



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109450254 B

(45)授权公告日 2020.02.21

(21)申请号 201811337937.2

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2018.11.12

H02M 3/335(2006.01)

H02M 3/158(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109450254 A

审查员 刘姝晗

(43)申请公布日 2019.03.08

(73)专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区四牌楼2号

专利权人 连云港杰瑞电子有限公司

(72)发明人 孙伟锋 詹成旺 钱钦松 王廷营

廖良闯 唐海瑞 时龙兴

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司

32200

代理人 奚幼坚

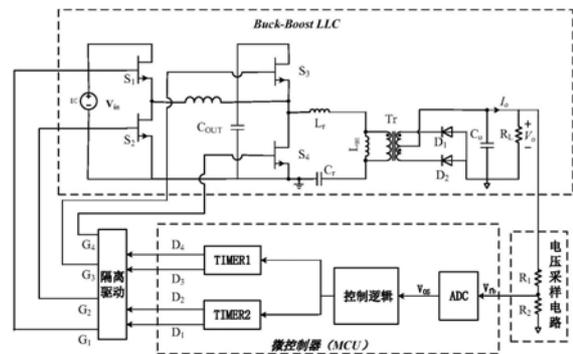
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种两级变换器的间歇模式的控制方法

(57)摘要

一种两级变换器的间歇模式的控制方法,当两级Buck-Boost LLC变换器工作在间歇模式时,在每一个间歇模式周期开始,微控制器配置定时器单次触发one-shot模式,并控制定时器产生一组四路预调节脉宽信号,经隔离驱动后控制变换器的四个开关管S1~S4,使S1驱动信号为“低”、S2驱动信号为“高”、S3驱动信号为“高”、S4驱动信号为“低”,实现对前级电感电流进行预调节,由零调整至一预设的负值。在四个预调节脉宽之后,微控制器配置定时器工作在多周期periodic模式。本发明通过加入的四个预调节脉宽,使前级电感电流迅速进入稳定状态,保证前级开关管的零电压开通,提高了变换器在间歇模式下的效率。



1. 一种两级变换器的间歇模式的控制方法,两级变换器包括前级Buck-Boost变换器与后级LLC谐振变换器级联构成,两级变换器原边侧设有 S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 四个开关管和前级电感 L , S_1 和 S_2 分别为前桥臂的上开关管和下开关管, S_3 和 S_4 分别为后桥臂的上开关管和下开关管,其中开关管 S_3 和 S_4 为前级Buck-Boost变换器与后级LLC谐振变换器共用;

其特征在于:设置输出电压采样电路、以微控制处理器为核心的控制电路以及隔离驱动电路构成的控制系统与级联变换器形成闭环,以微控制处理器为核心的控制电路包括ADC模块、控制逻辑模块和两个定时器TIMER1和TIMER2;在级联变换器的每一个间歇模式工作周期内,电压采样电路采样级联变换器的输出电压 V_o 经分压得到反馈信号 V_{fb} ,反馈信号 V_{fb} 经ADC模块转换成数字信号 V_{os} 之后输出至控制逻辑模块,控制逻辑模块对数字信号 V_{os} 信号进行逻辑判断,从而控制定时器TIMER1产生两路带死区时间的互补PWM信号D1、D2,控制定时器TIMER2产生两路带死区时间的互补PWM驱动信号D3、D4,将上述PWM信号D1、D2、D3、D4经隔离驱动模块后,得到相应的驱动信号G1、G2、G3、G4,分别用于驱动级联变换器的四个开关管 S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 ;

在级联变换器的每一个间歇模式工作周期内,控制方法的具体过程包括:

1) 采样级联变换器的输出电压 V_o ,经分压后得到反馈信号 V_{fb} ,反馈信号 V_{fb} 经过ADC模块转换为数字信号 V_{os} ,将数字信号 V_{os} 输入至控制逻辑模块;

2) 控制逻辑模块比较 V_{os} 与预设的输出电压 V_o 的上限值 V_{refmax} 及预设的输出电压 V_o 的下限值 V_{refmin} 进行比较,若 $V_{os} < V_{refmin}$,则将间歇模式标志量flag设为数字量1,记为ON;若 $V_{os} > V_{refmax}$,则将间歇模式标志量flag设为数字量0,记为OFF;

3) 控制逻辑模块判断间歇模式标志量flag的变化,若间歇模式标志量flag由OFF变为ON,此时一个间歇模式周期开始,控制逻辑模块配置定时器TIMER1和定时器TIMER2工作在单次触发one-shot模式,并控制定时器TIMER1产生两路预调节脉宽驱动信号D3和D4,控制定时器TIMER2产生两路预调节脉宽驱动信号D1和D2,经隔离驱动后用于控制变换器的四个开关管 $S_1 \sim S_4$,使开关管 S_1 驱动信号为“低”、开关管 S_2 驱动信号为“高”、开关管 S_3 驱动信号为“高”、开关管 S_4 驱动信号为“低”,实现对前级电感 L 的电流进行预调节,由零调整至一预设的负值,预调节脉宽驱动信号的时间长度为 Δt , $\Delta t = -I_m L V_{out}$;

其中, I_m 为预设的稳态时前级电感电流负值, L 为前级电感的大小, V_{out} 为前级Buck-Boost变换器的输出电压;

4) 在经过 Δt 时间之后,控制逻辑模块配置定时器TIMER1和TIMER2工作在多周期periodic模式,并配置定时器TIMER1和TIMER2的周期为级联变换器的开关周期,此时定时器TIMER1产生两路互补PWM信号D1、D2,定时器TIMER2产生两路互补PWM信号D3、D4,经隔离驱动后,得到相应的驱动信号G1、G2、G3、G4,分别用于控制级联变换器的四个开关管 S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 ;

5) 若间歇模式标志量flag由ON为OFF,控制逻辑模块控制定时器TIMER1和TIMER2停止输出四路PWM信号D1、D2、D3和D4,当再次检测到间歇模式标志量flag由OFF为ON时,一个间歇模式周期结束,并开始下一个间歇控制模式周期。

一种两级变换器的间歇模式的控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及Buck-Boost LLC变换器,尤其是一种Buck-Boost LLC两级变换器的间歇模式的控制方法。

背景技术

[0002] LLC谐振变换器能够在全负载范围内实现开关管零电压开通,同步整流管零电流关断,从而可以减小开关损耗,提高效率。但是LLC谐振变换器采用变频控制,当增益范围宽的时候,其开关频率的变化范围也较宽,不利于磁性元件、电磁干扰的设计。而采用同级性Buck-Boost与LLC级联的Buck-Boost LLC两级变换器,后级LLC工作在谐振频率点,通过调节前级Buck-Boost来调节增益,能够在保证所有原边侧开关管实现零电压开通的情况下,仍具有较宽的增益范围。因此,Buck-Boost LLC两级变换器开始得到越来越多的关注。

[0003] 但是,Buck-Boost LLC两级变换器在轻载时的效率并不理想。为了克服此问题,已知技术是让Buck-Boost LLC两级变换器工作在间歇工作模式,以此降低单位时间内的切换次数和总体功耗,使效率能够提升。在间歇式工作模式中,当输出电压的大小高于预设的输出电压上限值 V_{refmax} 时,微控制器产生一个OFF信号,关闭各开关管的驱动信号,此时输出电压下降;当输出电压的大小低于预设的输出电压下限值 V_{refmin} 时,微控制器产生一个ON信号,开启各开关管的驱动信号,此时输出电压上升;这样,单位时间内,各开关管的平均开关次数减小,功耗减小。

[0004] 然而,上述间歇式工作模式仍有一些不足之处。比如,在产生ON信号时,前级电感的电流大小为零,前级电感电流的波形需要多个周期才能到达稳态,也就是说在这些个周期里,前桥臂的上下管并不能保证零电压开通的实现,这会损坏轻载下的效率。

发明内容

[0005] 本发明针对现有技术的缺陷,提供一种两级变换器的间歇模式的控制方法,能够保证在ON信号产生后使前级电感电流波形尽快到达稳态,能够提高Buck-Boost LLC两级变换器轻载下的效率。

[0006] 本发明为实现上述目的,采用如下技术方案:一种两级变换器的间歇模式的控制方法,两级变换器包括前级Buck-Boost变换器与后级LLC谐振变换器级联构成,两级变换器原边侧设有 S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 四个开关管和前级电感 L , S_1 和 S_2 分别为前桥臂的上开关管和下开关管, S_3 和 S_4 分别为后桥臂的上开关管和下开关管,其中开关管 S_3 和 S_4 为前级Buck-Boost变换器与后级LLC谐振变换器共用;

[0007] 其特征在于:设置输出电压采样电路、以微控制处理器为核心的控制电路以及隔离驱动电路构成的控制系统与级联变换器形成闭环,以微控制处理器为核心的控制电路包括ADC模块、控制逻辑模块和两个定时器TIMER1和TIMER2;在级联变换器的每一个间歇模式工作周期内,电压采样电路采样级联变换器的输出电压 V_o 经分压得到反馈信号 V_{fb} ,反馈信号 V_{fb} 经ADC模块转换成数字信号 V_{os} 之后输出至控制逻辑模块,控制逻辑模块对数字信号 V_{os}

信号进行逻辑判断,从而控制定时器TIMER1产生两路带死区时间的互补PWM信号D1、D2,控制定时器TIMER2产生两路带死区时间的互补PWM驱动信号D3、D4,将上述PWM信号D1、D2、D3、D4经隔离驱动模块后,得到相应的驱动信号G1、G2、G3、G4,分别用于驱动级联变换器的四个开关管S₁、S₂、S₃和S₄。

[0008] 在级联变换器的每一个间歇模式工作周期内,控制方法的具体过程包括:

[0009] 1) 采样级联变换器的输出电压V_o,经分压后得到反馈信号V_{fb},反馈信号V_{fb}经过ADC模块转换为数字信号V_{os},将数字信号V_{os}输入至控制逻辑模块;

[0010] 2) 控制逻辑模块比较V_{os}与预设的输出电压V_o的上限值V_{refmax}及预设的输出电压V_o的下限值V_{refmin}进行比较,若V_{os}<V_{refmin},则将间歇模式标志量flag设为数字量1,记为ON;若V_{os}>V_{refmax},则将间歇模式标志量flag设为数字量0,记为OFF;

[0011] 3) 控制逻辑模块判断间歇模式标志量flag的变化,若间歇模式标志量flag由OFF变为ON,此时一个间歇模式周期开始,控制逻辑模块配置定时器TIMER1和定时器TIMER2工作在单次触发one-shot模式,并控制定时器TIMER1产生两路预调节脉宽驱动信号D3和D4,控制定时器TIMER2产生两路预调节脉宽驱动信号D1和D2,经隔离驱动后用于控制变换器的四个开关管S₁~S₄,使开关管S₁驱动信号为“低”、开关管S₂驱动信号为“高”、开关管S₃驱动信号为“高”、开关管S₄驱动信号为“低”,实现对前级电感L的电流进行预调节,由零调整至一预设的负值,预调节脉宽驱动信号的时间长度为 Δt , $\Delta t = -I_m L / V_{out}$;

[0012] 其中,I_m为预设的稳态时前级电感电流负值,L为前级电感的大小,V_{out}为前级Buck-Boost变换器的输出电压;

[0013] 4) 在经过 Δt 时间之后,控制逻辑模块配置定时器TIMER1和TIMER2工作在多周期periodic模式,并配置定时器TIMER1和TIMER2的周期为级联变换器的开关周期,此时定时器TIMER1产生两路互补PWM信号D1、D2,定时器TIMER2产生两路互补PWM信号D3、D4,经隔离驱动后,得到相应的驱动信号G1、G2、G3、G4,分别用于控制级联变换器的四个开关管S₁、S₂、S₃和S₄;

[0014] 5) 若间歇模式标志量flag由ON为OFF,控制逻辑模块控制定时器TIMER1和TIMER2停止输出四路PWM信号D1、D2、D3和D4,当再次检测到间歇模式标志量flag由OFF为ON时,一个间歇模式周期结束,并开始下一个间歇控制模式周期。

[0015] 本发明的优点及效果:本发明通过对前级Buck-Boost变换器的电感电流进行预先调整,能够实现变换器在每个开关周期开始时,前级电感电流的负值相等,通过加入的四个预调节脉宽,使前级电感电流迅速进入稳定状态,保证前桥臂开关管的零电压开通,提高了变换器在间歇模式下的效率。

附图说明

[0016] 图1为两级Buck-Boost LLC变换器的原理图;

[0017] 图2为两级Buck-Boost LLC变换器的控制框图

[0018] 图3为一种通用的间歇模式下的时序图;

[0019] 图4为一种两级Buck-Boost LLC变换器通用的间歇模式开关时序图;

[0020] 图5为本发明控制方法的开关时序图;

[0021] 图6为本发明控制方法下的时序波形仿真图

[0022] 图7为本发明与通用方法效率曲线图

具体实施方式

[0023] 下面结合附图及实施例对本发明进一步说明。

[0024] 图1为两级Buck-Boost LLC变换器的原理图,其中S1-S4分别为原边侧的MOS管,电感L为前级Buck-Boost电感,L_m为励磁电感,L_r和C_r分别为谐振电感和谐振电容。D1和D2为副边侧的整流管,V_{in}为输入电压,V_{out}为前级Buck-Boost级的输出电压,V_o为输出电压。

[0025] 图2为两级Buck-Boost LLC变换器的控制框图,由两级变换器电路以及输出电压采样电路和微控制器(MCU)组成,电压采样电路采样输出电压V_o得到分压反馈信号V_{fb}并将其输入微控制器内置的模数转换器(ADC)对V_{fb}进行模数转换后得到数字信号V_{os},并将V_{os}信号送至控制逻辑模块,控制逻辑模块对输入的V_{os}信号进行逻辑判断,从而控制TIMER1产生两路带死区时间的互补PWM信号D1、D2,控制TIMER2产生两路带死区时间的互补PWM驱动信号D3、D4。上述PWM信号D1、D2、D3、D4输入到隔离驱动模块,分别得到驱动信号G1、G2、G3、G4,分别用于驱动级联变换器的四个开关管S1、S2、S3以及S4。

[0026] 图3为两级Buck-Boost LLC变换器工作在间歇模式下的输出电压波形和前级电感电流波形图。其中V_{os}为输出电压V_o经采样电路和ADC转换之后的数字电压信号,当V_{os}高于预设的输出电压上限值V_{refmax}时,控制逻辑模块设置间歇模式标志量flag为OFF,同时控制定时器模块停止输出PWM信号,此时输出电压下降;当V_{os}低于预设的输出电压下限值V_{refmin}时,控制逻辑模块设置间歇模式标志量flag为ON,并配置定时器产生特定的PWM信号,此时输出电压上升;

[0027] 图4为一种通用的两级Buck-Boost LLC变换器间歇模式下的开关时序图,其具体工作过程如下:

[0028] (1) 在t₀时刻,输出电压经采样电路和ADC转换之后产生的数字电压信号V_{os}高于预设的输出电压上限值V_{refmax},此刻间歇模式标志量flag由OFF变为ON,微控制器开始产生PWM信号,即在t₀-t₁阶段,S2管和S4管开启,此时加在前级电感两端的电压大小为零,则前级电感电流保持为零。在t₁-t₂阶段,S1管和S4管开启,此时加在前级电感两端的电压大小为输入电压V_{in},则前级电感电流由零开始上升。在t₂-t₃阶段,S1管和S3管开启,此时加在前级电感两端的电压大小为V_{out}-V_{in},若V_{out}-V_{in}为零,则前级电感电流保持不变。在t₃-t₄阶段,S2管和S3管开启,此时加在前级电感两端的电压大小为-V_{out},前级电感电流下降。

[0029] (2) 在经过了若干个上述(1)中描述的过程后,两级Buck-Boost LLC变换器逐渐进入稳定工作状态,在之后的t₅时刻,V_{os}低于预设的输出电压上限值V_{refmin},间歇模式标志量flag由ON变为OFF,微控制器停止输出PWM信号,前级电感电流逐渐衰减到零。

[0030] 图5为本发明所采用的控制时序图,其具体工作过程如下:

[0031] (1) 在t₀时刻,输出电压经采样电路和ADC转换之后产生的数字电压信号V_{os}高于预设的输出电压上限值V_{refmax},此刻间歇模式标志量flag由OFF变为ON,同时微控制器计算出预调节脉冲的脉宽Δt。预调节脉冲组的脉宽Δt可如下进行计算:

$$[0032] \quad \Delta t = t_1 - t_2 = -I_m L / V_{out}$$

[0033] 其中I_m为预设的稳态时前级电感电流负值,L为前级电感的大小,V_{out}为Buck-Boost级的输出电压。

[0034] 在计算完成后,在 t_1 时刻,微控制器控制定时器TIMER1和TIMER2工作在单次触发one-shot模式,并控制定时器TIMER1产生两路预调节脉宽驱动信号D3和D4,控制定时器TIMER2产生两路预调节脉宽驱动信号D1和D2,经隔离驱动后用于控制变换器的四个开关管 $S_1 \sim S_4$,使开关管 S_1 驱动信号为“低”、开关管 S_2 驱动信号为“高”、开关管 S_3 驱动信号为“高”、开关管 S_4 驱动信号为“低”,即开启 S_2 和 S_3 管,此时前级电感电流由零开始下降,在 t_2 时刻,前级电感电流到达预设的负电流 I_m 处。

[0035] (2) 在 t_2 时刻,控制逻辑模块配置定时器TIMER1和TIMER2工作在多周期periodic模式,并配置定时器TIMER1和TIMER2的周期为级联变换器的开关周期,此时定时器TIMER1产生两路互补PWM信号D1、D2,定时器TIMER2产生两路互补PWM信号D3、D4,经隔离驱动后,得到相应的驱动信号G1、G2、G3、G4,分别用于控制级联变换器的四个开关管 S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 。在 t_2-t_3 阶段, S_2 管和 S_4 管同时开启,此时前级电感电流保持为负值不发生变化。在 t_3-t_4 阶段, S_1 管和 S_4 管同时开启,前级电感电流开始上升。在 t_5-t_6 阶段, S_1 和 S_3 管同时开启,电感电流保持不变。在 t_6-t_7 阶段, S_2 和 S_3 同时开启,电感电流下降到预设的负值。

[0036] (3) 经过若干个(2)中描述的过程之后,在 t_8 时刻, V_{os} 低于预设的输出电压上限值 V_{refmin} ,此时OFF信号产生, S_1-S_4 管的驱动信号全部关闭,前级电感电流逐渐衰减至零。

[0037] 图6为本发明控制方法下的时序波形仿真图,可见仿真的波形图与理论分析的结果吻合,验证了本发明的有效性。

[0038] 图7为采用通用的控制方法和采用本发明提出的控制方法下变换器效率的曲线图。不同于通用的让前级电感电流逐步到达稳态的控制方法,本发明能够使前级电感电流在上述预调节脉冲宽度的时间里,到达稳态,保证 S_1 和 S_2 管的零电压开通,有效的提高了变换器的工作效率。

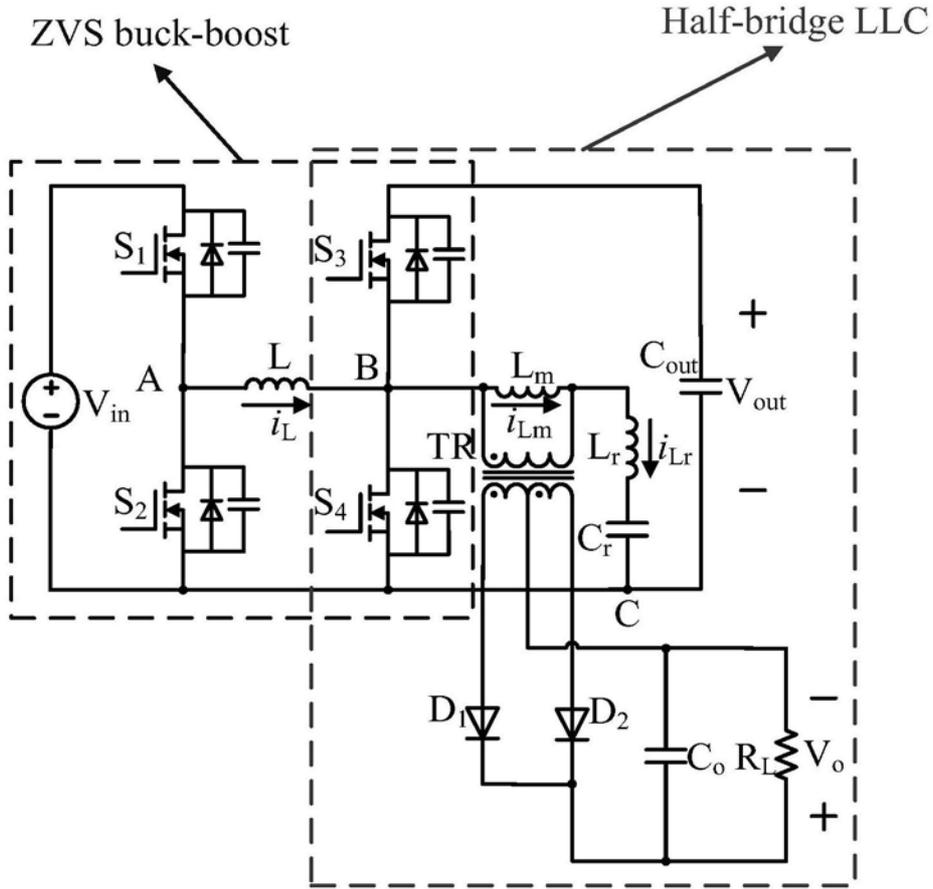


图1

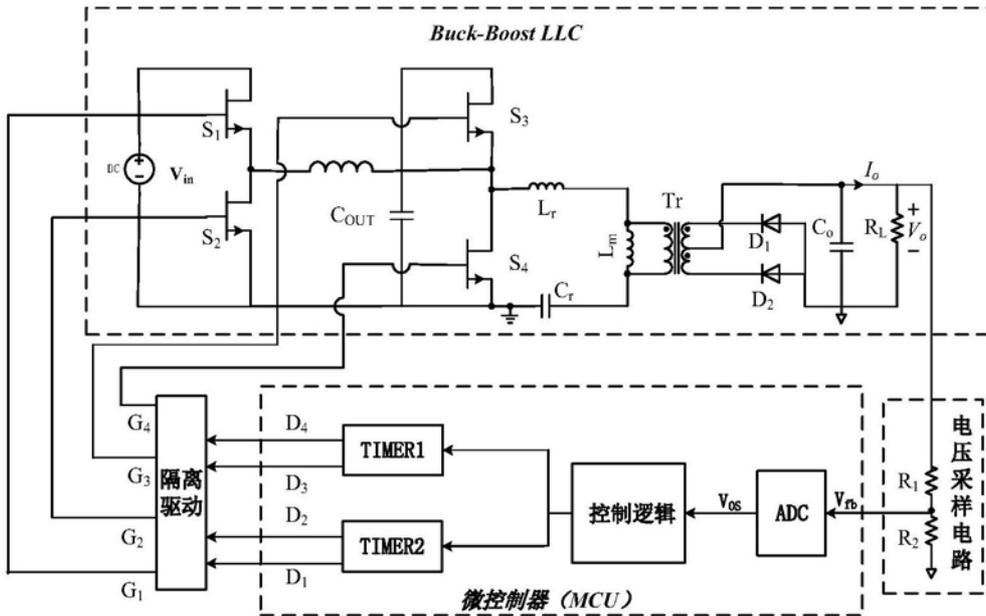


图2

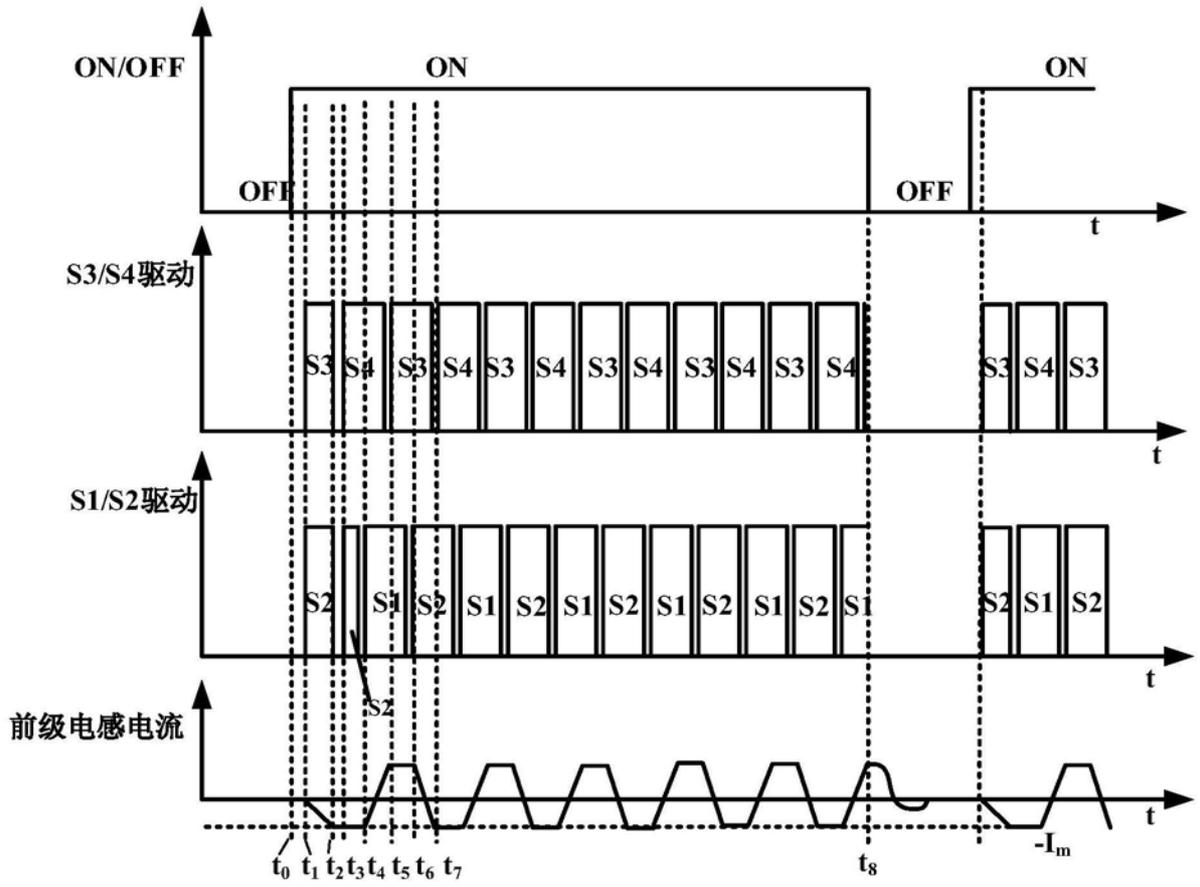


图5

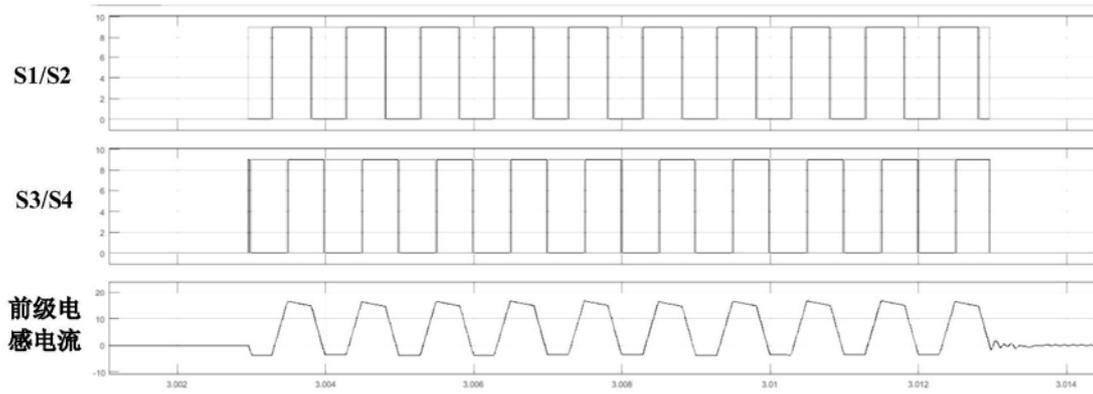


图6

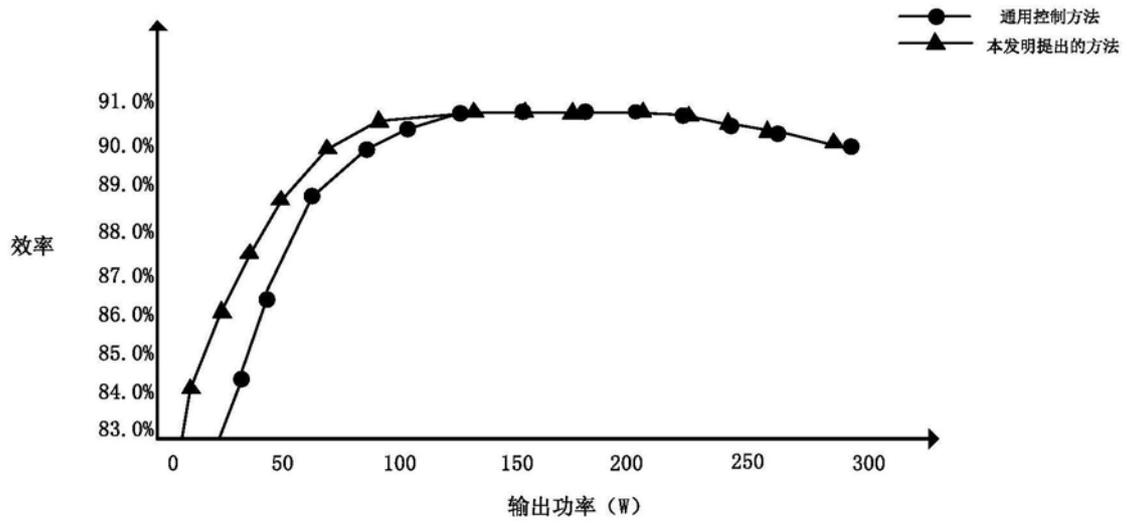


图7