



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109617407 B

(45)授权公告日 2020.02.07

(21)申请号 201811566914.9

审查员 胡艳梅

(22)申请日 2018.12.19

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109617407 A

(43)申请公布日 2019.04.12

(73)专利权人 北京理工大学

地址 100000 北京市海淀区中关村南大街5号

(72)发明人 李守翔 王向周 郑成华 谢文浩 梁胜男

(74)专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569
代理人 程华

(51)Int.Cl.

H02M 3/158(2006.01)

H02M 3/00(2006.01)

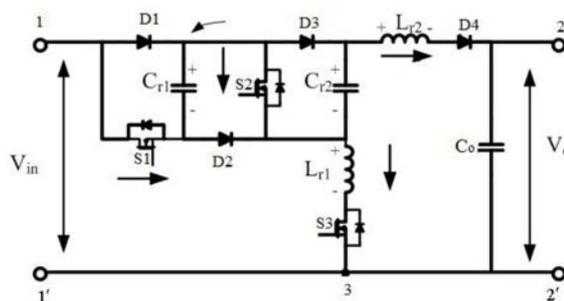
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种升压式串并联全谐振开关电容变换器

(57)摘要

本发明公开一种升压式串并联全谐振开关电容变换器。升压式串并联全谐振开关电容变换器包括：第一单向开关、第二单向开关、第三单向开关、第四单向开关、第一开关管、第二开关管、第三开关管、第一谐振电容、第二谐振电容、第一谐振电感和第二谐振电感。本发明提供的升压式串并联全谐振开关电容变换器，实现了所有旁路电容的谐振，谐振状态下所有旁路电容的充放电过程均为软充/放电，瞬态电流尖峰低，电容体积小。同时，通过调节第一谐振电流谐振上升阶段与第二谐振电流线性下降阶段重叠部分的时间，能够调节输出电压，从而实现了宽范围线性连续调压的目的。



1. 一种升压式串并联全谐振开关电容变换器,其特征在于,所述变换器包括:第一单向开关、第二单向开关、第三单向开关、第四单向开关、第一开关管、第二开关管、第三开关管、第一谐振电容、第二谐振电容、第一谐振电感和第二谐振电感,其中,

所述第一单向开关的输入端分别与输入电压正极端和第一开关管的输入端连接,所述第一单向开关的输出端分别与所述第一谐振电容的第一端、所述第二开关管的输入端和所述第三单向开关的输入端连接,所述第一开关管的输出端与所述第一谐振电容的第二端连接,所述第一谐振电容的第二端与所述第二单向开关的输入端连接,所述第二单向开关的输出端与所述第二开关管的输出端连接,所述第三单向开关的输出端分别与所述第二谐振电容的第一端和所述第二谐振电感的第一端连接,所述第二谐振电容的第二端分别与所述第二单向开关的输出端和第一谐振电感的第一端连接,所述第一谐振电感的第二端与所述第三开关管的输入端连接,所述第三开关管的输出端与输入电压负极端连接,所述第二谐振电感的第二端与所述第四单向开关的输入端连接,所述第四单向开关的输出端为输出电压正极端,所述第三开关管的输出端为输出电压负极端。

2. 根据权利要求1所述的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器,其特征在于,所述第一单向开关为二极管、绝缘栅双极型晶体管或金属氧化物半导体场效应管;所述第二单向开关为二极管、绝缘栅双极型晶体管或金属氧化物半导体场效应管;所述第三单向开关为二极管、绝缘栅双极型晶体管或金属氧化物半导体场效应管;所述第四单向开关为二极管、绝缘栅双极型晶体管或金属氧化物半导体场效应管。

3. 根据权利要求1所述的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器,其特征在于,所述第一开关管、所述第二开关管和所述第三开关管均为金属氧化物半导体场效应管。

4. 根据权利要求1所述的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器,其特征在于,所述第一开关管、所述第二开关管和所述第三开关管均为绝缘栅双极型晶体管。

5. 根据权利要求1所述的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器,其特征在于,所述变换器还包括输出滤波电容,所述输出滤波电容的第一端与所述输出电压正极端连接,所述输出滤波电容的第二端与所述输出电压负极端连接。

6. 根据权利要求1所述的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器,其特征在于,所述变换器还包括输入滤波电容,所述输入滤波电容的第一端与所述输入电压正极端连接,所述输入滤波电容的第二端与所述输入电压负极端连接。

7. 根据权利要求1所述的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器,其特征在于,所述输入电压负极端与接地端连接,所述输出电压负极端与所述接地端连接。

8. 根据权利要求1所述的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器,其特征在于,所述第一谐振电容和所述第二谐振电容的电容值相等。

一种升压式串并联全谐振开关电容变换器

技术领域

[0001] 本发明涉及直流-直流变换器领域,特别是涉及一种升压式串并联全谐振开关电容变换器。

背景技术

[0002] 开关电容直流变换器有着重量轻、小体积、高效率、高功率密度以及可集成等优点,但由于电容由其他电容或者电压源直接充电或者放电,开关电容变换器存在暂态电流尖峰高的问题,从而导致变换器有较高的电磁干扰和较大的电流应力。同时,其对输出电压和负载的调节能力有限。

发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种升压式串并联全谐振开关电容变换器,变换器瞬态电流尖峰低,电容体积小,能够宽范围线性连续调压。

[0004] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0005] 一种升压式串并联全谐振开关电容变换器,所述变换器包括:第一单向开关、第二单向开关、第三单向开关、第四单向开关、第一开关管、第二开关管、第三开关管、第一谐振电容、第二谐振电容、第一谐振电感和第二谐振电感,其中,

[0006] 所述第一单向开关的输入端分别与输入电压正极端和第一开关管的输入端连接,所述第一单向开关的输出端分别与所述第一谐振电容的第一端、所述第二开关管的输入端和所述第三单向开关的输入端连接,所述第一开关管的输出端与所述第一谐振电容的第二端连接,所述第一谐振电容的第二端与所述第二单向开关的输入端连接,所述第二单向开关的输出端与所述第二开关管的输出端连接,所述第三单向开关的输出端分别与所述第二谐振电容的第一端和所述第二谐振电感的第二端连接,所述第二谐振电容的第二端分别与所述第二单向开关的输出端和第一谐振电感的第二端连接,所述第一谐振电感的第二端与所述第三开关管的输入端连接,所述第三开关管的输出端与输入电压负极端连接,所述第二谐振电感的第二端与所述第四单向开关的输入端连接,所述第四单向开关的输出端为输出电压正极端,所述第三开关管的输出端为输出电压负极端。

[0007] 可选的,所述第一单向开关为二极管、绝缘栅双极型晶体管或金属氧化物半导体场效应管;所述第二单向开关为二极管、绝缘栅双极型晶体管或金属氧化物半导体场效应管;所述第三单向开关为二极管、绝缘栅双极型晶体管或金属氧化物半导体场效应管;所述第四单向开关为二极管、绝缘栅双极型晶体管或金属氧化物半导体场效应管。

[0008] 可选的,所述第一开关管、所述第二开关管和所述第三开关管均为金属氧化物半导体场效应管。

[0009] 可选的,所述第一开关管、所述第二开关管和所述第三开关管均为绝缘栅双极型晶体管。

[0010] 可选的,所述变换器还包括输出滤波电容,所述输出滤波电容的第一端与所述输

出电压正极端连接,所述输出滤波电容的第二端与所述输出电压负极端连接。

[0011] 可选的,所述变换器还包括输入滤波电容,所述输入滤波电容的第一端与所述输入电压正极端连接,所述输入滤波电容的第二端与所述输入电压负极端连接。

[0012] 可选的,所述输入电压负极端与接地端连接,所述输出电压负极端与所述接地端连接。

[0013] 可选的,所述第一谐振电容和所述第二谐振电容的电容值相等。

[0014] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:

[0015] 本发明提供的升压式串并联全谐振开关电容变换器包括:第一单向开关、第二单向开关、第三单向开关、第四单向开关、第一开关管、第二开关管、第三开关管、第一谐振电容、第二谐振电容、第一谐振电感和第二谐振电感。第一单向开关的输入端分别与输入电压正极端和第一开关管的输入端连接,第一单向开关的输出端分别与第一谐振电容的第一端、第二开关管的输入端和第三单向开关的输入端连接,第一开关管的输出端与第一谐振电容的第二端连接,第一谐振电容的第二端与第二单向开关的输入端连接,第二单向开关的输出端与第二开关管的输出端连接,第三单向开关的输出端分别与第二谐振电容的第一端和第二谐振电感的第二端连接,第二谐振电容的第二端分别与第二单向开关的输出端和第一谐振电感的第二端连接,第一谐振电感的第二端与第三开关管的输入端连接,第三开关管的输出端与输入电压负极端连接,第二谐振电感的第二端与第四单向开关的输入端连接,第四单向开关的输出端为输出电压正极端,第三开关管的输出端为输出电压负极端。本发明提供的升压式串并联全谐振开关电容变换器,实现了所有旁路电容的谐振,谐振状态下所有旁路电容的充放电过程均为软充/放电,瞬态电流尖峰低,电容体积小。同时,通过调节第一谐振电流谐振上升阶段与第二谐振电流线性下降阶段重叠部分的时间,能够调节输出电压,从而实现了宽范围线性连续调压的目的。

附图说明

[0016] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。

[0017] 图1为本发明实施例提供的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器的电路图;

[0018] 图2为本发明实施例提供的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器的工作波形图;

[0019] 图3为本发明实施例提供的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器在 $[t_0, t_1]$ 时间段的等效电路图;

[0020] 图4为本发明实施例提供的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器在 $[t_1, t_2]$ 时间段的等效电路图;

[0021] 图5为本发明实施例提供的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器在 $[t_2, t_3]$ 时间段的等效电路图;

[0022] 图6为本发明实施例提供的变换器在不同负载下的电压转换比曲线;

[0023] 图7为本发明实施例提供的变换器的实验波形图。

具体实施方式

[0024] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0025] 本发明的目的是提供一种升压式串并联全谐振开关电容变换器,变换器瞬态电流尖峰低,电容体积小,能够宽范围线性连续调压。

[0026] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0027] 图1为本发明实施例提供的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器的电路图。如图1所示,一种升压式串并联全谐振开关电容变换器,所述变换器包括:第一单向开关D1、第二单向开关D2、第三单向开关D3、第四单向开关D4、第一开关管S1、第二开关管S2、第三开关管S3、第一谐振电容 C_{r1} 、第二谐振电容 C_{r2} 、第一谐振电感 L_{r1} 和第二谐振电感 L_{r2} 。

[0028] 所述第一单向开关D1的输入端分别与输入电压正极端1和第一开关管S1的输入端连接,所述第一单向开关D1的输出端分别与所述第一谐振电容 C_{r1} 的第一端、所述第二开关管S2的输入端和所述第三单向开关D3的输入端连接,所述第一开关管S1的输出端与所述第一谐振电容 C_{r1} 的第二端连接,所述第一谐振电容 C_{r1} 的第二端与所述第二单向开关D2的输入端连接,所述第二单向开关D2的输出端与所述第二开关管S2的输出端连接,所述第三单向开关D3的输出端分别与所述第二谐振电容 C_{r2} 的第一端和所述第二谐振电感 L_{r2} 的第一端连接,所述第二谐振电容 C_{r2} 的第二端分别与所述第二单向开关D2的输出端和第一谐振电感 L_{r1} 的第一端连接,所述第一谐振电感 L_{r1} 的第二端与所述第三开关管S3的输入端连接,所述第三开关管S3的输出端与输入电压负极端1'连接,所述第二谐振电感 L_{r2} 的第二端与所述第四单向开关D4的输入端连接,所述第四单向开关D4的输出端为输出电压正极端2,所述第三开关管S3的输出端为输出电压负极端2'。

[0029] 实际应用中,所述第一单向开关D1可选为二极管、绝缘栅双极型晶体管或金属氧化物半导体场效应管;所述第二单向开关D2可选为二极管、绝缘栅双极型晶体管或金属氧化物半导体场效应管;所述第三单向开关D3可选为二极管、绝缘栅双极型晶体管或金属氧化物半导体场效应管;所述第四单向开关D1可选为二极管、绝缘栅双极型晶体管或金属氧化物半导体场效应管。所述第一开关管S1、所述第二开关管S2和所述第三开关管S3可选为金属氧化物半导体场效应管或绝缘栅双极型晶体管。所述第三开关管S3的控制方法为开通时间固定的变频控制方法,即固定第三开关管S3的开通时间,改变开关频率,第三开关管S3的通断时间与第二开关管S2和第一开关管S1的通断时间互补。

[0030] 本实施例中,第一单向开关D1、第二单向开关D2、第三单向开关D3和第四单向开关D4均为二极管,第一开关管S1、所述第二开关管S2和所述第三开关管S3均为金属氧化物半导体场效应管。

[0031] 优选地,所述变换器还包括输入滤波电容和输出滤波电容 C_o 。所述输入滤波电容的第一端与所述输入电压正极端1连接,所述输入滤波电容的第二端与所述输入电压负极端1'连接。所述输出滤波电容 C_o 的第一端与所述输出电压正极端2连接,所述输出滤波电容 C_o 的第二端与所述输出电压负极端2'连接。所述输入电压负极端1'与接地端3连接,所述输

出电压负极端2'与所述接地端3连接。所述第一谐振电容 C_{r1} 和所述第二谐振电容 C_{r2} 的电容值相等。

[0032] 图1所示的变换器存在两个谐振通路,其中,充电过程中谐振通路由第一谐振电容 C_{r1} 、第二谐振电容 C_{r2} 和第一谐振电感 L_{r1} 构成,其谐振频率为 f_{r1} ;放电过程中谐振通路由第一谐振电容 C_{r1} 、第二谐振电容 C_{r2} 和第二谐振电感 L_{r2} 构成,其谐振频率为 f_{r2} 。当第二谐振电感 L_{r1} 与第二谐振电感 L_{r2} 同时流过电流时,谐振电流 $i_{Lr1}(t)$ 谐振上升阶段与谐振电流 $i_{Lr2}(t)$ 线性下降阶段相重叠来控制第一谐振电容 C_{r1} 与第二谐振电容 C_{r2} 两端的电压进而实现调压功能。

[0033] 图2为本发明实施例提供的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器的工作波形图。图3为本发明实施例提供的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器在 $[t_0, t_1]$ 时间段的等效电路图。结合图2和图3可见,在 t_0 时刻第一开关管S1和第二开关管S2关断,第三开关管S3以ZCS方式软开通导通谐振电流 $i_{Lr1}(t)$ 。在该时间区间内,两个谐振电感电流同时存在且具有重叠部分,在该阶段,流过谐振电感 L_{r1} 的谐振电流以及谐振电容两端的电压的表达式如下:

$$[0034] \quad i_{Lr1}(t) = (V_{in} - V_{Cr_min}) \sqrt{2C_r/L_{r1}} \sin 2\pi f_{r1}(t-t_0) \quad (1)$$

$$[0035] \quad V_{Cr}(t) = V_{in} - (V_{in} - V_{Cr_min}) \cos 2\pi f_{r1}(t-t_0) \quad (2)$$

[0036] 其中, t 表示时间, V_{in} 表示输入电压, i_{Lr1} 表示第一谐振电感的电流, V_{Cr_min} 表示在对应的时间区间内第一谐振电容 C_{r1} 与第二谐振电容 C_{r2} 两端的初始电压, L_{r1} 表示第一谐振电感的电感值, C_r 表示第一谐振电容和第二谐振电容的电容值, V_{Cr} 表示第一谐振电容 C_{r1} 与第二谐振电容 C_{r2} 上的电压, f_{r1} 表示 $[t_0, t_1]$ 时间区间内的谐振频率。

[0037] 图4为本发明实施例提供的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器在 $[t_1, t_2]$ 时间段的等效电路图。结合图2和图4可见, t_1 时刻,流过第二谐振电感 L_{r2} 的谐振电流减小为0,第四单向开关D4关断。第三开关管S3、第一单向开关D1、第二单向开关D2和第三单向开关D3继续导通,当谐振电流 $i_{Lr1}(t)$ 谐振至0时该阶段结束,第三开关管S3以ZCS方式关断,从而使第一单向开关D1、第二单向开关D2和第三单向开关D3也关断。

[0038] 图5为本发明实施例提供的一种升压式串并联全谐振开关电容变换器在 $[t_2, t_3]$ 时间段的等效电路图。结合图2和图5可见, t_2 时刻第一开关管S1和第二开关管S2以ZCS方式开通,第四单向开关D4导通谐振电流 $i_{Lr2}(t)$ 。在该阶段,流过第二谐振电感 L_{r2} 的谐振电流以及谐振电容两端的电压的表达式如下:

$$[0039] \quad i_{Lr2}(t) = (2V_{Cr_max} + V_{in} - V_o) \sqrt{C_r/2L_{r2}} \sin 2\pi f_{r2}(t-t_2) \quad (3)$$

$$[0040] \quad V_{Cr}(t) = [V_{Cr_max} + (V_{in} - V_o) / 2] \cos 2\pi f_{r2}(t-t_2) - (V_{in} - V_o) / 2 \quad (4)$$

[0041] 其中, V_{Cr_max} 表示 t_2 时刻第一谐振电容 C_{r1} 和第二谐振电容 C_{r2} 两端的电压, i_{Lr2} 表示第二谐振电感的电流, V_o 表示输出电压, L_{r2} 表示第二谐振电感的电感值, f_{r2} 表示 $[t_2, t_3]$ 时间区间内的谐振频率。

[0042] 图6为本发明实施例提供的变换器在不同负载下的电压转换比曲线, $F = f_s / 2f_r$, f_s 表示第一开关管、第二开关管和第三开关管的开关频率, $f_r = f_{r1} = f_{r2}$ 。

$Q = Z_{r1} / R_L$ ($Z_{r1} = \sqrt{L_{r1} / 2C_r}$), R_L 表示负载的等效电阻,当 Q 较小时表示轻载。可见,本发明

实施例提供的变换器处于可调压模态。理论上,无论在轻载抑或重载情况下,均可进行全范围内的连续调压。利用第一谐振电容 C_{r1} 、第二谐振电容 C_{r2} 和输出滤波电容 C_0 的电荷平衡,得到电压增益 M 表达式如下:

$$[0043] \quad M = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{m(V_{Cr_max} - V_{Cr_min})(h-1)}{(V_{Cr_max} - V_{Cr_min}) + (h-1)V_{Cr_max}} \quad (5)$$

[0044] 其中, $m=C_r R_L f_s$, $h=\cos 2\pi f_{r2}(1/f_s-1/2f_{r1})$ 。

[0045] 图7为本发明实施例提供的变换器的实验波形图。其中拓扑参数为:功率 $P<150W$,输入端电压 $V_{in}=50V$,输出电压范围是: $113.5V<V_{out}<145.9V$,开关频率范围是: $50kHz<f_s<90kHz$,第一谐振电感的电感值 $L_{r1}=2.5\mu H$,第二谐振电感的电感值 $L_{r2}=10\mu H$, $C_{r1}=C_{r2}=2\mu F$,谐振频率 $f_r=f_{r1}=f_{r2}=50kHz$,电压增益为 M 。图7的(a)部分为开关频率 $f_s=60kHz$ 的谐振电流和谐振电压波形,图7的(b)部分为开关频率 $f_s=70kHz$ 的谐振电流和谐振电压波形,图7的(c)部分为开关频率 $f_s=60kHz$ 的输入电压和输出电压波形,图7的(d)部分为开关频率 $f_s=70kHz$ 的输入电压和输出电压波形。根据图7的(a)部分~(d)部分可见,第三开关管S3的开通时间固定为与谐振电流 i_{Lr1} 的半正弦波相同的时间,当开关频率 f_s 增大,谐振电流 $i_{Lr1}(t)$ 谐振上升阶段与谐振电流 $i_{Lr2}(t)$ 线性下降阶段的重叠部分时间增加,输出电压减小,达到调压功能。

[0046] 本发明在传统串并联开关电容变换器的基础上,将串并联开关电容单元与改进的Cuk双谐振核结合,利用开通时间固定的变频控制方法,能够实现所有旁路电容的谐振。与传统的串并联开关电容直流变换器相比,本发明提供的变换器瞬态电流尖峰低,电容体积小,能够进行宽范围的线性连续调压。

[0047] 本发明的优点在于不增加有源器件的情况下,只增了两个谐振电感,实现了谐振状态下所有旁路电容软充/放电、电容体积减小以及宽范围的连续调压。

[0048] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

[0049] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

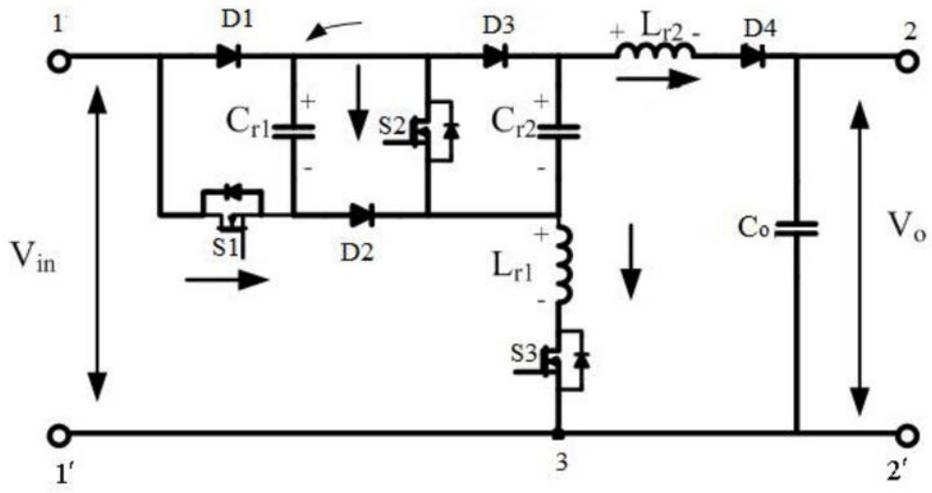


图1

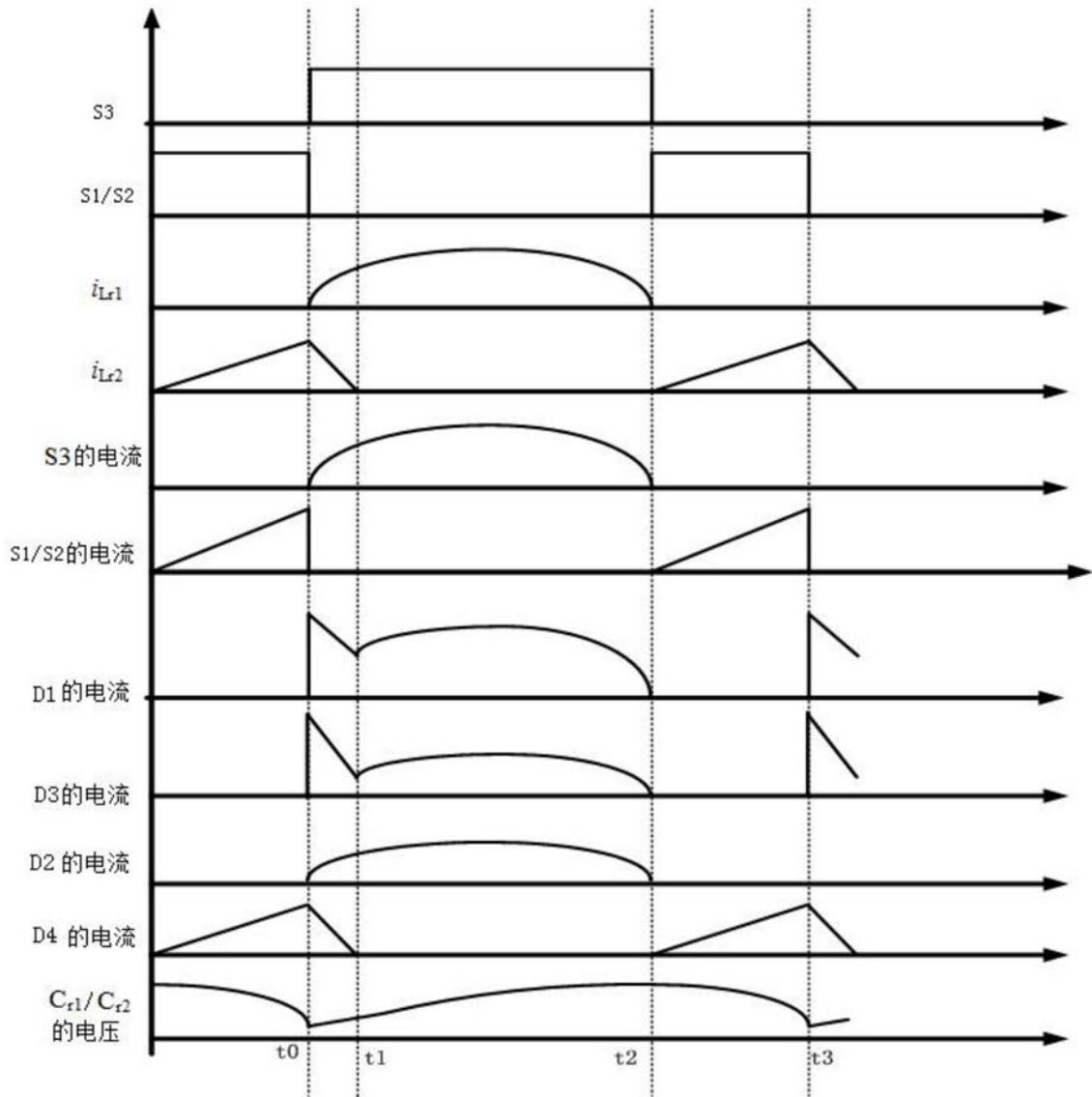


图2

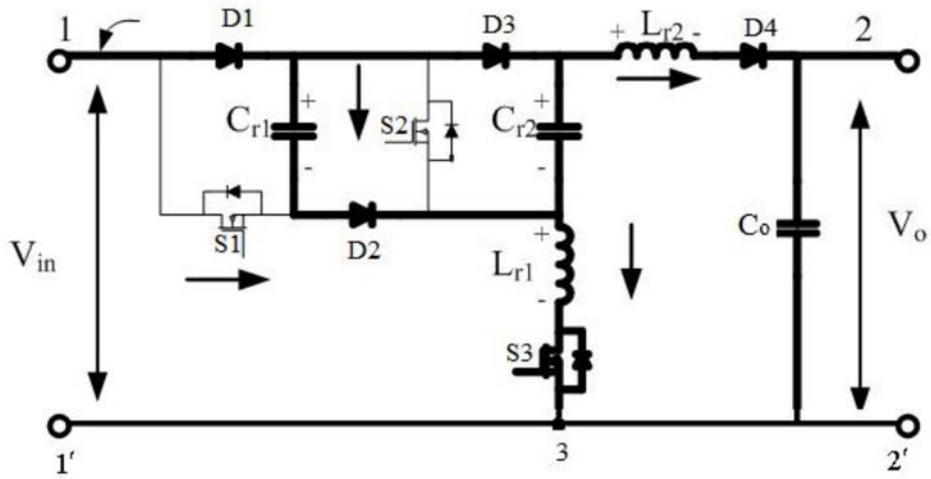


图3

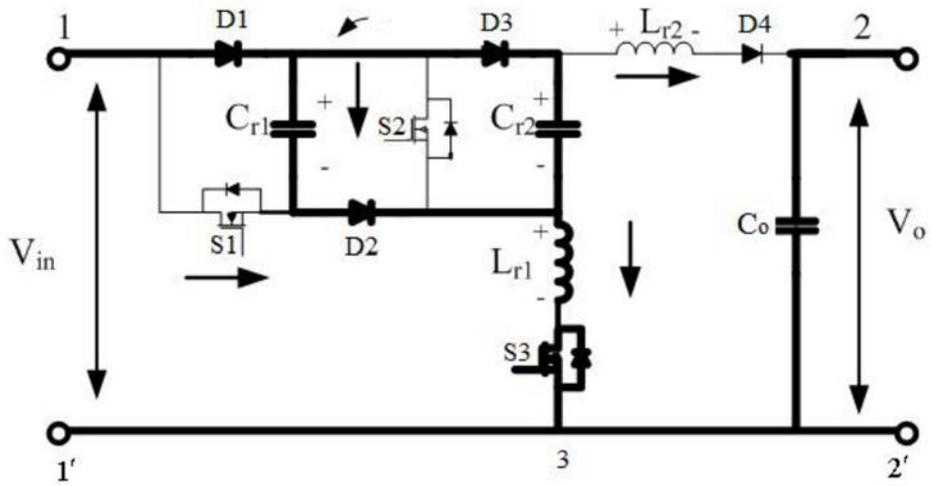


图4

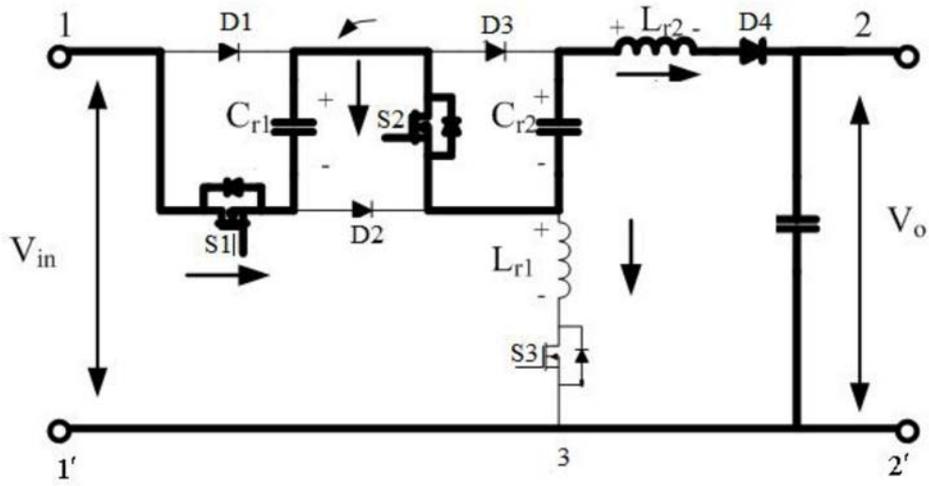


图5

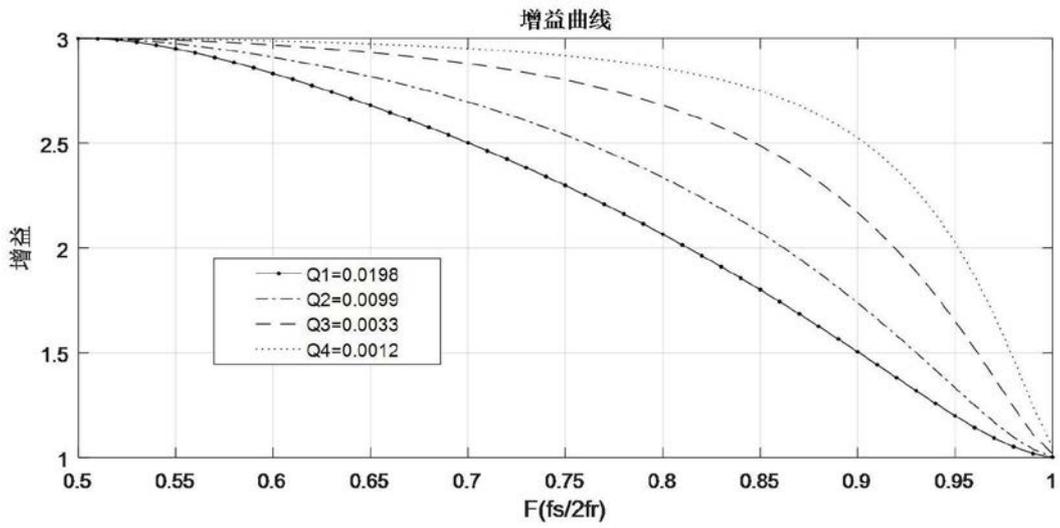
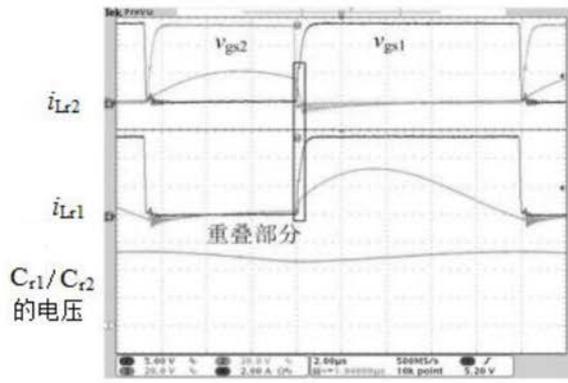
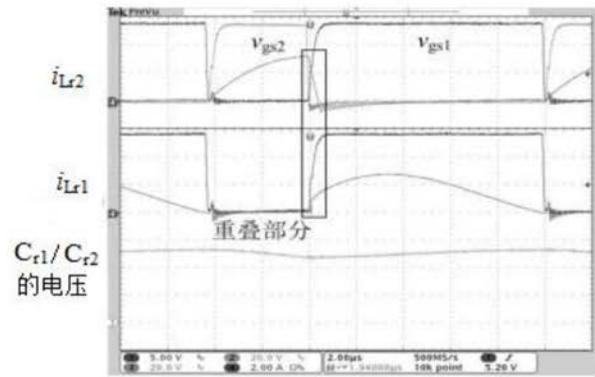


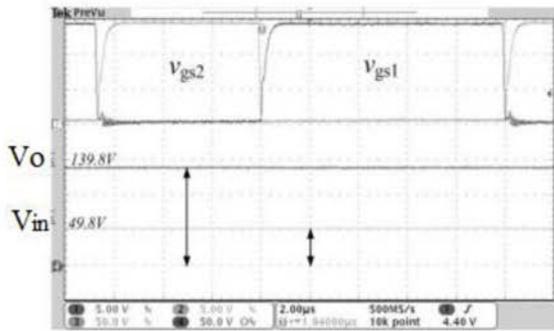
图6



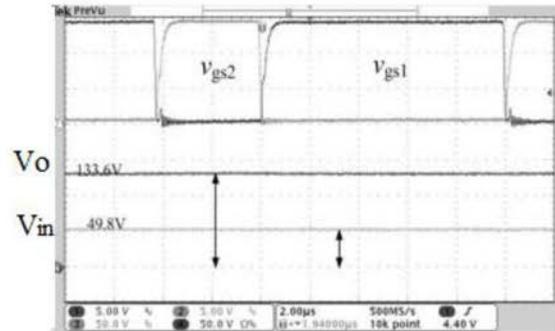
(a)



(b)



(c)



(d)

图7