



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107070195 A

(43)申请公布日 2017.08.18

(21)申请号 201710173327.2

(22)申请日 2017.03.22

(71)申请人 哈尔滨工业大学深圳研究生院  
地址 518000 广东省深圳市南山区西丽镇  
深圳大学城哈工大校区

(72)发明人 李国鑫 和军平

(74)专利代理机构 深圳市科吉华烽知识产权事  
务所(普通合伙) 44248

代理人 孙伟

(51) Int. Cl.  
H02M 1/42(2007.01)

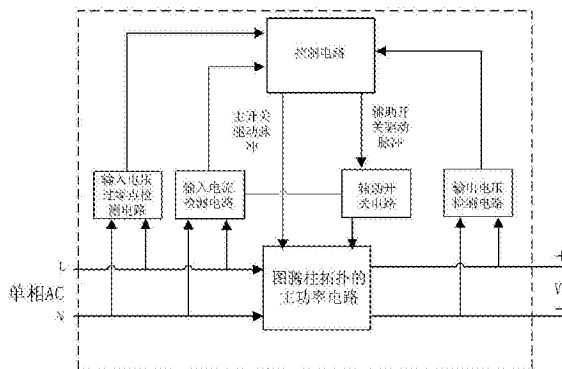
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

半工频周期谐振软开关结构的图腾柱功率  
因数校正电路

(57)摘要

本发明涉及一种半工频周期谐振软开关结构的图腾柱功率因数校正电路,包括:图腾柱拓扑的主功率电路、对所述图腾柱PFC实现谐振软开关的辅助开关电路、输入电压过零点检测电路、输入电流检测电路、输出电压检测电路、以及根据所述电压过零点检测电路、输入电流检测电路和输出电压检测电路的信号来控制所述主功率电路及所述辅助开关电路的控制电路;所述控制电路根据所述输出电压检测电路、输入电流检测电路和输入电压过零点检测电路的检测信号来输出驱动脉冲,以控制所述辅助开关电路和所述图腾柱功率因数校正电路实现谐振,使所述图腾柱PFC的功率开关管在半个工频周期内实现零电压开通,从而减少主电路的开关损耗,提高整机效率。



CN 107070195 A

1. 一种半工频周期谐振软开关结构的图腾柱功率因数校正电路,其特征在于,所述功率因数校正电路包括:图腾柱拓扑的主功率电路、对所述图腾柱PFC实现谐振软开关的辅助开关电路、输入电压过零点检测电路、输入电流检测电路、输出电压检测电路、以及根据所述电压过零点检测电路、输入电流检测电路和输出电压检测电路的信号来控制所述主功率电路及所述辅助开关电路的控制电路;所述控制电路根据所述输出电压检测电路、输入电流检测电路和输入电压过零点检测电路的检测信号来输出驱动脉冲,以控制所述辅助开关电路和所述图腾柱功率因数校正电路实现谐振,使所述图腾柱PFC的功率开关管在半个工频周期内实现零电压开通,从而减少主电路的开关损耗,提高整机效率。

2. 根据权利要求1所述的功率因数校正电路,其特征在于:所述图腾柱拓扑的主功率电路包括功率半导体开关 $S_1$ 、功率半导体开关 $S_2$ 、功率半导体开关 $Q_1$ 、功率半导体开关 $Q_2$ 、升压电感 $L_1$ ;所述升压电感 $L_1$ 一端连接 $S_1$ 的漏极和 $S_2$ 的源极,另一端连接输入单相交流电的火线L端,所述 $S_1$ 的源极连接直流输出端的负极,所述 $S_2$ 的漏极连接直流输出端的正极,所述 $Q_1$ 的负极和所述 $Q_2$ 的正极共同连接输入单相交流电的零线N端,所述 $Q_1$ 的正极接直流输出端的负极,所述 $Q_2$ 的负极接连接直流输出电压的正极,所述 $S_1$ 、 $S_2$ 的门极连接来自所述控制电路的驱动脉冲。

3. 根据权利要求2所述的功率因数校正电路,其特征在于:所述辅助开关电路包括功率半导体开关 $S_r$ 、谐振电容 $C_{sa}$ 、谐振电感 $L_r$ 、快恢复二极管 $D_{r1}$ 和 $D_{r2}$ ;所述 $S_r$ 的源极与直流输出端负极连接,谐振电感 $L_r$ 连接所述 $S_r$ 的漏极和所述 $D_{r1}$ 的负极,所述 $D_{r2}$ 的正极连接所述 $S_r$ 的漏极, $D_{r3}$ 的负极连接直流输出端的正极,所述 $D_{r1}$ 的正极连接所述功率半导体开关 $S_1$ 的漏极和所述功率半导体开关 $S_2$ 的源极,所述谐振电容 $C_{sa}$ 连接直流输出端负极和所述功率半导体开关 $S_1$ 的漏极,所述 $S_r$ 的门极连接来自控制电路的驱动脉冲。

4. 根据权利要求1-3任一项所述的功率因数校正电路,其特征在于:所述控制电路与所述主功率电路、所述辅助电路采用隔离驱动的方式。

5. 根据权利要求1-3任一项所述的功率因数校正电路,其特征在于:所述控制电路为DSP。

6. 根据权利要求1-3任一项所述的功率因数校正电路,其特征在于:所述的控制电路根据所述输出电压检测电路、所述输入电流检测电路、所述输入电压过零点检测电路的检测信号确定各驱动脉冲的占空比和相位并产生驱动脉冲,使所述图腾柱功率因数校正主电路、所述辅助电路的开关按固定频率工作。

7. 根据权利要求1-3任一项所述的功率因数校正电路,其特征在于:所述控制电路向所述辅助开关电路输出的驱动脉冲信号超前于向所述主功率电路输出的驱动脉冲信号,超前的时间为 $t_d$ ,且 $t_d \geq t_{01} + t_{12}$ ,其中, $t_{01}$ 是谐振电感电流 $i_{Lr}$ 开始从零上升至电感电流 $i_{L1}$ 的时间,即 $t_{01} = \frac{i_{L1}}{V_0/L_r}$ , $V_0$ 为输出端直流电压值, $L_r$ 为谐振电感值; $t_{12}$ 是谐振开关 $S_r$ 开通后,电容

$C_{sa}$ 谐振放电,直到电容 $C_{sa}$ 电压为零的时间, $t_{12} = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{L_r \cdot C_{sa}}$ , $C_{sa}$ 为谐振电容值。

## 半工频周期谐振软开关结构的图腾柱功率因数校正电路

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种单相功率因数校正电路(PFC),尤其涉及一种可在半个工频周期内进行谐振软开关的图腾柱结构的功率因数校正电路(PFC)。

### 背景技术

[0002] 高效率、高功率因数、低成本一直是功率因数校正电路(PFC)技术的发展目标。图腾柱结构的PFC与常用的全桥PFC、Dual Boost PFC等相比,其使用的功率半导体器件数量较少、其工频工作的二极管的反向恢复损耗也小,具有效率、成本方面的优势。然而,目前已有的图腾柱结构PFC的功率开关管多在硬开关状态下工作,其开关损耗和电压应力较大。随着氮化镓(GaN)、碳化硅(SiC)等新一代高速半导体开关器件技术的发展,高速开关对PFC技术也带来了新技术挑战和机遇,进一步改善图腾柱结构PFC的效率和性能就成为有良好应用前景的技术方向。

[0003] 例如,专利文献1(中国专利公开号:CN104852567A)公开了一种软开关图腾柱无桥功率因素校正电路,包括升压电感、输入电流采样、图腾柱无桥拓扑、谐振无源网路、滤波电路、输出电压采样、控制电路、电压过零检测。通过在图腾柱无桥拓扑主电路上增加电感、电容、二极管无源元件构成的谐振网络,控制两个开关器件在输入电源正负半周的每一个PWM占空比期间,一个作为主开关,一个作为谐振开关,实现无需增加辅助功率开关可保证图腾柱无桥拓扑上两个开关器件均工作在零电压导通、零电流关断的软开关状态,电路效率得到了较大的提高。但是,该方案只能在电网整个周期,即正半周和负半周均实现软开关。

### 发明内容

[0004] 本发明解决的技术问题是:为了改善现有图腾柱结构PFC硬开关造成的损耗技术问题,构建一种可在半个工频周期内实现谐振软开关的新结构的图腾柱PFC。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用的技术方案是:

[0006] 一种半工频周期谐振软开关结构的图腾柱功率因数校正电路,包括图腾柱拓扑的主功率电路、对所述图腾柱PFC实现谐振软开关的辅助开关电路、输入电压过零点检测电路、输入电流检测电路、输出电压检测电路、以及根据所述电压过零点检测电路、输入电流检测电路和输出电压检测电路的信号来控制所述主功率电路及所述辅助开关电路的控制电路;所述控制电路根据所述输出电压检测电路、输入电流检测电路和输入电压过零点检测电路的检测信号来输出驱动脉冲,以控制所述辅助开关电路和所述图腾柱功率因数校正电路实现谐振,使所述图腾柱PFC的功率开关管在半个工频周期内实现零电压开通,从而减少主电路的开关损耗,提高整机效率。

[0007] 本发明的进一步技术方案是:所述图腾柱拓扑的主功率电路包括功率半导体开关 $S_1$ 、功率半导体开关 $S_2$ 、功率半导体开关 $Q_1$ 、功率半导体开关 $Q_2$ 、升压电感 $L_1$ ;所述升压电感 $L_1$ 一端连接 $S_1$ 的漏极和 $S_2$ 的源极,另一端连接输入单相交流电的火线L端,所述 $S_1$ 的源极连接直流输出端的负极,所述 $S_2$ 的漏极连接直流输出端的正极,所述 $Q_1$ 的负极和所述 $Q_2$ 的正极共

同连接输入单相交流电的零线N端,所述Q<sub>1</sub>的正极接直流输出端的负极,所述Q<sub>2</sub>的负极接连接直流输出电压的正极,所述S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>的门极连接来自所述控制电路的驱动脉冲。

[0008] 本发明的进一步技术方案是:所述辅助开关电路包括功率半导体开关S<sub>r</sub>、谐振电容C<sub>sa</sub>、谐振电感L<sub>r</sub>、快恢复二极管D<sub>r1</sub>和D<sub>r2</sub>;所述S<sub>r</sub>的源极与直流输出端负极连接,谐振电感L<sub>r</sub>连接所述S<sub>r</sub>的漏极和所述D<sub>r1</sub>的负极,所述D<sub>r2</sub>的正极连接所述S<sub>r</sub>的漏极,D<sub>r3</sub>的负极连接直流输出端的正极,所述D<sub>r1</sub>的正极连接所述功率半导体开关S<sub>1</sub>的漏极和所述功率半导体开关S<sub>2</sub>的源极,所述谐振电容C<sub>sa</sub>连接直流输出端负极和所述功率半导体开关S<sub>1</sub>的漏极,所述S<sub>r</sub>的门极连接来自控制电路的驱动脉冲。

[0009] 本发明的进一步技术方案是:所述控制电路与所述主功率电路、所述辅助电路采用隔离驱动的方式。

[0010] 本发明的进一步技术方案是:所述控制电路为DSP。

[0011] 本发明的进一步技术方案是:所述的控制电路根据所述输出电压检测电路、所述输入电流检测电路、所述输入电压过零点检测电路的检测信号确定各驱动脉冲的占空比和相位并产生驱动脉冲,使所述图腾柱功率因数校正主电路、所述辅助电路的开关按固定频率工作。

[0012] 本发明的进一步技术方案是:所述控制电路向所述辅助开关电路输出的驱动脉冲信号超前于向所述主功率电路输出的驱动脉冲信号,超前的时间为t<sub>d</sub>,且t<sub>d</sub>≥t<sub>01</sub>+t<sub>12</sub>,其中,

t<sub>01</sub>是谐振电感电流i<sub>Lr</sub>开始从零上升至电感电流i<sub>L1</sub>的时间,即 $t_{01} = \frac{i_{L1}}{V_0/L_r}$ ,V<sub>0</sub>为输出端直流电压值,L<sub>r</sub>为谐振电感值;t<sub>12</sub>是谐振开关S<sub>r</sub>开通后,电容C<sub>sa</sub>谐振放电,直到电容C<sub>sa</sub>电压为零的时间, $t_{12} = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{L_r \cdot C_{sa}}$ ,C<sub>sa</sub>为谐振电容值。

[0013] 本发明的进一步技术方案是:所述功率半导体开关S<sub>1</sub>和S<sub>2</sub>为GaN、MOS、IGBT中的任一种,所述功率半导体开关Q<sub>1</sub>和Q<sub>2</sub>为GaN、MOS、IGBT或快速恢复二极管中的任一种。

[0014] 本发明的技术效果是:构建了一种可在半个工频周期内实现谐振软开关的图腾柱结构的功率因数校正电路(PFC)。本发明在使用图腾柱PFC作为主功率电路的基础上,设计了谐振软开关辅助电路,对所述图腾柱PFC的功率开关管实现了零电压开通,减少开关损耗,提高了电源的整机效率。本发明是依据谐振软开关原理,利用谐振现象,使主开关器件中的电压或电流按正弦或准正弦规律变化。当电压自然过零时使主开关器件开通,或电流自然过零时,使主开关器件关断,从而减少损耗。

## 附图说明

[0015] 图1为本发明半工频周期谐振软开关的图腾柱PFC的原理图;

[0016] 图2为本发明的图腾柱PFC的主功率电路的电路图;

[0017] 图3为本发明的图腾柱PFC的辅助开关电路图;

[0018] 图4为本发明的图腾柱PFC的主要电压、电流波形;

[0019] 图5为本发明的图腾柱PFC的控制电路输出驱动信号时序及主电路关键电压、电流波形。

## 具体实施方式

[0020] 下面结合具体实施例,对本发明技术方案进一步说明。

[0021] 如图1所示,本发明的可在半个工频周期内实现谐振软开关的图腾柱功率因数校正电路(PFC),包括图腾柱拓扑的主功率电路、对所述图腾柱PFC实现谐振软开关的辅助开关电路、输入电压过零点检测电路、输入电流检测电路、输出电压检测电路、以及根据所述电压过零点检测电路、输入电流检测电路和输出电压检测电路的信号来控制所述主功率电路及所述辅助开关电路的控制电路。所述控制电路根据所述输出电压检测电路、输入电流检测电路和输入电压过零点检测电路的检测信号来输出驱动脉冲,以控制所述辅助开关电路和所述图腾柱功率因数校正电路实现谐振,使所述图腾柱PFC的功率开关管在半个工频周期内实现零电压开通,从而减少主电路的开关损耗,提高整机效率。

[0022] 本发明的具体实施例中,所述控制电路根据所述输出电压检测电路、输入电流检测电路、输入电压过零点检测电路的检测信号确定各驱动脉冲的占空比和相位并产生驱动脉冲,使所述主功率电路、所述辅助电路的开关按固定频率工作,并且所述控制电路向所述辅助电路输出的驱动脉冲信号总是超前于输出的驱动脉冲信号。控制电路采用DSP控制电路。

[0023] 本发明的具体实施例中,如附图2所示,所述图腾柱拓扑的主功率电路包括功率半导体开关 $S_1$ 、功率半导体开关 $S_2$ 、功率半导体开关 $Q_1$ 、功率半导体开关 $Q_2$ 、升压电感 $L_1$ 。所述升压电感 $L_1$ 一端连接 $S_1$ 的漏极和 $S_2$ 的源极,另一端连接输入单相交流电的火线L端,所述 $S_1$ 的源极连接直流输出端的负极,所述 $S_2$ 的漏极连接直流输出端的正极,所述 $Q_1$ 的负极和所述 $Q_2$ 的正极共同连接输入单相交流电的零线N端,所述 $Q_1$ 的正极接直流输出端的负极,所述 $Q_2$ 的负极接连接直流输出电压的正极,所述 $S_1$ 、 $S_2$ 的门极连接来自所述控制电路的驱动脉冲。具体实施例中,所述功率半导体开关 $S_1$ 、 $S_2$ 可为GaN、MOS、IGBT中的任一种,所述功率半导体开关 $Q_1$ 、 $Q_2$ 可为快速恢复二极管、同步整流GaN、同步整流MOS中的任一种。

[0024] 本发明的具体实施例中,所述辅助开关电路包括功率半导体开关 $S_r$ 、谐振电容 $C_{sa}$ 、谐振电感 $L_r$ 、快恢复二极管 $D_{r1}$ 和 $D_{r2}$ 。所述 $S_r$ 的源极与直流输出端负极连接,谐振电感 $L_r$ 连接所述 $S_r$ 的漏极和所述 $D_{r1}$ 的负极,所述 $D_{r2}$ 的正极连接所述 $S_r$ 的漏极, $D_{r3}$ 的负极连接直流输出端的正极,所述 $D_{r1}$ 的正极连接所述功率半导体开关 $S_1$ 的漏极和所述功率半导体开关 $S_2$ 的源极,所述谐振电容 $C_{sa}$ 连接直流输出端负极和所述功率半导体开关 $S_1$ 的漏极,所述 $S_r$ 的门极连接来自控制电路的驱动脉冲。所述控制电路与所述主功率电路、所述辅助电路采用隔离驱动的方式。附图2显示了所述辅助开关电路及其在所述图腾柱PFC中的连接,附图3具体示出了辅助开关电路的结构。

[0025] 具体工作过程为:单相交流输入电压经图腾柱结构的主功率电路后,被整流输出直流电压 $V_0$ ,控制电路根据输出电压检测电路的检测信号、输入电流检测电路的检测信号、输入电压过零点检测电路的检测信号,向所述主功率电路和所述辅助开关电路输出一定占空比和相位的驱动脉冲,使输出直流电压 $V_0$ 稳定、也使交流输入电流波形接近正弦波。同时,向所述辅助电路输出的驱动脉冲超前于向所述图腾柱PFC主电路输出的驱动脉冲一定时间,这样就使辅助开关电路的辅助开关 $S_r$ 先开通,辅助电路上谐振电容 $C_{sa}$ 和谐振电感 $L_r$ 进行谐振,再利用谐振电容 $C_{sa}$ 将图腾柱PFC的功率半导体开关 $S_2$ 源极与漏极间电压钳位为

0,此时再给图腾柱PFC功率半导体开关 $S_1$ 以驱动脉冲来开通,就实现了主开关 $S_1$ 的零电压开通。这样就实现了图腾柱PFC软开关,改善了硬开关损耗的问题,实现了更高的效率。

[0026] 如附图4和附图5所示,进一步的具体实施过程为:单相交流输入电压经图腾柱PFC的主功率电路的升压电感 $L_1$ 、功率半导体开关 $S_1$ 、功率半导体开关 $S_2$ 、功率半导体开关 $Q_1$ 、功率半导体开关 $Q_2$ 整流升压输出,控制电路根据输出直流电压检测电路的检测信号、输入电流检测电路的检测信号确定使图腾柱PFC输出为所需电压 $V_0$ 的占空比,并输出对应占空比的驱动脉冲信号至图腾柱PFC。输入电压过零点检测电路的检测信号输入到所述控制电路,当检测到输入L正N负时,控制电路控制输出相应占空比的驱动脉冲信号到图腾柱PFC功率半导体开关 $S_1$ ,同时控制电路控制输出到图腾柱PFC功率半导体开关 $S_2$ 的驱动脉冲信号与之互补,并保留一定的死区时间;当检测到输入L负N正时,控制电路控制输出对应占空比的驱动脉冲信号至图腾柱PFC功率半导体开关 $S_2$ ,同时控制电路控制输出至图腾柱PFC功率半导体开关 $S_1$ 的驱动脉冲信号与之互补,并保留一定的死区时间。当检测到输入L正N负时,控制电路控制输出至辅助开关电路功率半导体开关 $S_r$ 的驱动脉冲信号要超前于图腾柱PFC功率半导体开关 $S_1$ 上的驱动脉冲信号,即功率半导体开关 $S_r$ 开通时功率半导体开关 $S_1$ 处于关断状态,此时电感 $L_1$ 电流 $i_{Lr}$ 持续上升至等于输出电流 $i_i$ ,由于谐振电感 $L_r$ 的存在,电感电流 $i_{Lr}$ 会继续上升,此时谐振电感 $L_r$ 与谐振电容 $C_{sa}$ 通过快恢复二极管 $D_{r1}$ 和功率半导体开关 $S_r$ 形成单向回路,产生谐振,电感电流 $i_{Lr}$ 向谐振电容 $C_{sa}$ 充电,使谐振电容 $C_{sa}$ 放电至电压为零,从而将功率半导体开关 $S_1$ 漏极和源极之间电压钳位到零伏,此时控制电路控制再输出驱动脉冲信号至图腾柱PFC功率半导体开关 $S_1$ ,实现 $S_1$ 的零电压开通。所述 $S_r$ 驱动信号的超前的时间 $t_d$ 应大于等于电感电流 $i_{Lr}$ 持续上升至等于电流 $i_i$ 的时间 $t_{01}$ 与谐振电容 $C_{sa}$ 放电至电压为零的时间 $t_{02}$ 之和,即 $t_d \geq t_{01} + t_{02}$ ,其中,

$$[0027] \quad t_{01} = \frac{i_{L1}}{V_0/L_r}, \quad t_{02} = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{L_r \cdot C_{sa}}。$$

[0028] 当检测到输入L负N正时,图腾柱PFC功率半导体开关 $S_1$ 起同步整流的作用,控制电路不向辅助开关电路输出脉冲信号,在此半个工频周期内辅助电路功率开关管断开,此时图腾柱PFC处于硬开关状态。因此,本发明在半个工频周期中实现了功率因数校正的谐振软开关。这样就改善了传统图腾柱PFC硬开关的缺点,用谐振原理实现了图腾柱PFC功率半导体开关 $S_1$ 的零电压开通,减少了损耗。

[0029] 本发明和普通的图腾柱PFC相比,通过加入了实现谐振软开关的辅助电路,有效地解决了图腾柱PFC下管硬开关造成的损耗问题以及无法半个工频周期中实现软开关的问题,使图腾柱PFC下管零电压开通,减少了开通损耗,在保证PFC性能的基础上提高了整机效率。

[0030] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干简单推演或替换,都应当视为属于本发明的保护范围。

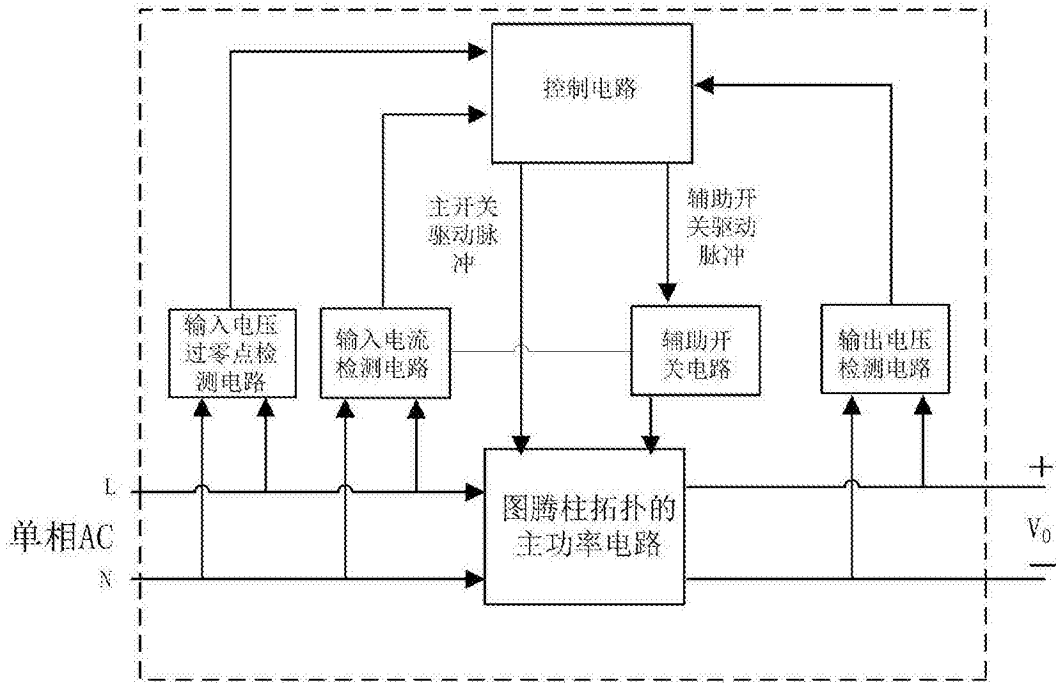


图1

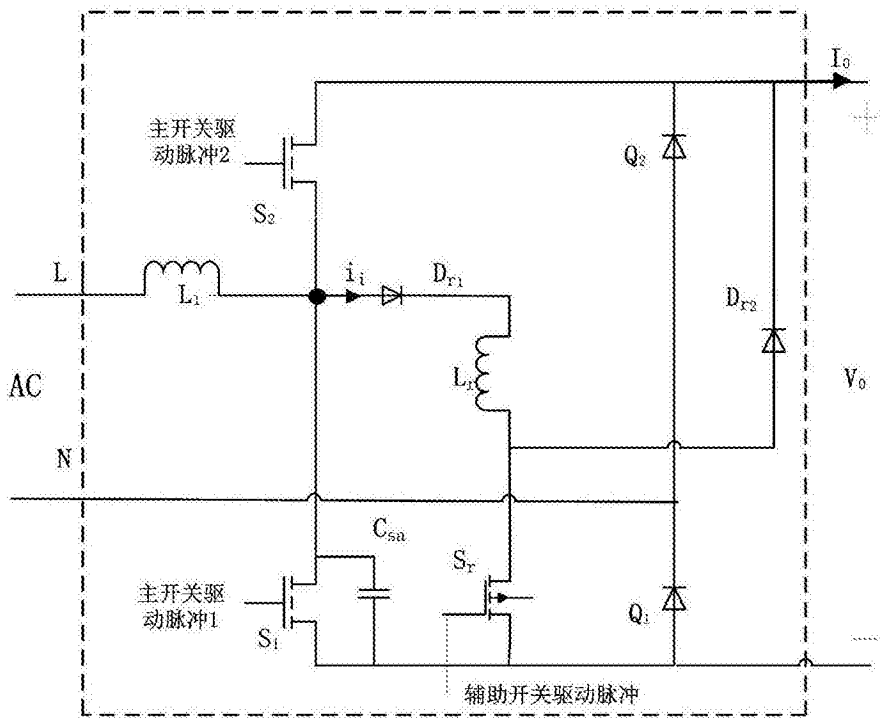


图2

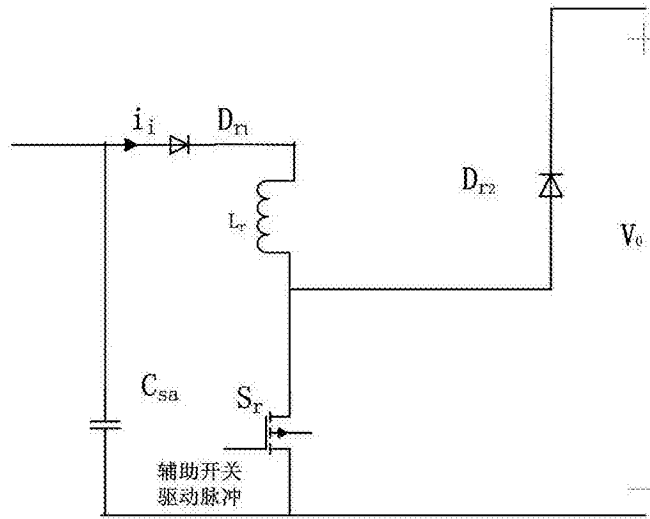


图3

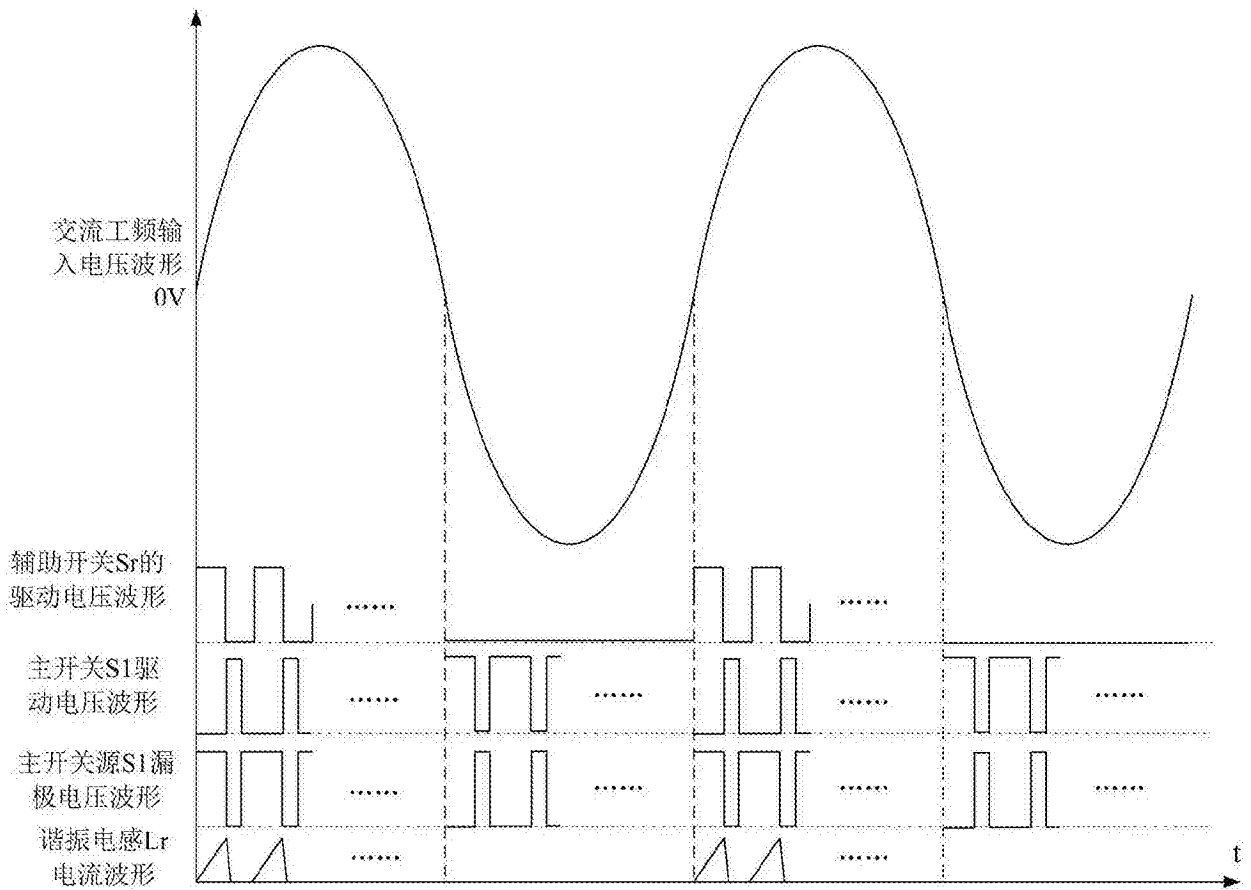


图4



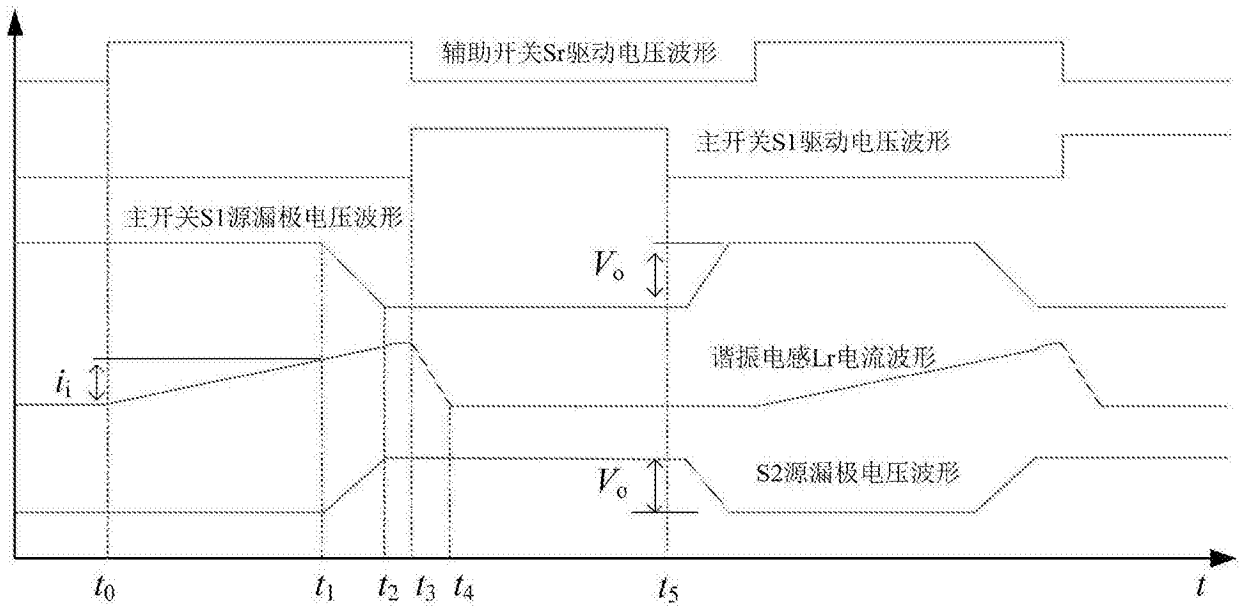


图5