



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112636581 B

(45) 授权公告日 2021.12.07

(21) 申请号 202011489998.8

CN 111953198 A, 2020.11.17

(22) 申请日 2020.12.16

CN 106130352 A, 2016.11.16

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112636581 A

US 2007036212 A1, 2007.02.15

(43) 申请公布日 2021.04.09

Zhengrong Huang, 等. "Microcontroller-Based MHz Totem-Pole PFC with Critical Mode Control". 《2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)》. 2017,

(73) 专利权人 河海大学
地址 210098 江苏省南京市鼓楼区西康路1号

Jingjing Sun, 等. "A GaN-Based CRM Totem-Pole PFC Converter with Fast Dynamic Response and Noise Immunity for a Multi-Receiver WPT System". 《2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)》. 2020,

(72) 发明人 郑仲舒 张犁 邹宇航 姜修弢
吴超 王一鸣

审查员 王宇

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

(56) 对比文件
US 2020014245 A1, 2020.01.09
CN 104852567 A, 2015.08.19

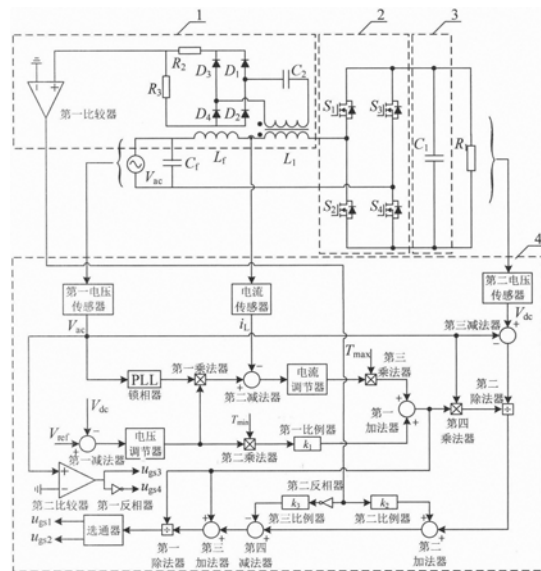
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

图腾柱PFC整流器的软开关控制电路

(57) 摘要

本发明公开了图腾柱功率因数校正(PFC)变换器的新型调制策略,属于电力电子变流器的控制技术领域。该调制策略使变换器工作在临界导通模式,在整个电网周期内均可实现开关管的零电压导通。该调制通过一个简单的PI控制器和辅助控制电路对开关管的导通时间进行计算,利用电感电压伏秒平衡原理计算开关管的关断时间,利用CR微分电路进行开关周期的自适应调整,实现了全范围的开关管零电压导通。该调制方案免去了高成本的过零检测电路,具有控制简单易于实现的优点,有利于整流器的高功率密度化,在电力电子变流器领域具有广阔的应用前景。



1. 图腾柱PFC整流器的软开关控制电路,所述图腾柱PFC整流器包括交流电源、输入滤波电感、输入滤波电容、耦合电感、第一~第四开关管、输出母线电容以及一个负载电阻,输入滤波电容与交流电源并联,输入滤波电感的一端连接输入滤波电容的一端,输入滤波电感的另一端连接耦合电感原边的一端,第一开关管的源极连接第二开关管的漏极,第三开关管的源极连接第四开关管的漏极,第一开关管的漏极连接第三开关管的漏极,第二开关管的源极连接第四开关管的源极,耦合电感原边的另一端连接第一开关管与第二开关管的公共端,输入滤波电容的另一端连接第三开关管与第四开关管的公共端,第一开关管的漏极和第三开关管的漏极分别连接输出母线电容的一端,第二开关管的源极和第四开关管的源极分别连接输出母线电容的另一端,负载电阻与输出母线电容并联;其特征在于:

图腾柱PFC整流器控制电路包括零电压开通检测电路和软开关控制电路;

所述零电压开通检测电路包括第二电容器,第一~第四二极管,第二~第三电阻器、耦合电感和第一比较器;

第一二极管的阳极连接第二二极管的阴极,第一二极管的阴极连接第三二极管的阴极,第三二极管的阳极连接第四二极管的阴极,第四二极管的阳极连接第二二极管的阳极,耦合电感副边异名端同第二电容器串联后连接第一二极管与第二二极管的公共端,耦合电感副边同名端连接第三二极管与第四二极管的公共端;第二电阻器和第三电阻器串联后,一端连接第一二极管与第三二极管的公共端,另一端连接第二二极管的与第四二极管的公共端;第一比较器的正输入端连接第二电阻器与第三电阻器的公共端,第一比较器负输入端接地;第一比较器的输出端与第二比例器和第二反相器的输入端连接;

所述软开关控制电路包括第一电压传感器、第二电压传感器、第二比较器、第一~第三加法器、第一~第四减法器、第一~第四乘法器、第一除法器、第二除法器、电流调节器、电压调节器、第一~第三比例器、第一反相器、第二反相器、选通器、锁相器及第一~第四驱动电路;

第二电压传感器采样PFC整流电路输出端的直流电压,并分别与第三减法器的正输入端和第一减法器的负输入点连接;第一减法器的正输入端与直流参考电压有效值连接,第一减法器的输出端与电压调节器的输入端连接;经电压调节器运算后得到电压调整量并与第二乘法器的一个输入端连接,第二乘法器的另一输入端为开关周期的最小值,第二乘法器的输出端与第一比例器的输入端连接,第一比例器的输出端与第一加法器的一个输入端连接;第一电压传感器采样PFC电流输入端的交流电压,并分别与锁相器、第二比较器的正输入端、第三减法器的负输入端和第四乘法器的一个输入端连接;锁相器的输出端与第一乘法器的一个输入端相连,第一乘法器的另一个输入端与电压调节器的输出端相连,第一乘法器的输出端与第二减法器的正输入端相连,电流传感器采样电感电流并与第二减法器的负输入端连接,第二减法器的输出端与电流调节器的输入端连接;经电流调节器运算后得到电流调整量并与第三乘法器的一个输入端连接,第三乘法器的另一个输入端为开关周期的最大值,第三乘法器的输出端与第一加法器的另一输入端连接;第一加法器的输出端与第四乘法器的另一个输入端连接;第三减法器的输出端与第二除法器的除数输入端连接,第四乘法器的输出端与第二除法器的被除数输入端连接,第二除法器的输出端与第二加法器的一个输入端连接,第一比较器的输出端经第二比例器后与第二加法器的另一输入端连接,第二加法器的输出端与第四减法器的正输入端连接,同时,第一比较器的输出端经

第二反相器和第三比例器后与第四减法器的负输入端连接,第四减法器的输出端与第三加法器的一个输入端连接,第三加法器的另一个输入端与第一加法器的输出端连接,第三加法器的输出端与第一除法器的除数输入端连接,第一除法器的被除数输入端与第一加法器的输出端连接,第一除法器的输出端与选通器的输入端连接;选通器的一个输出端与第一驱动电路连接,得到第一开关管驱动信号,选通器的另一个输出端与第二驱动电路连接,得到第二开关管驱动信号;

第二比较器的正输入端与第一电压传感器输出端连接,第二比较器的负输入端接地,第二比较器的输出端与第三驱动电路连接,得到第三开关管驱动信号,第二比较器的输出端经第一反相器后与第四驱动电路连接,得到第四开关管驱动信号。

2. 根据权利要求1所述图腾柱PFC整流器的软开关控制电路,其特征在于:对于选通器,根据当前第二比较器的输出端逻辑值将相应的输入信号送给第一驱动电路和第二驱动电路,具体过程如下:

当第二比较器的输出为1时,将第一除法器的输出送至第一驱动电路并将该信号作反相后送至第二驱动电路;当第二比较器的输出为0时,将第一除法器的输出送至第二驱动电路并将该信号反相后送至第一驱动电路。

3. 根据权利要求1所述图腾柱PFC整流器的软开关控制电路,其特征在于:对于第一比例器,根据当前第一电压传感器的输出值将自身的比例系数设置为不同的值,具体过程如下:

当第一电压传感器的值在0至160之间,则第一比例器的比例系数为0.125;当第一电压传感器的值在160至320之间,则第一比例器的比例系数为0.25。

4. 根据权利要求1所述图腾柱PFC整流器的软开关控制电路,其特征在于:第二比例器和第三比例器的比例系数均为开关周期的最小值的千分之一倍。

5. 根据权利要求1所述图腾柱PFC整流器的软开关控制电路,其特征在于:当图腾柱PFC整流器的输入电压在正半周时,第二开关管驱动信号按当前时刻选通器的输出高频动作,第一开关管驱动信号与第二开关管驱动信号呈互补状态高频动作,第一开关管和第二开关管的开关周期为当前第三加法器的输出值,第二开关管在一个开关周期内高电平的占空比为当前第一除法器的输出值,第三开关管驱动信号为低电平、第四开关管驱动信号为高电平;

当图腾柱PFC整流器的输入电压在负半周时,第一开关管驱动信号按当前时刻选通器的输出高频动作,第二开关管驱动信号与第一开关管驱动信号呈互补状态高频动作,第一开关管和第二开关管的开关周期为当前第三加法器的输出值,第一开关管在一个开关周期内高电平的占空比为当前第一除法器的输出值,第三开关管驱动信号为高电平、第四开关管驱动信号为低电平。

图腾柱PFC整流器的软开关控制电路

技术领域

[0001] 本发明属于电力电子技术领域,尤其属于电力电子变流器的控制技术领域,具体涉及了 图腾柱PFC整流器的软开关控制电路。

背景技术

[0002] 图腾柱PFC整流器凭借其高可靠性、高效率、低电流谐波畸变等优势被广泛应用于航空 电源、电动汽车充电等领域。一种图腾柱PFC整流器,其拓扑如图1所示。在采用传统SPWM 调制时,电感电流处于连续导通模式(CCM),开关管上存在较大的开关损耗,当开关频率 提升时将严重影响变换器的功率变换效率。

[0003] 当变换器电感电流处于临界导通模式(CRM)时,使电感电流上升的开关管可在下一个 周期开通时实现ZVS或谷底电压开通(VS),明显降低开关损耗。基于该思想,授权公布号 为“CN 106100412”和申请公布号为“CN 106877724”的中国发明专利,分别给出了基于临 界导通模式(CRM)的全桥逆变器的软开关控制策略。但是,上述控制策略需要对电感电 流 进行高精度的检测,以使其和上包络线和下包络线进行精准的比较,如图2所示;同时, 由于 电感反向电流为固定值,在电感电流反向时将引入额外损耗,故以上控制策略对变换器 的功 率变换效率提升不明显。为了解决上述问题,文献“Z.Liu,B.Li,F.C.Lee and Q.Li. High-Efficiency High-Density Critical Mode Rectifier/Inverter for WBG- Device-Based On-Board Charger.IEEE Transactions on Industrial Electronics.2017,64(11)”提出使开关管关断时间延长 的控制策略,如图3所示,实现了 全范围的开关管ZVS并将因电感电流反向而引入的损耗降至 最低。但是,该控制策略需要 对每个开关周期的延时时间进行精准计算,且仍需要一个精度 较高的电感电流过零检测 (ZCD)电路,硬件成本较高。

发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题,本发明提供了图腾柱PFC整流器的新型软开关控制策略, 通过 该新型控制策略,不需精确采样电感电流即可控制变换器工作于临界导通模式,通过 检测和 输入滤波电感串联的耦合电感副边的电压即可实现对每个开关周期延时时间的自 适应调整, 进而实现每个开关周期内开关管的零电压开通,降低开关损耗的同时避免了高 精度的电 流检测器的使用和复杂的计算,具有低成本高效率技术优势。

[0005] 为了实现上述目的,本发明的技术方案为:

[0006] 如摘要附图所示,图腾柱PFC整流器的软开关控制电路,所述图腾柱PFC整流器包 括交 流电源、输入滤波电感、输入滤波电容、耦合电感、第一~第四开关管、输出母线电容 以及 负载电阻,输入滤波电容与交流电源并联,输入滤波电感的一端连接输入滤波电容 的一端, 输入滤波电感的另一端连接耦合电感原边的一端,第一开关管的源极连接第二开 关管 的漏极,第三开关管的源极连接第四开关管的漏极,第一开关管的漏极连接第三开 关管 的漏极,第二 开关管的源极连接第四开关管的源极,耦合电感原边的另一端连接第一开 关

管与第二开关管的公共端,输入滤波电容的另一端连接第三开关管与第四开关管的公共端,第一开关管的漏极和第三开关管的漏极分别连接输出母线电容的一端,第二开关管的源极和第四开关管的源极分别连接输出母线电容的另一端,负载电阻与输出母线电容并联;

[0007] 图腾柱PFC整流器控制电路包括零电压开通检测电路和软开关控制电路;

[0008] 所述零电压开通检测电路包括第二电容器,第一~第四二极管,第二~第三电阻器、耦合电感和第一比较器;

[0009] 第一二极管的阳极连接第二二极管的阴极,第一二极管的阴极连接第三二极管的阴极,第三二极管的阳极连接第四二极管的阴极,第四二极管的阳极连接第二二极管的阳极,耦合电感副边异名端同第二电容器串联后连接第一二极管与第二二极管的公共端,耦合电感副边同名端连接第三二极管与第四二极管的公共端;第二电阻器和第三电阻器串联后,一端连接第一二极管与第三二极管的公共端,另一端连接第二二极管的与第四二极管的公共端;第一比较器的正输入端连接第二电阻器与第三电阻器的公共端,第一比较器负输入端接地;第一比较器的输出端与第二比例器和第二反相器的输入端连接;

[0010] 所述软开关控制电路包括第一电压传感器、第二电压传感器、第二比较器、第一~第三加法器、第一~第四减法器、第一~第四乘法器、第一除法器、第二除法器、电流调节器、电压调节器、第一~第三比例器、第一反相器、第二反相器、选通器、锁相器及第一~第四驱动电路;

[0011] 第二电压传感器采样PFC整流电路输出端的直流电压,并分别与第三减法器的正输入端和第一减法器的负输入点连接;第一减法器的正输入端与直流参考电压有效值连接,第一减法器的输出端与电压调节器的输入端连接;经电压调节器运算后得到电压调整量并与第二乘法器的一个输入端连接,第二乘法器的另一输入端为开关周期的最小值(T_{min}),第二乘法器的输出端与第一比例器的输入端连接,第一比例器的输出端与第一加法器的一个输入端连接;第一电压传感器采样PFC电流输入端的交流电压,并分别与锁相器、第二比较器的正输入端、第三减法器的负输入端和第四乘法器的一个输入端连接;锁相器的输出端与第一乘法器的一个输入端相连,第一乘法器的另一个输入端与电压调节器的输出端相连,第一乘法器的输出端与第二减法器的正输入端相连,电流传感器采样电感电流并与第二减法器的负输入端连接,第二减法器的输出端与电流调节器的输入端连接;经电流调节器运算后得到电流调整量并与第三乘法器的一个输入端连接,第三乘法器的另一个输入端为开关周期的最大值(T_{max}),第三乘法器的输出端与第一加法器的另一输入端连接;第一加法器的输出端与第四乘法器的另一个输入端连接;第三减法器的输出端与第二除法器的除数输入端连接,第四乘法器的输出端与第二除法器的被除数输入端连接,第二除法器的输出端与第二加法器的一个输入端连接,第一比较器的输出端经第二比例器后与第二加法器的另一输入端连接,第二加法器的输出端与第四减法器的正输入端连接,同时,第一比较器的输出端经第二反相器和第三比例器后与第四减法器的负输入端连接,第四减法器的输出端与第三加法器的一个输入端连接,第三加法器的另一个输入端与第一加法器的输出端连接,第三加法器的输出端与第一除法器的除数输入端连接,第一除法器的被除数输入端与第一加法器的输出端连接,第一除法器的输出端与选通器的输入端连接;选通器的一个输出端与第一驱动电路连接,得到第一开关管驱动信号(u_{gs1}),选通

器的另一个输出端与第二驱动电路连接,得到第二开关管驱动信号(u_{gs2});

[0012] 第二比较器的正输入端与第一电压传感器输出端连接,第二比较器的负输入端接地,第二比较器的输出端与第三驱动电路连接,得到第三开关管驱动信号(u_{gs3}),第二比较器的输出端经第一反相器后与第四驱动电路连接,得到第四开关管驱动信号(u_{gs4})。

[0013] 进一步地,对于选通器,根据当前第二比较器的输出逻辑值将相应地输入信号送给第一驱动电路或第二驱动电路,具体过程如下:

[0014] 当第二比较器的输出为1时,将第一除法器的输出送至第一驱动电路并将该信号作反相后送至第二驱动电路;当第二比较器的输出为0时,将第一除法器的输出送至第二驱动电路并将该信号反相后送至第一驱动电路。

[0015] 进一步地,对于第一比例器,根据当前第一电压传感器的输出值将自身的比例系数设置为不同的值,具体过程如下:

[0016] 当第一电压传感器的值在0至160之间,则第一比例器的比例系数为0.125;当第一电压传感器的值在160至320之间,则第一比例器的比例系数为0.25。

[0017] 进一步地,第二比例器和第三比例器的比例系数均等于开关周期的最小值(T_{min})的千分之一。

[0018] 进一步地,当图腾柱PFC整流器的输入电压(V_{ac})在正半周时,第二开关管驱动信号(u_{gs2})

[0019] 当图腾柱PFC整流器的输入电压(V_{ac})在负半周时,第一开关管驱动信号(u_{gs1})按当前时刻选通器的输出高频动作,第二开关管驱动信号(u_{gs2})与第一开关管驱动信号(u_{gs1})呈互补状态高频动作,第一开关管和第二开关管的开关周期为当前第三加法器的输出值,第一开关管在一个开关周期内高电平的占空比为当前第一除法器的输出值,第三开关管驱动信号(u_{gs3})为高电平、第四开关管驱动信号(u_{gs4})为低电平。

[0020] 采用上述技术方案带来的有益效果:

[0021] (1) 本发明使图腾柱PFC整流器工作在临界导通模式,并自适应地调节每个开关周期内的关断时间延时,实现全范围的零电压开通,相比于传统SPWM调制降低了开关损耗,并提高了该图腾柱PFC整流器的功率变换效率;

[0022] (2) 本发明中临界导通模式的实现不需要高精度的电流检测器,降低了硬件成本,控制逻辑简单,易于编程实现;

[0023] (3) 本发明可使变换器在高开关频率下仍具有较高的效率,有利于PFC整流器设备的高功率密度化。

附图说明

[0024] 图1为本发明所涉及的图腾柱PFC整流器的拓扑;

[0025] 图2为专利“CN 106100412”提出的临界导通模式调制策略;

[0026] 图3为论文“Z.Liu,B.Li,F.C.Lee and Q.Li.High-Efficiency High-Density Critical Mode Rectifier/Inverter for WBG-Device-Based On-Board Charger.IEEE Transactions on Industrial Electronics.2017,64(11)”提出的软开关控制策略;

[0027] 图4为本发明图腾柱PFC整流器的软开关控制策略的实施;

[0028] 图5为本发明图腾柱PFC整流器的软开关控制策略实施流程图;

- [0029] 图6为本发明图腾柱PFC整流器的工作模式；
[0030] 图7为本发明图腾柱PFC整流器的仿真波形；
[0031] 图8为本发明图腾柱PFC整流器的正半周实验波形。

具体实施方式

[0032] 下面将结合附图,对本发明的技术方案进行详细说明。

[0033] 本发明涉及的图腾柱PFC整流器的软开关控制电路,如图4所示。该图腾柱PFC整流器包括交流电源 V_{ac} 、图腾柱PFC整流器电路2、输出母线电容3、一个输入滤波电感 L_f 、一个同名端耦合电感 L_1 、一个输入滤波电容 C_f 和一个负载电阻R。控制电路包括零电压开通检测电路1和软开关控制电路4。所述零电压开通检测电路1包括一个电容器,四个二极管,两个电阻器、一个耦合电感和一个比较器;所述软开关控制电路4包括两个电压传感器,一个电流传感器,一个比较器,三个加法器,四个减法器,四个乘法器,两个除法器,一个电流调节器,一个电压调节器,三个比例器,两个反相器,一个选通器、一个锁相器和四个驱动电路,具体如下:

[0034] 对于零电压开通检测电路,第一二极管的阳极连接第二二极管的阴极,第一二极管的阴极连接第三二极管的阴极,第三二极管的阳极连接第四二极管的阴极,第四二极管的阳极连接第二二极管的阳极,耦合电感副边异名端同第二电容器串联后连接第一二极管与第二二极管的公共端,耦合电感副边另一端连接第三二极管与第四二极管的公共端;第二电阻器和第三电阻器串联后,一端连接第一二极管与第三二极管的公共端,另一端连接第二二极管的与第四二极管的公共端;第一比较器的正输入端连接第二电阻器与第三电阻器的公共端,第一比较器负输入端接地;第一比较器的输出端与第二比例器和第二反相器的输入端连接。

[0035] 对于软开关控制电路,第二电压传感器采样PFC电路输出端的直流电压,并分别与第三减法器的正输入端和第一减法器的负输入点连接;第一减法器的正输入端与直流参考电压有效值连接,第一减法器的输出端与电压调节器的输入端连接;经电压调节器运算后得到电压调整量并与第二乘法器的一个输入端连接,第二乘法器的另一输入端为开关周期的最小值(T_{min}),第二乘法器的输出端与第一比例器的输入端连接,第一比例器的输出端与第一加法器的一个输入端连接;第一电压传感器采样PFC电流输入端的交流电压,并分别与锁相器、第二比较器的正输入端、第三减法器的负输入端和第四乘法器的一个输入端连接;锁相器的输出端与第一乘法器的一个输入端相连,第一乘法器的另一个输入端与电压调节器的输出端相连,第一乘法器的输出端与第二减法器的正输入端相连,电流传感器采样电感电流并与第二减法器的负输入端连接,第二减法器的输出端与电流调节器的输入端连接;经电流调节器运算后得到电流调整量并与第三乘法器的一个输入端连接,第三乘法器的另一个输入端为开关周期的最大值(T_{max}),第三乘法器的输出端与第一加法器的另一输入端连接;第一加法器的输出端与第四乘法器的另一个输入端连接;第三减法器输出端与第二除法器的除数输入端连接,第四乘法器的输出端与第二除法器的被除数输入端连接,第二除法器的输出端与第二加法器的一个输入端连接,第一比较器的输出端经第二比例器后与第二加法器的另一输入端连接,第二加法器的输出端与第四减法器的正输入端连接,同时,第一比较器的输出端经第二反相器和第三比例器后与第四减法器

的负输入端连接,第四减法器的输出端与第三加法器的一个输入端连接,第三加法器的另一个输入端与第一加法器的输出端连接,第三加法器的输出端与第一除法器的除数输入端连接,第一除法器的被除数输入端与第一加法器的输出端连接,第一除法器的输出端与选通器的输入端连接;选通器的一个输出端与第一驱动电路连接,得到第一开关管驱动信号(u_{gs1}),选通器的另一个输出端与第二驱动电路连接,得到第四开关管驱动信号(u_{gs2})。

[0036] 第二比较器的正输入端与第一电压传感器输出端连接,第二比较器的负输入端接地,第二比较器的输出端与第三驱动电路连接,得到第三开关管驱动信号(u_{gs3}),第二比较器的输出端经第一反相器后与第四驱动电路连接,得到第四开关管驱动信号(u_{gs4})。

[0037] 在本实施例中,采用如下优选技术方案:

[0038] 当第二比较器的输出为1时,选通器将第一除法器的输出送至第一驱动电路并将该信号作反相后送至第二驱动电路;当第二比较器的输出为0时,选通器将第一除法器的输出送至第二驱动电路并将该信号反相后送至第一驱动电路。

[0039] 当第一电压传感器的值在0至160之间,则第一比例器的比例系数为0.125;当第一电压传感器的值在160至320之间,则第一比例器的比例系数为0.25。

[0040] 第二比例器和第三比例器的比例系数均为开关周期的最小值 T_{min} 的千分之一倍。

[0041] 当图腾柱PFC整流器的输入电压(V_{ac})在正半周时,第二开关管驱动信号(u_{gs2})按当前时刻选通器的输出高频动作,第一开关管驱动信号(u_{gs1})与第二开关管驱动信号(u_{gs2})呈互补状态高频动作,第一开关管和第二开关管的开关周期为当前第三加法器的输出值,第二开关管在一个开关周期内高电平的占空比为当前第一除法器的输出值,第三开关管驱动信号(u_{gs3})为低电平、第四开关管驱动信号(u_{gs4})为高电平。

[0042] 当图腾柱PFC整流器的输入电压(V_{ac})在负半周时,第一开关管驱动信号(u_{gs1})按当前时刻选通器的输出高频动作,第二开关管驱动信号(u_{gs2})与第一开关管驱动信号(u_{gs1})呈互补状态高频动作,第一开关管和第二开关管的开关周期为当前第三加法器的输出值,第一开关管在一个开关周期内高电平的占空比为当前第一除法器的输出值,第三开关管驱动信号(u_{gs3})为高电平、第四开关管驱动信号(u_{gs4})为低电平。

[0043] 图5所示为本发明的控制流程图。第二电压传感器采样整流电路输出端的直流电压,电流传感器采样整流器的输入电流或电感电流,分别于电压调节器和电流调节器中计算出电压调整量和电流调整量。将电流调整量乘以预设开关周期的最大值,再将电压调整量乘以预设开关周期的最小值,最后将二者相加得到下一开关周期的开关管导通时间。根据计算出的导通时间和第一电压传感器采样的直流侧电压,由电感伏秒平衡原理计算得到下一开关周期的开关管关断时间。第一比较器的正输入端为开关管ZVS检测信号,具体如下:

[0044] 当上一周期开关管实现ZVS开通时,耦合电感副边电压无瞬时突变,电压下降斜率较小,此时第一比较器的正输入端为一低电平信号,因此第一比较器输出端为逻辑0;反之若上一周期其开关管未实现ZVS开通,则耦合电感副边电压存在瞬时突变,电压下降斜率存在突变的较大值,此时第一比较器的正输入端为一高电平信号,因此第一比较器输出端为逻辑1。计算出关断时间后检测第一比较器的输出端,若为1,则表明上一开关周期开关管未实现ZVS开通,则下一开关周期内需要将开关管的关断时间按固定步长进行延长,此步长即为第三比例器的比例系数;反之,若第一比较器的输出端为0,则表明上一开关周期开

关管已实现ZVS 开通,则下一开关周期内为避免引入过多损耗需要将开关管的关断时间按固定步长进行缩减,此步长即为第二比例器的比例系数。

[0045] 最后,将调整后的开关管关断时间与前述计算后的开关管导通时间相加,得到下一周期 开关管的开关周期时间以及对应的占空比,并由选通器将相应的输入信号送至正确的驱动电 路。

[0046] 当采用本发明所提出的图腾柱PFC整流器的软开关控制策略后,该PFC整流器在一个交 流周期内的开关模态如图6所示。PFC整流器输入交流电压处于正半周时,当第二开关 管 S_2 导通时,电感电流经第二开关管 S_2 和第四开关管 S_4 线性上升(见图6中的(a)),第二开关 管 S_2 的导通时间为上一开关周期结束时软开关控制回路计算出的导通时间;第二开关管 S_2 关断后,电感电流经第一开关管 S_1 和第四开关管 S_4 线性下降(见图6中的(b)),当电感电 流下降至0时,输入滤波电感与第一开关管 S_1 和第二开关管 S_2 的结电容发生谐振,导致电感 中产生反向电流,使得第一开关管 S_1 的体二极管截止的同时第二开关管 S_2 的结电容开始放 电,第一开关管 S_1 的漏源电压开始上升且第二开关管 S_2 的漏源电压开始下降(见图6中的 (c));因第二开关管 S_2 的关断时间受伏秒平衡原理和ZVS检测电路共同控制,故当第二开 关管 S_2 再次开通时,第二开关管 S_2 的漏源电压已降低至0,此时第二开关管 S_2 为零电压开 通(见图6中的(d))。

[0047] PFC整流器输入交流电压处于负半周时,当第一开关管 S_1 导通时,电感电流经第一 开关 管 S_1 和第三开关管 S_3 线性上升(见图6中的(e)),第一开关管 S_1 的导通时间为上一开关 周 期结束时软开关控制回路计算出的导通时间;第一开关管 S_1 关断后,电感电流经第二开 关管 S_2 和第三开关管 S_3 线性下降(见图6中的(f)),当电感电流下降至0时,电感与第一开关 管 S_1 和第三开关管 S_3 的结电容发生谐振,导致电感中产生反向电流,使得第二开关管 S_2 的 体二极管截止的同时第一开关管 S_1 的结电容开始放电,第二开关管 S_2 的漏源电压开始上升 且 第一开关管 S_1 的漏源电压开始下降(见图6中的(g));因第一开关管 S_1 的关断时间受伏秒 平衡原理和ZVS检测电路共同控制,故当第一开关管 S_1 再次开通时,第一开关管 S_1 的漏源 电压已降低至0,此时第一开关管 S_1 为零电压开通(见图6中的(h))。

[0048] 根据本发明的技术方案搭建了仿真模型,得到了在本发明所提控制策略下的仿真 波形,如图7所示。第一开关管 S_1 的驱动信号 u_{gs1} 和其漏源电压 u_{ds1} 的波形验证了本发明提 出的图 腾柱PFC整流器软开关控制方案的正确性。同时,搭建了实验平台,得到了在本发明 所提软 开关控制策略下正半周时的实验波形,如图8所示,第一开关管 S_1 的漏源 u_{ds1} 在电感 电流过 零后开始下降,因此 S_1 实现了零电压开通,验证了本发明提出的图腾柱PFC整流器 软开关控 制方案的正确性。

[0049] 实施例仅为说明本发明的技术思想,不能以此限定本发明的保护范围,凡是按照 本发明 提出的技术思想,在技术方案基础上所做的任何改动,均落入本发明保护范围之 内。

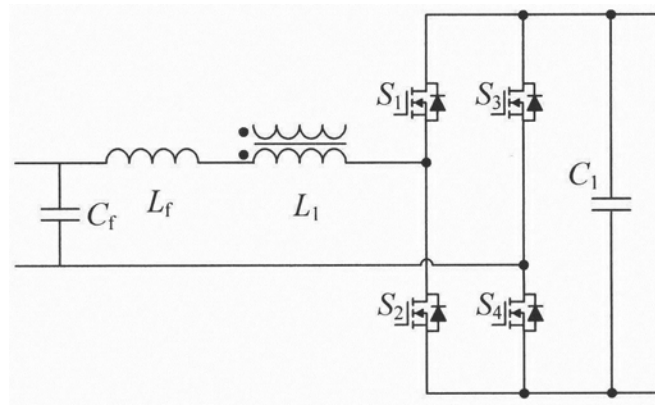


图1

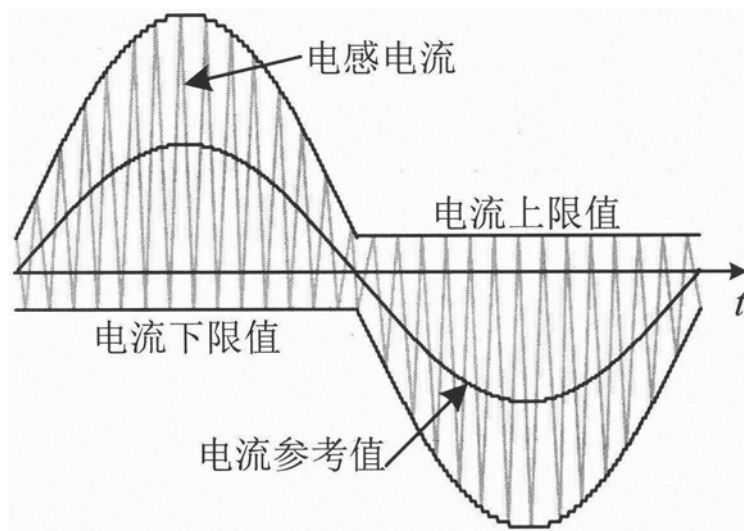


图2

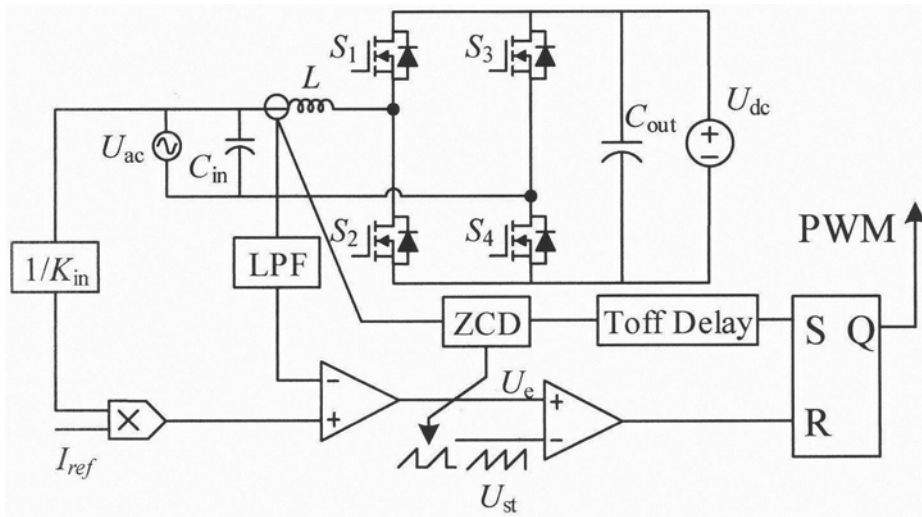


图3

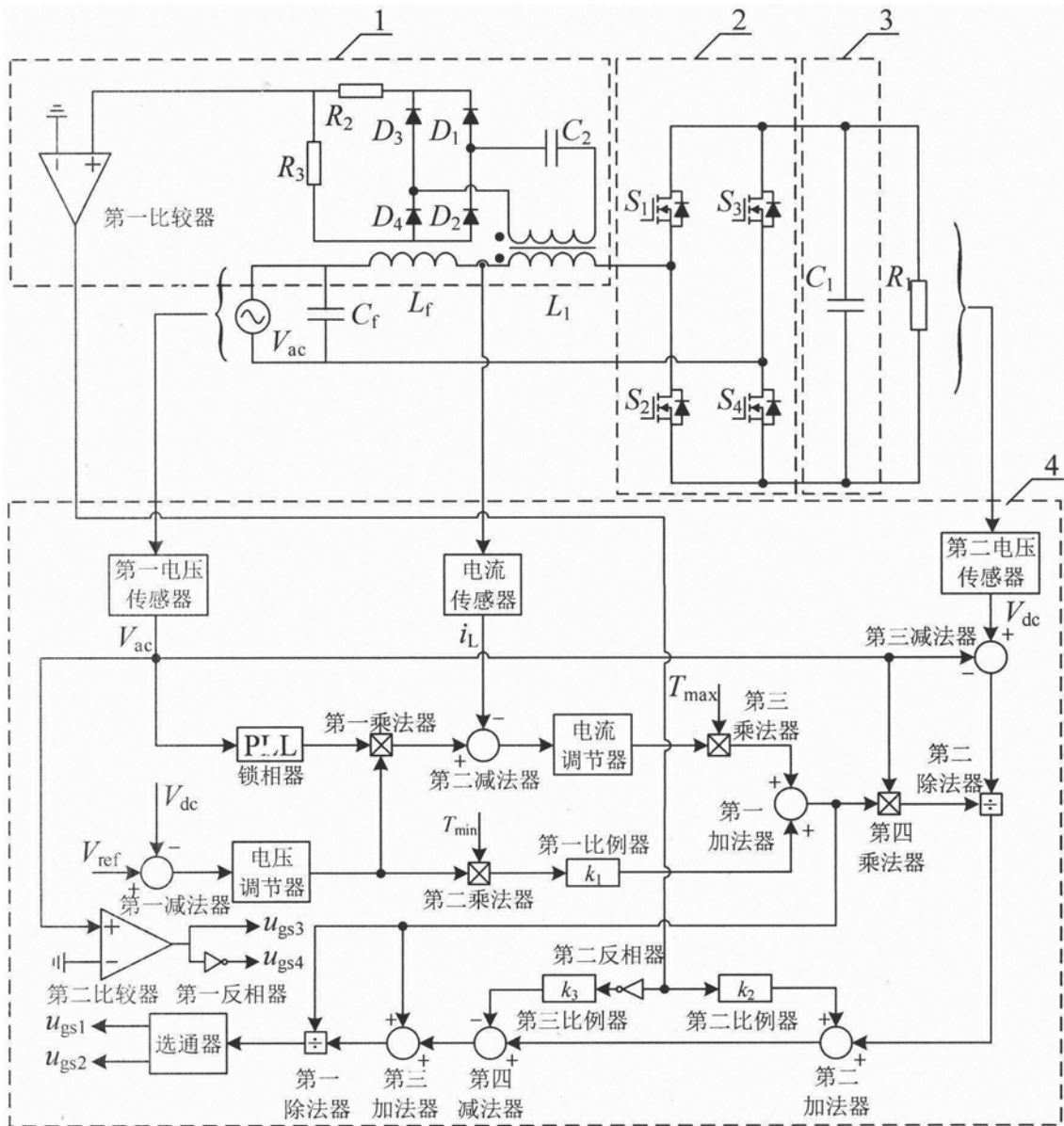


图4

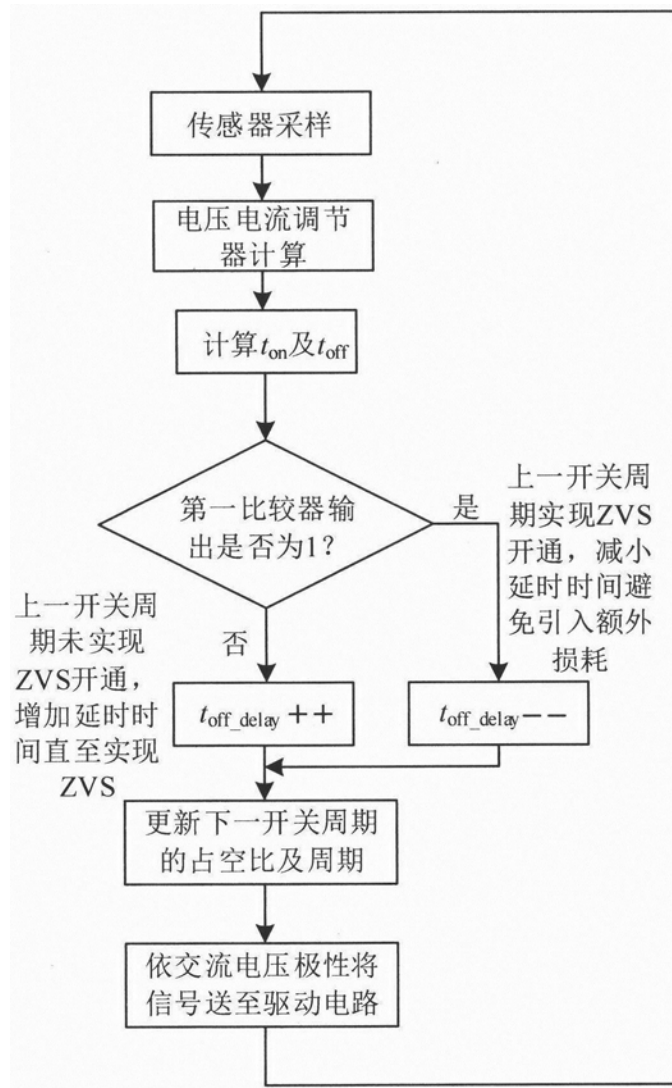


图5

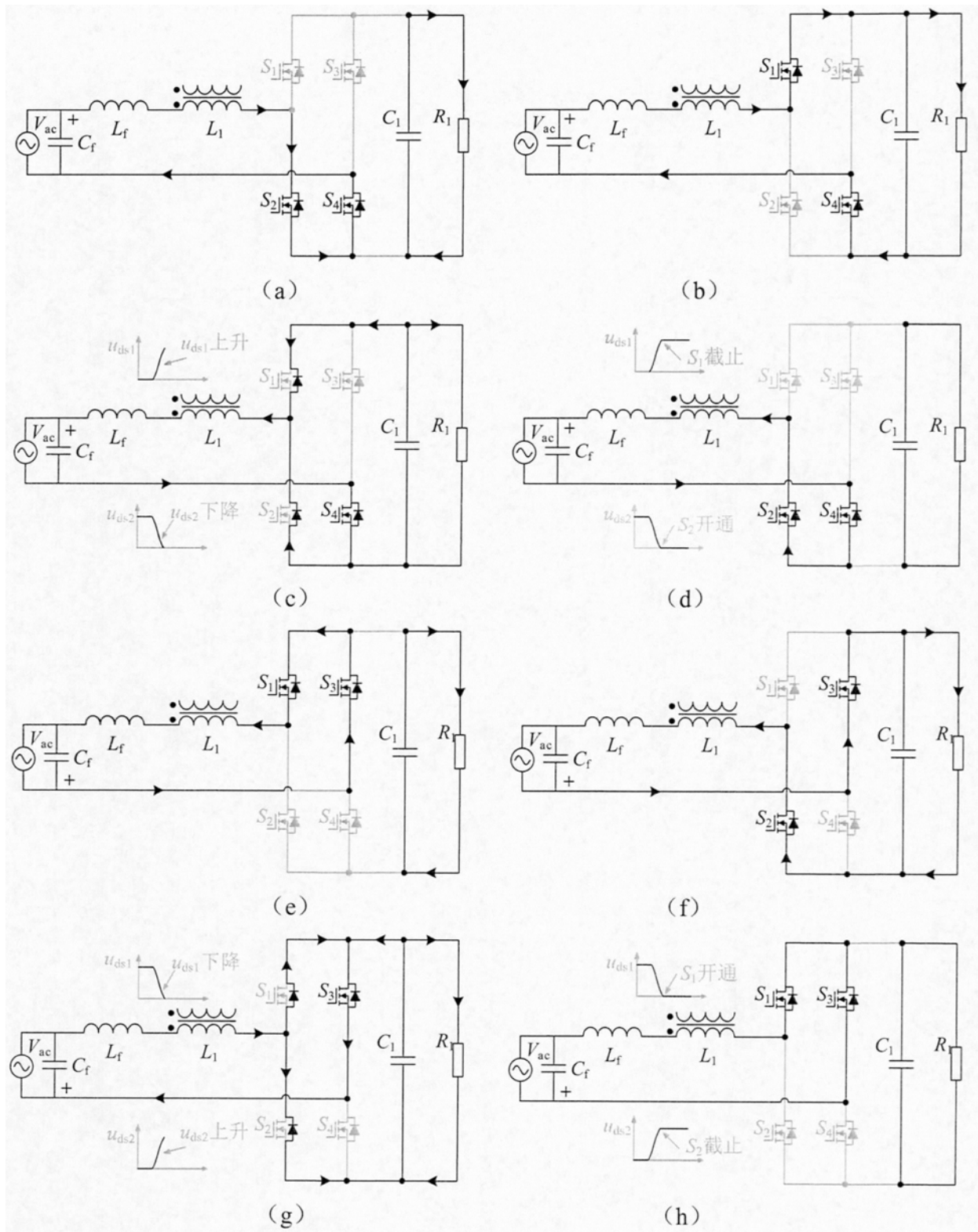


图6

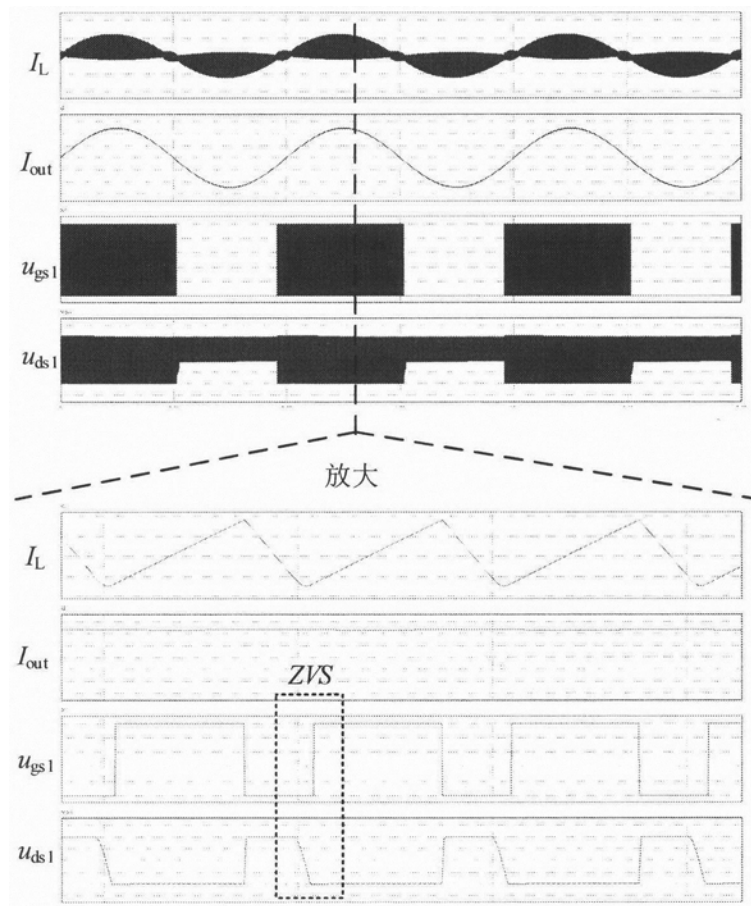


图7

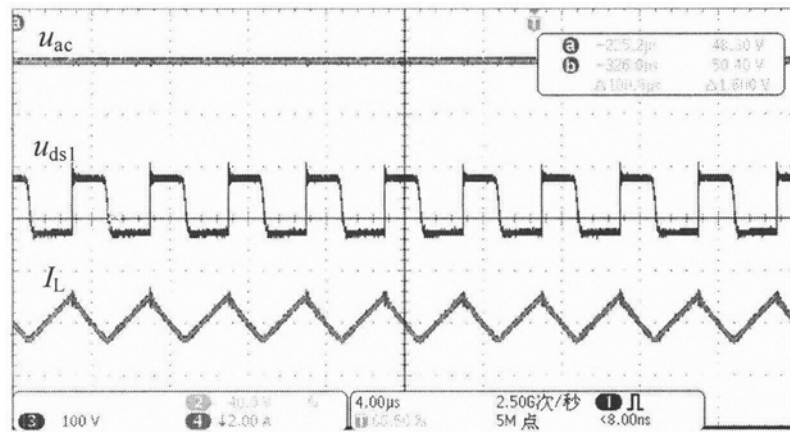


图8