

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H02M 3/28 (2007.01)

H02M 3/335 (2006.01)

H02M 7/5387 (2007.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710019320.1

[45] 授权公告日 2008年11月5日

[11] 授权公告号 CN 100431250C

[22] 申请日 2007.1.15

[21] 申请号 200710019320.1

[73] 专利权人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市御道街29号

[72] 发明人 陈乾宏 殷兰兰 陈乾伟

[56] 参考文献

US5198969A 1993.3.30

US6944036B2 2005.9.13

CN1716746A 2006.1.4

审查员 王璐

[74] 专利代理机构 南京苏高专利商标事务所

代理人 阙如生

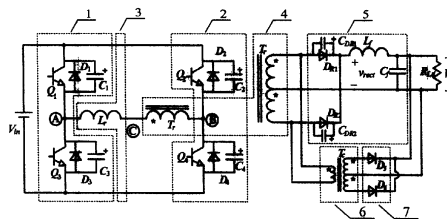
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

[54] 发明名称

副边箝位的隔离型直流变换器

[57] 摘要

一种副边箝位的隔离型直流变换器，属直流变换器。该直流变换器包括直流电源 V_{in} 、第一逆变桥臂(1)和第二逆变桥臂(2)、谐振电感(3)、隔离变压器(4)、整流及滤波电路(5)、电流互感器(6)、箝位电路(7)组成。由于加了电流互感器和箝位电路，消除了因整流管的反向恢复而引起的电压振荡和电压尖峰，降低了整流管的电压应力，并且消除了整流管因反向恢复引起的损耗，同时，由于箝位二极管的电压应力比较小，可选用性能很好的管子，消除了由箝位二极管的寄生参数对电路产生的影响。此外，由于箝位电路箝的是变压器副边电压，与箝位二极管放在变压器原边箝变压器原边电压的方式相比，可消除由变压器漏感引起的整流二极管的电压振荡和电压尖峰。



1、一种副边箝位的隔离型直流变换器，包括直流电源(V_{in})、第一逆变桥臂(1)和第二逆变桥臂(2)、谐振电感(3)、隔离变压器(4)、整流及滤波电路(5)，其中由第一开关管(Q_1)和第三开关管(Q_3)串联后组成的第一逆变桥臂(1)正向并联在直流电源(V_{in})正负输出端；由第二开关管(Q_2)和第四开关管(Q_4)串联后组成的第二逆变桥臂(2)同样正向并联在直流电源(V_{in})正负输出端，上述第一至第四的四个开关管(Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4)还各自并联一个体二极管和一个寄生电容；谐振电感(3)和隔离变压器(4)原边绕组串联，该串联支路两端分别连于第一逆变桥臂(1)的两个开关管(Q_1 、 Q_3)的串联点(A)和第二逆变桥臂(2)的两个开关管(Q_2 、 Q_4)的串联点(B)；隔离变压器(4)的副边两个同匝数的副边绕组相串联，其中两个副边绕组的串联点与整流滤波电路(5)的负端相连，另外两个不相连的端子分别和整流及滤波电路(5)的两个正端相连；其特征在于还包括电流互感器(6)、箝位电路(7)，上述隔离变压器(4)的副边两个不相连的端子同时也和电流互感器(6)原边绕组的两个端子相连；电流互感器(6)的副边绕组接箝位电路(7)，电流互感器(6)的副边绕组和箝位电路(7)的两只箝位二极管(D_5 、 D_6)接成全波整流方式时，电流互感器(6)的副边为匝数相同的两个绕组，两个绕组的异名端相连，接输出电压(V_o)的负端，另外不相连的两个端子分别接两只箝位二极管(D_5 、 D_6)的阳极，两只箝位二极管(D_5 、 D_6)的阴极相连，接在输出电压(V_o)的正端；

2、一种副边箝位的隔离型直流变换器，包括直流电源(V_{in})、第一逆变桥臂(1)和第二逆变桥臂(2)、谐振电感(3)、隔离变压器(4)、整流及滤波电路(5)，其中由第一开关管(Q_1)和第三开关管(Q_3)串联后组成的第一逆变桥臂(1)正向并联在直流电源(V_{in})正负输出端；由第二开关管(Q_2)和第四开关管(Q_4)串联后组成的第二逆变桥臂(2)同样正向并联在直流电源(V_{in})正负输出端，上述第一至第四的四个开关管(Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4)还各自并联一个体二极管和一个寄生电容；谐振电感(3)和隔离变压器(4)原边绕组串联，该串联支路两端分别连于第一逆变桥臂(1)的两个开关管(Q_1 、 Q_3)的串联点(A)和第二逆变桥臂(2)的两个开关管(Q_2 、 Q_4)的串联点(B)；隔离变压器(4)的副边两个同匝数的副边绕组相串联，其中两个副边绕组的串联点与整流滤波电路(5)的负端相连，另外两个不相连的端子分别和整流及滤波电路(5)的两个正端相连；其特征在于还包括电流互感器(6)、箝位电路(7)，上述隔离变压器(4)的副边两个不相连的端子同时也和电流互感器(6)原边绕组的两个端子相连；电流互感器(6)的副边绕组和箝位电路(7)的四只箝位二极管(D_5 、 D_6 、 D_7 、 D_8)接成全桥整流方式，箝位电路(7)的输出接在输出电压(V_o)的两端。

副边箝位的隔离型直流变换器

一、技术领域

本发明的副边箝位的隔离型直流变换器，属电能变换装置的直流变换器。

二、背景技术

在中大功率的直流变换场合，全桥变换器由于开关管容易实现软开关和采用恒定频率控制而得到了广泛的应用。近二十年来，出现了很多全桥变换器软开关控制策略和电路拓扑。移相控制零电压开关全桥变换器和移相控制零电压零电流开关全桥变换器均可实现开关管的软开关。但无论是零电压开关还是零电压零电流开关全桥变换器，由于副边整流二极管存在反向恢复，变压器的漏感（或附加的谐振电感）就会同输出整流管的结电容发生谐振，二极管上会承受至少两倍的尖峰电压，因此必须选择高压整流二极管，这也就意味着增加副边整流二极管的正向导通压降。Richard Redl, Nathan O. Sokal and Laszlo Balogh, "A novel soft-switching full-bridge DC/DC converter: analysis, design considerations, and experimental results at 1.5kW, 100kHz," in Proc. IEEE PESC, 1990, pp.162-172公开了一种零电压开关全桥直流变换器，在变压器的原边引入一个谐振电感和两只箝位二极管，不仅保持了开关管的软开关特性，同时有效地消除了输出整流管上的电压尖峰和电压振荡。

但是，当此变换器工作在轻载甚至空载情况时，箝位二极管的结电容放电阶段，释放的能量无法转移到负载端，只能存储在谐振电感中，迫使箝位二极管多导通一次，箝位二极管中电流为谐振电感电流与变压器原边电流之差，此时变压器原边电流近似为零，箝位二极管中电流约等于谐振电感电流，由于谐振电感被超前桥臂的开关管和箝位二极管短路，电感电流维持不变，所以箝位二极管中电流在近似半个开关周期里维持不变。两只箝位二极管在一个开关周期交替导通，如果箝位二极管的关断速度不够快，容易直通，造成箝位二极管的损坏。

三、发明内容

本发明的目的在于针对上述变换器的缺陷，研制一种副边箝位的隔离型直流变换器，通过输出电压实现变压器两端电压的箝位，以减小输出整流二极管的电压振荡和电压尖峰。该变换器可选用低电压定额的箝位二极管，从根源上消除了由于箝位二极管的电压定额比较高，其自身寄生参数对电路性能的影响，此外，由于箝位电路箝的是变压器副边电压，与箝位二极管放在变压器原边箝变压器原边电压的方式相比，可以消除由变压器漏感引起的整流二极管的电压振荡和电压尖峰。

副边箝位的隔离型直流变换器，包括直流电源 V_{in} 、第一逆变桥臂和第二逆变桥臂、谐振电感、隔离变压器、整流及滤波电路，电流互感器、箝位电路。其中由第一开关管和第三开关管串联后组成的第一逆变桥臂正向并联在直流电源 V_{in} 正负输出端；由第二

开关管和第四开关管串联后组成的第二逆变桥臂同样正向并联在直流电源 V_{in} 正负输出端，上述第一至第四的四个开关管还各自并联一个体二极管和一个寄生电容；谐振电感和隔离变压器原边绕组串联，该串联支路两端分别连于第一逆变桥臂的两个开关管的串联点和第二逆变桥臂的两个开关管的串联点；上述隔离变压器的副边两个同匝数的副边绕组相串联，其中两个副边绕组的串联点与整流滤波电路的负端相连，另外两个不相连的端子分别和整流及滤波电路的两个正端相连，同时也和电流互感器原边绕组的两个端子相连；电流互感器的副边绕组接箝位电路，有两种连接方式：第一种方式，电流互感器的副边绕组和两只箝位二极管接成全波整流方式，电流互感器的副边为匝数相同的两个绕组，两个绕组的异名端相连，接输出电压 V_o 的负端，另外不相连的两个端子分别接两只箝位二极管的阳极，两只箝位二极管的阴极相连，接在输出电压 V_o 的正端；第二种方式，电流互感器的副边只有一个绕组和四只箝位二极管接成全桥整流方式，箝位二极管的输出接在输出电压 V_o 的两端。

本发明与现有技术相比的主要技术特点是，由于加了电流互感器和箝位电路，消除了因输出整流管的反向恢复而引起的电压振荡和电压尖峰，降低了输出整流管的电压应力，并且消除了输出整流管因反向恢复引起的损耗，同时，由于箝位二极管的电压应力比较小，可选用性能很好的管子，从根源上消除了由箝位二极管的寄生参数对电路产生的影响。

四、附图说明

附图 1 和附图 2 是本发明的副边箝位的隔离型直流变换器两种实例电路结构示意图。

附图 3 是本发明的副边箝位的隔离型直流变换器的主要工作波形示意图。

附图 4~13 是本发明的副边箝位的隔离型直流变换器的等效电路结构示意图。上述图中的符号名称： V_{in} 、直流电源电压， $Q_1 \sim Q_4$ 、主开关管， $D_1 \sim D_4$ 、开关管的体二极管， $C_1 \sim C_4$ 、开关管寄生电容， L_r 、谐振电感， T_r 、隔离变压器， D_m 、 D_{re} 、输出整流二极管， C_{Dm} 、 C_{Dre} 、输出整流二极管 D_m 、 D_{re} 的结电容， L_f 、输出滤波电感， C_f 、输出滤波电容， R_{Lo} 、负载， T_c 、电流互感器， $D_b \sim D_6$ 、箝位二极管， V_{rect} 、变压器副边整流后电压， V_{AB} 、 A 与 B 两点间电压， i_p 、变压器原边电流， i_{Lr} 、谐振电感电流， i_{Dm} 、流过箝位二极管 D_m 的电流， i_{Dre} 、流过箝位二极管 D_{re} 的电流。

五、具体实施方式

附图 1 和附图 2 所示的是副边箝位的隔离型直流变换器的两种电路结构示意图。由直流电源 V_{in} 、两个逆变桥臂 1 和 2、谐振电感 3、隔离变压器 4、整流及滤波电路 5、电流互感器 6、箝位电路 7 组成。 $Q_1 \sim Q_4$ 是四只主开关管， $D_1 \sim D_4$ 分别是开关管 $Q_1 \sim Q_4$ 的体二极管， $C_1 \sim C_4$ 分别是开关管 $Q_1 \sim Q_4$ 的寄生电容， L_r 是谐振电感， T_r 是隔离变压器， D_m

和 D_{R2} 是输出整流二极管, C_{Dm} 和 C_{DR2} 为输出整流二极管 D_m 、 D_{R2} 的结电容, L_r 是输出滤波电感, C_r 是输出滤波电容, R_{Ld} 为负载, T_c 是电流互感器, $D_b \sim D_6$ 是箝位二极管。本变换器采用移相控制, 开关管 Q_1 和 Q_3 分别超前于开关管 Q_4 和 Q_2 一个相位, 称开关管 Q_1 和 Q_3 组成的第一逆变桥臂为超前桥臂, 开关管 Q_2 和 Q_4 组成的第二逆变桥臂则为滞后桥臂。谐振电感 3 和上述隔离变压器 4 原边绕组串联, 该串联支路中谐振电感另一端和第一逆变桥臂 1 的两个开关管 Q_1 、 Q_3 的串联点 A 相连, 隔离变压器 5 原边绕组的另一端和第二逆变桥臂 2 的两个开关管 Q_2 、 Q_4 的串联点 B 相连; 上述隔离变压器 4 的副边两个同匝数的副边绕组相串联, 其中两个副边绕组的串联点与整流滤波电路的负端相连, 另外两个不相连的端子分别和整流及滤波电路的两个正端相连, 本发明的特点是: 上述变压器两个副边绕组不相连的两个端点同时也和电流互感器原边绕组的两个端子相连; 电流互感器的副边绕组接箝位二极管, 有两种连接方式: 第一种方式, 电流互感器的副边绕组和两只箝位二极管接成全波整流方式, 电流互感器的副边为匝数相同的两个绕组, 两个绕组的异名端相连, 接输出电压 V_o 的负端, 另外不相连的两个端子分别接两只箝位二极管的阳极, 两只箝位二极管的阴极相连, 接在输出电压 V_o 的正端; 第二种方式, 电流互感器的副边只有一个绕组和四只箝位二极管接成全桥整流方式, 箝位二极管的输出接在输出电压 V_o 的两端。

下面以附图 1 为主电路结构, 结合附图 3~13 叙述本发明的具体工作原理。在分析之前, 作如下假设: ①所有开关管和二极管均为理想器件, 整流二极管 D_m 和 D_{R2} 除外, 等效为一个理想二极管和一个电容并联, 以用来模拟反向恢复; ②所有电感、电容和变压器均为理想元件。

由附图 3 可知整个变换器在一个开关周期有 21 种开关模态, 分别是 $[t_0 \text{ 以前}]$ 、 $[t_0, t_1]$ 、 $[t_1, t_2]$ 、 $[t_2, t_3]$ 、 $[t_3, t_4]$ 、 $[t_4, t_5]$ 、 $[t_5, t_6]$ 、 $[t_6, t_7]$ 、 $[t_7, t_8]$ 、 $[t_8, t_9]$ 、 $[t_9, t_{10}]$ 、 $[t_{10}, t_{11}]$ 、 $[t_{11}, t_{12}]$ 、 $[t_{12}, t_{13}]$ 、 $[t_{13}, t_{14}]$ 、 $[t_{14}, t_{15}]$ 、 $[t_{15}, t_{16}]$ 、 $[t_{16}, t_{17}]$ 、 $[t_{17}, t_{18}]$ 、 $[t_{18}, t_{19}]$ 、 $[t_{19}, t_{20}]$ (见附图 3), 其中, $[t_0 \text{ 以前}, t_{10}]$ 为前半周期, $[t_{10}, t_{20}]$ 为后半周期。下面对各开关模态的工作情况进行具体分析。

1. 开关模态 1 $[t_0 \text{ 以前}]$ [对应于附图 4]

t_0 以前, 开关管 Q_1 和 Q_3 导通, 副边整流二极管 D_m 导通, 整流二极管 D_{R2} 截止。

2. 开关模态 2 $[t_0, t_1]$ [对应于附图 5]

t_0 时刻关断开关管 Q_1 , 原边电流 i_p 给电容 C_1 充电, 同时给电容 C_3 放电, A 点电压下降。由于有电容 C_1 和 C_3 , 开关管 Q_1 是零电压关断。结电容 C_{DR2} 放电, 原边电流 i_p 和谐振电感电流 i_{Lr} 谐振下降。由于 C 点电位始终大于零, 故箝位二极管 D_b 不可能导通。同时由于结电容 C_{DR2} 放电, 副边电压减小, 原边电压随之减小, 而 B 点电位箝在零, 所以 C 点电位必小于输入电压 V_{in} , 因此箝位二极管 D_b 也不可能导通。 t_1 时刻, 电容 C_3 的电压下降到零, 即 A 点电位降为零, 二极管 D_b 导通。

3. 开关模式 3 [t_1, t_2] [对应于附图 6]

二极管 D_3 导通后, 可以零电压开通开关管 Q_3 。A 点电位降为零时, C 点电压还没有下降到零, 此时整流二极管 D_{R2} 的结电容 C_{DR2} 继续放电, 谐振电感电流 i_{Lr} 和原边电流 i_p 继续下降。 t_2 时刻, 整流二极管 D_{R2} 的结电容 C_{DR2} 放电结束, 二极管 D_{R2} 导通, C 点电压下降到零。

4. 开关模式 4 [t_2, t_3] [对应于附图 7]

整流二极管 D_{R1} 和 D_{R2} 同时导通, 将变压器原副边电压箝在零位, 此时 A、B、C 三点电位均为零, 谐振电感电流 i_{Lr} 与原边电流 i_p 相等, 处于自然续流状态, 并且一直保持不变。

5. 开关模式 5 [t_3, t_4] [对应于附图 8]

t_3 时刻关断开关管 Q_4 , 电流 i_{Lr} 给电容 C_4 充电, 同时给电容 C_2 放电。由于电容 C_2 和 C_4 的存在, 开关管 Q_4 是零电压关断。由于整流二极管 D_{R1} 和 D_{R2} 都导通, 因此变压器原副边电压均为零, 电压 v_{AB} 直接加在谐振电感 L_r 上, 因此, 在这段时间里, 实际上谐振电感 L_r 和结电容 C_2 、 C_4 在谐振工作。到 t_4 时刻, 电容 C_4 的电压上升至直流电源电压 V_{in} , 电容 C_2 的电压下降到零, 二极管 D_2 自然导通。

6. 开关模式 6 [t_4, t_5] [对应于附图 9]

二极管 D_2 导通后, 可以零电压开通开关管 Q_2 。此时原边电流 i_p 不足以提供负载电流, 整流二极管 D_{R1} 和 D_{R2} 同时导通, 变压器原副边电压均为零, 因此直流电源电压 V_{in} 全部加在谐振电感 L_r 两端, 谐振电感电流 i_{Lr} 等于原边电流 i_p , 两者线性下降。

7. 开关模式 7 [t_5, t_6] [对应于附图 10]

到 t_5 时刻, 谐振电感电流 i_{Lr} 与原边电流 i_p 都下降为零, 并且负方向增加, 原边电流 i_p 反向后由开关管 Q_2 和 Q_3 提供通路, 负载电流仍由两个整流二极管提供回路, 变压器原副边电压依旧为零。直到 t_6 时刻, 原边电流 i_p 达到折算至原边的负载电流, 整流二极管 D_{R1} 关断。

8. 开关模式 8 [t_6, t_7] [对应于附图 11]

在 t_6 时刻, 谐振电感 L_r 与整流二极管结电容 C_{DR1} 谐振工作, 给整流二极管 D_{R1} 的结电容 C_{DR1} 充电, 原边电流 i_p 和谐振电感电流 i_{Lr} 继续增加。

在这段时间中, B 点电压固定在直流电源电压 V_{in} , 而变压器原边绕组电压 v_{BC} 由于整流二极管结电容 C_{DR1} 的充电也同时上升, 故 C 点电位一直在下降。 t_7 时刻, 结电容 C_{DR1} 被充电到 $2V_{in}/N$, 此时变压器原边电压等于 V_{in} , C 点电压下降至零。 t_7 时刻以后, 结电容 C_{DR1} 继续被充电, 变压器原副边电压继续升高, 由于 C 点电压已经小于 0, 所以谐振电感电流 i_{Lr} 开始反向减小。

9. 开关模式 9 [t_7, t_8] [对应于附图 12]

t_8 时刻, 副边箝位电路开始工作, 电流互感器 T_c 同名端电压为负, 箝位二极管 D_6 导通, 把 T_c 的副边电压箝在输出电压 V_o , 原边电压箝在 nV_o , 下正上负。即主变压器 T_r 两副边绕组的电压被箝在 nV_o 。结电容 C_{DM} 电压被箝位后, 结电容 C_{DM} 的充电电流突变到 0, 这部分电流被 T_c 转移, 从箝位二极管 D_6 流向输出侧。此后, 滤波电流增加, T_r 原边电压箝在 $nNV_o/2$, 左负右正, 此时 B 点电压等于输入电压 V_{in} , 所以 C 点电压被箝位在一个小于 0 的值, 使得谐振电感电流和原边电流反向减小, 所以流过箝位二极管 D_6 的电流 i_{D6} 可以快速的下降。

10. 开关模态 10 [t_9, t_{10}] [对应于附图 13]

t_9 时刻, 谐振电感电流以及主变压器原边电流和折算到原边的滤波电感电流相等, 流过箝位二极管 D_6 的电流 i_{D6} 下降到 0, 箝位二极管 D_6 被关断, 没有电流从电流互感器 T_c 流过。此后, 谐振电感和结电容 C_{DM} 发生谐振, 副边整流后的电压上, 虽然存在振荡, 但是稳态值仍然是 V_{in}/N 。

由以上描述可知, 本发明提出的副边箝位的隔离型直流变换器具有如下优点:

- ① 副边箝位电路可以有效地消除了输出整流管上的电压尖峰和电压振荡, 降低输出整流管的电压应力。
- ② 箝位二极管电压应力与输出电压有关, 和输入电压无关, 在高压输入低压输出应用场合, 箝位二极管可选用的电压定额比较低的管子, 性能更优。
- ③ 可以实现开关管的零电压开关。

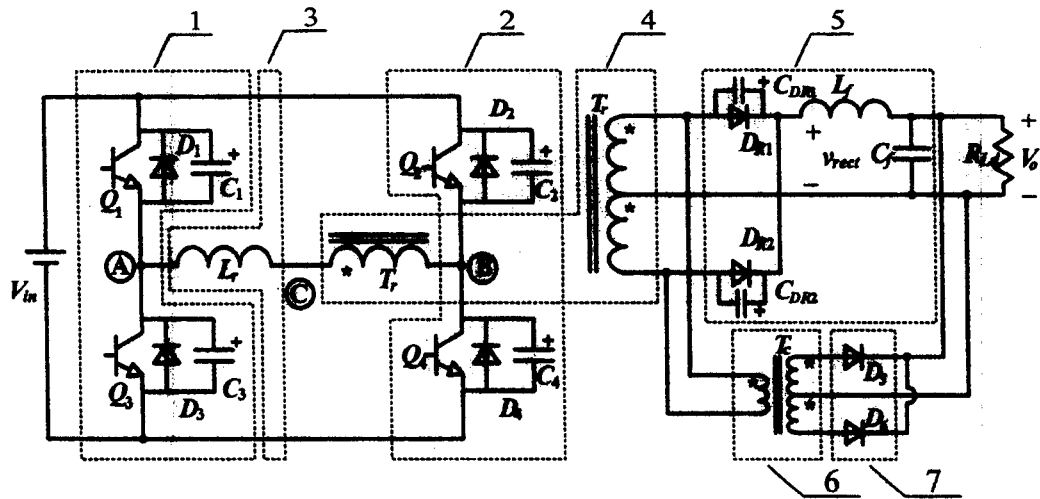


图 1

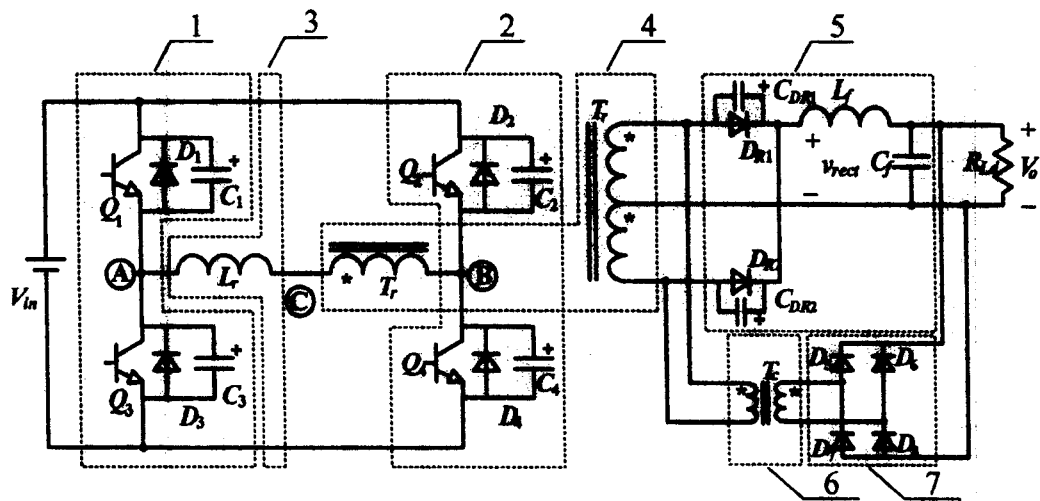


图 2

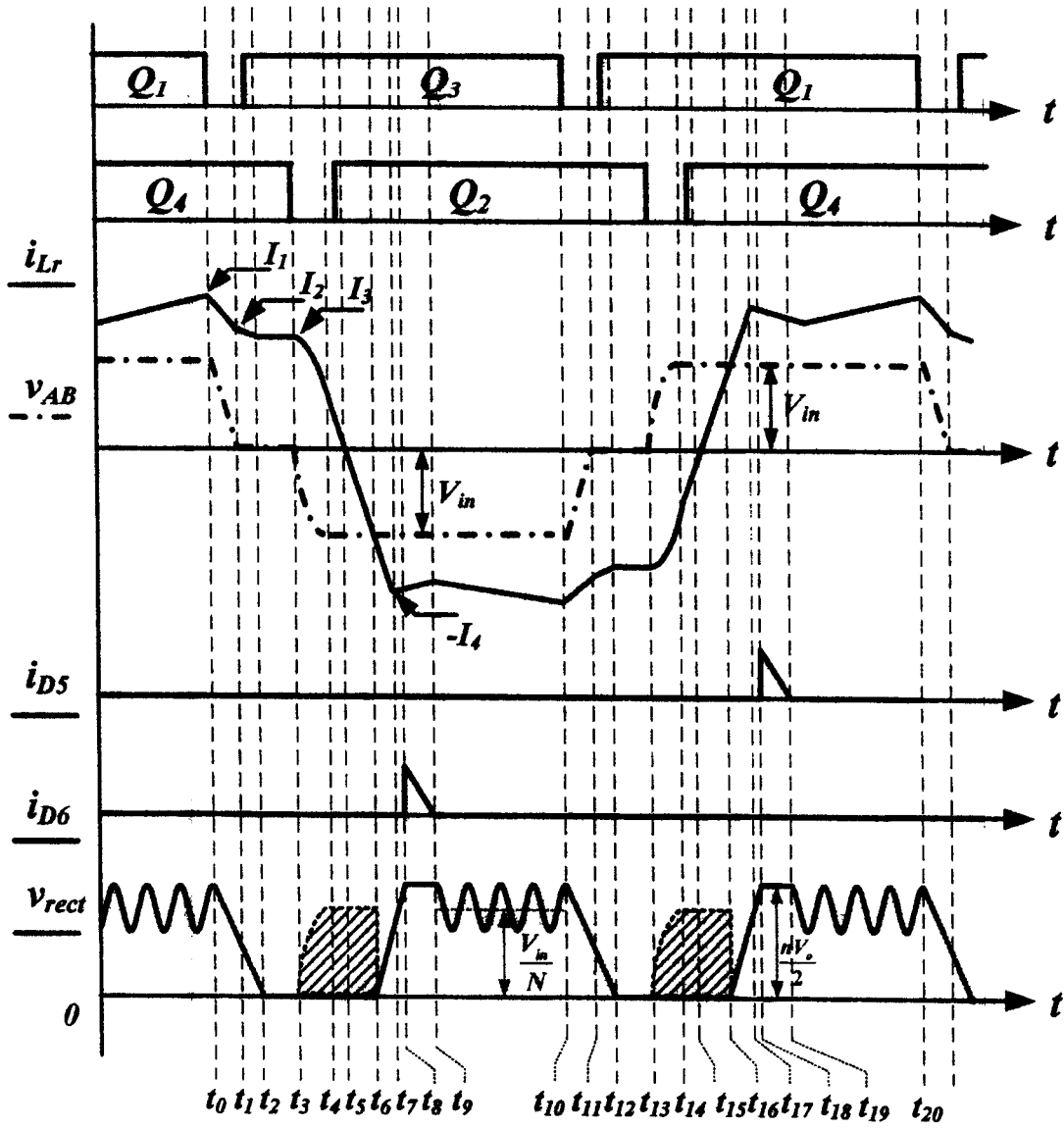


图 3

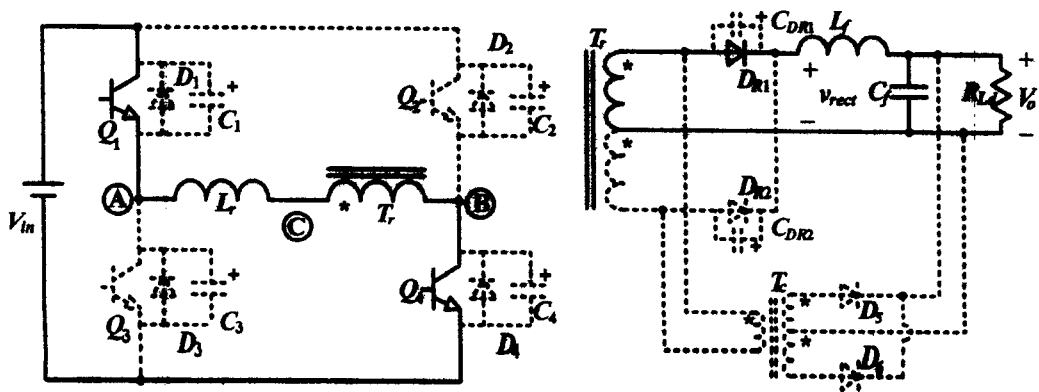


图 4

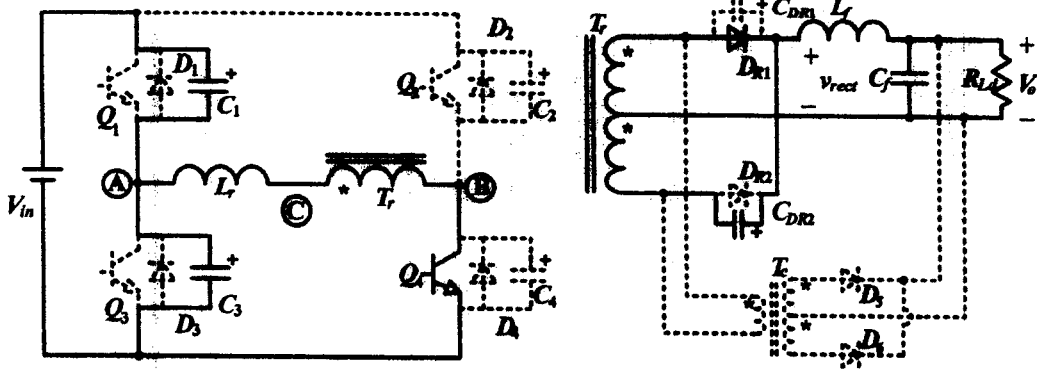


图 5

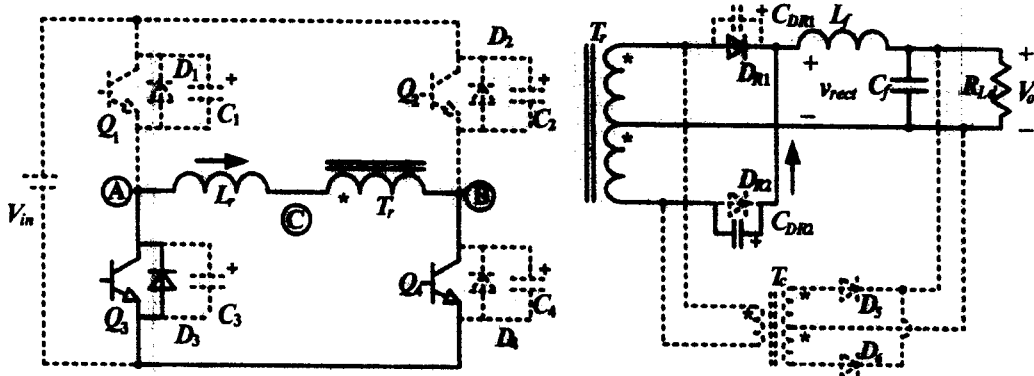


图 6

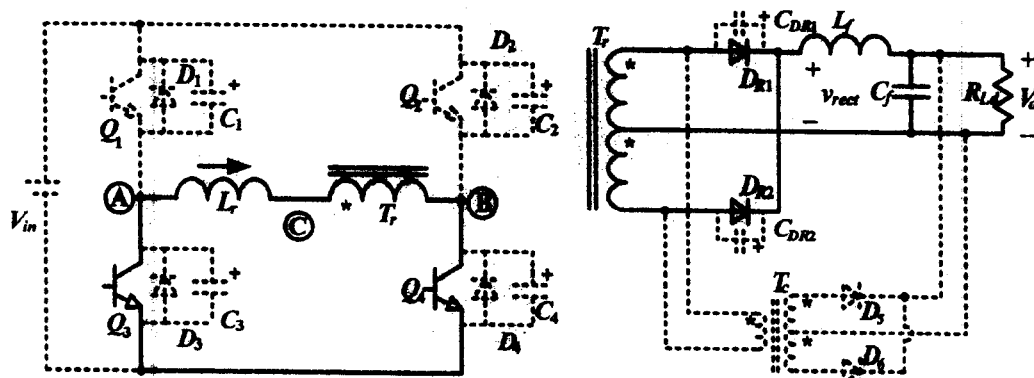


图 7

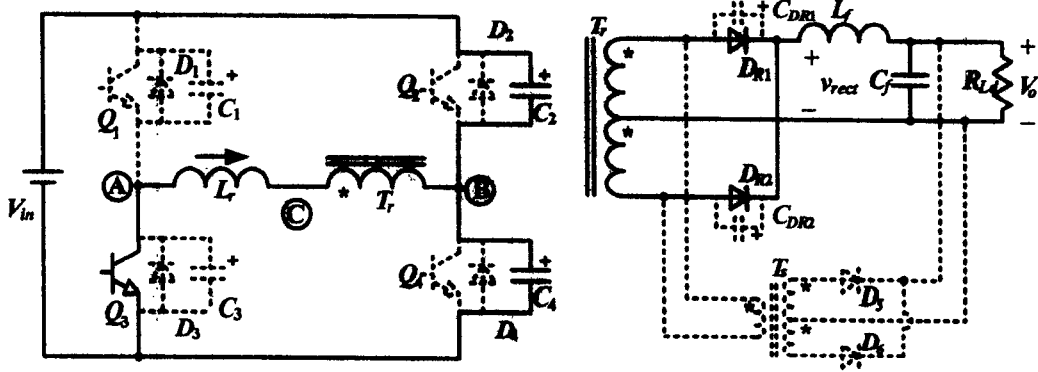


图 8

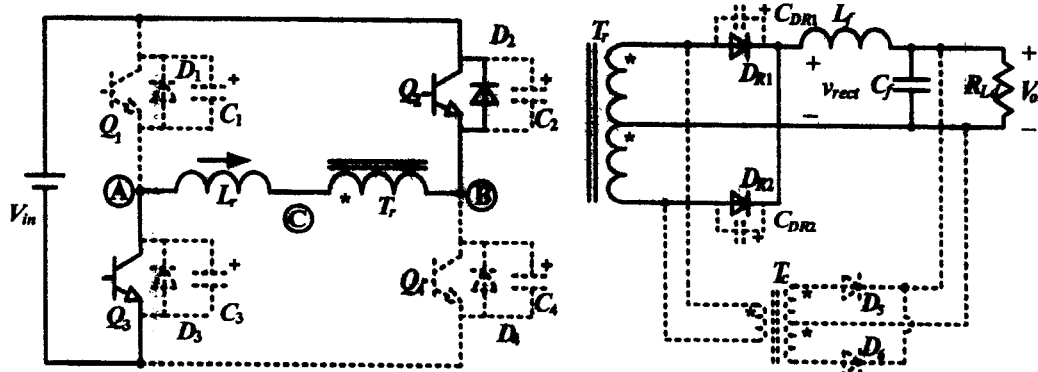


图 9

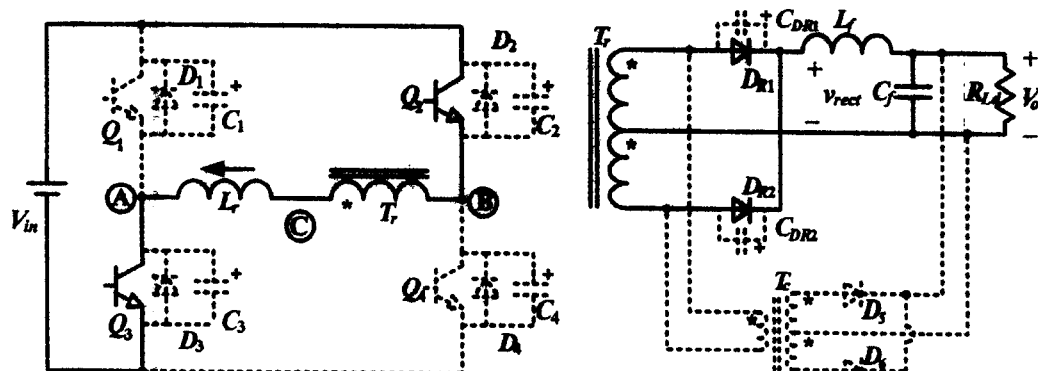


图 10

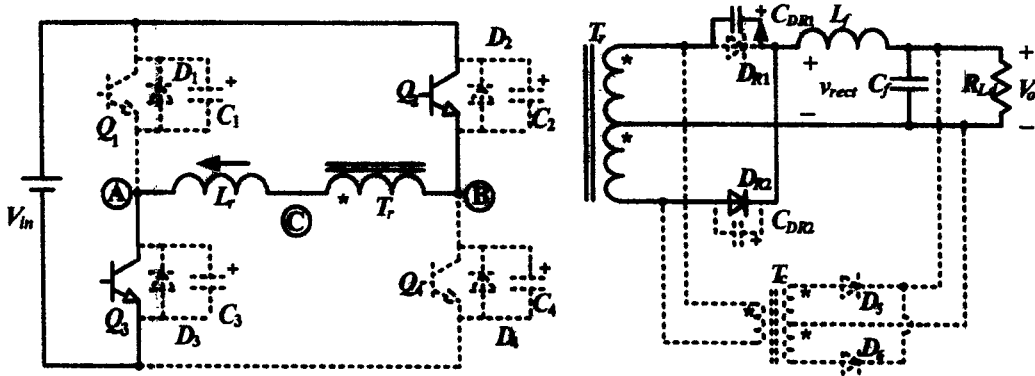


图 11

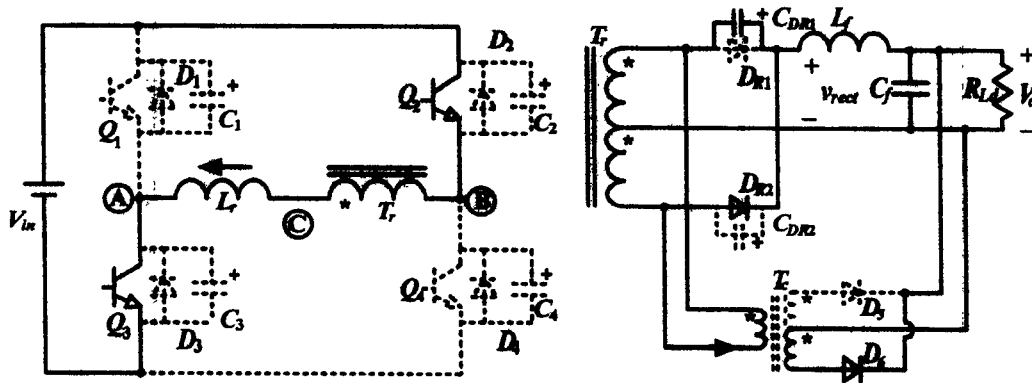


图 12

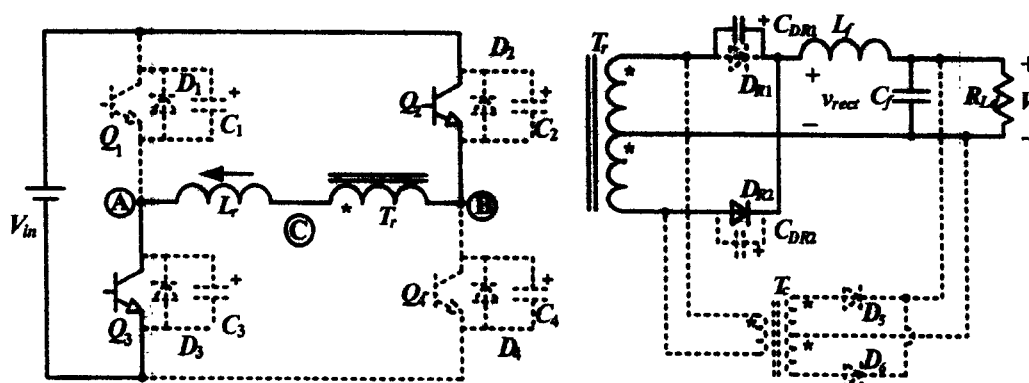


图 13