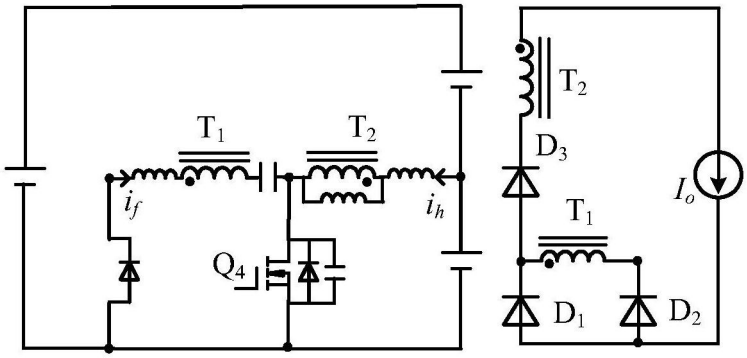

T1
T2
T2
D3
T1
D1
D2
Io
if
ih
Q4

图6

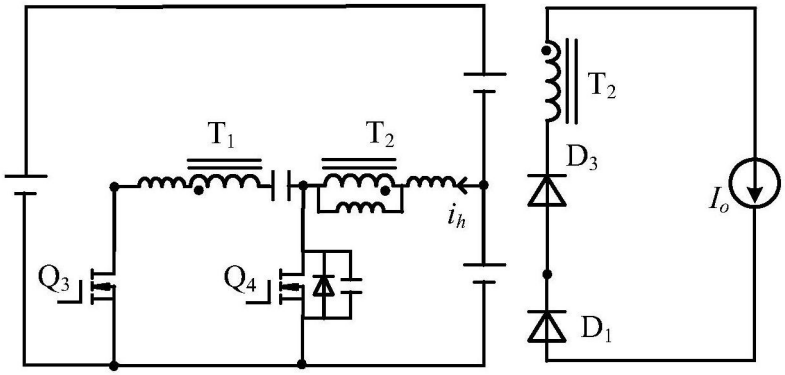

T1
T2
T2
D3
D1
Io
ih
Q3
Q4

图7

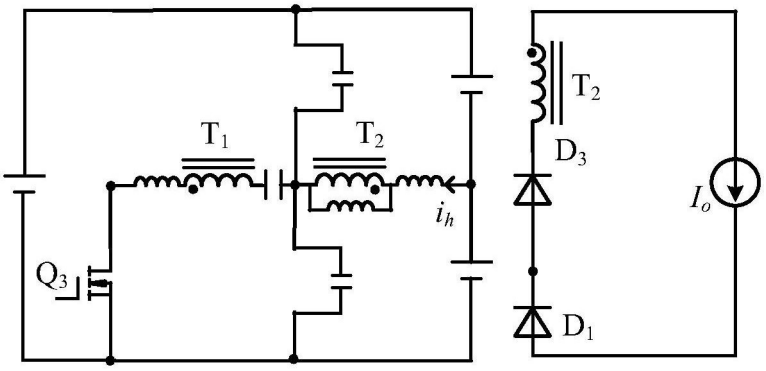

T1
T2
T2
D3
Io
ih
Q3
D1

图8

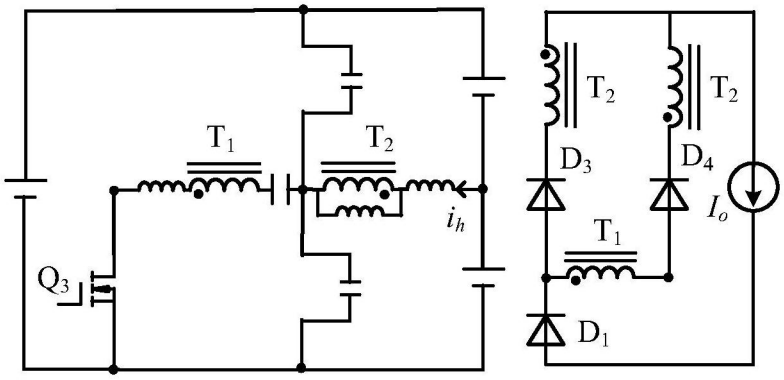

T1
T2
T2
T2
D3
D4
Io
ih
T1
Q3
D1

图9

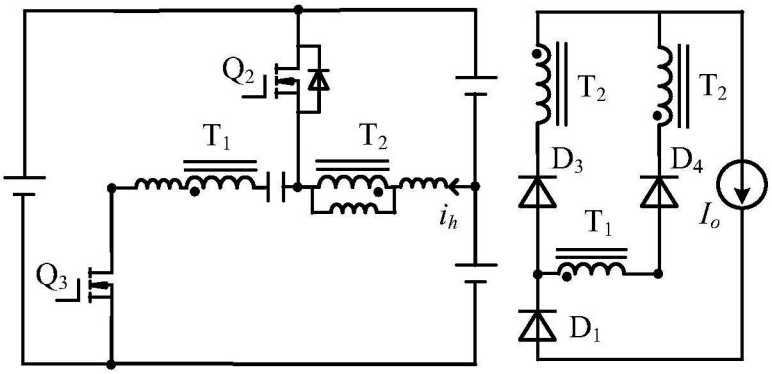

Q2
T1
T2
T2
T2
D3
D4
Io
ih
T1
Q3
D1

图10