



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113452254 B

(45) 授权公告日 2023. 03. 31

(21) 申请号 202110583363.2

(56) 对比文件

(22) 申请日 2021.05.27

CN 101471606 A, 2009.07.01

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 姜婷婷

申请公布号 CN 113452254 A

(43) 申请公布日 2021.09.28

(73) 专利权人 华为数字能源技术有限公司

地址 518043 广东省深圳市福田区香蜜湖
街道香安社区安托山六路33号安托山
总部大厦A座研发39层01号

(72) 发明人 陈建 刘源俊 胡志祥 王帅兵

(74) 专利代理机构 北京龙双利达知识产权代理
有限公司 11329

专利代理师 时林 肖鹏

(51) Int. Cl.

H02M 3/335 (2006.01)

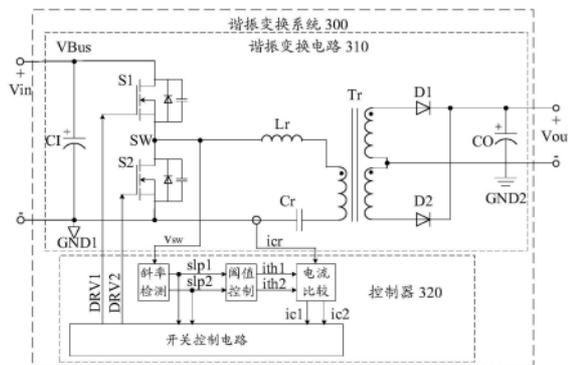
权利要求书4页 说明书14页 附图8页

(54) 发明名称

谐振变换系统和控制方法

(57) 摘要

本申请提供了一种谐振变换系统,包括:控制器;谐振变换电路,包括高频斩波电路、谐振腔、变压器和整流滤波网络,高频斩波电路包括开关S1和S2;控制器用于,检测桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据 V_{SW} 确定第一电信号;根据第一电信号确定用于指示电流阈值的电流阈值信号;检测变压器初级侧的谐振电流,并将谐振电流与电流阈值信号进行比较,确定用于指示比较结果的第二电信号;根据第二电信号控制开关S1或S2的通断,以使得系统工作在感性模式,保证开关的零电压开通,同时可以工作在接近容性模式的状态,最大化利用增益的区间。



1. 一种谐振变换系统,其特征在于,包括:

控制器;

谐振变换电路,包括高频斩波电路、谐振腔、变压器和整流滤波网络,所述高频斩波电路包括开关S1和S2,所述控制器用于通过控制所述开关S1和S2的通断,将输入所述高频斩波电路的直流电压转变为高频方波,所述谐振腔和所述变压器用于接收所述高频方波并将电能从所述变压器的初级侧耦合至次级侧,所述整流滤波网络用于将耦合至所述变压器的次级侧的交流电压转换为直流电压;

所述控制器还用于:

检测桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据所述桥臂中点电压 V_{SW} 确定第一电信号,所述桥臂中点电压 V_{SW} 为所述开关S1和S2相连的桥臂中点的电压,所述第一电信号与所述桥臂中点电压 V_{SW} 的斜率具有关联关系;

根据所述第一电信号确定电流阈值信号,所述电流阈值信号用于指示电流阈值;

检测所述变压器初级侧的谐振电流,并将所述谐振电流与所述电流阈值信号进行比较,确定第二电信号,所述第二电信号用于指示比较结果;

根据所述第二电信号控制所述开关S1或S2的通断,以使得所述系统工作在感性模式。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述第一电信号包括第一脉冲信号s1p1和第二脉冲信号s1p2,所述控制器具体用于:

检测所述桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据所述桥臂中点电压 V_{SW} 确定斜率信号 V_{SLP} ,所述斜率信号 V_{SLP} 表示所述桥臂中点电压 V_{SW} 的斜率;

根据所述斜率信号 V_{SLP} 与第一斜率阈值 V_{TH1} 确定所述第一脉冲信号s1p1,所述第一脉冲信号s1p1的脉冲长度用于指示所述斜率信号 V_{SLP} 大于所述第一斜率阈值 V_{TH1} 的时长 $ts1p1$;

根据所述斜率信号 V_{SLP} 与第二斜率阈值 V_{TH2} ,确定所述第二脉冲信号s1p2,所述第二脉冲信号s1p2的脉冲长度用于指示所述斜率信号 V_{SLP} 小于所述第二斜率阈值 V_{TH2} 的时长 $ts1p2$,所述第二斜率阈值 V_{TH2} 小于所述第一斜率阈值 V_{TH1} 。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述电流阈值信号包括用于指示第一电流阈值 $ith1$ 的第一电流阈值信号和用于指示第二电流阈值 $ith2$ 的第二电流阈值信号,所述控制器还用于:

根据所述第一脉冲信号s1p1和所述第二脉冲信号s1p2,确定所述第一电流阈值信号和所述第二电流阈值信号,其中,所述控制器具体用于:

确定第一初始电流阈值和第二初始电流阈值,所述第一初始电流阈值为正值,所述第二初始电流阈值为负值;

将所述第一脉冲信号s1p1的脉冲长度指示的时长 $ts1p1$ 与第一时间阈值 $Tth1$ 进行比较,在所述第一脉冲信号s1p1的脉冲长度指示的时长 $ts1p1$ 大于第一时间阈值 $Tth1$ 的情况下,减少所述第一初始电流阈值,以得到所述第一电流阈值 $ith1$,在所述第一脉冲信号s1p1的脉冲长度指示的时长 $ts1p1$ 小于第一时间阈值 $Tth1$ 的情况下,增大所述第一初始电流阈值,以得到所述第一电流阈值 $ith1$;

将所述第二脉冲信号s1p2的脉冲长度指示的时长 $ts1p2$ 与第二时间阈值 $Tth2$ 进行比较,在所述第二脉冲信号s1p2的脉冲长度指示的时长 $ts1p2$ 大于第二时间阈值 $Tth2$ 的情况下,增大所述第二初始电流阈值,以得到所述第二电流阈值 $ith2$,在所述第二脉冲信号

slp2的脉冲长度指示的时长 t_{slp2} 小于所述第二时间阈值 T_{th2} 的情况下,减小所述第二初始电流阈值,以得到所述第二电流阈值 i_{th2} 。

4. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述第一电信号为斜率信号 V_{SLP} ,所述斜率信号 V_{SLP} 表示所述桥臂中点电压 V_{SW} 的斜率,所述控制器具体用于:

检测所述桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据所述桥臂中点电压 V_{SW} 确定所述斜率信号 V_{SLP} 。

5. 根据权利要求4所述的系统,其特征在于,所述电流阈值信号包括用于指示第一电流阈值 i_{th1} 的第一电流阈值信号和用于指示第二电流阈值 i_{th2} 的第二电流阈值信号,所述控制器还用于:

根据所述斜率信号 V_{SLP} ,确定所述第一电流阈值信号和所述第二电流阈值信号,其中,所述控制器具体用于:

确定第一初始电流阈值和第二初始电流阈值,所述第一初始电流阈值为正值,所述第二初始电流阈值为负值;

将所述斜率信号 V_{SLP} 与第三斜率阈值 V_{TH3} 进行比较,在所述斜率信号 V_{SLP} 大于所述第三斜率阈值 V_{TH3} 的情况下,减少所述第一初始电流阈值,以得到所述第一电流阈值 i_{th1} ,在所述斜率信号 V_{SLP} 小于所述第三斜率阈值 V_{TH3} 的情况下,增大所述第一初始电流阈值,以得到所述第一电流阈值 i_{th1} ;

将所述斜率信号 V_{SLP} 与第四斜率阈值 V_{TH4} 进行比较,在所述斜率信号 V_{SLP} 大于所述第四斜率阈值 V_{TH4} 的情况下,增大所述第二初始电流阈值,以得到所述第二电流阈值 i_{th2} ,在所述斜率信号 V_{SLP} 小于所述第四斜率阈值 V_{TH4} 的情况下,减小所述第二初始电流阈值,以得到所述第二电流阈值 i_{th2} ,所述第四斜率阈值 V_{TH4} 小于所述第三斜率阈值 V_{TH3} 。

6. 根据权利要求3或5所述的系统,其特征在于,所述第二电信号包括第一开关信号 $ic1$ 和第二开关信号 $ic2$,所述控制器还用于:

检测所述变压器初级侧的谐振电流 icr ;

根据所述谐振电流 icr 与所述电流阈值信号,确定所述第一开关信号 $ic1$ 和所述第二开关信号 $ic2$,所述电流阈值信号包括用于指示第一电流阈值 i_{th1} 的第一电流阈值信号和用于指示第二电流阈值 i_{th2} 的第二电流阈值信号,其中,所述控制器具体用于:

将所述谐振电流 icr 与所述第一电流阈值 i_{th1} 进行比较,在所述谐振电流 icr 大于所述第一电流阈值 i_{th1} 的情况下,确定所述第一开关信号 $ic1$ 用于指示开通所述开关 $S1$,在所述谐振电流 icr 小于所述第一电流阈值 i_{th1} 的情况下,确定所述第一开关信号 $ic1$ 用于指示关断所述开关 $S1$;

将所述谐振电流 icr 与所述第二电流阈值 i_{th2} 进行比较,在所述谐振电流 icr 大于所述第二电流阈值 i_{th2} 的情况下,确定所述第二开关信号 $ic2$ 用于指示关断所述开关 $S2$,在所述谐振电流 icr 小于所述第二电流阈值 i_{th2} 的情况下,确定所述第二开关信号 $ic2$ 用于指示开通所述开关 $S2$ 。

7. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于,所述控制器具体用于:

根据所述第一开关信号 $ic1$,确定第一控制信号 $DRV1$,所述第一控制信号 $DRV1$ 用于控制所述开关 $S1$ 的通断;

根据所述第二开关信号 $ic2$,确定第二控制信号 $DRV2$,所述第二控制信号 $DRV2$ 用于控制所述开关 $S2$ 的通断。

8. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于,所述控制器包括:

斜率检测电路、阈值控制电路、电流比较电路和开关控制电路。

9. 根据权利要求8所述的系统,其特征在于,所述斜率检测电路包括:

检测电容 C_{sw} 、检测电阻 R_{sw} ;

所述检测电容 C_{sw} 的第一端用于接收所述桥臂中点电压 V_{sw} ,所述检测电容 C_{sw} 的第二端与所述检测电阻 R_{sw} 的第一端相连,所述检测电阻 R_{sw} 的第二端接地,其中,所述检测电阻 R_{sw} 的第一端用于输出所述斜率信号 V_{SLP} 。

10. 根据权利要求8所述的系统,其特征在于,

所述斜率检测电路还包括:第一比较器CMP1、第二比较器CMP2和第一非门INV1;

所述第一比较器CMP1的第一输入端和第二输入端分别用于接收所述斜率信号 V_{SLP} 和第一斜率阈值 V_{TH1} ,所述第一比较器CMP1的输出端用于输出第一脉冲信号 $s1p1$;

所述第二比较器CMP2的第一输入端和第二输入端分别用于接收所述斜率信号 V_{SLP} 和第二斜率阈值 V_{TH2} ,所述第二比较器CMP2的输出端与所述第一非门INV1的输入端相连,所述第一非门INV1的输出端用于输出第二脉冲信号 $s1p2$ 。

11. 根据权利要求8所述的系统,其特征在于,所述电流比较电路包括:

第三比较器CMP3、第四比较器CMP4和第二非门INV2;

所述第三比较器CMP3的第一输入端和第二输入端分别用于接收所述谐振电流 i_{cr} 和所述第一电流阈值 i_{th1} ,所述第三比较器CMP3的输出端用于输出所述第一开关信号 $ic1$;

所述第四比较器CMP4的第一输入端和第二输入端分别用于接收所述谐振电流 i_{cr} 和所述第二电流阈值 i_{th2} ,所述第四比较器CMP4的输出端与所述第二非门INV2的输入端相连,所述第二非门INV2的输出端用于输出所述第二开关信号 $ic2$ 。

12. 一种谐振变换系统的控制方法,其特征在于,所述谐振变换系统包括:

控制器;

谐振变换电路,包括高频斩波电路、谐振腔、变压器和整流滤波网络,所述高频斩波电路包括开关S1和S2,所述控制器用于通过控制所述开关S1和S2的通断,将输入所述高频斩波电路的直流电压转变为高频方波,所述谐振腔和所述变压器用于接收所述高频方波并将电能从所述变压器的初级侧耦合至次级侧,所述整流滤波网络用于将耦合至所述变压器的次级侧的交流电压转换为直流电压;

所述方法包括:

所述控制器检测桥臂中点电压 V_{sw} ,并根据所述桥臂中点电压 V_{sw} 确定第一电信号,所述桥臂中点电压 V_{sw} 为所述开关S1和S2相连的桥臂中点的电压,所述第一电信号与所述桥臂中点电压 V_{sw} 的斜率具有关联关系;

所述控制器根据所述第一电信号确定电流阈值信号,所述电流阈值信号用于指示电流阈值;

所述控制器检测所述变压器初级侧的谐振电流,并将所述谐振电流与所述电流阈值信号进行比较,确定第二电信号,所述第二电信号用于指示比较结果;

所述控制器根据所述第二电信号控制所述开关S1或S2的通断,以使得所述系统工作在感性模式。

13. 根据权利要求12所述的方法,其特征在于,所述第一电信号包括第一脉冲信号 $s1p1$

和第二脉冲信号s1p2,

所述控制器检测桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据所述桥臂中点电压 V_{SW} 确定第一电信号,包括:

所述控制器检测所述桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据所述桥臂中点电压 V_{SW} 确定斜率信号 V_{SLP} ,所述斜率信号 V_{SLP} 表示所述桥臂中点电压 V_{SW} 的斜率;

所述控制器根据所述斜率信号 V_{SLP} 与第一斜率阈值 V_{TH1} ,确定所述第一脉冲信号s1p1,所述第一脉冲信号s1p1的脉冲长度用于指示所述斜率信号 V_{SLP} 大于所述第一斜率阈值 V_{TH1} 的时长ts1p1;

所述控制器根据所述斜率信号 V_{SLP} 与第二斜率阈值 V_{TH2} ,确定所述第二脉冲信号s1p2,所述第二脉冲信号s1p2的脉冲长度用于指示所述斜率信号 V_{SLP} 小于所述第二斜率阈值 V_{TH2} 的时长ts1p2,所述第二斜率阈值 V_{TH2} 小于所述第一斜率阈值 V_{TH1} 。

谐振变换系统和控制方法

技术领域

[0001] 本申请涉及开关变换器技术领域,并且更具体地,涉及一种谐振变换系统和控制方法。

背景技术

[0002] 随着电子电力领域迅猛发展,开关变换器应用越来越广泛,为了提高变换器的效率通常需要通过实现器件的软开关。谐振型软开关拓扑可通过零电压开通(zero voltage switching,ZVS)技术实现软开关控制。

[0003] 半桥LLC通常采用脉冲频率调制控制(pulse frequency modulation,PFM),一个周期内,忽略死区时间,开关管S1和开关管S2各导通50%时间,通过调节开关频率 f_s 改变谐振腔的输入输出电压增益,实现对输出电压的调节。其中,根据谐振频率可以将其增益曲线划分成感性区域和容性区域。为了实现开关管的零电压开通,半桥LLC需要工作在感性区域;若工作在容性区域,ZVS无法实现,还会有S1和S2直通的风险。为避免进入容性模式,传统手段通常采用限频法,限制最低的工作频率,使得工作频率大于 f_m ,但是在一些异常条件下,如输出短路、过载等,会导致限频法失效使得整个系统进入容性区域工作,无法实现开关的零电压开通。

[0004] 因此,亟需一种谐振变换系统,使得系统持续工作在感性模式,保证开关的零电压开通。

发明内容

[0005] 本申请提供一种谐振变换系统和控制方法,使得系统持续工作在感性模式,保证开关的零电压开通,同时可以工作在接近容性模式的状态,最大化利用增益的区间。

[0006] 第一方面,提供了一种谐振变换系统,包括:控制器;谐振变换电路,包括高频斩波电路、谐振腔、变压器和整流滤波网络,高频斩波电路包括开关S1和S2,控制器用于通过控制开关S1和S2的通断,将输入高频斩波电路的直流电压转变为高频方波,谐振腔和变压器用于接收高频方波并将电能从变压器的初级侧耦合至次级侧,整流滤波网络用于将耦合至变压器的次级侧的交流电压转换为直流电压;控制器还用于,检测桥臂中点电压 V_{sw} ,并根据桥臂中点电压 V_{sw} 确定第一电信号,桥臂中点电压 V_{sw} 为开关S1和S2相连的桥臂中点的电压,第一电信号与桥臂中点电压 V_{sw} 的斜率具有关联关系;第一电信号确定电流阈值信号,电流阈值信号用于指示电流阈值;检测变压器初级侧的谐振电流,并将谐振电流与电流阈值信号进行比较,确定第二电信号,第二电信号用于指示比较结果;根据第二电信号控制开关S1或S2的通断,以使得系统工作在感性模式。

[0007] 根据本申请的技术方案,通过检测桥臂中点电压的变化情况,自适应调节电流阈值,进行容性保护,使得系统持续工作在感性模式下,满足开关的零电压开通,同时可以使系统工作在接近容性模式的状态,最大化利用增益的区间。

[0008] 结合第一方面,在第一方面的某些实现方式中,第一电信号包括第一脉冲信号

s1p1和第二脉冲信号s1p2,控制器具体用于:

[0009] 检测桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据桥臂中点电压 V_{SW} 确定斜率信号 V_{SLP} ,斜率信号 V_{SLP} 表示桥臂中点电压 V_{SW} 的斜率;根据斜率信号 V_{SLP} 与第一斜率阈值 V_{TH1} ,确定第一脉冲信号s1p1,第一脉冲信号s1p1的脉冲长度用于指示斜率信号 V_{SLP} 大于第一斜率阈值 V_{TH1} 的时长 $ts1p1$;根据斜率信号 V_{SLP} 与第二斜率阈值 V_{TH2} ,确定第二脉冲信号s1p2,第二脉冲信号s1p2的脉冲长度用于指示斜率信号 V_{SLP} 小于第二斜率阈值 V_{TH2} 的时长 $ts1p2$,第二斜率阈值 V_{TH2} 小于第一斜率阈值 V_{TH1} 。

[0010] 结合第一方面,在第一方面的某些实现方式中,电流阈值信号包括用于指示第一电流阈值 $ith1$ 的第一电流阈值信号和用于指示第二电流阈值 $ith2$ 的第二电流阈值信号,控制器还用于:根据第一脉冲信号s1p1和第二脉冲信号s1p2,确定第一电流阈值信号和第二电流阈值信号,其中,控制器具体用于:

[0011] 确定第一初始电流阈值和第二初始电流阈值,第一初始电流阈值为正值,第二初始电流阈值为负值。

[0012] 将第一脉冲信号的脉冲长度指示的时长 $ts1p1$ 与第一时间阈值 $Tth1$ 进行比较,在第一脉冲信号的脉冲长度指示的时长 $ts1p1$ 大于第一时间阈值 $Tth1$ 的情况下,减少第一初始电流阈值,以得到第一电流阈值 $ith1$,在第一脉冲信号的脉冲长度指示的时长 $ts1p1$ 小于第一时间阈值 $Tth1$ 的情况下,增大第一初始电流阈值,以得到第一电流阈值 $ith1$ 。

[0013] 将第二脉冲信号的脉冲长度指示的时长 $ts1p2$ 与第二时间阈值 $Tth2$ 进行比较,在第二脉冲信号的脉冲长度指示的时长 $ts1p2$ 大于第二时间阈值 $Tth2$ 的情况下,增大第二初始电流阈值,以得到第二电流阈值 $ith2$,在第二脉冲信号的脉冲长度指示的时长 $ts1p2$ 小于第二时间阈值 $Tth2$ 的情况下,减小第二初始电流阈值,以得到第二电流阈值 $ith2$ 。

[0014] 根据本申请的技术方案,通过检测桥臂中点电压的变化情况,确定脉冲信号的脉冲长度指示的时长,自适应调节电流阈值,进行容性保护,使得系统持续工作在感性模式下,满足开关的零电压开通,同时可以使系统工作在接近容性模式的状态,最大化利用增益的区间。

[0015] 结合第一方面,在第一方面的另一种实现方式中,第一电信号为斜率信号 V_{SLP} ,斜率信号 V_{SLP} 表示桥臂中点电压 V_{SW} 的斜率,斜率检测电路具体用于:

[0016] 检测桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据桥臂中点电压 V_{SW} 输出斜率信号 V_{SLP} 。

[0017] 结合第一方面,在第一方面的另一种实现方式中,电流阈值信号包括用于指示第一电流阈值 $ith1$ 的第一电流阈值信号和用于指示第二电流阈值 $ith2$ 的第二电流阈值信号,控制器还用于:根据斜率信号 V_{SLP} ,确定第一电流阈值信号和第二电流阈值信号,其中,控制器具体用于:

[0018] 确定第一初始电流阈值和第二初始电流阈值,第一初始电流阈值为正值,第二初始电流阈值为负值。

[0019] 将斜率信号 V_{SLP} 与第三斜率阈值 V_{TH3} 进行比较,在斜率信号 V_{SLP} 大于第三斜率阈值 V_{TH3} 的情况下,减少第一初始电流阈值,以得到第一电流阈值 $ith1$,在斜率信号 V_{SLP} 小于第三斜率阈值 V_{TH3} 的情况下,增大第一初始电流阈值,以得到第一电流阈值 $ith1$ 。

[0020] 将斜率信号 V_{SLP} 与第四斜率阈值 V_{TH4} 进行比较,在斜率信号 V_{SLP} 大于第四斜率阈值 V_{TH4} 的情况下,增大第二初始电流阈值,以得到第二电流阈值 $ith2$,在斜率信号 V_{SLP} 小于第四

斜率阈值 V_{TH4} 的情况下,减小第二初始电流阈值,以得到第二电流阈值 i_{th2} ,第四斜率阈值 V_{TH4} 小于第三斜率阈值 V_{TH3} 。

[0021] 根据本申请的技术方案,通过检测桥臂中点电压的变化情况,确定电压变化的速度,自适应调节电流阈值,进行容性保护,使得系统持续工作在感性模式下,满足开关的零电压开通,同时可以使系统工作在接近容性模式的状态,最大化利用增益的区间。

[0022] 结合第一方面,在第一方面的实现方式中,第二电信号包括第一开关信号 $ic1$ 和第二开关信号 $ic2$,控制器还用于:检测变压器初级侧的谐振电流 icr ;根据谐振电流 icr 与电流阈值信号,输出第一开关信号 $ic1$ 和第二开关信号 $ic2$,所述电流阈值信号包括用于指示第一电流阈值 i_{th1} 的第一电流阈值信号和用于指示第二电流阈值 i_{th2} 的第二电流阈值信号,其中,控制器具体用于:

[0023] 将谐振电流 icr 与第一电流阈值 i_{th1} 进行比较,在谐振电流 icr 大于第一电流阈值 i_{th1} 的情况下,确定第一开关信号 $ic1$ 用于指示开通开关 $S1$,在谐振电流 icr 小于第一电流阈值 i_{th1} 的情况下,确定第一开关信号 $ic1$ 用于指示关断开关 $S1$;

[0024] 将谐振电流 icr 与第二电流阈值 i_{th2} 进行比较,在谐振电流 icr 大于第二电流阈值 i_{th2} 的情况下,确定第二开关信号 $ic2$ 用于指示关断开关 $S2$,在谐振电流 icr 小于第二电流阈值 i_{th2} 的情况下,确定第二开关信号 $ic2$ 用于指示开通开关 $S2$ 。

[0025] 结合第一方面,在第一方面的实现方式中,控制器具体用于:根据第一开关信号 $ic1$,确定第一控制信号 $DRV1$,第一控制信号 $DRV1$ 用于控制开关 $S1$ 的通断;根据第二开关信号 $ic2$,确定第二控制信号 $DRV2$,第二控制信号 $DRV2$ 用于控制开关 $S2$ 的通断。

[0026] 作为一种可能的实现方式,控制器包括:斜率检测电路、阈值控制电路、电流比较电路和开关控制电路。

[0027] 可选地,在本申请实施例中,斜率检测电路包括:检测电容 C_{sw} 、检测电阻 R_{sw} 。

[0028] 其中,检测电容 C_{sw} 的第一端用于接收桥臂中点电压 V_{sw} ,检测电容 C_{sw} 的第二端与检测电阻 R_{sw} 的第一端相连,检测电阻 R_{sw} 的第二端接地,其中,检测电阻 R_{sw} 的第一端用于输出斜率信号 V_{SLP} 。

[0029] 可选地,在本申请实施例中,斜率检测电路还包括:第一比较器 $CMP1$ 、第二比较器 $CMP2$ 和第一非门 $INV1$ 。

[0030] 其中,第一比较器 $CMP1$ 的第一输入端和第二输入端分别用于接收斜率信号 V_{SLP} 和第一斜率阈值 V_{TH1} 信号,第一比较器 $CMP1$ 的输出端用于输出第一脉冲信号 $s1p1$;第二比较器 $CMP2$ 的第一输入端和第二输入端分别用于接收斜率信号 V_{SLP} 和第二斜率阈值 V_{TH2} 信号,第二比较器 $CMP2$ 的输出端与第一非门 $INV1$ 的输入端相连,第一非门 $INV1$ 的输出端用于输出第二脉冲信号 $s1p2$ 。

[0031] 可选地,在本申请实施例中,电流比较电路包括:第三比较器 $CMP3$ 、第四比较器 $CMP4$ 和第二非门 $INV2$ 。

[0032] 其中,第三比较器 $CMP3$ 的第一输入端和第二输入端分别用于接收谐振电流 icr 和第一电流阈值 i_{th1} ,第三比较器 $CMP3$ 的输出端用于输出第一开关信号 $ic1$;第四比较器 $CMP4$ 的第一输入端和第二输入端分别用于接收谐振电流 icr 和第二电流阈值 i_{th2} ,第四比较器 $CMP4$ 的输出端与第二非门 $INV2$ 的输入端相连,第二非门 $INV2$ 的输出端用于输出第二开关信号 $ic2$ 。

[0033] 第二方面,提供了一种谐振变换系统的控制方法,谐振变换系统包括:控制器;谐振变换电路,包括高频斩波电路、谐振腔、变压器和整流滤波网络,高频斩波电路包括开关S1和S2,控制器用于通过控制开关S1和S2的通断,将输入高频斩波电路的直流电压转变为高频方波,谐振腔和变压器用于接收高频方波并将电能从变压器的初级侧耦合至次级侧,整流滤波网络用于将耦合至变压器的次级侧的交流电压转换为直流电压。该方法包括:控制器检测桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据桥臂中点电压 V_{SW} 确定第一电信号,桥臂中点电压 V_{SW} 为开关S1和S2相连的桥臂中点的电压,第一电信号与桥臂中点电压 V_{SW} 的斜率具有关联关系;控制器根据第一电信号确定电流阈值信号,电流阈值信号用于指示电流阈值;控制器检测变压器初级侧的谐振电流,并将谐振电流与电流阈值信号进行比较,确定第二电信号,第二电信号用于指示比较结果;控制器根据第二电信号控制开关S1或S2的通断,以使得系统工作在感性模式。

[0034] 根据本申请的技术方案,通过检测桥臂中点电压的变化情况,自适应调节电流阈值,进行容性保护,使得系统持续工作在感性模式下,满足开关的零电压开通,同时可以使系统工作在接近容性模式的状态,最大化利用增益的区间。

[0035] 结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,第一电信号包括第一脉冲信号s1p1和第二脉冲信号s1p2,控制器检测桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据桥臂中点电压 V_{SW} 确定第一电信号,包括:

[0036] 控制器检测桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据桥臂中点电压 V_{SW} 确定斜率信号 V_{SLP} ,斜率信号 V_{SLP} 表示桥臂中点电压 V_{SW} 的斜率;

[0037] 控制器根据斜率信号 V_{SLP} 与第一斜率阈值 V_{TH1} ,确定第一脉冲信号s1p1,第一脉冲信号s1p1的脉冲长度用于指示斜率信号 V_{SLP} 大于第一斜率阈值 V_{TH1} 的时长ts1p1;

[0038] 控制器根据斜率信号 V_{SLP} 与第二斜率阈值 V_{TH2} ,确定第二脉冲信号s1p2,第二脉冲信号s1p2的脉冲长度用于指示斜率信号 V_{SLP} 小于第二斜率阈值 V_{TH2} 的时长ts1p2,第二斜率阈值 V_{TH2} 小于第一斜率阈值 V_{TH1} 。

[0039] 结合第二方面,在第二方面的某些实现方式中,电流阈值信号包括用于指示第一电流阈值ith1的第一电流阈值信号和用于指示第二电流阈值ith2的第二电流阈值信号,控制器根据第一电信号确定电流阈值信号,包括:控制器根据第一脉冲信号s1p1和第二脉冲信号s1p2,确定第一电流阈值信号和第二电流阈值信号。

[0040] 其中,根据第一脉冲信号s1p1和第二脉冲信号s1p2,确定第一电流阈值信号和第二电流阈值信号,包括:

[0041] 控制器确定第一初始电流阈值和第二初始电流阈值,第一初始电流阈值为正值,第二初始电流阈值为负值。

[0042] 控制器将第一脉冲信号的脉冲长度指示的时长ts1p1与第一时间阈值Tth1进行比较,在第一脉冲信号s1p1的脉冲长度指示的时长ts1p1大于第一时间阈值Tth1的情况下,减少第一初始电流阈值,以得到第一电流阈值ith1,在第一脉冲信号s1p1的脉冲长度指示的时长ts1p1小于第一时间阈值Tth1的情况下,增大第一初始电流阈值,以得到第一电流阈值ith1。

[0043] 控制器将第二脉冲信号的脉冲长度指示的时长ts1p2与第二时间阈值Tth2进行比较,在第二脉冲信号s1p2的脉冲长度指示的时长ts1p2大于第二时间阈值Tth2的情况下,增

大第二初始电流阈值,以得到第二电流阈值 i_{th2} ,在第二脉冲信号 s_{lp2} 的脉冲长度指示的时长 t_{slp2} 小于第二时间阈值 T_{th2} 的情况下,减小第二初始电流阈值,以得到第二电流阈值 i_{th2} 。

[0044] 根据本申请的技术方案,通过检测桥臂中点电压的变化情况,确定脉冲信号的脉冲长度指示的时长,自适应调节电流阈值,进行容性保护,使得系统持续工作在感性模式下,满足开关的零电压开通,同时可以使系统工作在接近容性模式的状态,最大化利用增益的区间。

[0045] 结合第二方面,在第二方面的另一些实现方式中,第一电信号为斜率信号 V_{SLP} ,斜率信号 V_{SLP} 表示桥臂中点电压 V_{SW} 的斜率,控制器检测桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据桥臂中点电压 V_{SW} 确定第一电信号,包括:控制器检测桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据桥臂中点电压 V_{SW} 确定斜率信号 V_{SLP} 。

[0046] 结合第二方面,在第二方面的另一些实现方式中,电流阈值信号包括用于指示第一电流阈值 i_{th1} 的第一电流阈值信号和用于指示第二电流阈值 i_{th2} 的第二电流阈值信号,控制器根据第一电信号确定电流阈值信号,包括:控制器根据斜率信号 V_{SLP} ,确定第一电流阈值信号和第二电流阈值信号。

[0047] 其中,阈值控制电路根据斜率信号 V_{SLP} ,确定第一电流阈值信号和第二电流阈值信号,包括:

[0048] 确定第一初始电流阈值和第二初始电流阈值,第一初始电流阈值为正值,第二初始电流阈值为负值。

[0049] 控制器将斜率信号 V_{SLP} 与第三斜率阈值 V_{TH3} 进行比较,在斜率信号 V_{SLP} 大于第三斜率阈值 V_{TH3} 的情况下,减少第一初始电流阈值,以得到第一电流阈值 i_{th1} ,在斜率信号 V_{SLP} 小于第三斜率阈值 V_{TH3} 的情况下,增大第一初始电流阈值,以得到第一电流阈值 i_{th1} 。

[0050] 控制器将斜率信号 V_{SLP} 与第四斜率阈值 V_{TH4} 进行比较,在斜率信号 V_{SLP} 大于第四斜率阈值 V_{TH4} 的情况下,增大第二初始电流阈值,以得到第二电流阈 i_{th2} ,在斜率信号 V_{SLP} 小于第四斜率阈值 V_{TH4} 的情况下,减小第二初始电流阈值,以得到第二电流阈值 i_{th2} ,第四斜率阈值 V_{TH4} 小于第三斜率阈值 V_{TH3} 。

[0051] 根据本申请的技术方案,通过检测桥臂中点电压的变化情况,确定电压变化的速度,自适应调节电流阈值,进行容性保护,使得系统持续工作在感性模式下,满足开关的零电压开通,同时可以使系统工作在接近容性模式的状态,最大化利用增益的区间。

[0052] 结合第二方面,在第二方面的实现方式中,第二电信号包括第一开关信号 $ic1$ 和第二开关信号 $ic2$,控制器检测变压器初级侧的谐振电流,并将谐振电流与电流阈值信号进行比较,确定第二电信号,包括:控制器检测变压器初级侧的谐振电流 icr ;控制器根据谐振电流 icr 与电流阈值信号,确定第一开关信号 $ic1$ 和第二开关信号 $ic2$,电流阈值信号包括用于指示第一电流阈值 i_{th1} 的第一电流阈值信号和用于指示第二电流阈值 i_{th2} 的第二电流阈值信号。

[0053] 其中,控制器根据谐振电流 icr 与电流阈值信号,确定第一开关信号 $ic1$ 和第二开关信号 $ic2$,包括:

[0054] 控制器将谐振电流 icr 与第一电流阈值 i_{th1} 进行比较,在谐振电流 icr 大于第一电流阈值 i_{th1} 的情况下,第一开关信号 $ic1$ 用于指示开通开关 $S1$,在谐振电流 icr 小于第一电

流阈值 i_{th1} 的情况下,第一开关信号 $ic1$ 用于指示关断开关 $S1$,并确定第一开关信号 $ic1$ 。

[0055] 控制器将谐振电流 icr 与第二电流阈值 i_{th2} 进行比较,在谐振电流 icr 大于第二电流阈值 i_{th2} 的情况下,第二开关信号 $ic2$ 用于指示关断开关 $S2$,在谐振电流 icr 小于第二电流阈值 i_{th2} 的情况下,第二开关信号 $ic2$ 用于指示开通开关 $S2$,并确定第二开关信号 $ic2$ 。

[0056] 结合第二方面,在第二方面的实现方式中,控制器根据第二电信号控制开关 $S1$ 或 $S2$ 的通断,包括:控制器根据第一开关信号 $ic1$,确定第一控制信号 $DRV1$,第一控制信号 $DRV1$ 用于控制开关 $S1$ 的通断;控制器根据第二开关信号 $ic2$,确定第二控制信号 $DRV2$,第二控制信号 $DRV2$ 用于控制开关 $S2$ 的通断。

[0057] 作为一种可能的实现方式,控制器包括:斜率检测电路、阈值控制电路、电流比较电路和开关控制电路。

附图说明

[0058] 图1是DC-DC谐振变换器的示意图。

[0059] 图2是半桥LLC谐振变换器拓扑200的示意图。

[0060] 图3是LLC工作的感性区和容性区的示意图。

[0061] 图4是本申请实施例提供的谐振变换系统的一例结构示意图。

[0062] 图5是本申请实施例提供的斜率检测电路的一例结构示意图。

[0063] 图6是本申请实施例提供的电流比较电路的一例结构示意图。

[0064] 图7是本申请实施例提供的阈值控制电路和开关控制电路一例波形图。

[0065] 图8是本申请实施例提供的谐振变换系统的另一例结构示意图。

[0066] 图9是本申请实施例提供的斜率检测电路的另一例结构示意图。

[0067] 图10是本申请实施例提供的阈值控制电路和开关制电路另一例波形图。

[0068] 图11是本申请实施例提供的谐振变换系统控制方法的一例流程示意图。

[0069] 图12是本申请实施例提供的谐振变换系统控制方法的另一例流程示意图。

[0070] 图13是本申请实施例提供的控制设备的一例示意性框图。

具体实施方式

[0071] 下面将结合附图,对本申请中的技术方案进行描述。

[0072] 为便于理解本申请实施例,下面将结合图1和图2对本申请实施例的应用场景进行介绍。

[0073] 图1是一种典型的DC-DC谐振变换器的示意图。如图1(a)所示,谐振变换器可以将直流输入经过高频斩波得到高频方波,然后经过谐振腔以及变压器实现调压以及软开关实现,最后通过整流滤波得到需要的直流输出。其中,如果高频斩波电路采用半桥电路,谐振腔采用LLC型,整流采用二极管全波整流则得到如图1(b)所示的常用的半桥LLC谐振变换器拓扑100(后面简称半桥LLC)。该谐振变换器100包括高频斩波电路101,谐振腔102、变压器103和整流滤波网络104。其中,高频斩波电路101包括输入滤波电容 $C1$,开关 $S1$ 和 $S2$ (开关上的二极管为其体二极管,电容为其寄生电容);谐振腔102包括谐振电感 Lr 和谐振电容 Cr ,该谐振电感 Lr 包括变压器的漏感和外加的电感,也可以全部集成在变压器103里面,变压器103可以是变压器 Tr ,其初级侧励磁电感为 Lm ;整流滤波网络104包括二极管 $D1$ 和 $D2$,以及输

出滤波电容C0。

[0074] 半桥LLC通常采用脉冲频率调制控制(pulse frequency modulation,PFM),一个周期内,忽略死区时间,S1和S2个各导通50%时间,通过调节开关频率 f_s 改变谐振腔的输入输出电压增益,实现对输出电压的调节。其谐振腔依据变压器的励磁电感 L_m 是否参与谐振,得到两个谐振频率如下:

$$[0075] \quad f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r \cdot C_r}} \quad (1)$$

$$[0076] \quad f_m = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_r + L_m) \cdot C_r}} \quad (2)$$

[0077] 其中,公式(1)表示变压器的励磁电感 L_m 不参与谐振时的谐振频率,公式(2)表示变压器的励磁电感 L_m 参与谐振时的谐振频率。根据谐振频率可以将其增益曲线划分成感性区域和容性区域,如图2所示, f_m 为增益峰值点的频率,也是容性区域和感性区域分界点,当工作在 f_r 时,电压增益恒定为1。为了实现S1和S2的零电压开通,半桥LLC需要工作在感性区域;若工作在容性区域,ZVS无法实现,还会有S1和S2直通的风险。为避免进入容性模式,传统通常采用限频法,限制最低的工作频率,使得工作频率大于 f_m ,但是在一些异常条件下,如输出短路、过载等,系统Q值增大后, f_m 值增大,会导致限频法失效而进入容性区域工作。

[0078] 在面对上述技术问题时,现有技术一般采用以下处理方法:

[0079] (1) 在传统半桥LLC谐振变换器拓扑中引入斜率检测电路、延迟振荡器和开关电路。如图3(a)所示,在正常状态下,S1或S2关断后,SW电压将下降或者上升,以S1为例,当其导通时,SW点电压等于输入电压 V_{in} ,当S1关断时,SW点电压从 V_{in} 下降到0,然后开通S2实现零电压开通。但是若系统进入容性模式,S1关断后,SW点电压将不发生变化。因此,现有技术中可以通过斜率检测电路检测S1关断后,SW点电压是否变化来判断电路是否进入容性模式。判断进入容性模式后,延迟振荡器进行延时,待电流极性正常或振荡器延时时间到后,再打开开关管;然后在确保安全的条件下逐步提高开关频率,从而避免长时间处于容性区造成开关管损坏。但是在该技术中,实际上在整个系统已经进入容性模式工作才动作,电路存在损坏的风险,同时,由于振荡器延时时间为一预设的固定值,在振荡器延时时间结束后,可能SW点电压并未降为零,导致无法实现开关管的零电压开通。

[0080] (2) 在传统半桥LLC谐振变换器拓扑中引入电流比较电路和开关控制电路。其工作原理如图3(b)所示,在感性模式下,S1或者S2关断时,谐振电流应该大于某一阈值(正阈值)或者小于某一阈值(负阈值)。以S1为例,S1关断时,谐振电流应该大于某一阈值(正阈值),若关断时电流小于这一阈值,如图3(b)中 t_0 时刻,系统将进入容性区域。该技术通过谐振电流与这一阈值的比较判断容性模式,当容性模式触发时,关闭S1和S2的若干个周期,如图 t_0 到 t_1 期间,等到满足开通条件后(例如, t_1 时刻)才重新开启S1或S2。但是,在该技术中,在关闭S1和S2的若干个周期里,系统没有带载能力,除此之外,仍旧是在整个系统已经进入容性模式工作才出发保护,电路存在损坏的风险。

[0081] (3) 与上述(2)中原理一样通过谐振电流与阈值比较进行控制,不同的是该技术中控制谐振电流绝对值小于阈值的时候,直接关断S1或者S2的,因此系统可以在接近容性模式区域工作,而且由于阈值的限制不会进入容性模式。如图3(c)所示,原本S1应该在 t_1 时刻关断,但是 t_0 时刻,谐振电流 i_{cr} 低于电流阈值,S1会直接关断,从而防止进入容性模式。但

在实际应用中,系统在不同工作状态下,电流变化的速度不一样,固定的阈值无法得到最优的控制,阈值过大导致电压增益裕量的浪费,阈值过小不能保障ZVS的可靠实现。

[0082] 基于上述原因,本申请提供了一种谐振变换系统,使得系统持续工作中在感性模式,保证开关的零电压开通,同时可以工作在接近容性模式的状态,最大化利用增益的区间。

[0083] 图4示出了本申请实施例提供的变换系统的一例结构示意图。如图4所示,谐振变换系统300包括谐振变换电路310和控制器320。其中,控制器320包括斜率检测电路、阈值控制电路、电流比较电路和开关控制电路,谐振变换电路310与图1(b)中所示的谐振变换器100结构基本相同,在此不再赘述。

[0084] 应理解,谐振变换电路310中的开关S1与S2可以是采用硅半导体材料(silicon, Si)或者第三代宽禁带半导体材料的碳化硅(silicon carbide, SiC)或者氮化镓(gallium nitride, GaN)等材料制成的金属氧化物半导体场效应晶体管(metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, MOSFET)或绝缘栅双极性晶体管(insulated gate bipolar transistor, IGBT),本申请不对其进行限定。

[0085] 在本申请实施例中,控制器可以通过斜率检测电路检测桥臂中点的电压,并通过阈值控制电路根据桥臂的中点电压变化信号脉冲的脉冲长度指示的时间长度自适应调节电流阈值,最后通过电流比较电路控制开关的关断,限制频率不会进入容性区域,使得系统可以接近容性区域工作,最大化利用增益的区间。

[0086] 下面将结合图5、图6和图7对该实施例进行详细说明。

[0087] 图5示出了本申请实施例提供的斜率检测电路的一例结构示意图。如图5(a)所示,斜率检测电路包括检测电容 C_{sw} 、检测电阻 R_{sw} 、两个比较器CMP1和CMP2,非门INV1,其工作波形图如图(b)所示。开关S1关断到S2导通,桥臂中点电压会从 V_{in} 下降;对应地,当S2关断到S1导通,桥臂中点电压会从0开始上升。因此,根据检测电容 C_{sw} 和检测电阻 R_{sw} 可以检测桥臂中点的电压变化。其变化斜率 V_{slp} 如公式(3)所示:

$$[0088] \quad V_{slp} = R_{sw} \cdot C_{sw} \cdot \frac{dv_{sw}}{dt} \quad (3)$$

[0089] 当 V_{slp} 大于 V_{TH1} 时, $slp1$ 输出置1,当 V_{slp} 小于 V_{TH2} 时, $slp2$ 输出置1,因此通过 $slp1$ 和 $slp2$ 可以检测得到SW处斜率的变化,其中,本申请实施例对速度阈值 V_{TH1} 和 V_{TH2} 的确定方式不做限定,例如,可以根据实际测试、仿真模拟或理论计算等方式。作为一种可能的实现方式,可以根据谐振电流的大小,结合谐振电容,可以得到 dv_{sw}/dt ,根据斜率采样阻容参数即可得到 V_{TH1} 和 V_{TH2} 阈值的大小,其中 V_{TH2} 小于 V_{TH1} ,可选地, V_{TH1} 可以为正值, V_{TH2} 可以为一负值。

[0090] 图6示出了本申请实施例提供的电流比较电路的一例结构示意图。如图6(a)所示,电流比较电路包括两个比较器CMP3和CMP4以及非门INV2,其波形图如图6(b)所示。 i_{cr} 为谐振电容 C_r 电流的采样电流,当电流低于阈值 i_{th1} 时, $ic1$ 输出由1置0,当 i_{cr} 大于 i_{th2} 时, $ic2$ 输出由1置0。电流比较电路用于容性模式的判断,当S1还导通时,若 $ic1$ 输出由1置0,则表示容性模式触发,然后关闭S1,从而防止系统进入容性模式;同理,当S2导通时,若 $ic2$ 输出由1置0,则表示容性模式触发,然后关闭S2。其中,阈值 i_{th1} 和 i_{th2} 由阈值控制电路提供。

[0091] 图7示出了本申请实施例提供的阈值控制电路和开关控制电路波形图,其中,第一

电流阈值 i_{th1} 和第二电流阈值 i_{th2} 分别由阈值控制电路确定的第一初始电流阈值和第二初始电流阈值经调解后得到,第一初始电流阈值和第一初始电流阈值是根据电路设计好的预设值。

[0092] 可选地,第一初始电流阈值可以为一个正值,第二初始电流阈值可以为一个负值,参照上述 V_{TH1} 和 V_{TH2} 的确定方式,第一初始电流阈值和第二初始电流阈值可以由实际测试、仿真模拟或理论计算等方式确定。

[0093] 在正常感性模式,当DRV 1和DRV 2关断时刻, i_{cr} 都大于阈值 i_{th1} 和 i_{th2} ,因此不会触发容性模式保护。如图7(a)所示, t_0 时刻,DRV 1关断,此时 i_{cr} 仍大于 i_{th1} ,容性模式未触发; t_1 时刻, s_{lp2} 由1变成0,表示 V_{sw} 电压从 V_{in} 减小到0,此时导通S2可以实现ZVS。同理,在 t_2 时刻,DRV 2关断,此时 i_{cr} 仍大于 i_{th2} ,容性模式未触发; t_3 时刻, s_{lp1} 由1变成0,表示 V_{sw} 电压从 V_{in} 减小到0,此时导通S1可以实现ZVS。

[0094] 图7(b)示出了接近容性模式下的阈值控制电路和开关控制电路波形图。当开关S1和S2的开关频率不断降低到接近谐振频率 f_m 时,即接近容性区域时,如图7(b)所示,在 t_3 时刻谐振电流 i_{cr} 大于 i_{th2} , i_{c2} 由1变0,此时关断S2,则S1和S2的开关频率将被限制而不会继续降低而进入容性区域。S2关断后,谐振电流 i_{cr} 将对S1电容进行放电,对S2电容进行充电, sw 点电压上升,通过斜率检测电路得到 s_{lp1} 。

[0095] 阈值控制电路可以通过检测 s_{lp1} (或 s_{lp2})进行电流阈值 i_{th1} 以及 i_{th2} 的自适应调节,以保证系统持续工作在感性模式,满足开关的零电压开通,同时可以工作在接近容性模式的状态,最大化利用增益区间。

[0096] 例如,图7(c)中 t_3 时刻,若 i_{th2} 设置太小(绝对值), sw 点的电压 V_{sw} 变化缓慢, s_{lp1} 脉冲长度指示的时间变长,不能充分利用增益区间。所以阈值控制电路可以检测 s_{lp1} 脉冲长度指示的时间长度 $ts_{lp1}(t_4-t_3)$,当 ts_{lp1} 大于时间阈值 T_{th1} ,判断为阈值 i_{th2} (绝对值)设置太小,因此增加阈值 i_{th1} 和 i_{th2} (绝对值)。如图7(c)中 t_4 时刻,判断 $ts_{lp1}(t_4-t_3)$ 大于时间阈值 T_{th1} ,控制电流阈值 i_{th1} 和 i_{th2} (绝对值)增大, t_6 时刻 i_{cr} 低于电流阈值 i_{th1} 时关断,由于 i_{th1} 增大了, V_{sw} 变化速度加快, $ts_{lp2}(t_7-t_6)$ 减小。

[0097] 其中,时间阈值 T_{th1} 是固定的预设值,其可以由实际测试、仿真模拟或理论计算等方式确定,本申请对其确定方式不作限定。下文中的时间阈值 T_{th2} 与此同理,在此不再赘述。

[0098] 又例如,图7(d)中 t_3 时刻,若 i_{th2} 设置太大(绝对值), sw 点的电压 V_{sw} 变化太快, s_{lp2} 脉冲长度指示的时间很短,系统可能进入容性模式,不利于开关零电压开通的实现。所以阈值控制电路检测 s_{lp2} 脉冲长度指示的时间长度 ts_{lp2} ,当脉冲长度指示的时间 ts_{lp2} 小于时间阈值 T_{th2} ,判断为电流阈值设置太小,因此减小电流阈值 i_{th1} 和 i_{th2} (绝对值)。如图7(d)中 t_4 时刻,判断 $ts_{lp2}(t_4-t_3)$ 小于时间阈值 T_{th2} ,控制电流阈值 i_{th1} 和 i_{th2} (绝对值)增大, t_6 时刻 i_{cr} 低于电流阈值 i_{th1} 时关断,由于 i_{th1} 减小了, V_{sw} 变化速度变慢, $ts_{lp2}(t_7-t_6)$ 增大,系统可以在接近容性模式下工作而不会进入容性区域。

[0099] 根据本申请的技术方案,控制器可以通过斜率检测电路检测桥臂中点的电压,并通过阈值控制电路根据桥臂的中点电压自适应调节电流阈值,最后通过电流比较电路控制开关的关断,限制频率不会进入容性区域,使得系统可以持续工作在感性区域,实现零电压开通,并最大化利用增益的区间。

[0100] 图8示出了本申请实施例提供的谐振变换系统的另一例结构示意图。如图8所示,谐振变换系统400包括谐振变换电路410和控制器420,其结构与图4中所示的谐振变换系统300基本相同,在此不再赘述。

[0101] 在该实施例中,控制器可以通过斜率检测电路检测桥臂中点的电压,并通过阈值控制电路根据桥臂的中点电压变化幅值自适应调节电流阈值。因此,如图9所示,该实施例中,斜率检测电路不再将slp1和slp2信号输送给阈值控制电路,仅提供给开关控制电路进行死区时间控制,而需要将Vslp信号输出到阈值控制模块,用于ith1和ith2的判断。电流比较电路与上述实施例中相同,具体请参照图6中的描述。

[0102] 图10示出了本申请实施例提供的阈值控制电路和开关控制电路波形图。如图10所示,slp1和slp2同样根据Vslp和速度阈值 V_{TH1} 和 V_{TH2} 比较得到,但是仅仅用于死区的控制。例如,图中 t_1 时刻,slp2由1变成0,代表Vsw电压从Vin降低到0,此时死区时间结束,可以导通S2。

[0103] 应理解,与上述实施例相同,第一电流阈值ith1和第二电流阈值ith2分别由阈值控制电路确定的第一初始电流阈值和第二初始电流阈值经调解后得到,第一初始电流阈值和第一初始电流阈值是根据电路设计好的预设值。

[0104] 还应理解,本申请实施例对速度阈值 V_{TH3} 和 V_{TH4} 的确定方式不做限定,例如,可以根据实际测试、仿真模拟或理论计算等方式。作为一种可能的实现方式,可以根据谐振电流的大小,结合谐振电容,可以得到dvsw/dt,根据斜率采样阻容参数即可得到 V_{TH3} 和 V_{TH4} 阈值的大小,其中 V_{TH4} 小于 V_{TH3} ,优选地, V_{TH3} 可以为正值, V_{TH4} 可以为一负值。

[0105] 在本实施例中,电流阈值ith1和ith2的自适应调节通过Vslp电压幅值与阈值 V_{TH3} 和 V_{TH4} 进行控制。根据上述公式3可知,开关关断时刻,icr越大,Vsw变化速度越快,Vslp的电压幅值越大。如图10中 t_3 到 t_4 时间内,Vslp均低于 V_{TH3} ,表示vsw变化速度变化过慢,这可能导致不能充分利用增益区间。因此可以增加电流阈值ith1和ith2(绝对值), t_6 时刻icr低于阈值ith1时关断,由于ith1增大了,Vsw变化速度加快,Vslp电压提高,直到大于阈值 V_{TH3} (绝对值),这样,可以使得系统可以工作在接近容性模式的状态,最大化利用增益区间。同理,若Vslp电压大于另一阈值(例如, V_{TH5} 和 V_{TH6}),表示Vsw变化速度变化过快,这可能导致系统进入容性模式,不利于开关零电压开通的实现。因此可以减小电流阈值ith1和ith2(绝对值),在电流阈值ith1和ith2(绝对值)减小后,Vsw变化速度变慢,这样,可以使得系统持续工作在感性模式,满足开关的零电压开通。

[0106] 根据本申请的技术方案,控制器可以通过斜率检测电路检测桥臂中点的电压,并通过阈值控制电路根据桥臂的中点电压自适应调节电流阈值,最后通过电流比较电路控制开关的关断,限制频率不会进入容性区域,使得系统可以接近容性区域工作,实现零电压开通,并最大化利用增益的区间。

[0107] 图11示出了本申请实施例提供的谐振系统的控制方法的一例示意性流程图。

[0108] 在本申请实施例中,控制器可以包括:斜率检测电路、阈值控制电路、电流比较电路和开关控制电路。以下为便于更清楚地理解本申请的技术方案将各部分的动作分别描述,但其不应作为对本申请技术方案的限定,其中,斜率检测电路、阈值控制电路、电流比较电路和开关控制电路所执行的步骤或操作均可以用控制器执行。

[0109] S510,斜率检测电路检测桥臂中点电压 V_{SW} ,并根据桥臂中点电压 V_{SW} 输出斜率信号

V_{SLP} 。

[0110] 具体地,上述斜率检测电路可以包括:检测电容 C_{sw} 、检测电阻 R_{sw} 。检测电容 C_{sw} 的第一端用于接收桥臂中点电压 V_{sw} ,检测电容 C_{sw} 的第二端与检测电阻 R_{sw} 的第一端相连,检测电阻 R_{sw} 的第二端接地,其中,检测电阻 R_{sw} 的第一端用于输出斜率信号 V_{SLP} 。

[0111] 当得到斜率信号 V_{SLP} 后,斜率检测电路可以执行步骤S520,斜率检测电路根据斜率斜率信号 V_{SLP} 输出脉冲信号 $s1p1$ 和 $s1p2$ 。

[0112] 其中,该斜率检测电路还包括:第一比较器CMP1、第二比较器CMP2和第一非门INV1。第一比较器CMP1的第一输入端和第二输入端分别用于接收斜率信号 V_{SLP} 和第一斜率阈值 V_{TH1} 信号,第一比较器CMP1的输出端用于输出第一脉冲信号 $s1p1$;第二比较器CMP2的第一输入端和第二输入端分别用于接收斜率信号 V_{SLP} 和第二斜率阈值 V_{TH2} 信号,第二比较器CMP2的输出端与第一非门INV1的输入端相连,第一非门INV1的输出端用于输出第二脉冲信号 $s1p2$ 。

[0113] 在本申请实施例中,速度阈值 V_{TH1} 和 V_{TH2} 可以由多种确定方式,例如,可以根据实际测试、仿真模拟或理论计算等方式。作为一种可能的实现方式,可以根据谐振电流的大小,结合谐振电容,可以得到 dv_{sw}/dt ,根据斜率采样阻容参数即可得到 V_{TH1} 和 V_{TH2} 阈值的大小,其中 V_{TH2} 小于 V_{TH1} ,优选地, V_{TH1} 可以为正值, V_{TH2} 可以为一负值。

[0114] 阈值控制电路可以接收斜率检测电路输出的第一脉冲信号 $s1p1$ 和第一脉冲信号 $s1p2$,并执行步骤S530,根据脉冲信号 $s1p1$ 和 $s1p2$ 输出电流阈值信号 i_{th1} 和 i_{th2} 。

[0115] 具体地,第一电流阈值 i_{th1} 和第二电流阈值 i_{th2} 分别由阈值控制电路确定的第一初始电流阈值和第二初始电流阈值经调节后得到,第一初始电流阈值和第二初始电流阈值是根据电路设计好的预设值。

[0116] 优选地,第一初始电流阈值可以为一个正值,第二初始电流阈值可以为一个负值,参照上述 V_{TH1} 和 V_{TH2} 的确定方式,第一初始电流阈值和第二初始电流阈值可以由实际测试、仿真模拟或理论计算等方式确定。

[0117] 阈值控制电路将第一脉冲信号的脉冲长度指示的时长 $ts1p1$ 与第一时间阈值 T_{th1} 进行比较,在第一脉冲信号的脉冲长度指示的时长 $ts1p1$ 大于第一时间阈值 T_{th1} 的情况下,减少第一初始电流阈值,以得到第一电流阈值 i_{th1} ,在第一脉冲信号的脉冲长度指示的时长 $ts1p1$ 小于第一时间阈值 T_{th1} 的情况下,增大第一初始电流阈值,以得到第一电流阈值 i_{th1} 。

[0118] 其中,时间阈值 T_{th1} 是固定的预设值,其可以由实际测试、仿真模拟或理论计算等方式确定,本申请对其确定方式不作限定。下文中的时间阈值 T_{th2} 与此同理,在此不再赘述。

[0119] 对应地,阈值控制电路将第二脉冲信号的脉冲长度指示的时长 $ts1p2$ 与第二时间阈值 T_{th2} 进行比较,在第二脉冲信号的脉冲长度指示的时长 $ts1p2$ 大于第二时间阈值 T_{th2} 的情况下,增大第二初始电流阈值,以得到第二电流阈值 i_{th2} ,在第二脉冲信号的脉冲长度指示的时长 $ts1p2$ 小于第二时间阈值 T_{th2} 的情况下,减小第二初始电流阈值,以得到第二电流阈值 i_{th2} 。

[0120] 在阈值控制电路输出第一电流阈值 i_{th1} 和第二电流阈值 i_{th2} 后,电流比较可以接收第一电流阈值 i_{th1} 和第二电流阈值 i_{th2} ,并执行步骤S540,检测谐振电流,并将谐振电流

与第一电流阈值 i_{th1} 和第二电流阈值 i_{th2} 进行比较,输出开关信号 i_{c1} 和 i_{c2} 。

[0121] 具体地,电流比较电路可以包括:第三比较器CMP3、第四比较器CMP4和第二非门INV2。第三比较器CMP3的第一输入端和第二输入端分别用于接收谐振电流 i_{cr} 和第一电流阈值 i_{th1} ,第三比较器CMP3的输出端用于输出第一开关信号 i_{c1} ;第四比较器CMP4的第一输入端和第二输入端分别用于接收谐振电流 i_{cr} 和第二电流阈值 i_{th2} ,第四比较器CMP4的输出端与第二非门INV2的输入端相连,第二非门INV2的输出端用于输出第二开关信号 i_{c2} 。

[0122] S550,开关控制电路根据第一开关信号 i_{c1} 和第二开关信号 i_{c2} ,输出控制信号DRV1给开关S1,输出控制信号DRV2给开关S2,以控制开关S1和S2的通断。

[0123] 根据本申请的技术方案,谐振控制器可以通过斜率检测电路检测桥臂中点的电压,并通过阈值控制电路根据桥臂的中点电压自适应调节电流阈值,最后通过电流比较电路控制开关的关断,限制频率不会进入容性区域,使得系统可以持续工作在感性区域,实现零电压开通,并最大化利用增益的区间。

[0124] 图12示出了本申请实施例提供的谐振系统的控制方法的另一例示意性流程图。

[0125] 在本申请实施例中,控制器可以包括:斜率检测电路、阈值控制电路、电流比较电路和开关控制电路。以下为便于更清楚地理解本申请的技术方案将各部分的动作分别描述,但其不应作为对本申请技术方案的限定,其中,斜率检测电路、阈值控制电路、电流比较电路和开关控制电路所执行的步骤或操作均可以用控制器执行。

[0126] 在该实施例中,谐振控制器可以通过斜率检测电路检测桥臂中点的电压,并通过阈值控制电路根据桥臂的中点电压变化幅值自适应调节电流阈值。因此,该实施例中,斜率检测电路不再将 s_{lp1} 和 s_{lp2} 信号输送给阈值控制电路,而需要将 V_{slp} 信号输出到阈值控制模块,用于 i_{th1} 和 i_{th2} 的判断。

[0127] S610,该步骤与图11中所示的步骤S510一致,具体请参照图11中的描述,在此不再赘述。

[0128] S620,阈值控制电路根据斜率信号 V_{slp} 输出电流阈值信号 i_{th1} 和 i_{th2} 。

[0129] 具体地,第一电流阈值 i_{th1} 和第二电流阈值 i_{th2} 分别由阈值控制电路确定的第一初始电流阈值和第二初始电流阈值经调节后得到,第一初始电流阈值和第二初始电流阈值是根据电路设计好的预设值。

[0130] 优选地,第一初始电流阈值可以为一个正值,第二初始电流阈值可以为一个负值,参照上述 V_{TH1} 和 V_{TH2} 的确定方式,第一初始电流阈值和第二初始电流阈值可以由实际测试、仿真模拟或理论计算等方式确定。

[0131] 阈值控制电路将斜率信号 V_{SLP} 与第三斜率阈值 V_{TH3} 进行比较,在斜率信号 V_{SLP} 大于第三斜率阈值 V_{TH3} 的情况下,减少第一初始电流阈值,以得到第一电流阈值 i_{th1} ,在斜率信号 V_{SLP} 小于第三斜率阈值 V_{TH3} 的情况下,增大第一初始电流阈值,以得到第一电流阈值 i_{th1} 。

[0132] 对应的,阈值控制电路将斜率信号 V_{SLP} 与第四斜率阈值 V_{TH4} 进行比较,在斜率信号 V_{SLP} 大于第四斜率阈值 V_{TH4} 的情况下,增大第二初始电流阈值,以得到第二电流阈值 i_{th2} ,在斜率信号 V_{SLP} 小于第四斜率阈值 V_{TH4} 的情况下,减小第二初始电流阈值,以得到第二电流阈值 i_{th2} 。

[0133] 在本申请实施例中,速度阈值 V_{TH3} 和 V_{TH4} 可以由多种确定方式,例如,可以根据实际测试、仿真模拟或理论计算等方式。作为一种可能的实现方式,可以与上述 V_{TH1} 和 V_{TH2} 的确定

方式相同,根据谐振电流的大小,结合谐振电容,可以得到 dv_{sw}/dt ,根据斜率采样阻容参数即可得到 V_{TH3} 和 V_{TH4} 阈值的大小,其中 V_{TH4} 小于 V_{TH3} ,可选地, V_{TH3} 可以为正值, V_{TH4} 可以为一负值。

[0134] 在得到第一电流阈值 i_{th1} 和第二电流阈值 i_{th2} 后,电流比较电路可以执行步骤S630,该步骤与图11中步骤S540相同,电流比较电路可以检测谐振电流,并将谐振电流与电流阈值信号 i_{th1} 和 i_{th2} 进行比较,输出开关信号 $ic1$ 和 $ic2$ 。从而,开关电路可以继续执行步骤S640,该步骤与图11中的步骤S550相同,在此不再赘述。

[0135] 根据本申请的技术方案,谐振控制器可以通过斜率检测电路检测桥臂中点的电压,并通过阈值控制电路根据桥臂的中点电压自适应调节电流阈值,最后通过电流比较电路控制开关的关断,限制频率不会进入容性区域,使得系统可以持续工作在感性区域,实现零电压开通,并最大化利用增益的区间。

[0136] 图13示出了本申请实施例提供的控制设备的一例示意性结构框图。该控制设备包括处理器710、通信接口720。可选地,该控制设备还可以包括存储器730。可选地,存储器730可以包括于处理器710中。其中,处理器710、通信接口720和存储器730通过内部连接通路互相通信,存储器730用于存储指令,处理器710用于执行存储器730存储的指令,以实现本申请实施例提供的控制方法。

[0137] 可选地,该控制设备可以用于执行图4中的控制器320或图8中控制器420的功能,其中控制器320和控制器420包括斜率检测电路、阈值控制电路、电流比较电路和开关控制电路。

[0138] 可选地,该控制设备还可以用于执行图11或图12中所展示的控制方法。

[0139] 在本说明书中使用的术语“部件”、“模块”、“系统”等用于表示计算机相关的实体、硬件、固件、硬件和软件的组合、软件、或执行中的软件。例如,部件可以是但不限于,在处理器上运行的进程、处理器、对象、可执行文件、执行线程、程序和/或计算机。通过图示,在计算设备上运行的应用和计算设备都可以是部件。一个或多个部件可驻留在进程和/或执行线程中,部件可位于一个计算机上和/或分布在2个或更多个计算机之间。此外,这些部件可在上面存储有各种数据结构的各种计算机可读介质执行。部件可例如根据具有一个或多个数据分组(例如来自与本地系统、分布式系统和/或网络间的另一部件交互的二个部件的数据,例如通过信号与其它系统交互的互联网)的信号通过本地和/或远程进程来通信。

[0140] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

[0141] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为描述的方便和简洁,上述描述的系统、装置和单元的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0142] 在本申请所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的系统、装置和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,例如,所述单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或

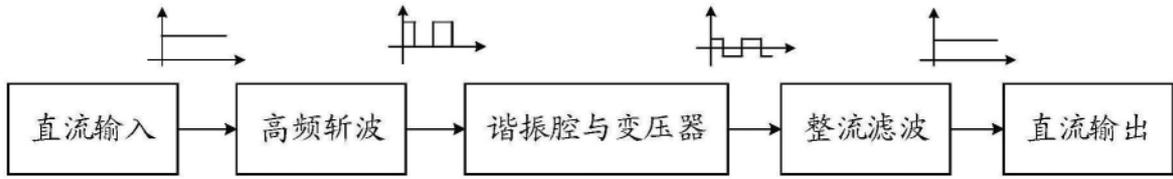
讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通信连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0143] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0144] 另外,在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。

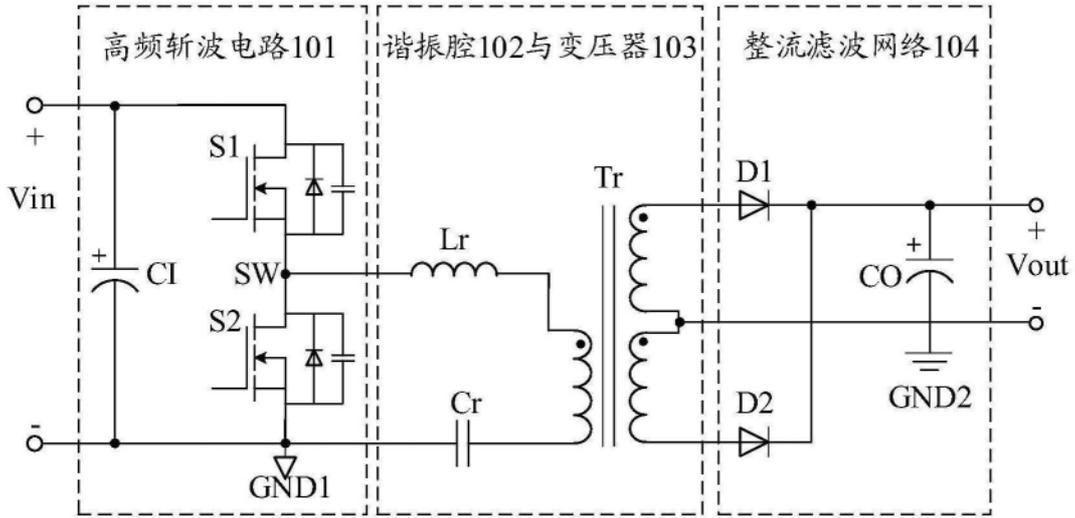
[0145] 所述功能如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本申请各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(read-only memory,ROM)、随机存取存储器(random access memory,RAM)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0146] 以上所述,仅为本申请的具体实施方式,但本申请的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。



(a)

100



(b)

图1

200

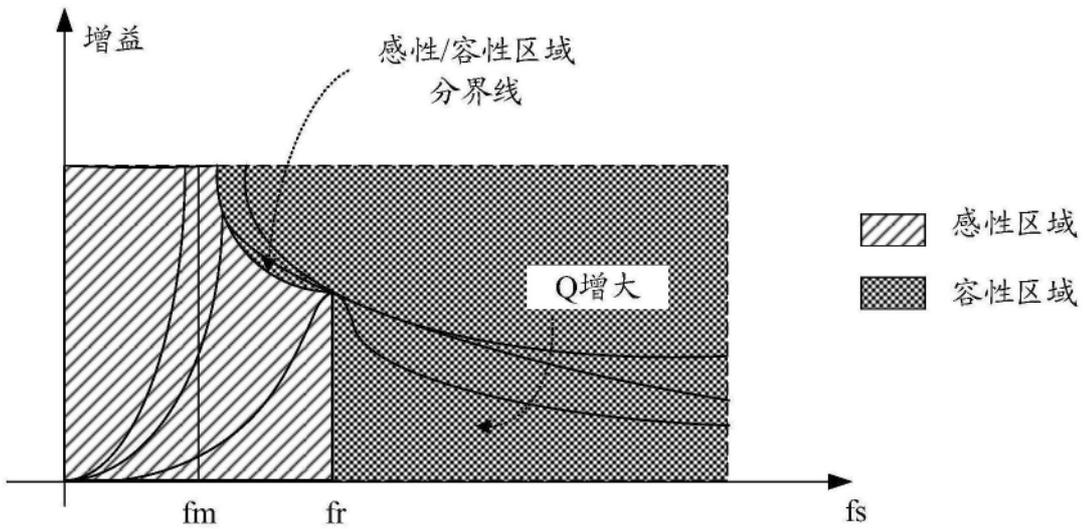


图2

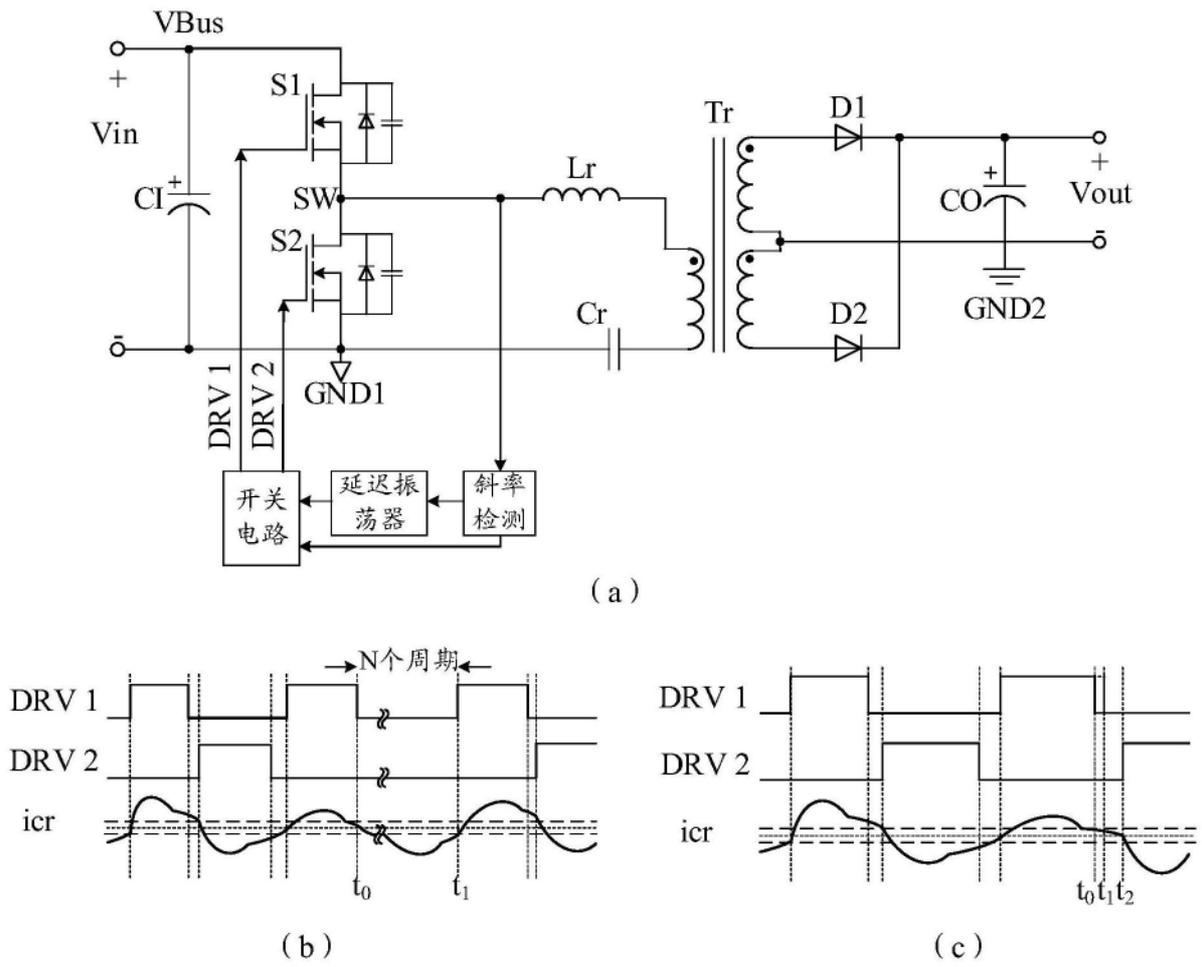


图3

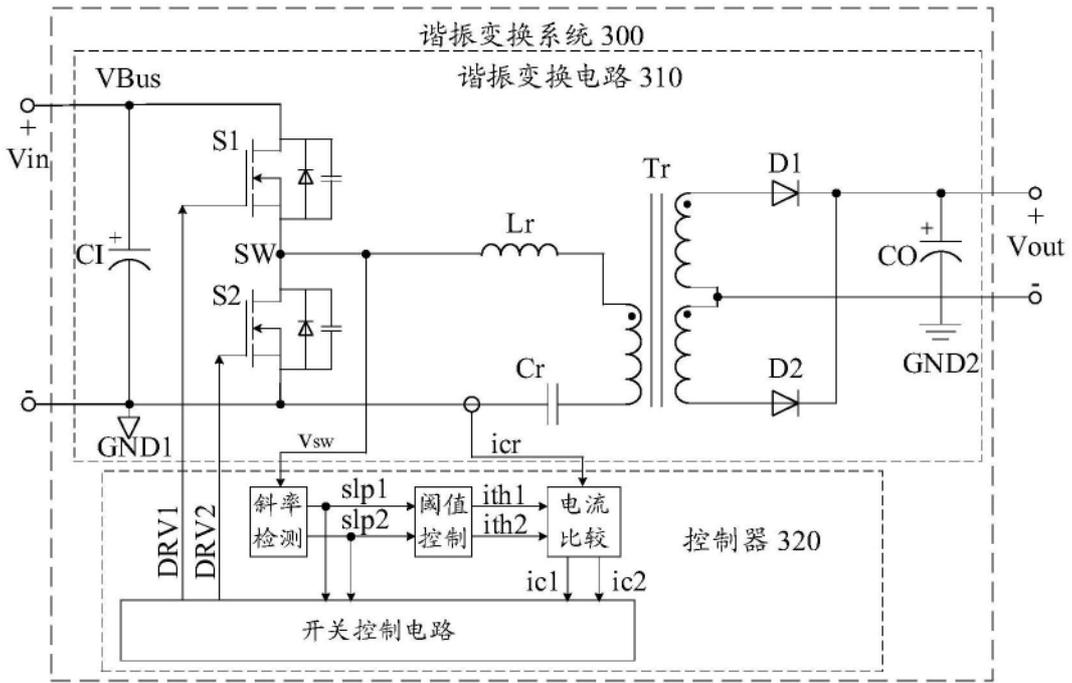


图4

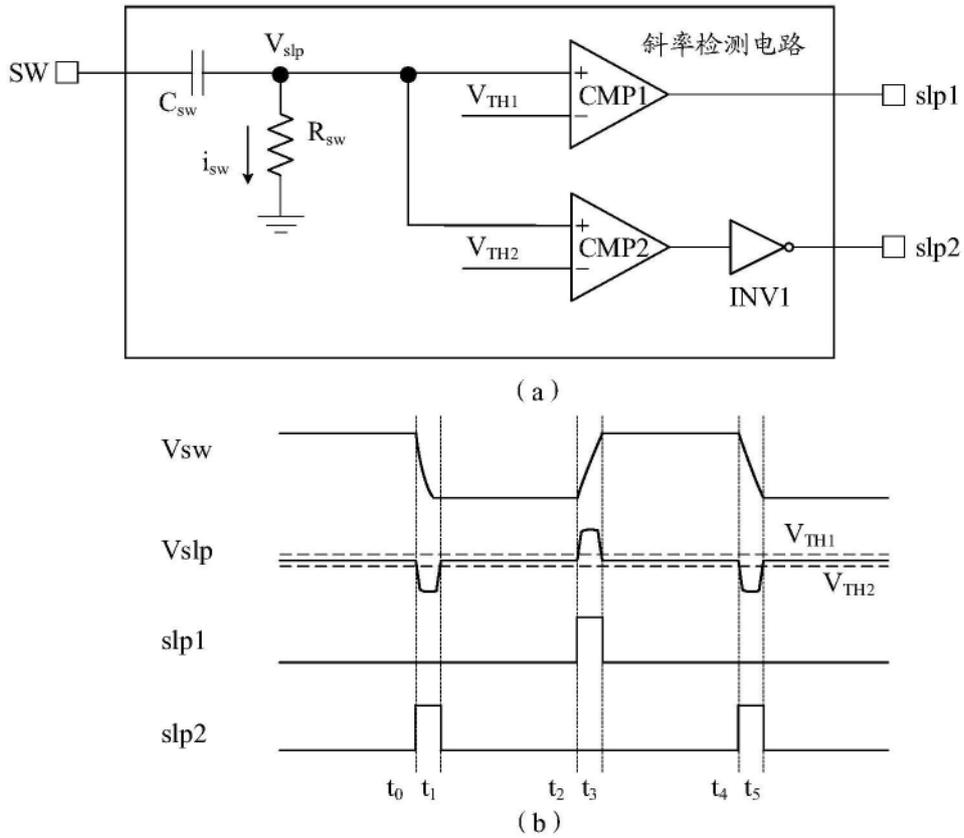


图5

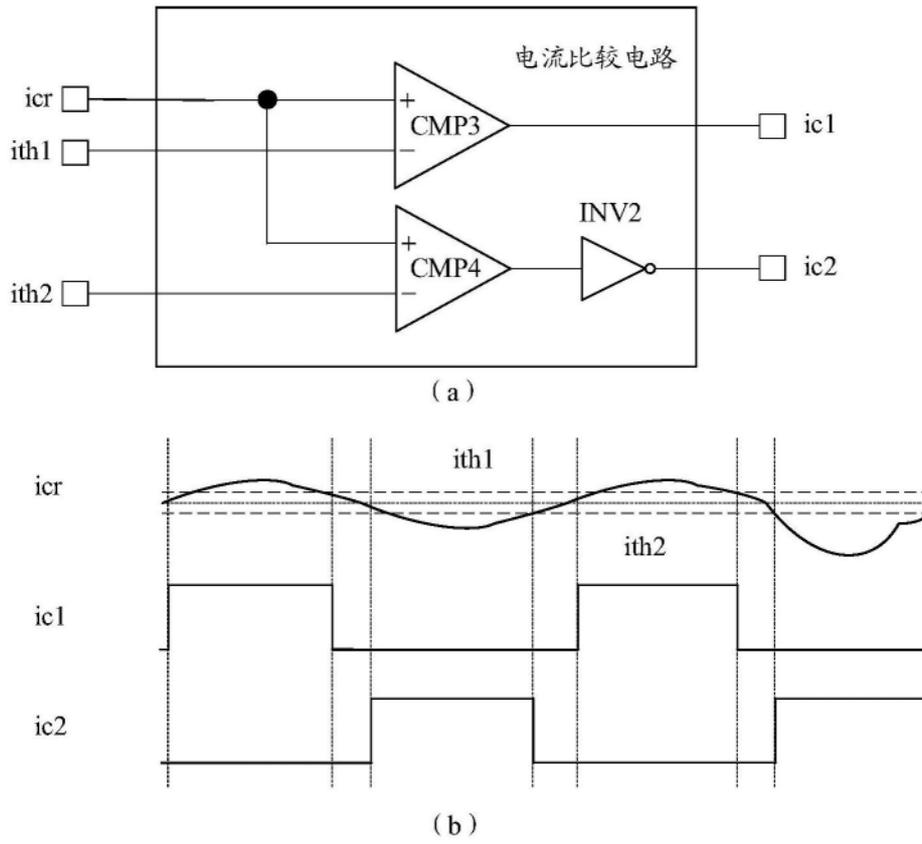


图6

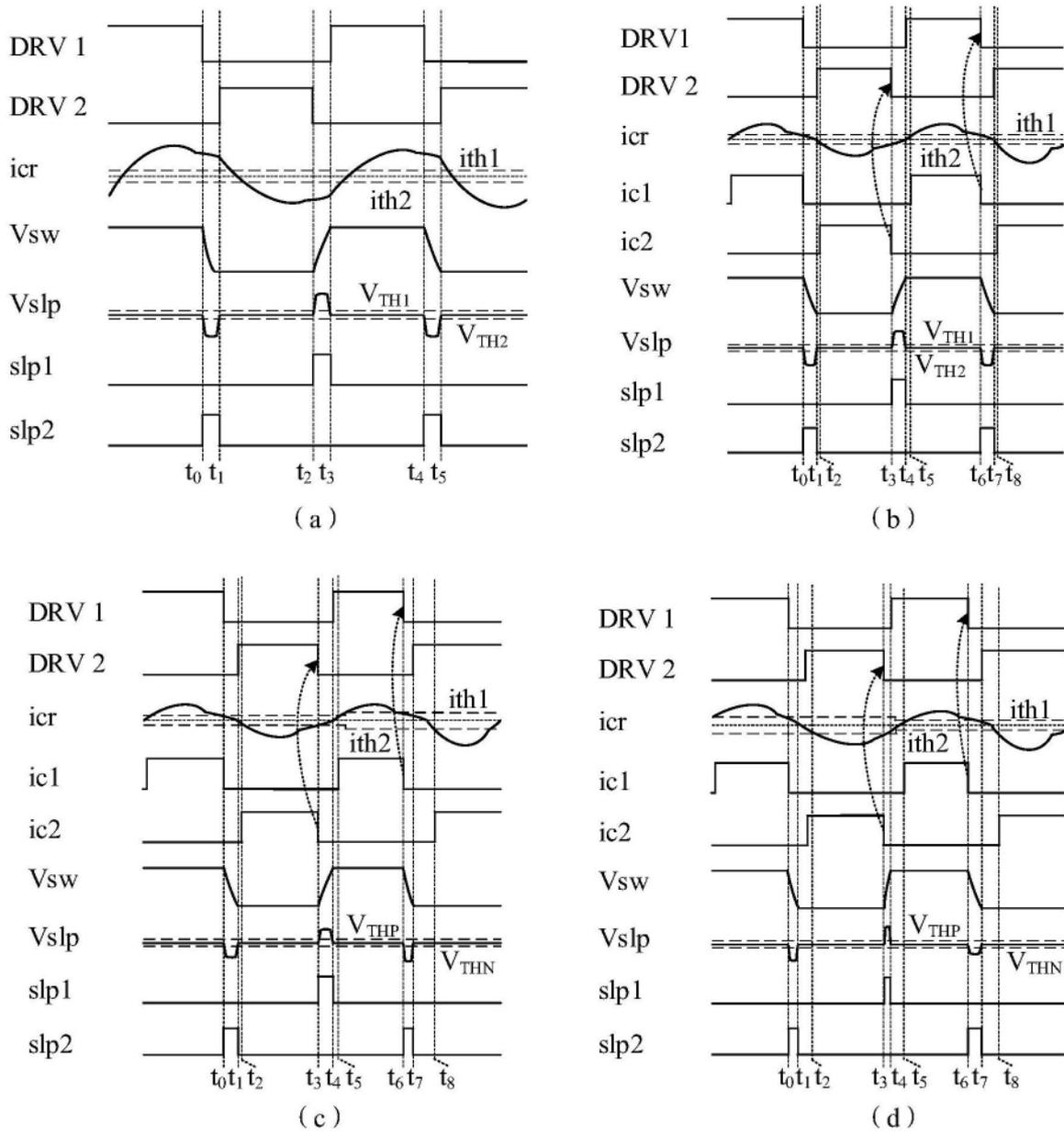


图7

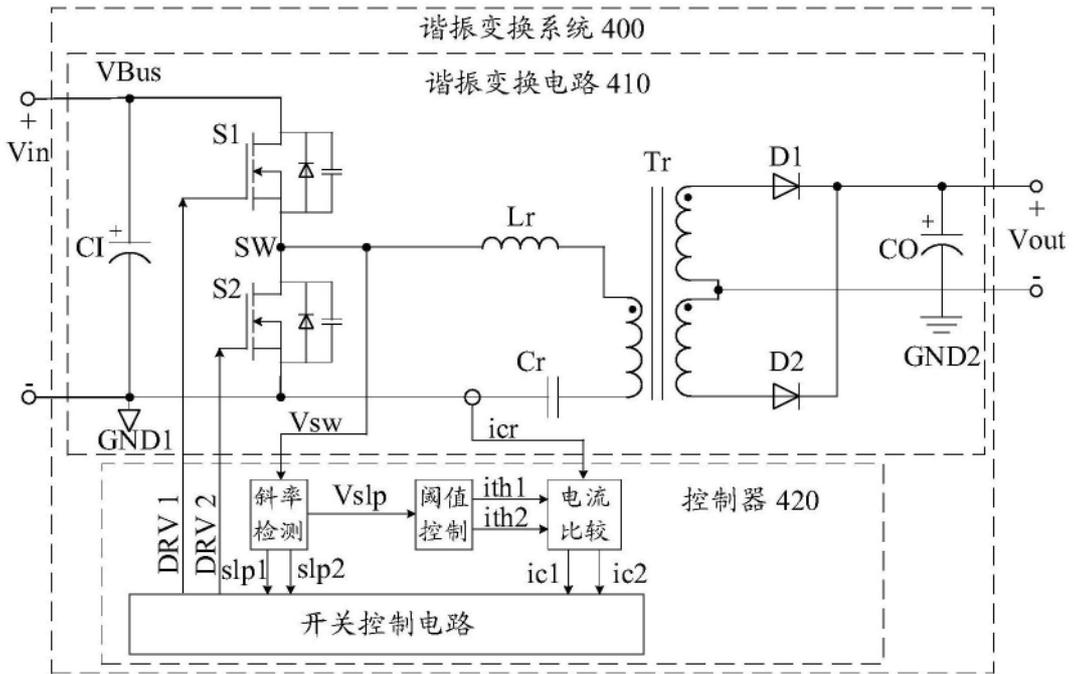


图8

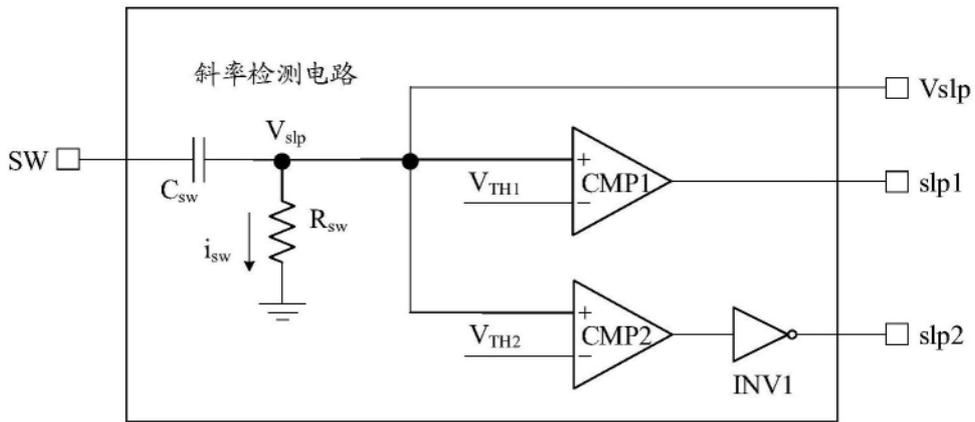


图9

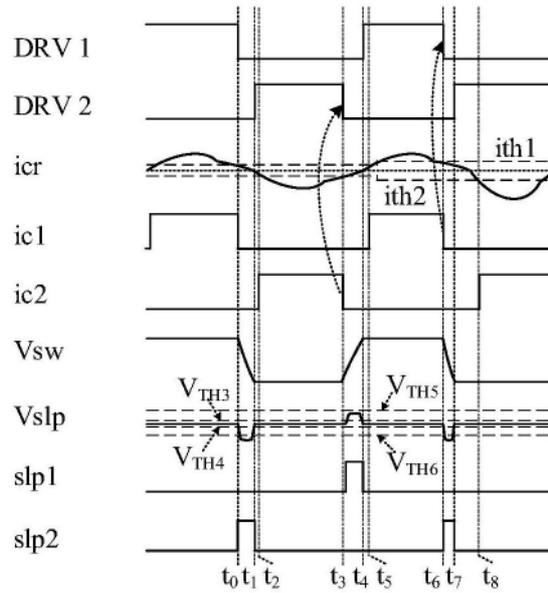


图10

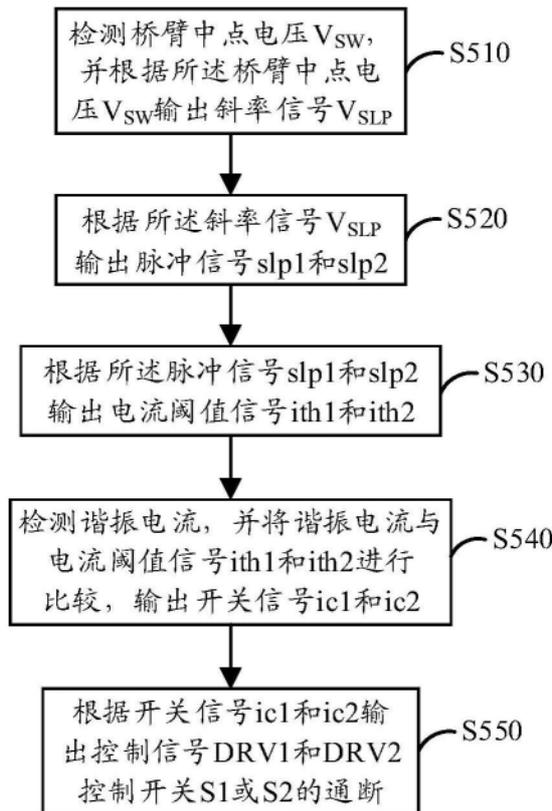


图11

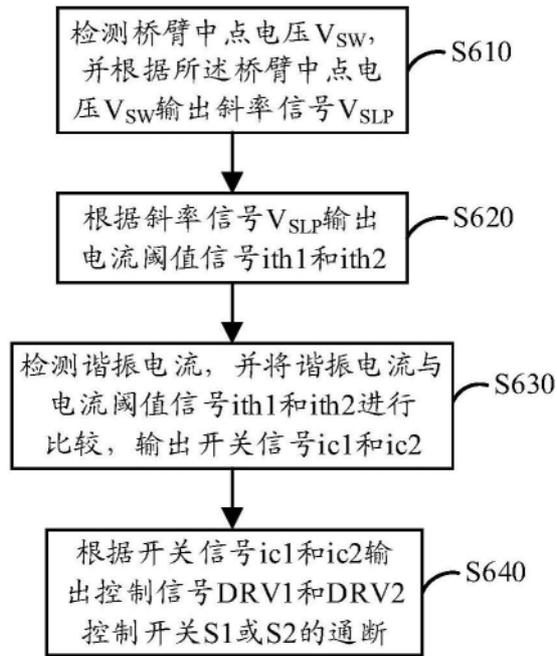


图12

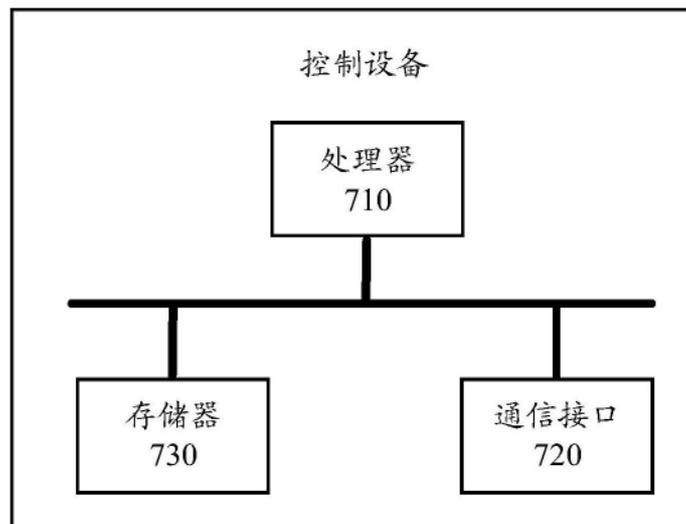


图13