

# 说明书摘要

---

## 【电路的总体结构及优点】

本发明涉及一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，包括输入电源、开关管电路、钳位电容  $C_1$  和  $C_2$ 、变压器  $T_1$  和  $T_2$ 、二极管电路以及输出电路，所述的输入电源和开关管电路输入端之间连接有输入电容  $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$ ， $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$  串联后连接在输入电源两端，所述的开关管电路包括依次串联的开关管  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  和  $S_4$ ， $S_1$  连接输入电源的正极， $S_4$  连接输入电源的负极，所述的  $S_2$  和  $S_3$  间的连接点分别连接  $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ ，所述的  $S_1$  和  $S_2$  间的连接点与  $T_1$  的一次侧连接， $S_3$  和  $S_4$  间的连接点与  $T_2$  的一次侧连接。与现有技术相比，本发明具有开关管承受最大电压较小、输出电流均流、高效等优点。

# 权 利 要 求 书

## 【电路总体结构描述】

1. 一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，包括输入电源、开关管电路、钳位电容  $C_1$  和  $C_2$ 、变压器  $T_1$  和  $T_2$ 、二极管电路以及输出电路，所述的开关管电路的输入端与输入电源连接，输出端分别连接钳位电容和变压器的一次侧，所述的变压器的二次侧依次连接二极管电路和输出电路，其特征在于，所述的输入电源和开关管电路输入端之间连接有输入电容  $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$ ，所述的  $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$  串联后连接在输入电源两端。

## 【对上述总体结构中的特点作进一步限定】

2. 根据权利要求 1 所述的一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，其特征在于，所述的开关管电路包括依次串联的开关管  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  和  $S_4$ ， $S_1$  连接输入电源的正极， $S_4$  连接输入电源的负极，所述的  $S_2$  和  $S_3$  间的连接点分别连接  $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ ，所述的  $S_1$  和  $S_2$  间的连接点与  $T_1$  的一次侧连接， $S_3$  和  $S_4$  间的连接点与  $T_2$  的一次侧连接。

3. 根据权利要求 1 所述的一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，其特征在于，各所述的开关管上并联有寄生电容。

4. 根据权利要求 1 所述的一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，其特征在于，所述的开关管为 MOSFET 或 IGBT。

5. 根据权利要求 1 所述的一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，其特征在于，所述的二极管电路包括续流二极管  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ ，所述的  $D_1$ 、 $D_2$  阳极对接串联后连接在  $T_1$  的二次侧， $D_3$ 、 $D_4$  阳极对接串联后连接在  $T_2$  的二次侧，

所述的输出电路包括输出电感  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$  和输出电容  $C_o$ ，所述的  $D_1$  的阴极依次连接  $L_1$ 、 $L_2$ ，所述的  $L_2$  与  $D_2$  的阴极连接，所述的  $D_3$  的阴极依次连接  $L_3$ 、 $L_4$ ，所述的  $L_4$  与  $D_4$  的阴极连接，所述的  $C_o$  一端分别连接  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  和  $D_4$ ，另一端分别连接  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  和  $L_4$ 。

6. 根据权利要求 1 所述的一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，其特征在于，所述的二极管电路包括续流二极管  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ ，所述的  $D_1$ 、 $D_2$  阴极对接串联后连接在  $T_1$  的二次侧， $D_3$ 、 $D_4$  阴极对接串联后连接在  $T_2$  的二次侧，

所述的输出电路包括输出电感  $L_1$ 、 $L_2$  和输出电容  $C_o$ ，所述的  $L_1$ 、 $C_o$  串联在

$D_2$  两端，所述的  $L_2$  一端连接于  $D_3$ 、 $D_4$  阴极对接点，另一端连接于  $L_1$ 、 $C_o$  之间。

7. 根据权利要求 1 所述的一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，其特征在于，所述的二极管电路包括续流二极管  $D_1$ 、 $D_2$ ，所述的  $D_1$ 、 $D_2$  阳极对接串联后分别连接于  $T_1$  的二次侧和  $T_2$  的二次侧，

所述的输出电路包括输出电感  $L_1$ 、 $L_2$  和输出电容  $C_o$ ，所述的  $D_1$ 、 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $D_2$  依次连接，所述的  $C_o$  一端连接于  $D_1$ 、 $D_2$  之间，另一端连接于  $L_1$ 、 $L_2$  之间。

8. 根据权利要求 1 所述的一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，其特征在于，所述的二极管电路包括续流二极管  $D_1$ 、 $D_2$ ，所述的  $D_1$  连接在  $T_1$  的二次侧， $D_2$  连接在  $T_2$  的二次侧，

所述的输出电路包括输出电容  $C_o$ ，分别连接于  $T_1$  的二次侧和  $T_2$  的二次侧。

9. 根据权利要求 5-8 任一所述的一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，其特征在于，所述的输出电容  $C_o$  两端连接有负载。

10. 根据权利要求 5 所述的一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，其特征在于，所述的输出电路的输出电压  $v_o$  与输入电源的电压  $v_i$  的关系为  $V_o = V_i \times \frac{d(1-d)}{2N}$ ，其中， $d$  为开关管的占空比， $N$  为变压器变比。

# 说明书

---

## 一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器

### 技术领域

本发明涉及一种直流变换电路，尤其是涉及一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器。

### 背景技术

**【要求介绍与本题目相关现有技术的发展情况，客观地指出其存在的缺点。】**

现在，开关电源都朝着高转换效率、高输入电压、低输出电压、大输出电流和低输出电流纹波的方向在发展。为了满足以上目标，通常采用的方法是在传统型直流-直流降压转换器中使用较小的占空比，但是由于驱动电路的限制，在高开关频率条件下难以实现这一目标。为了解决这个矛盾，通常用到带有变压器的正激或反激拓扑结构。这种拓扑既可以实现输入端与输出端的隔离，还可以通过调节变压器初级和次级的匝数比获得高转换比，可是变压器的漏电感极易引起开关电压尖峰和 EMI 等，这些问题对电源本身及周围设备都带来许多隐患。另外，在较大输出电流场合时，为了得到较小的纹波，通常采用交错并联输出来实现。许多学者也多上述问题进行了研究，如文献“An improved interleaved forward converter” (Power Electronics Specialists Conference, 2006. PESC '06. 37th IEEE Page(s): 1 - 5)，该文献提出的并联交错变换器如图 1 所示，虽然达成了以上目标，但是开关两端所承受的反向电压还是等于输入电压且输出电流仅实现了 1/2 均流。综上所述，现有技术主要存在以下缺点：

1. 传统型降压直流转换器为了实现高转换比、主开关通常采用较小的占空比。这样由于硬件的原因限制了开关频率的提高，阻碍了小型化；
2. 文献中的并联交错式开关电源为了实现较低的输出电压，必须增加变压器匝数比，易造成变压器体积增大和铁芯设计难度增加；
3. 高匝数比变压器的漏电感和寄生电容极易导致高频振荡发生，产生开关电压尖峰和 EMI；

4. 为了抑制各种寄生参数产生的尖峰信号和 EMI、必须额外设计缓冲电路，造成器件数量增加和转换效率降低，并使设计流程复杂化；

5. 文献中的并联交错式开关电源开关管两端电压等于输入电压，需要选择耐压值较高的器件增加了成本；

6. 文献中的并联交错式开关电源输出侧仅实现了 1/2 均流，难以满足更大的输出电流。

## 发明内容

### 【详细说明本发明技术方案：

1、涉及电路结构改进，应对电路的总体结构进行描述，包括由几个部分组成，各组成部分的连接关系；

2、对上述总体结构中的特点作进一步限定；

3、介绍工作原理；

4、改进之处及其相应带来的有益效果】

本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种电路简单、开关管承受最大电压较小、输出电流纹波小、高效的串联输入并联输出的软开关交错直流变换器。

本发明的目的可以通过以下技术方案来实现：

### 1、总体结构描述

一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，包括输入电源、开关管电路、钳位电容  $C_1$  和  $C_2$ 、变压器  $T_1$  和  $T_2$ 、二极管电路以及输出电路，所述的开关管电路的输入端与输入电源连接，输出端分别连接钳位电容和变压器的一次侧，所述的变压器的二次侧依次连接二极管电路和输出电路，所述的输入电源和开关管电路输入端之间连接有输入电容  $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$ ，所述的  $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$  串联后连接在输入电源两端。

### 2、对上述总体结构中的特点作进一步限定

所述的开关管电路包括依次串联的开关管  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  和  $S_4$ ， $S_1$  连接输入电源的正极， $S_4$  连接输入电源的负极，所述的  $S_2$  和  $S_3$  间的连接点分别连接  $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ ，所述的  $S_1$  和  $S_2$  间的连接点与  $T_1$  的一次侧连接， $S_3$  和  $S_4$  间的连接点与  $T_2$  的一次侧连接。

各所述的开关管上并联有寄生电容。

所述的开关管为 MOSFET 或 IGBT。

所述的二极管电路包括续流二极管  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ ，所述的  $D_1$ 、 $D_2$  阳极对接串联后连接在  $T_1$  的二次侧， $D_3$ 、 $D_4$  阳极对接串联后连接在  $T_2$  的二次侧，

所述的输出电路包括输出电感  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$  和输出电容  $C_o$ ，所述的  $D_1$  的阴极依次连接  $L_1$ 、 $L_2$ ，所述的  $L_2$  与  $D_2$  的阴极连接，所述的  $D_3$  的阴极依次连接  $L_3$ 、 $L_4$ ，所述的  $L_4$  与  $D_4$  的阴极连接，所述的  $C_o$  一端分别连接  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  和  $D_4$ ，另一端分别连接  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  和  $L_4$ 。

所述的二极管电路包括续流二极管  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ ，所述的  $D_1$ 、 $D_2$  阴极对接串联后连接在  $T_1$  的二次侧， $D_3$ 、 $D_4$  阴极对接串联后连接在  $T_2$  的二次侧，

所述的输出电路包括输出电感  $L_1$ 、 $L_2$  和输出电容  $C_o$ ，所述的  $L_1$ 、 $C_o$  串联在  $D_2$  两端，所述的  $L_2$  一端连接于  $D_3$ 、 $D_4$  阴极对接点，另一端连接于  $L_1$ 、 $C_o$  之间。

所述的二极管电路包括续流二极管  $D_1$ 、 $D_2$ ，所述的  $D_1$ 、 $D_2$  阳极对接串联后分别连接于  $T_1$  的二次侧和  $T_2$  的二次侧，

所述的输出电路包括输出电感  $L_1$ 、 $L_2$  和输出电容  $C_o$ ，所述的  $D_1$ 、 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $D_2$  依次连接，所述的  $C_o$  一端连接于  $D_1$ 、 $D_2$  之间，另一端连接于  $L_1$ 、 $L_2$  之间。

所述的二极管电路包括续流二极管  $D_1$ 、 $D_2$ ，所述的  $D_1$  连接在  $T_1$  的二次侧， $D_2$  连接在  $T_2$  的二次侧，

所述的输出电路包括输出电容  $C_o$ ，分别连接于  $T_1$  的二次侧和  $T_2$  的二次侧。

所述的输出电容  $C_o$  两端连接有负载。

所述的输出电路的输出电压  $V_o$  与输入电源的电压  $V_i$  的关系为  $V_o = V_i \times \frac{d(1-d)}{2N}$ ，其中， $d$  为开关管的占空比， $N$  为变压器变比。

### 3、工作原理

上述软开关交错直流变换器在一个开关周期内的工作阶段如下：

#### (1) 工作阶段 1 ( $t_0 \sim t_1$ )

电路状态： $S_1$ : OFF,  $S_2$ : OFF,  $S_3$ : OFF,  $S_4$ : OFF,  $D_1$ : OFF,  $D_2$ : ON,  $D_3$ : ON,  $D_4$ : OFF。  $t=t_0$  时刻，开关管  $S_1$ 、 $S_3$  断开，开关管  $S_2$  寄生电容与变压器  $T_1$  的漏感发生谐振，由于输入电容  $C_{i2}$  的钳位作用，随着开关管  $S_3$  两端电压的增加，开关管  $S_4$  两端电压逐渐降低，在  $t=t_1$  时刻，寄生电容  $C_{S2}$  和  $C_{S4}$  的电压降为 0，此时，变压器  $T_1$ 、 $T_2$  一次侧电压  $V_{ab}=-V_1$ ， $V_{cd}=V_i/2-V_2$ 。

#### (2) 工作阶段 2 ( $t_1 \sim t_2$ )

电路状态:  $S_1$ : OFF,  $S_2$ : OFF,  $S_3$ : OFF,  $S_4$ : OFF,  $D_1$ : OFF,  $D_2$ : ON,  $D_3$ : ON,  $D_4$ : OFF。  $t=t_2$  时, 开关管  $S_2$  和  $S_4$  寄生二极管导通, 开关管两端电压保持为 0。

(3) 工作阶段 3 ( $t_2 \sim t_3$ )

电路状态:  $S_1$ : OFF,  $S_2$ : ON,  $S_3$ : OFF,  $S_4$ : ON,  $D_1$ : OFF,  $D_2$ : ON,  $D_3$ : ON,  $D_4$ : OFF。 开关管  $S_2$  和  $S_4$  零电压导通, 变压器  $T_1$  一次侧电流减小而变压器  $T_2$  一次侧电流增大。

(4) 工作阶段 4 ( $t_3 \sim t_4$ )

电路状态:  $S_1$ : OFF,  $S_2$ : ON,  $S_3$ : OFF,  $S_4$ : ON,  $D_1$ : ON,  $D_2$ : OFF,  $D_3$ : OFF,  $D_4$ : ON。  $t=t_3$  时刻, 二极管  $D_1$ 、 $D_4$  正偏导通而二极管  $D_2$ 、 $D_3$  反偏关断, 此时完成由  $S_1$ 、 $S_3$  导通向  $S_2$ 、 $S_4$  导通的阶段转换。

(5) 工作阶段 5 ( $t_4 \sim t_5$ )

电路状态:  $S_1$ : OFF,  $S_2$ : OFF,  $S_3$ : OFF,  $S_4$ : OFF,  $D_1$ : ON,  $D_2$ : OFF,  $D_3$ : OFF,  $D_4$ : ON。  $t=t_4$  时刻, 开关管  $S_2$ 、 $S_4$  断开, 开关管  $S_3$  寄生电容与变压器  $T_1$  的漏感发生谐振, 由于输入电容  $C_{i1}$  的钳位作用, 随着开关管  $S_2$  两端电压的增加, 开关管  $S_1$  两端电压逐渐降低, 在  $t=t_5$  时刻, 寄生电容  $C_{S1}$  和  $C_{S3}$  的电压降为 0, 此时,  $V_{ab}=V_i/2-V_2$ ,  $V_{cd}=-V_1$ 。

(6) 工作阶段 6 ( $t_5 \sim t_6$ )

电路状态:  $S_1$ : OFF,  $S_2$ : OFF,  $S_3$ : OFF,  $S_4$ : OFF,  $D_1$ : ON,  $D_2$ : OFF,  $D_3$ : OFF,  $D_4$ : ON。  $t=t_5$  时, 开关管  $S_1$  和  $S_3$  寄生二极管导通, 开关管两端电压保持为 0。

(7) 工作阶段 7 ( $t_6 \sim t_7$ )

电路状态:  $S_1$ : ON,  $S_2$ : OFF,  $S_3$ : ON,  $S_4$ : OFF,  $D_1$ : ON,  $D_2$ : OFF,  $D_3$ : OFF,  $D_4$ : ON。 开关管  $S_1$  和  $S_3$  零电压导通, 变压器  $T_1$  一次侧电流增大而变压器  $T_2$  一次侧电流减小。

(8) 工作阶段 8 ( $t_7 \sim t_0$ )

电路状态:  $S_1$ : ON,  $S_2$ : OFF,  $S_3$ : ON,  $S_4$ : OFF,  $D_1$ : OFF,  $D_2$ : ON,  $D_3$ : ON,  $D_4$ : OFF。  $t=t_7$  时刻, 二极管  $D_2$ 、 $D_3$  正偏导通而续流二极管  $D_1$ 、 $D_4$  反偏关断, 此时完成由  $S_2$ 、 $S_4$  导通向  $S_2$ 、 $S_3$  导通的阶段转换。

#### 4、改进之处及其相应带来的有益效果

与现有技术相比，本发明具有以下有益效果：

- 1) 通过两个输入电容的分压，开关管所承受的最大电压仅为输入电压的一半，主开关占空比适中，简化硬件电路的设计；
- 2) 由于输出电压减小；相同输出电压下变压器变比较低，减小了变压器的体积，简化了变压器铁芯的设计难度；
- 3) 所有开关管实现软开关，大大降低了开关损耗，可以使电路工作在较大的频率下，减小了变压器的体积，进而减小了直流变换器整体的体积；
- 4) 实现了输出电流 1/4 均流，减小了输出电流纹波；
- 5) 钳位电容  $C_1$  和  $C_2$  可以吸收变压器漏感中残存的能量，有效防止变压器磁饱和，抑制了各种寄生参数产生的尖峰信号和 EMI（电磁干扰）；
- 6) 本发明提出的串联输入并联输出的软开关直流变换器可实现高效、小型、低噪音、低成本的目标。

#### 附图说明

**【请提供电路结构示意图并进行标号，说明各标号的中文名称，要求是黑白线条图，不能使用照片。】**

图 1 为现有技术中的一种直流变换器的结构示意图；

图 2 为本发明的结构示意图；

图 3 为本发明开关管的软开关仿真示意图；

图 4 为本发明与现有技术开关管耐压关系对比示意图；

图 5 为本发明输入电压 400V 时输出电压与占空比的关系示意图；

图 6 为本发明输出电压 5V 时占空比与输入电压的关系示意图；

图 7 为本发明输出电流均流关系示意图；

图 8 为本发明工作时的示意图；

图 9 为本发明八个工作阶段内关键参数的波形示意图；

图 10 为本发明的第一种变形结构示意图；

图 11 为本发明的第二种变形结构示意图；

图 12 为本发明的第三种变形结构示意图；

图 13 为第一种变形结构与现有技术开关管耐压关系对比示意图；

图 14 为第一种变形结构的输出电流均流关系示意图。



## 具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本实施例以本发明技术方案为前提进行实施，给出了详细的实施方式和具体的操作过程，但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

### 实施例【对照附图标号详细说明】

如图 2 所示，一种串联输入并联输出的软开关交错直流变换器，包括输入电源、开关管电路、钳位电容  $C_1$  和  $C_2$ 、变压器  $T_1$  和  $T_2$ 、二极管电路以及输出电路，所述的开关管电路的输入端与输入电源连接，输出端分别连接钳位电容和变压器的一次侧，所述的变压器的二次侧依次连接二极管电路和输出电路，所述的输入电源和开关管电路输入端之间连接有输入电容  $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$ ，所述的  $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$  串联后连接在输入电源两端，所述的开关管电路包括依次串联的开关管  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  和  $S_4$ ， $S_1$  连接输入电源的正极， $S_4$  连接输入电源的负极，所述的  $S_2$  和  $S_3$  间的连接点分别连接  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$ ，所述的  $S_1$  和  $S_2$  间的连接点与  $T_1$  的一次侧连接， $S_3$ 、 $S_4$  间的连接点与  $T_2$  的一次侧连接。输入电源的输入电压为  $V_i$ 。

所述的开关管上并联有寄生电容  $C_{i1}$ 、 $C_{i2}$ 、 $C_{i3}$ 、 $C_{i4}$ ，开关管为 MOSFET 或 IGBT。

所述的二极管电路包括续流二极管  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ ，所述的  $D_1$ 、 $D_2$  反向串联后连接在  $T_1$  的二次侧， $D_3$ 、 $D_4$  反向串联后连接在  $T_2$  的二次侧。所述的输出电路包括输出电感  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$  和输出电容  $C_o$ ，所述的  $D_1$  的阴极依次连接  $L_1$ 、 $L_2$ ，所述的  $L_2$  与  $D_2$  的阴极连接，所述的  $D_3$  的阴极依次连接  $L_3$ 、 $L_4$ ，所述的  $L_4$  与  $D_4$  的阴极连接，所述的  $C_o$  一端分别连接  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  和  $D_4$ ，另一端分别连接  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  和  $L_4$ 。所述的输出电容  $C_o$  两端连接有负载，负载两端电压为输出电压  $V_o$ 。

上述串联输入并联输出的软开关交错直流变换器各开关管的最大承受电压： $V_{ds}=V_i/2$ ， $V_{ds}$  为各开关管的漏级-源级电压；输出电压  $V_o = V_i \times \frac{d(1-d)}{2N}$ ，其中， $d$  为开关管的占空比， $N$  为变压器变比。

图 3 为开关管两端电压和触发信号之间的关系，从仿真中可以看到，开关管  $S_1$  和  $S_2$  都实现了软开关，由于电路拓扑的对称性， $S_3$  和  $S_4$  也可以实现软开关。图 3 中，(3a) 为开关管  $S_1$  的软开关仿真示意图，(3b) 为开关管  $S_2$  的软开关仿真示意图。由于两个输入电容的存在，无论是输出电压还是开关管两端的最大电压都变

低了。由于输出的 4 个输出电感的存在，电路输出侧实现 1/4 均流。图 4 为电路运行时对于现有技术直流变换器和串联输入并联输出软开关直流变换器两个电路开关管所承受最大电压的对比图，明显本实施例的管承压水平要小现有技术的一倍。图 3、图 4 中  $V_{ds1}$ 、 $V_{ds2}$ 、 $V_{ds3}$ 、 $V_{ds4}$  为开关管  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$  的漏级-源级电压， $V_{gs1}$  为开关管  $S_1$  和  $S_3$  的栅级-源级电压， $V_{gs2}$  为开关管  $S_2$  和  $S_4$  的栅级-源级电压， $V_{ds1\_con}$  为现有技术直流变换器中开关管的漏级-源级电压。

图 5 为输入电压 400V 时占空比与输出电压的关系。图 6 为输出电压为 5V 时输入电压与占空比之间的关系，可以看出，在输入电压为 100V 到 500V 时开关管的占空比在 0.3 左右变化，控制电路易于实现。图 7 为串联输入并联输出的均流特性，可以看出由于四个输出电感的存在，电路输出侧实现了 1/4 均流。图 7 中  $I_o$  为输出电流， $I_{L1}$ 、 $I_{L2}$ 、 $I_{L3}$ 、 $I_{L4}$  流过输出电感  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$  的电流。

如图 8 所示，上述软开关交错直流变换器在一个开关周期内的工作阶段如下：

(1) 工作阶段 1 ( $t_0 \sim t_1$ )

电路状态： $S_1$ : OFF,  $S_2$ : OFF,  $S_3$ : OFF,  $S_4$ : OFF,  $D_1$ : OFF,  $D_2$ : ON,  $D_3$ : ON,  $D_4$ : OFF。  $t=t_0$  时刻，开关管  $S_1$ 、 $S_3$  断开，开关管  $S_2$  寄生电容与变压器  $T_1$  的漏感发生谐振，由于输入电容  $C_{i2}$  的钳位作用，随着开关管  $S_3$  两端电压的增加，开关管  $S_4$  两端电压逐渐降低，在  $t=t_1$  时刻，寄生电容  $C_{S2}$  和  $C_{S4}$  的电压降为 0，此时，变压器  $T_1$ 、 $T_2$  一次侧电压  $V_{ab}=-V_1$ ， $V_{cd}=V_i/2-V_2$ 。

(2) 工作阶段 2 ( $t_1 \sim t_2$ )

电路状态： $S_1$ : OFF,  $S_2$ : OFF,  $S_3$ : OFF,  $S_4$ : OFF,  $D_1$ : OFF,  $D_2$ : ON,  $D_3$ : ON,  $D_4$ : OFF。  $t=t_2$  时，开关管  $S_2$  和  $S_4$  寄生二极管导通，开关管两端电压保持为 0。

(3) 工作阶段 3 ( $t_2 \sim t_3$ )

电路状态： $S_1$ : OFF,  $S_2$ : ON,  $S_3$ : OFF,  $S_4$ : ON,  $D_1$ : OFF,  $D_2$ : ON,  $D_3$ : ON,  $D_4$ : OFF。开关管  $S_2$  和  $S_4$  零电压导通，变压器  $T_1$  一次侧电流减小而变压器  $T_2$  一次侧电流增大。

(4) 工作阶段 4 ( $t_3 \sim t_4$ )

电路状态： $S_1$ : OFF,  $S_2$ : ON,  $S_3$ : OFF,  $S_4$ : ON,  $D_1$ : ON,  $D_2$ : OFF,  $D_3$ : OFF,  $D_4$ : ON。  $t=t_3$  时刻，二极管  $D_1$ 、 $D_4$  正偏导通而二极管  $D_2$ 、 $D_3$  反偏关断，此时完成由  $S_1$ 、 $S_3$  导通向  $S_2$ 、 $S_4$  导通的阶段转换。

(5) 工作阶段 5 ( $t_4 \sim t_5$ )

电路状态:  $S_1$ : OFF,  $S_2$ : OFF,  $S_3$ : OFF,  $S_4$ : OFF,  $D_1$ : ON,  $D_2$ : OFF,  $D_3$ : OFF,  $D_4$ : ON。  $t=t_4$ 时刻, 开关管  $S_2$ 、 $S_4$  断开, 开关管  $S_3$  寄生电容与变压器  $T_1$  的漏感发生谐振, 由于输入电容  $C_{i1}$  的钳位作用, 随着开关管  $S_2$  两端电压的增加, 开关管  $S_1$  两端电压逐渐降低, 在  $t=t_5$  时刻, 寄生电容  $C_{S1}$  和  $C_{S3}$  的电压降为 0, 此时,  $V_{ab}=V_i/2-V_2$ ,  $V_{cd}=-V_1$ 。

(6) 工作阶段 6 ( $t_5 \sim t_6$ )

电路状态:  $S_1$ : OFF,  $S_2$ : OFF,  $S_3$ : OFF,  $S_4$ : OFF,  $D_1$ : ON,  $D_2$ : OFF,  $D_3$ : OFF,  $D_4$ : ON。  $t=t_5$  时, 开关管  $S_1$  和  $S_3$  寄生二极管导通, 开关管两端电压保持为 0。

(7) 工作阶段 7 ( $t_6 \sim t_7$ )

电路状态:  $S_1$ : ON,  $S_2$ : OFF,  $S_3$ : ON,  $S_4$ : OFF,  $D_1$ : ON,  $D_2$ : OFF,  $D_3$ : OFF,  $D_4$ : ON。 开关管  $S_1$  和  $S_3$  零电压导通, 变压器  $T_1$  一次侧电流增大而变压器  $T_2$  一次侧电流减小。

(8) 工作阶段 8 ( $t_7 \sim t_0$ )

电路状态:  $S_1$ : ON,  $S_2$ : OFF,  $S_3$ : ON,  $S_4$ : OFF,  $D_1$ : OFF,  $D_2$ : ON,  $D_3$ : ON,  $D_4$ : OFF。  $t=t_7$  时刻, 二极管  $D_2$ 、 $D_3$  正偏导通而续流二极管  $D_1$ 、 $D_4$  反偏关断, 此时完成由  $S_2$ 、 $S_4$  导通向  $S_2$ 、 $S_3$  导通的阶段转换。

图 9 展示了本实施例工作在不同阶段下关键参数的波形, 关键参数包括开关管栅级-源级电压  $V_{gs1}$ 、 $V_{gs2}$ , 开关管漏级-源级电压  $V_{ds1}$ 、 $V_{ds2}$ , 变压器漏感电流  $I_{Lm1}$ 、 $I_{Lm2}$ , 续流二极管电压  $V_{D1,4}$ 、 $V_{D2,3}$ , 流过输出电感的电流  $I_{L1}$ 、 $I_{L2}$ 、 $I_{L3}$ 、 $I_{L4}$ , 输出电流  $I_o$ 。

本发明串联输入并联输出的结构可以和很多原有的电路组合成为性能更为优越的新型的电路, 图 10-图 12 给出了三个比较典型的组合方法。图 13 为第一种变形结构与现有技术开关管耐压关系对比示意图, 图 14 为该变形结构的输出电流示意图, 从图中可知变形结构也能够使输出电流均流, 且开关管所承受最大电压为现有技术的一半。图中  $V_{ds}$  为第一种变形结构中开关管  $S_1$  的漏级-源级电压,  $I_o$  为总输出电流,  $I_{L1}$ 、 $I_{L2}$  流过输出电感  $L_1$ 、 $L_2$  的电流。

本发明综合应用软开关技术、均流技术以及串联输入并联输出 (SIPO) 技术, 在不改变控制模式的情况下提出了一种新型的拓扑。它不仅能够使所有开关管都工

作在软开关条件下，还能实现输出电流的 1/4 均流、开关元件所承受的耐压值降低到输入电压的一半，满足了开关电源高效率、小型化、低成本的要求。

# 说 明 书 附 图

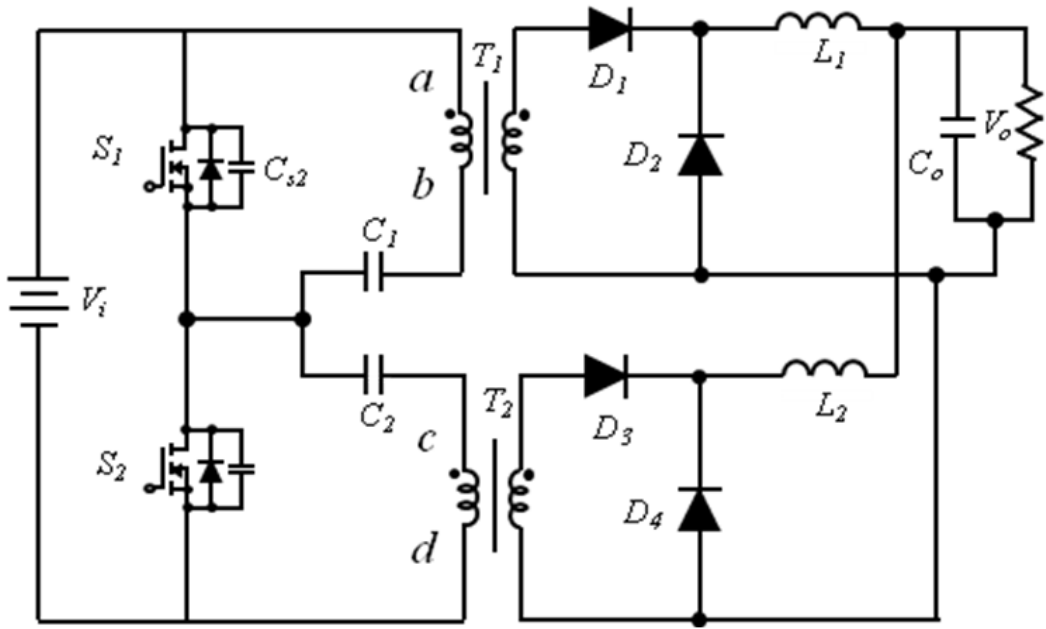


图 1

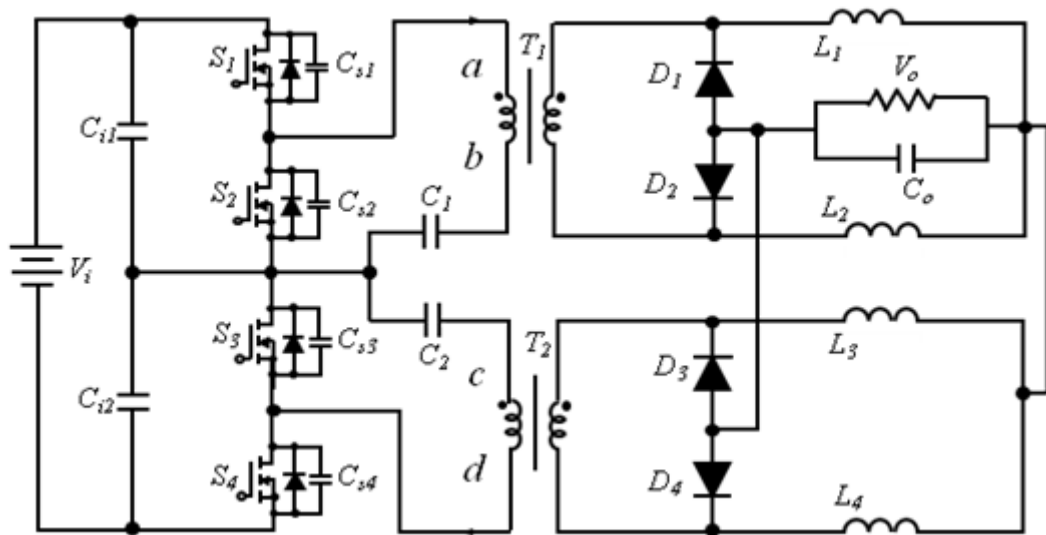
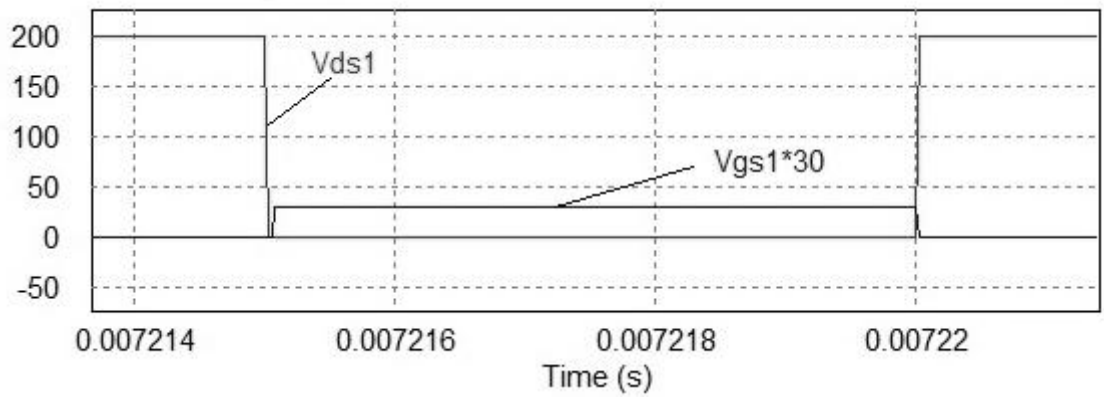
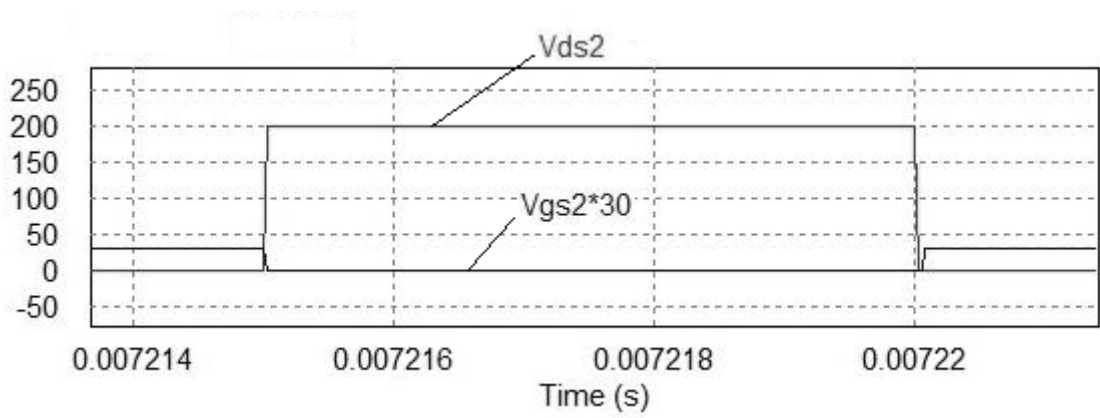


图 2



(3a)



(3b)

图 3

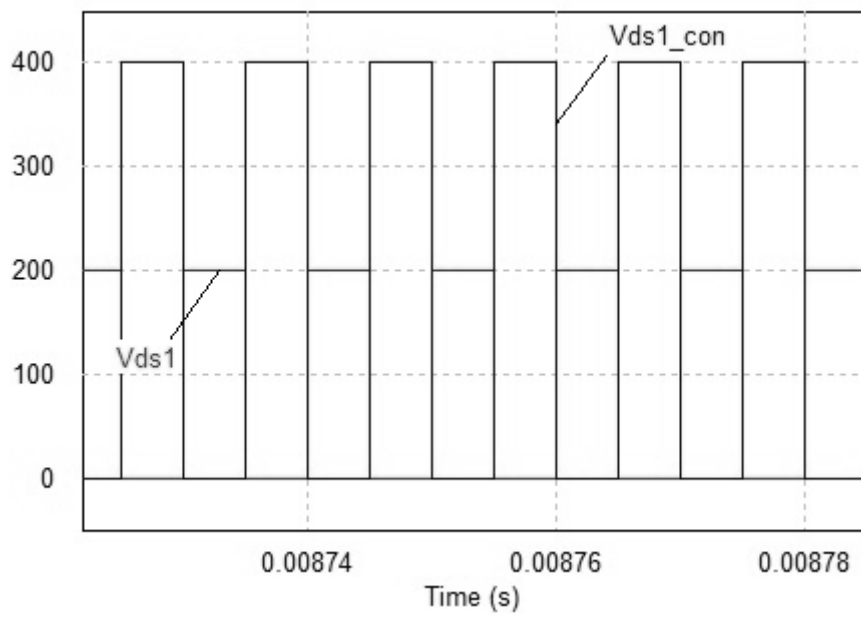


图 4

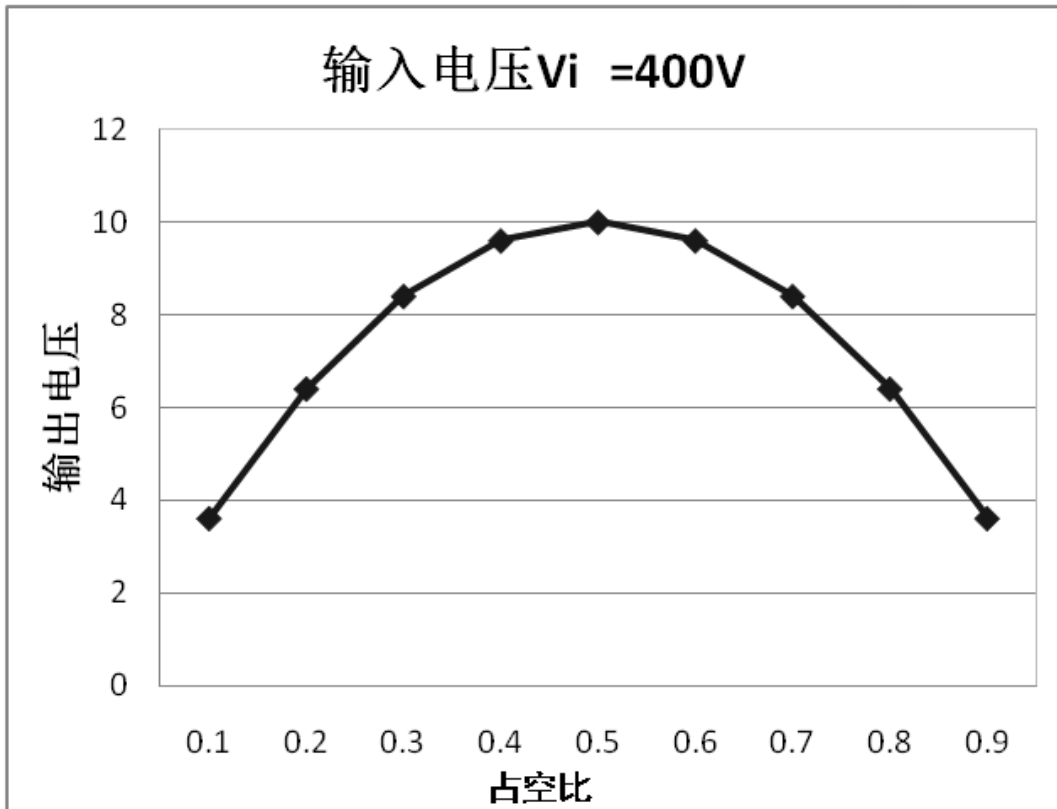


图 5

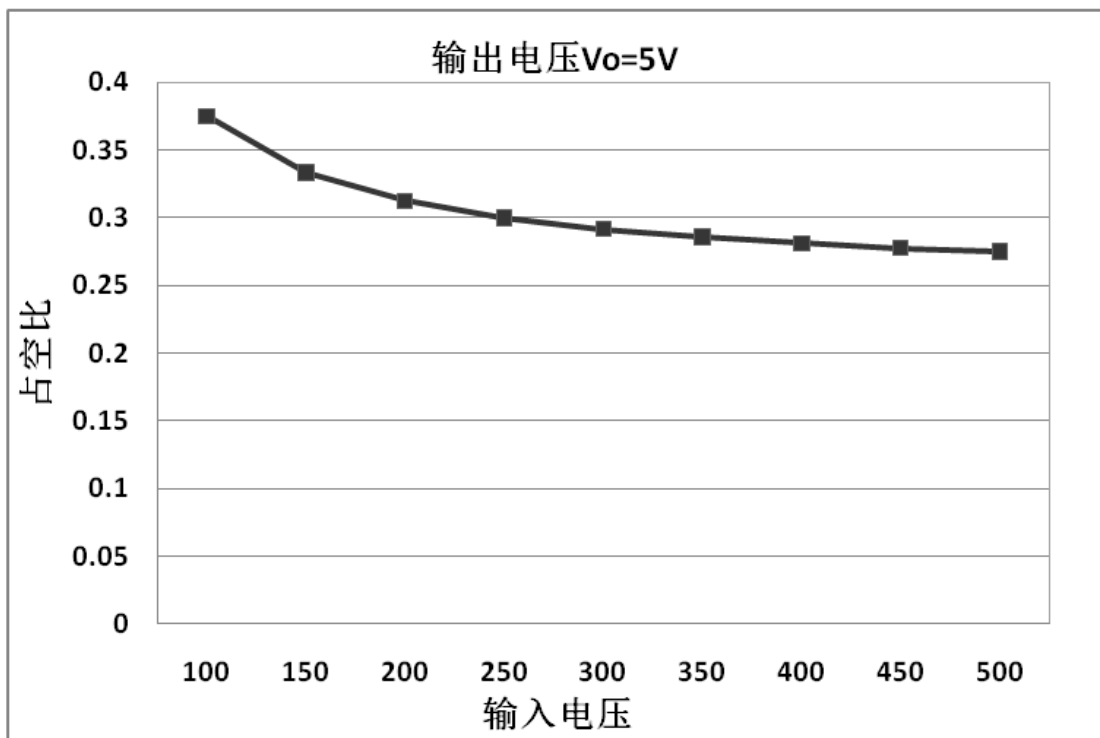


图 6

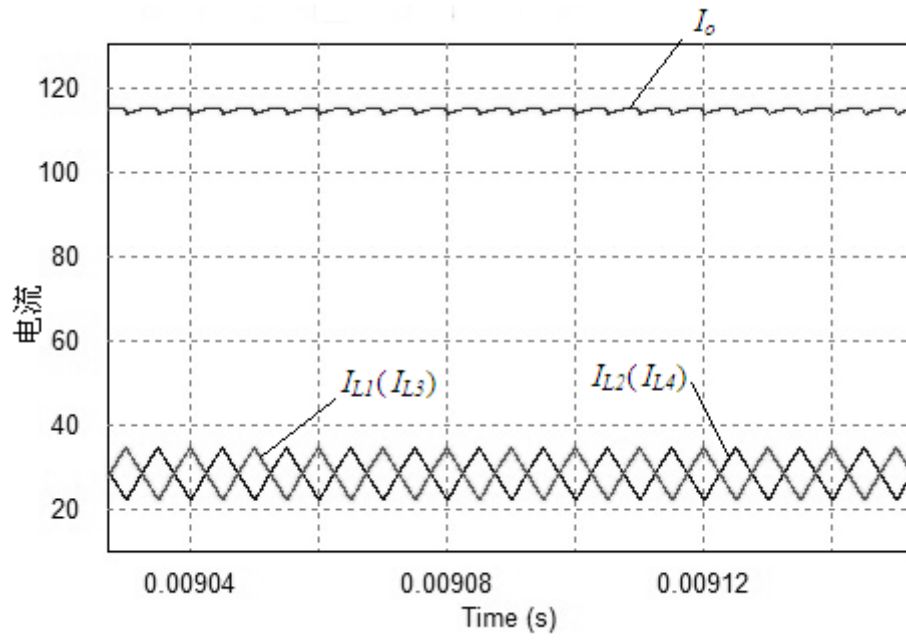


图 7

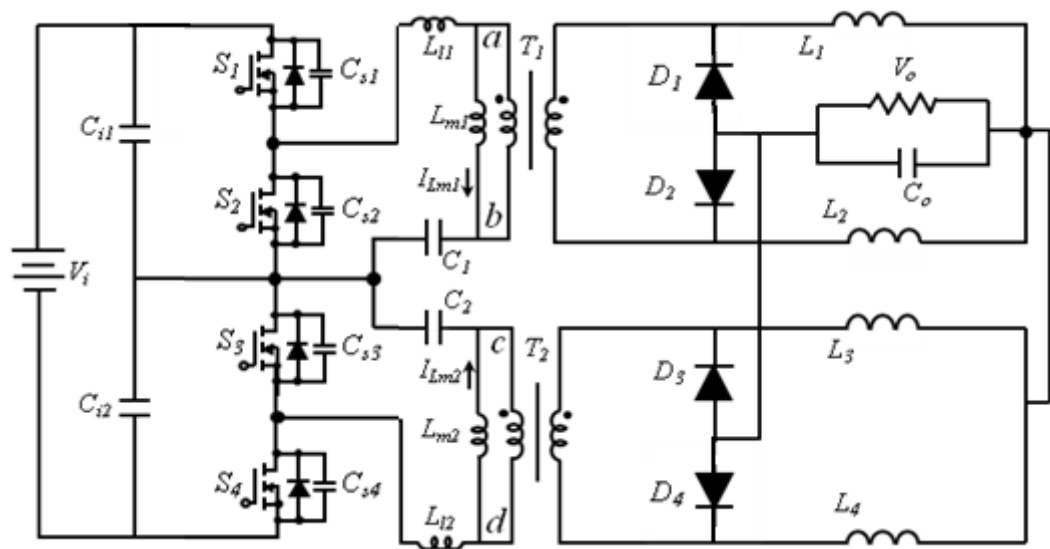


图 8



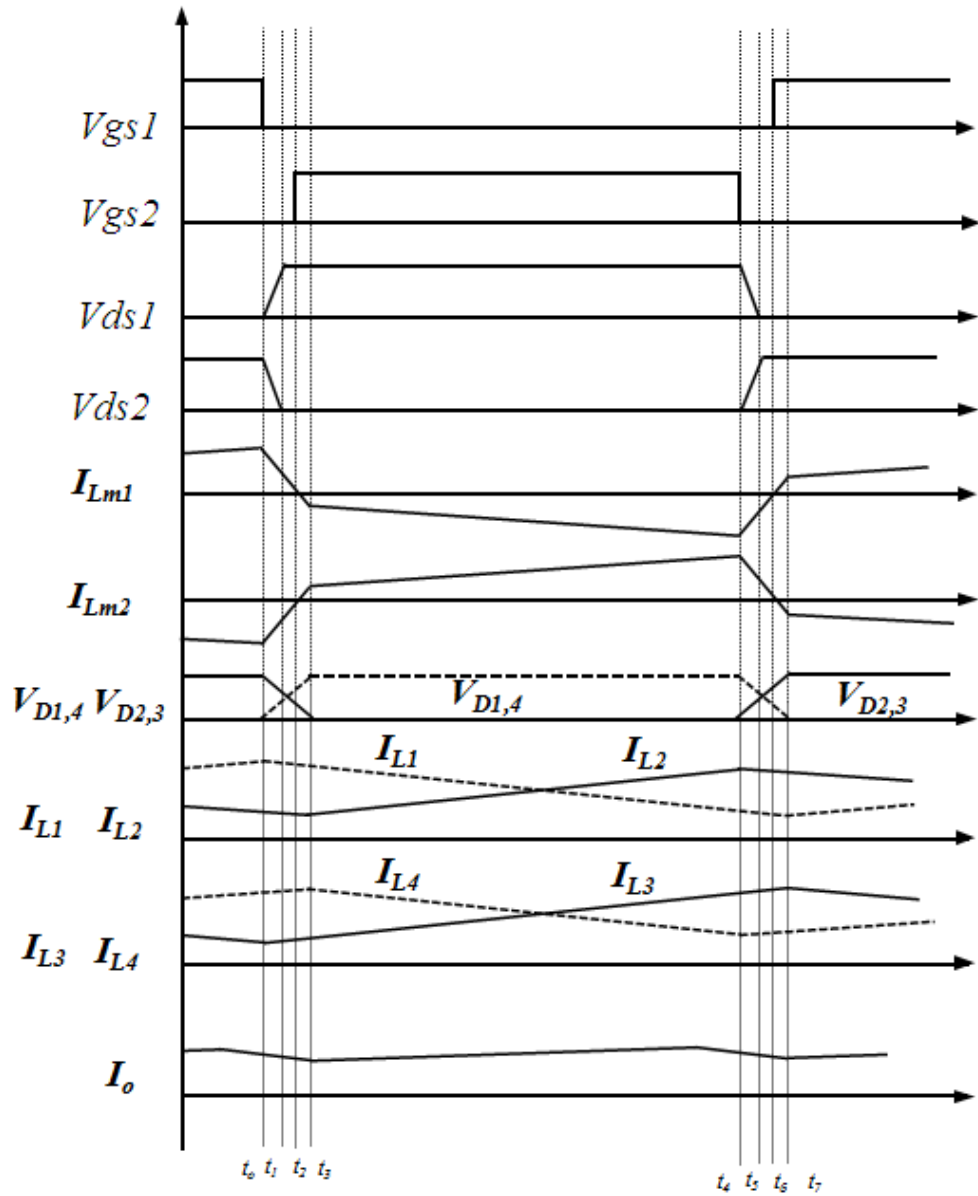


图 9

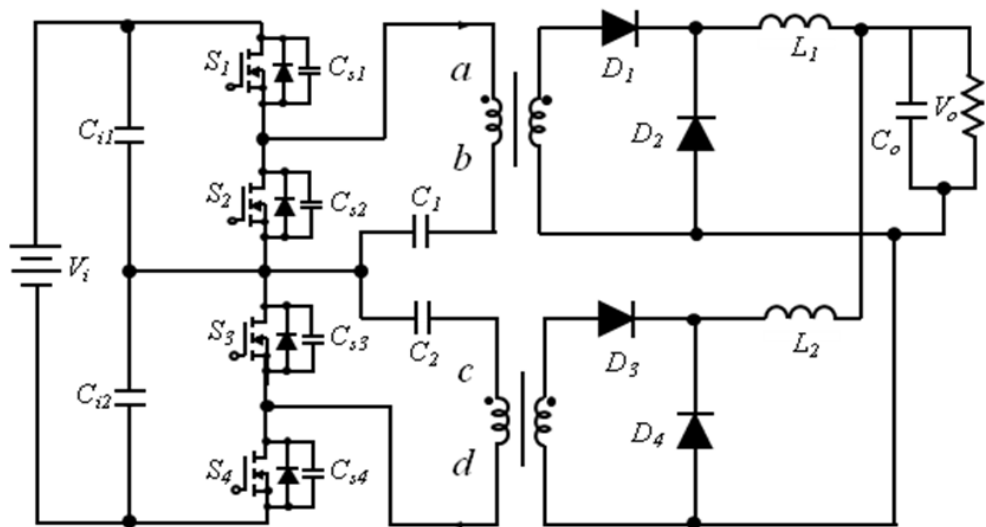


图 10

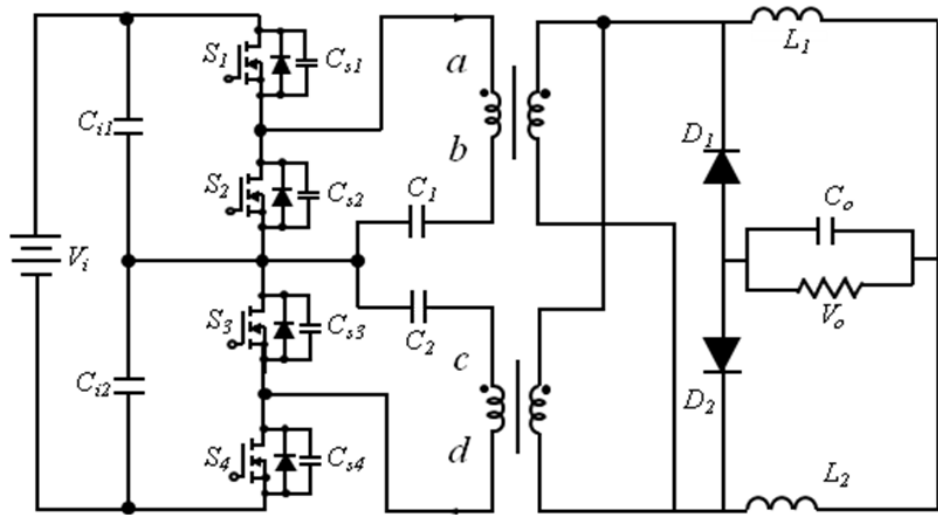


图 11

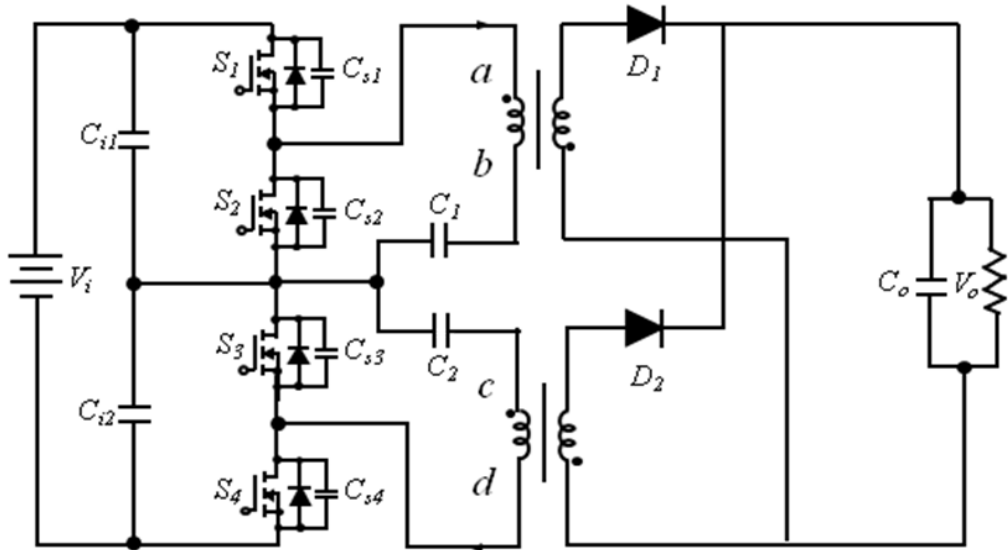


图 12

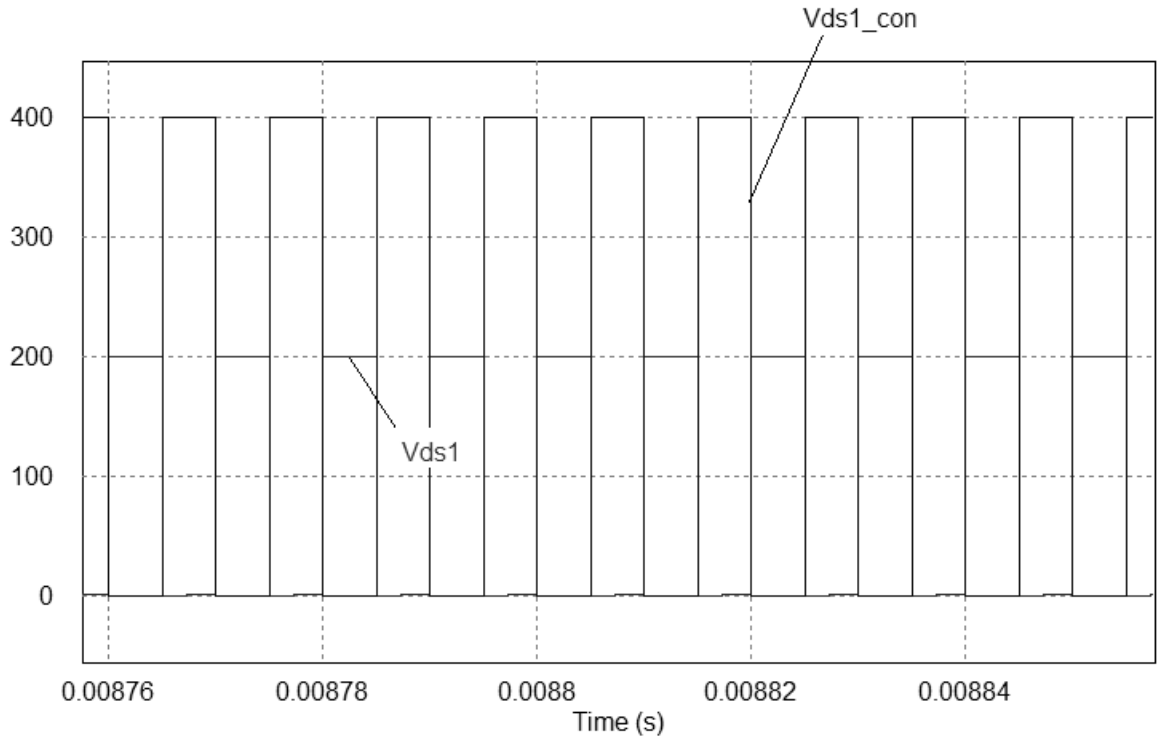


图 13

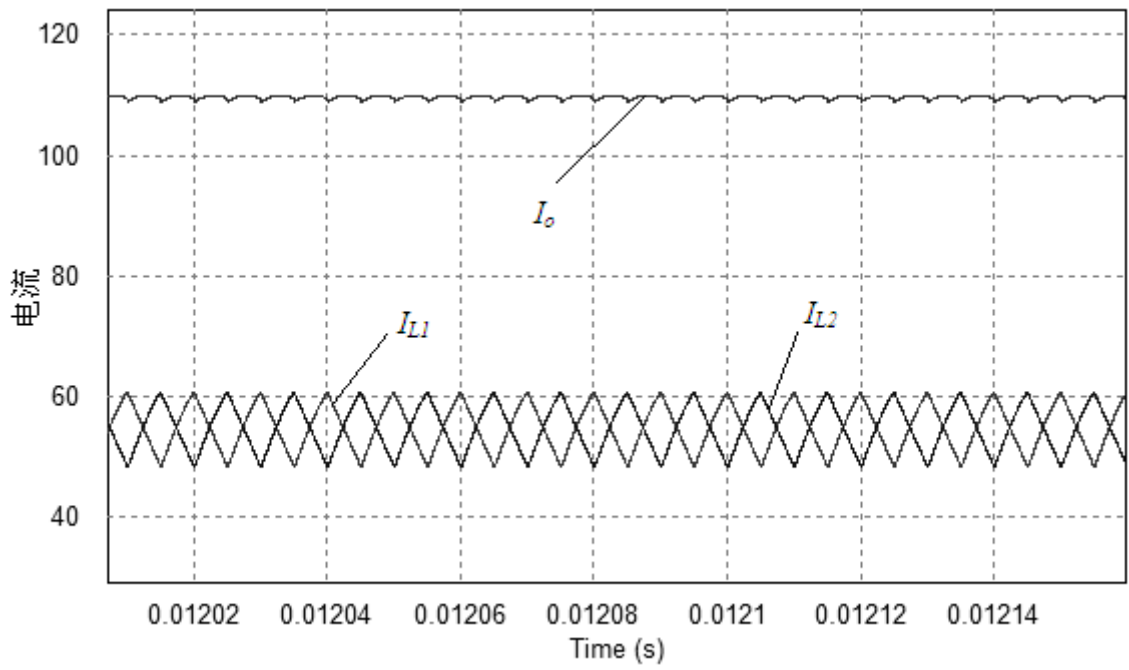


图 14