



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109194140 A

(43)申请公布日 2019.01.11

(21)申请号 201811136390.X

(22)申请日 2018.09.28

(71)申请人 南京理工大学

地址 210094 江苏省南京市孝陵卫200号

(72)发明人 顾玲 向园社

(74)专利代理机构 南京理工大学专利中心

32203

代理人 朱宝庆

(51)Int.Cl.

H02M 3/335(2006.01)

H02M 7/48(2007.01)

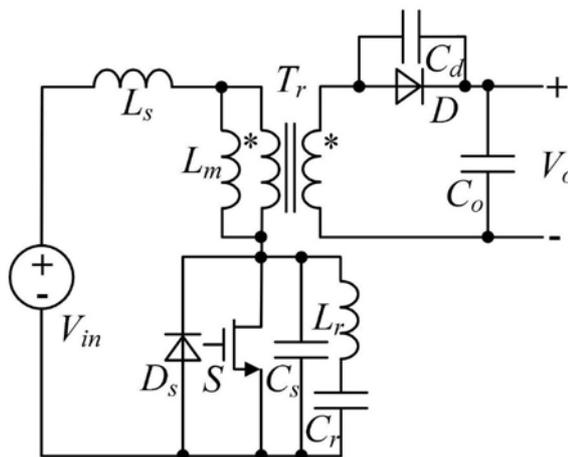
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

低开关管电压应力电压型输出谐振变换器

(57)摘要

本发明提供了一种低开关管电压应力电压型输出谐振变换器,包括隔离变压器、原边电路、副边电路;原边电路的第一谐振电感的一端与直流电源正端连接,第一谐振电感的另一端与励磁电感的一端、变压器原边同名端连接,励磁电感的另一端与变压器原边异名端、开关管漏极、第一谐振电容的一端、第二谐振电感的一端连接,第二谐振电感的另一端与第二谐振电容的一端连接,开关管源极、第一谐振电容的另一端、第二谐振电容的另一端与直流电源负端连接;副边电路的变压器副边同名端与第三谐振电容的一端、二极管的阳极连接,第三谐振电容的另一端、二极管的阴极与输出电容的正端连接,变压器副边异名端与输出滤波电容的负端连接。



1. 一种低开关管电压应力隔离型电压型输出谐振变换器,其特征在于,包括隔离变压器、原边电路、副边电路,

所述原边电路包括直流电源 ( $V_{in}$ )、第一谐振电感 ( $L_s$ )、励磁电感 ( $L_m$ )、开关管 (S)、第一谐振电容 ( $C_s$ )、第二谐振电感 ( $L_r$ )、第二谐振电容 ( $C_r$ ),

所述副边电路包括二极管 (D)、第三谐振电容 ( $C_d$ )、输出滤波电容 ( $C_o$ );

第一谐振电感 ( $L_s$ ) 的一端与直流电源 ( $V_{in}$ ) 正端相连接,

第一谐振电感 ( $L_s$ ) 另一端与励磁电感 ( $L_m$ ) 的一端、变压器 ( $T_r$ ) 原边的同名端相连接,

励磁电感 ( $L_m$ ) 的另一端与变压器 ( $T_r$ ) 原边的异名端、开关管 (S) 漏极、第一谐振电容 ( $C_s$ ) 的一端、第二谐振电感 ( $L_r$ ) 的一端相连接,

第二谐振电感 ( $L_r$ ) 的另一端与第二谐振电容 ( $C_r$ ) 的一端连接,

开关管 (S) 源极、第一谐振电容 ( $C_s$ ) 的另一端、第二谐振电容 ( $C_r$ ) 的另一端与直流电源 ( $V_{in}$ ) 的负端相连接;

变压器 ( $T_r$ ) 副边的同名端与第三谐振电容 ( $C_d$ ) 的一端、二极管 (D) 的阳极相连接,

第三谐振电容 ( $C_d$ ) 的另一端、二极管 (D) 的阴极与输出电容 ( $C_o$ ) 的正端相连接,

变压器 ( $T_r$ ) 副边异名端与输出滤波电容 ( $C_o$ ) 的负端相连接。

2. 根据权利要求1所述的谐振变换器,其特征在于,所述开关管 (S) 并联一寄生体二极管 ( $D_s$ ),寄生体二极管 ( $D_s$ ) 阳极与开关管 (S) 源极相连接,寄生体二极管 ( $D_s$ ) 阴极与开关管 (S) 漏极相连接。

3. 根据权利要求2所述的谐振变换器,其特征在于,

所述第一谐振电容 ( $C_s$ ) 容量等效为开关管 (S) 结电容容量与并联在开关管 (S) 源极、漏极之间的谐振电容的容量之和;

所述第三谐振电容 ( $C_d$ ) 容量等效为二极管 (D) 结电容容量与并联在二极管 (D) 两极间的谐振电容的容量之和;

所述第一谐振电感 ( $L_s$ ) 感值等效为与变压器 ( $T_r$ ) 串联的谐振电感感值和变压器漏感之和。

4. 一种低开关管电压应力非隔离型电压型输出谐振变换器,其特征在于,包括直流电源 ( $V_{in}$ )、第一谐振电感 ( $L_s$ )、储能电感 ( $L_m$ )、开关管 (S)、第一谐振电容 ( $C_s$ )、第二谐振电感 ( $L_r$ )、第二谐振电容 ( $C_r$ )、二极管 (D)、第三谐振电容 ( $C_d$ )、输出滤波电容 ( $C_o$ ),其中,

第一谐振电感 ( $L_s$ ) 的一端与直流电源 ( $V_{in}$ ) 的正端相连接,

第一谐振电感 ( $L_s$ ) 的另一端与储能电感 ( $L_m$ ) 的一端、第三谐振电容 ( $C_d$ ) 的一端、二极管 (D) 的阳极相连接,

第三谐振电容 ( $C_d$ ) 的另一端与二极管 (D) 的阴极、输出滤波电容 ( $C_o$ ) 的正端相连接,

储能电感 ( $L_m$ ) 的另一端、开关管 (S) 漏极、第一谐振电容 ( $C_s$ ) 的一端、第二谐振电感 ( $L_r$ ) 的一端与输出滤波电容 ( $C_o$ ) 的负端相连接,

第二谐振电感 ( $L_r$ ) 的另一端与第二谐振电容 ( $C_r$ ) 的一端相连接,

开关管 (S) 源极、第一谐振电容 ( $C_s$ ) 的另一端、第二谐振电容 ( $C_r$ ) 的另一端与直流电源 ( $V_{in}$ ) 的负端相连接。

5. 根据权利要求4所述的谐振变换器,其特征在于,所述开关管 (S) 并联一寄生体二极管 ( $D_s$ ),寄生体二极管 ( $D_s$ ) 阳极与开关管 (S) 源极相连接,寄生体二极管 ( $D_s$ ) 阴极与开关管

(S)漏极相连接。

6. 根据权利要求5所述的谐振变换器,其特征在于,

所述第一谐振电容 ( $C_s$ ) 容量等效为开关管 (S) 结电容容量与并联在开关管 (S) 源极、漏极之间的谐振电容的容量之和;

所述第三谐振电容 ( $C_d$ ) 容量等效为二极管 (D) 结电容容量与并联在二极管 (D) 两极间的谐振电容的容量之和。

## 低开关管电压应力电压型输出谐振变换器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种谐振变换器技术,特别是一种低开关管电压应力电压型输出谐振变换器。

### 背景技术

[0002] 随着功率变换器在重量和体积设计的方面变得越来越严格,软开关技术成为了变换器设计中提高开关频率和增加功率密度的理想选择。在所有的零电压开关变换器中,谐振变换器由于具有不仅可以实现软开关技术,还可以吸收电路寄生参数(如变压器的漏感,开关管和二极管的结电容等)减小高频工作下寄生参数对电路影响等优点而备受关注。

[0003] 现代电力电子技术发展过程中已经对零电压开关谐振变换器进行了大量研究。其中,准谐振变换器只有通过与开关管并联的谐振电容才会实现零电压开关。为了实现二极管的软开关技术,基于多谐振开关的多谐振变换器进而被提出。然而,传统的多谐振变换器仍然具有开关管电压应力高的问题。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种低开关管电压应力电压型输出谐振变换器,包括隔离型和非隔离型。

[0005] 实现本发明目的的一种技术方案为:一种低开关管电压应力隔离型电压型输出谐振变换器,包括隔离变压器、原边电路、副边电路,所述原边电路包括直流电源、第一谐振电感、励磁电感、开关管、第一谐振电容、第二谐振电感、第二谐振电容,所述副边电路包括二极管、第三谐振电容、输出滤波电容;第一谐振电感的一端与直流电源正端相连接,第一谐振电感的另一端与励磁电感的一端、变压器原边的同名端相连接,励磁电感的另一端与变压器原边的异名端、开关管漏极、第一谐振电容的一端、第二谐振电感的一端相连接,第二谐振电感的另一端与第二谐振电容的一端连接,开关管源极、第一谐振电容的另一端、第二谐振电容的另一端与直流电源的负端相连接;变压器副边的同名端与第三谐振电容的一端、二极管的阳极相连接,第三谐振电容的另一端、二极管的阴极与输出电容的正端相连接,变压器副边异名端与输出滤波电容的负端相连接。

[0006] 采用上述谐振变换器,所述开关管并联一寄生体二极管,寄生体二极管阳极与开关管源极相连接,寄生体二极管阴极与开关管漏极相连接。

[0007] 采用上述谐振变换器,所述第一谐振电容容量等效为开关管结电容容量与并联在开关管源极、漏极之间的谐振电容的容量之和;所述第三谐振电容容量等效为二极管结电容容量与并联在二极管两极间的谐振电容的容量之和;所述第一谐振电感感值等效为与变压器串联的谐振电感感值和变压器漏感之和。

[0008] 实现本发明目的的第二种技术方案为:一种低开关管电压应力非隔离型电压型输出谐振变换器,包括直流电源、第一谐振电感、储能电感、第一谐振电容、第二谐振电感、第二谐振电容、二极管、第三谐振电容、输出滤波电容;第一谐振电感的一端与直流电源正端

相连接,第一谐振电感另一端与储能电感的一端、二极管的阳极、第三谐振电容的一端相连接,第三谐振电容的另一端、二极管的阴极与输出滤波电容的正端相连接,储能电感的另一端、开关管的漏极、第一谐振电容的一端、第二谐振电感的一端与输出滤波电容的负端相连接,第二谐振电感的另一端与第二谐振电容的一端相连接,第二谐振电容的另一端、第一谐振电容的另一端、开关管的源极与直流电源的负端相连接。

[0009] 采用上述谐振变换器,所述开关管并联一寄生体二极管,寄生体二极管阳极与开关管源极相连接,寄生体二极管阴极与开关管漏极相连接。

[0010] 采用上述谐振变换器,所述第一谐振电容容量等效为开关管结电容容量与并联在开关管源极、漏极之间的谐振电容的容量之和;所述第三谐振电容容量等效为二极管结电容容量与并联在二极管两极间的谐振电容的容量之和。

[0011] 本发明与现有技术相比,具有以下优点:

[0012] (1) 低开关管电压应力电压型输出谐振变换器可以同时实现开关管的零电压开通和二极管的零电流关断,而且与现有的多谐振变换器相比,能够降低开关管电压应力,并且导通损耗更小、效率更高;(2) 本发明涉及的低开关管电压应力电压型输出谐振变换器包括低开关管电压应力非隔离型电压型输出谐振变换器和低开关管电压应力隔离型电压型输出谐振变换器,在需要电气隔离的应用场合可以选用低开关管电压应力隔离型电压型输出谐振变换器,在不需要电气隔离的应用场合可以选用低开关管电压应力非隔离型电压型输出谐振变换器;(3) 变压器的连接方式与谐振电感、谐振电容组成的谐振电路降低了开关管的电压应力;(4) 低开关管电压应力电压型输出谐振变换器吸收开关管的结电容以及二极管的结电容作为谐振电容的一部分,既解决了高频工作下寄生参数影响明显的问题又提高了变换器效率;(5) 低开关管电压应力电压型输出谐振变换器的输出整流电路仅包含二极管、第三谐振电容以及输出滤波电容,具有结构简单的优点。

[0013] 下面结合说明书附图对本发明作进一步描述。

## 附图说明

[0014] 图1是低开关管电压应力隔离型电压型输出谐振变换器电路结构示意图。

[0015] 图2是低开关管电压应力非隔离型电压型输出谐振变换器电路结构示意图。

[0016] 图3是本发明等效电路结构示意图。

[0017] 图4是低开关管电压应力隔离型电压型输出谐振变换器第一种工作模式下主要波形示意图。

[0018] 图5是本发明工作模式一中开关模态1、工作模式二中开关模态1和3的等效电路结构示意图。

[0019] 图6是本发明工作模式一中开关模态2、工作模式二中开关模态2的等效电路结构示意图。

[0020] 图7是本发明工作模式一中开关模态3的等效电路结构示意图。

[0021] 图8是本发明工作模式一中开关模态4、工作模式二中开关模态4的等效电路结构示意图。

[0022] 图9是低开关管电压应力隔离型电压型输出谐振变换器第二种工作模式下主要波形示意图。

[0023] 图中附图标记说明:输入电压 $V_{in}$ ,第一谐振电感 $L_s$ ,励磁电感 $L_m$ (图2储能电感)开关管S,开关管寄生体二极管 $D_s$ ,第一谐振电容 $C_s$ ,第二谐振电容 $C_r$ ,第二谐振电感 $L_r$ ,隔离变压器 $T_r$ ,二极管D,第三谐振电容 $C_d$ ,输出滤波电容 $C_o$ ,输出电流 $I_o$ ,输出电压 $V_o$ ,开关管栅源极驱动电压 $v_{gs}$ ,开关管漏源极电压 $v_s$ ,二极管两端电压 $v_d$ ,第一谐振电感电流 $i_L$ ,第二谐振电感电流 $i_r$ ,第二谐振电容两端电压 $v_r$ 。

### 具体实施方式

[0024] 结合图1,一种低开关管电压应力隔离型电压型输出谐振变换器,直流电源 $V_{in}$ 、第一谐振电感 $L_s$ 、励磁电感 $L_m$ 、开关管S、第一谐振电容 $C_s$ 、第二谐振电容 $C_r$ 、第二谐振电感 $L_r$ 、隔离变压器 $T_r$ 、二极管D、第三谐振电容 $C_d$ 、输出滤波电容 $C_o$ 。

[0025] 第一谐振电感 $L_s$ 的一端与直流电源 $V_{in}$ 正端相连接,第一谐振电感 $L_s$ 的另一端与励磁电感 $L_m$ 的一端、变压器 $T_r$ 原边的同名端相连接,励磁电感 $L_m$ 的另一端与变压器 $T_r$ 原边异名端、开关管S漏极、第一谐振电容 $C_s$ 的一端、第二谐振电感 $L_r$ 的一端相连接,第二谐振电感 $L_r$ 的另一端与第二谐振电容 $C_r$ 的一端相连接,开关管S的源极、第一谐振电容 $C_s$ 的另一端、第二谐振电容 $C_r$ 的另一端与直流电源 $V_{in}$ 的负端相连接,变压器 $T_r$ 副边的同名端与第三谐振电容 $C_d$ 的一端、二极管D的阳极相连接,第三谐振电容 $C_d$ 的另一端、二极管D的阴极与输出电容 $C_o$ 的正端相连接,变压器 $T_r$ 副边异名端与输出滤波电容 $C_o$ 的负端相连接。其中,开关管S包括并联在其漏极、源极之间的开关管寄生体二极管 $D_s$ ,第一谐振电容 $C_s$ 包括开关管S本身的结电容以及外加并联在开关管S两端的电容,第三谐振电容 $C_d$ 包括二极管D本身的结电容以及外加并联在二极管D两端的电容。

[0026] 结合图2,低开关管电压应力非隔离型电压型输出谐振变换器,直流电源 $V_{in}$ 、第一谐振电感 $L_s$ 、储能电感 $L_m$ 、开关管S、第一谐振电容 $C_s$ 、第二谐振电容 $C_r$ 、第二谐振电感 $L_r$ 、二极管D、第三谐振电容 $C_d$ 、输出滤波电容 $C_o$ 。

[0027] 第一谐振电感 $L_s$ 的一端与直流电源 $V_{in}$ 的正端相连接,第一谐振电感 $L_s$ 另一端与储能电感 $L_m$ 的一端、二极管D的阳极、第三谐振电容 $C_d$ 的一端相连接,第三谐振电容 $C_d$ 的另一端、二极管D的阴极与输出滤波电容的 $C_o$ 的正端相连接,储能电感 $L_m$ 的另一端、开关管S的漏极、第一谐振电容 $C_s$ 的一端、第二谐振电感 $L_r$ 的一端与输出滤波电容 $C_o$ 的负端相连接,第二谐振电感 $L_r$ 的另一端与第二谐振电容 $C_r$ 的一端相连接,第二谐振电容 $C_r$ 的另一端、第一谐振电容 $C_s$ 的另一端、开关管S的源极与直流电源 $V_{in}$ 的负端相连接。

[0028] 图2中的低开关管电压应力非隔离型电压型输出谐振变换器与图1低开关管电压应力隔离型电压型输出谐振变换器工作原理类似,区别在于低开关管电压应力隔离型电压型输出谐振变换器可以吸收隔离变压器的漏感作为谐振电感的一部分;两者均可以吸收开关管的结电容以及二极管的结电容作为谐振电容的一部分,可解决高频工作下寄生参数影响明显的问题;在需要电气隔离的应用场合可以选用低开关管电压应力隔离型电压型输出谐振变换器,在不需要电气隔离的应用场合可以选用低开关管电压应力非隔离型电压型输出谐振变换器;另外与传统的多谐振变换器相比,低开关管电压应力电压型输出谐振变换器原边电路中谐振网络能够明显改善开关管电压应力高的问题。

[0029] 结合图4至图9描述低开关管电压应力电压型输出谐振变换器的具体工作原理,其中隔离型和非隔离型的工作原理相同。此种变换器有两种工作模式,对应的主要工作波形

分别如图4、图9所示。

[0030] 在进行分析之前,作如下假设:(1)所有电感、电容和变压器均为理想元件;(2)励磁电感足够大,可近似认为是一个电流源 $I_o-I_{in}$ , $I_o$ 为输出电流, $I_{in}$ 为输入电流;(3)输出滤波电容足够大,可近似认为是一个电压源 $V_o$ , $V_o$ 为输出电压;(4)假设变压器匝比为1:1。

[0031] 实施例一

[0032] 由图3可知变换器在工作模式1每个开关周期有4种开关模态,分别是 $[t_0, t_1]$ 、 $[t_1, t_2]$ 、 $[t_2, t_3]$ 、 $[t_3, t_4]$ ,对应的开关模态为图5~图8。下面对各开关模态的工作情况进行具体分析。

[0033] 1、开关模态1 $[t_0, t_1]$

[0034] 该开关模态等效电路如图5所示,开关管S处于关断状态, $t_0$ 时刻,第一谐振电感电流 $i_L$ 达到 $I_{in}-I_o$ ,此时第三谐振电容 $C_d$ 开始流过电流,二极管D零电流关断,第三谐振电容 $C_d$ 参与谐振,第三谐振电容 $C_d$ 两端电压(即为二极管两端电压 $v_d$ )谐振上升。此开关模态下第一谐振电感 $L_s$ 、第一谐振电容 $C_s$ 、第二谐振电感 $L_r$ 、第二谐振电容 $C_r$ 、第三谐振电容 $C_d$ 参与谐振。

[0035] 2、开关模态2 $[t_1, t_2]$

[0036] 该开关模态的等效电路如图6所示,二极管D处于关断状态, $t_1$ 时刻,第一谐振电容 $C_s$ 两端电压(即为开关管漏源极电压 $v_s$ )谐振到0,开关管S零电压开通,此时第一谐振电容 $C_s$ 退出谐振,第一谐振电感 $L_s$ 、第二谐振电感 $L_r$ 、第二谐振电容 $C_r$ 、第三谐振电容 $C_d$ 参与谐振,其中第二谐振电感 $L_r$ 、第二谐振电容 $C_r$ 内部发生串联谐振,对外电压为零。

[0037] 3、开关模态3 $[t_2, t_3]$

[0038] 该开关模态的等效电路如图7所示,开关管S处于开通状态, $t_3$ 时刻,谐振电容 $C_d$ 两端的电压 $v_d$ 谐振到0,二极管D导通。此阶段电感电流线性变化,其变化率为 $i_L = \frac{V_{in} - V_o}{L_s}$ ,该开关模态下第二谐振电感 $L_r$ 、第二谐振电容 $C_r$ 内部发生串联谐振,对外电压为零。

[0039] 4、开关模态4 $[t_3, t_4]$

[0040] 该开关模态的等效电路如图8所示,二极管D处于导通状态, $t_3$ 时刻,开关管S关断,谐振电容 $C_s$ 两端的电压 $v_s$ 谐振上升,该模态下第一谐振电感 $L_s$ 、第一谐振电容 $C_s$ 、第二谐振电感 $L_r$ 、第二谐振电容 $C_r$ 参与谐振。 $t_4$ 时刻,二极管D关断,回到开关模态1。

[0041] 实施例二

[0042] 与工作模式1不同的是工作模式2会出现第二二极管D还未导通开关管S便关断的状态,其主要波形示意图如图9所示。由图8可知变换器在工作模式2每个开关周期有4种开关模态,分别是 $[t_0, t_1]$ 、 $[t_1, t_2]$ 、 $[t_2, t_3]$ 、 $[t_3, t_4]$ 。下面对各开关模态的工作情况进行具体分析。

[0043] 1、开关模态1 $[t_0, t_1]$

[0044] 该开关模态等效电路如图5所示,开关管S处于关断状态, $t_0$ 时刻,电感电流 $i_L$ 达到 $I_{in}-I_o$ ,第三谐振电容 $C_d$ 开始流过电流,二极管D零电流关断,第三谐振电容 $C_d$ 两端电压 $v_d$ 谐振上升,第一谐振电感 $L_s$ 、第二谐振电感 $L_r$ 、第一谐振电容 $C_s$ 、第二谐振电容 $C_r$ 和第三谐振电容 $C_d$ 参与谐振。

[0045] 2、开关模态2 $[t_1, t_2]$

[0046] 该开关模态的等效电路如图6所示,二极管D处于关断状态, $t_1$ 时刻,第一谐振电容

$C_s$ 两端电压(即开关管S漏源极两端电压 $v_s$ )谐振到0,开关管S零电压开通,此时第二谐振电容 $C_s$ 退出谐振,第一谐振电感 $L_s$ 、第二谐振电感 $L_r$ 、第二谐振电容 $C_r$ 、第三谐振电容 $C_d$ 参与谐振,第二谐振电感 $L_r$ 、第二谐振电容 $C_r$ 内部发生串联谐振,对外表现电压为零。

[0047] 3、开关模态3 $[t_2, t_3]$

[0048] 该开关模态的等效电路如图5所示,二极管D处于关断状态, $t_2$ 时刻,开关管S关断,第一谐振电容 $C_s$ 两端电压 $v_s$ 谐振上升,此时第一谐振电容 $C_s$ 、第一谐振电感 $L_s$ 、第二谐振电感 $L_r$ 、第二谐振电容 $C_r$ 、第三谐振电容 $C_d$ 参与谐振,第三谐振电容 $C_d$ 两端的电压(即为二极管D两端的电压 $v_d$ )持续下降。

[0049] 4、开关模态4 $[t_3, t_4]$

[0050] 该开关模态的等效电路如图8所示,开关管S处于关断状态, $t_3$ 时刻, $C_d$ 两端的电压 $v_d$ 谐振到0,二极管D导通,第一谐振电感 $L_s$ 、第二谐振电感 $L_r$ 、第二谐振电容 $C_r$ 参与谐振; $t_4$ 时刻,二极管D关断,回到开关模态1。

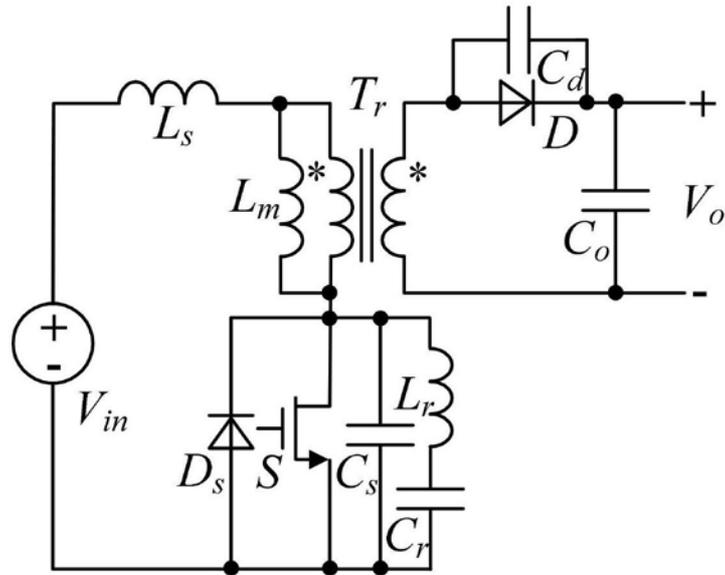


图1

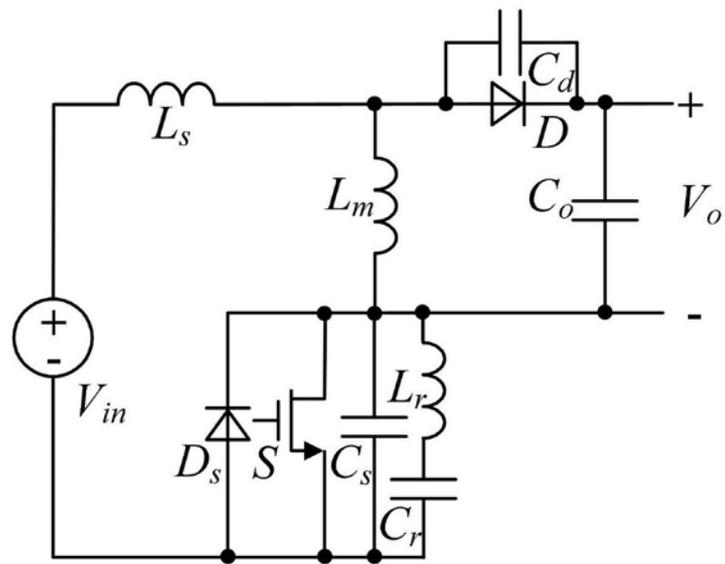


图2

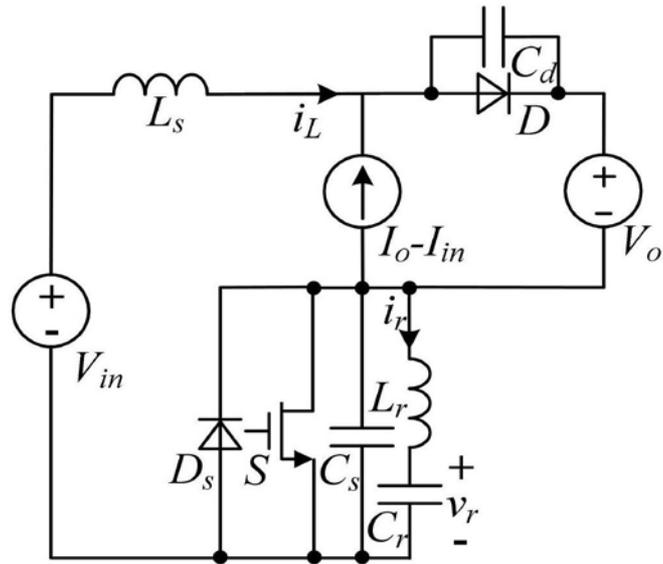


图3

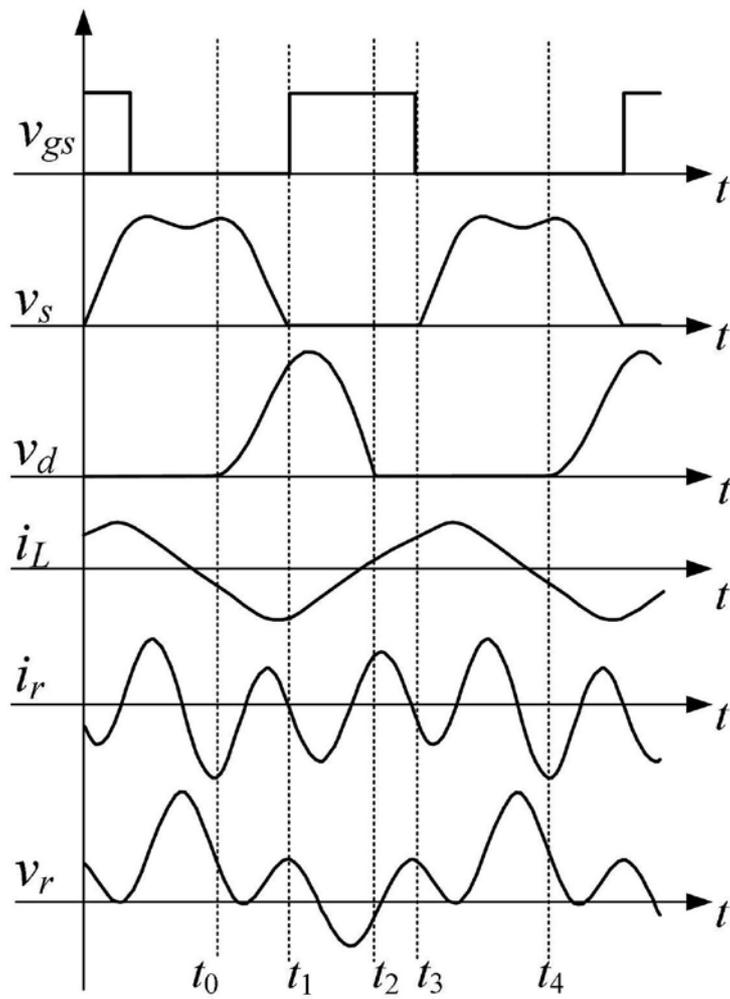


图4

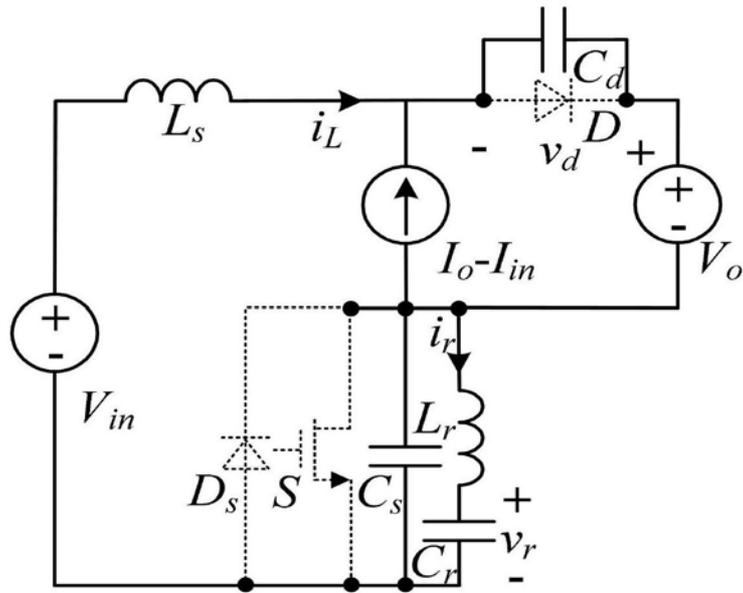


图5

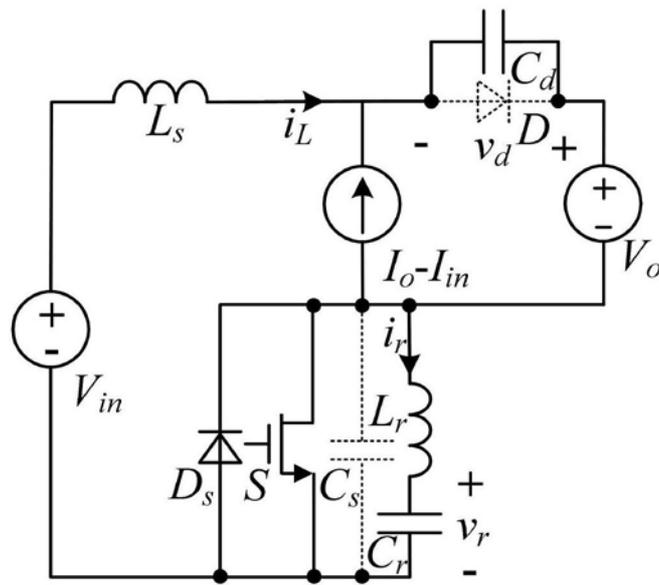


图6

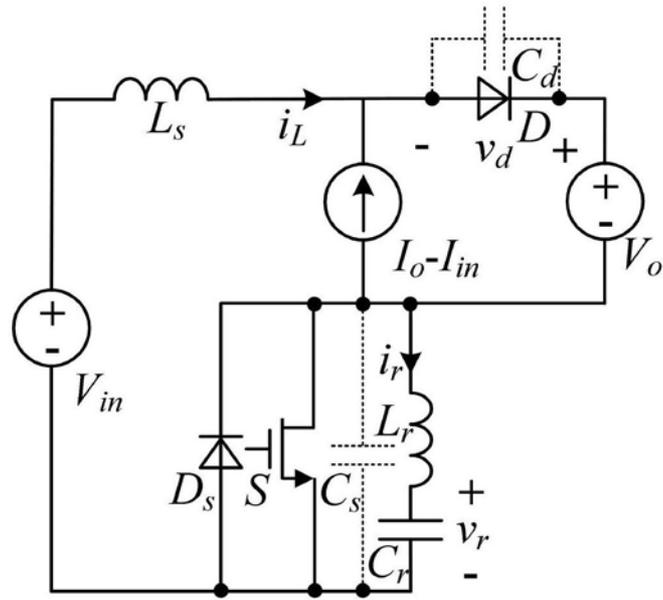


图7

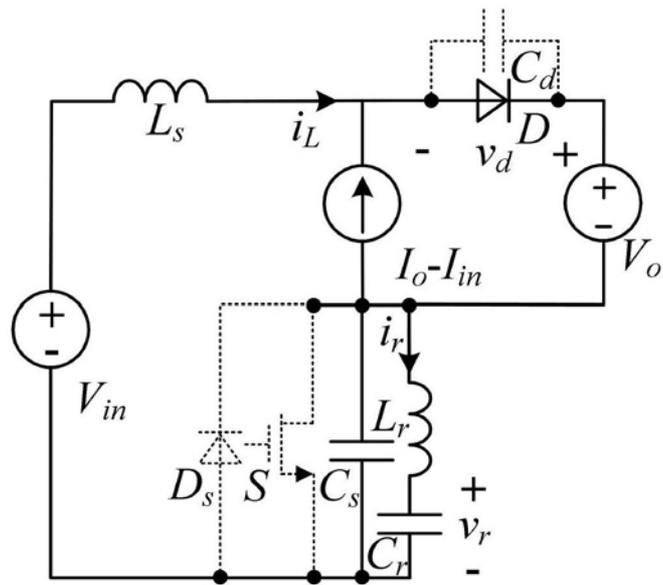


图8

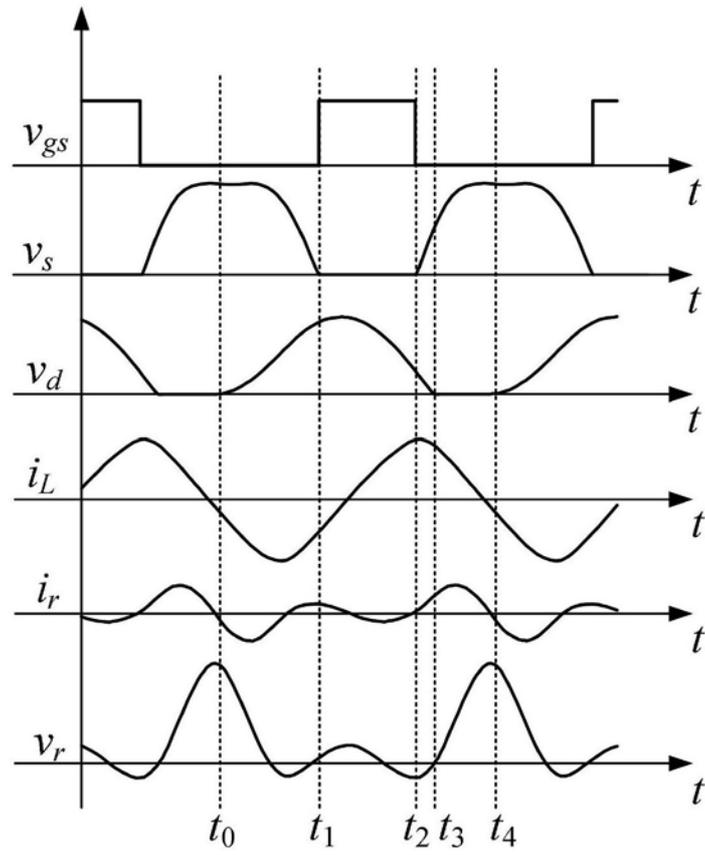


图9