



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103151912 B

(45) 授权公告日 2015. 05. 06

(21) 申请号 201310091524. 1

US 2011/0110127 A1, 2011. 05. 12,

(22) 申请日 2013. 03. 21

US 6191565 B1, 2001. 02. 20,

US 7102341 B1, 2006. 09. 05,

(73) 专利权人 成都芯源系统有限公司

审查员 刘侠

地址 611731 四川省成都市高新西区出口加工区(西区)科新路8号

(72) 发明人 林思聪 金亦青 任远程 张军明

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

代理人 王波波

(51) Int. Cl.

H02M 1/42(2007. 01)

(56) 对比文件

CN 203206106 U, 2013. 09. 18,

CN 101299573 A, 2008. 11. 05,

CN 102356537 A, 2012. 02. 15,

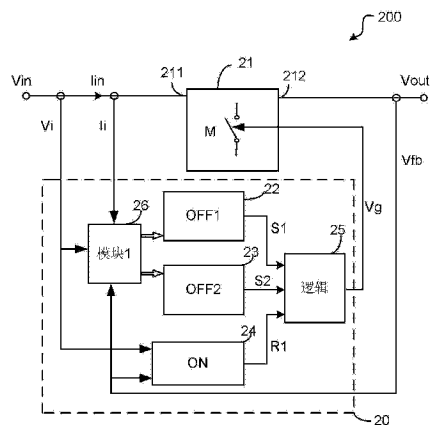
权利要求书3页 说明书14页 附图9页

(54) 发明名称

一种功率因数校正电路及其控制电路和控制方法

(57) 摘要

公开了一种 PFC 电路及其控制电路和控制方法。PFC 电路包括：开关电路，包括主开关；导通时间控制电路，产生导通时间控制信号；第一关断时间控制电路，产生第一关断时间控制信号；第二关断时间控制电路，产生第二关断时间控制信号；以及逻辑电路，接收导通时间控制信号、第一关断时间控制信号和第二关断时间控制信号，其中在连续电流模式下，第一关断时间控制信号控制主开关的导通，在断续电流模式下，第二关断时间控制信号控制主开关的导通。该电路既能工作于连续电流模式也能工作于断续电流模式，比传统的连续电流模式控制方法在轻载时具有更高的效率和功率因数。



1. 一种 PFC 电路,包括:

开关电路,包括主开关,开关电路具有输入端和输出端,其中输入端接收输入电压,输出端提供输出电压;

导通时间控制电路,产生导通时间控制信号控制主开关的关断;

第一关断时间控制电路,产生第一关断时间控制信号;

第二关断时间控制电路,产生第二关断时间控制信号;以及

逻辑电路,接收导通时间控制信号、第一关断时间控制信号和第二关断时间控制信号,输出控制信号控制主开关选择性地工作于连续电流模式或断续电流模式;其中

在连续电流模式下,第一关断时间控制信号控制主开关的导通;

在断续电流模式下,第二关断时间控制信号控制主开关的导通。

2. 如权利要求 1 所述的 PFC 电路,进一步包括第三关断时间控制电路,第三关断时间控制电路产生第三关断时间控制信号,其中逻辑电路进一步接收第三关断时间控制信号并控制主开关选择性地工作于临界电流模式,其中在临界电流模式下第三关断时间控制信号控制主开关的导通。

3. 如权利要求 1 所述的 PFC 电路,其中断续电流模式下的主开关频率低于连续电流模式下的主开关频率。

4. 如权利要求 1 所述的 PFC 电路,其中开关电路包括升压变换电路。

5. 如权利要求 1 所述的 PFC 电路,其中所述导通时间控制电路具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端耦接表征输入电压的输入电压检测信号,第二输入端耦接表征输出电压的输出电压反馈信号,输出端输出导通时间控制信号。

6. 如权利要求 5 所述的 PFC 电路,其中所述导通时间控制电路包括:

第一电流源,产生正比于输出电压的电流;

第一电容,耦接第一电流源,第一电容具有第一端和第二端,其中第一端耦接参考地,第二端提供第一电容电压;

第一开关,具有第一端、第二端和控制端,其中第一开关的第一端耦接第一电容的第一端,第一开关的第二端耦接第一电容的第二端,第一开关在主开关关断时导通,第一开关在主开关导通时关断,在第一开关关断时,第一电流源对第一电容充电;

减法电路,耦接输入电压检测信号和输出电压反馈信号,产生第二信号;

比较电路,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中比较电路的第一输入端接收第一电容电压,比较电路的第二输入端接收第二信号,比较电路的输出端输出导通时间控制信号。

7. 如权利要求 1 所述的 PFC 电路,其中第一关断时间控制电路包括比较电路,比较电路具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端耦接第一参考电流信号,第二输入端耦接表征与输入电压相关联的输入电流的输入电流反馈信号,比较电路比较第一参考电流信号和输入电流反馈信号并在输出端输出第一关断时间控制信号。

8. 如权利要求 7 所述的 PFC 电路,其中第二关断时间控制电路包括:

第二电流源,产生正比于第一参考电流信号的电流;

第二充电开关,和第二电流源串联;

第三电流源,产生正比于平均电流二倍参考信号的电流,其中平均电流二倍参考信号

表征输入电流平均期望值的两倍；

放电开关,和第三电流源串联；

第二电容,具有第一端和第二端,其中第一端耦接参考地,第二端提供第二电容电压；
其中

当输入电流大于零时,第二充电开关导通,第二电流源对第二电容充电使第二电容电压升高；

当输入电流为零时,第三充电开管导通,第三电流源对第二电容放电使第二电容电压降低；以及

比较电路,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端耦接第二电容电压,第二输入端耦接第二参考信号,比较电路比较第二电容电压和第二参考信号并在比较电路的输出端输出第二关断时间控制信号。

9. 如权利要求 1 所述的 PFC 电路,其中逻辑电路包括：

模式判断电路,基于表征输入电流平均期望值两倍的平均电流二倍参考信号和输入电流峰值信号输出第一使能信号和第二使能信号,其中第一使能信号耦接第一关断时间控制电路,第二使能信号耦接第二关断时间控制电路,模式判断电路选择性地抑制第一关断时间控制电路或第二关断时间控制电路；

或门,具有第一端、第二端和输出端,其中第一端接收第一关断时间控制信号,第二端接收第二关断时间控制信号；以及

锁存电路,具有置位端、复位端和输出端,其中置位端耦接或门的输出端,复位端接收导通时间控制信号,输出端控制主开关的导通和关断。

10. 如权利要求 1 所述的 PFC 电路,进一步包含：

参考信号发生电路,基于输入电压检测信号和输出电压反馈信号产生平均电流二倍参考信号；

峰值电流采样电路,耦接输入电流反馈信号,输出输入电流峰值信号；以及

减法电路,耦接平均电流二倍参考信号和输入电流峰值信号,输出第一参考电流信号。

11. 如权利要求 10 所述的 PFC 电路,其中参考信号发生电路包括：

误差放大电路,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端耦接输出电压反馈信号,第二输入端耦接参考电压,输出端提供输出电压补偿信号；

输入电压平均电路,具有输入端和输出端,其中输入端耦接输入电压检测信号,输出端提供输入电压平均信号；以及

乘法电路,具有第一输入端、第二输入端、第三输入端和输出端,其中第一输入端耦接误差放大电路的输出端用于接收输出电压补偿信号,第二输入端耦接输入电压检测信号,第三输入端耦接输入电压平均电路的输出端用于接收输入电压平均信号,输出端提供平均电流二倍参考信号。

12. 一种 PFC 控制电路,用于控制开关电路中的耦接于输入端和输出端之间的开关,其中输入端具有输入电压和输入电流,输出端具有输出电压,PFC 控制电路包括：

导通时间控制电路,基于输入电压和输出电压产生导通时间控制信号,控制主开关的关断；

第一关断时间控制电路,产生第一关断时间控制信号；

第二关断时间控制电路,产生第二关断时间控制信号;以及
逻辑电路,控制主开关选择性地工作于连续电流模式或断续电流模式;其中
在连续电流模式下,第一关断时间控制信号控制主开关的导通;
在断续电流模式下,第二关断时间控制信号控制主开关的导通。

13. 如权利要求 12 所述的控制电路,其中第一关断时间控制电路包括比较电路,比较
电路将输入电流反馈信号和第一参考电流信号比较,当输入电流反馈信号小于第一参考电
流信号时,比较电路的输出端控制主开关导通。

14. 如权利要求 12 所述的控制电路,其中第二关断时间控制电路包括:

第二电流源,正比于第一参考电流信号,其中第一参考电流信号为平均电流二倍参考
信号和输入电流峰值信号的差值信号;

第三电流源,正比于平均电流二倍参考信号;以及

第二电容,具有第一端和第二端,其中第一端耦接参考地,第二端提供第二电容电压,
其中当输入电流大于零时第二电流源对第二电容充电使第二电容电压升高,当输入电流为
零时第三电流源对第二电容放电使第二电容电压降低;以及

比较电路,比较第二电容电压和第二参考信号并输出第二关断时间控制信号。

15. 如权利要求 12 所述的控制电路,进一步包括:

误差放大电路,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端耦接输出电压
反馈信号,第二输入端耦接参考电压,输出端提供输出电压补偿信号;

输入电压平均电路,具有输入端和输出端,其中输入端耦接输入电压检测信号,输出端
提供输入电压平均信号;

乘法电路,具有第一输入端、第二输入端、第三输入端和输出端,其中第一输入端耦接
误差放大电路的输出端用于接收输出电压补偿信号,第二输入端耦接输入电压检测信号,
第三输入端耦接输入电压平均电路的输出端用于接收输入电压平均信号,输出端提供平均
电流二倍参考信号;

峰值电流采样电路,耦接输入电流反馈信号,输出输入电流峰值信号;以及

减法电路,耦接平均电流二倍参考信号和输入电流峰值信号,输出第一参考电流信号。

16. 一种用于 PFC 控制的方法,包括:

根据输入电流选择性地工作于连续电流模式或断续电流模式,其中在断续电流模式中的
频率小于连续电流模式中的频率,其中在连续电流模式下采用第一关断时间控制电路控
制关断时间的长度,在断续电流模式下采用第二关断时间控制电路控制关断时间的长度;
以及

同时在连续电流模式和断续电流模式中采用相同的主开关导通时间控制方式。

17. 如权利要求 16 所述的方法,其中:

当输入电流平均电流参考信号的两倍大于输入电流峰值信号时,采用连续电流模式;
以及

当输入电流平均电流参考信号的两倍小于输入电流峰值信号时,采用断续电流模式。

一种功率因数校正电路及其控制电路和控制方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及电源的控制电路,具体涉及功率因数校正电路及其控制电路和控制方法。

背景技术

[0002] 功率因数校正 (PFC) 电路被广泛应用于电源转换系统中,用于校正电流的相位,提高功率因数。图 1 示出了一种 PFC 控制的波形示意图。如图所示,输入电压 V_{in} 呈馒头波形状,输入电压一般为将市电的正弦交流信号经过整流后获得。为了实现 PFC 控制,需要控制输入电流 I_{in} 的波形跟随输入电压 V_{in} 的波形,使输入电流 I_{in} 的相位与输入电压 V_{in} 一致。通常,较高的输入电压 V_{in} 对应较低的输入电流平均值 I_{in_avg} 。在开关模式 PFC 电路中,输入电流 I_{in} 呈锯齿波形状,从而可通过控制输入电流 I_{in} 的平均电流 I_{in_avg} 的波形跟随输入电压波形来提高功率因数,实现功率因数校正。

[0003] 同时,国际能源管理机构对 PFC 电路的转换效率也提出了较高的要求。然而,现有的 PFC 电路产品在低负载条件下的效率还不能很好的符合能源管理机构期望的要求。

[0004] 因此,有必要对 PFC 电路进行改进,以期提高效率,特别是低载条件下的效率,同时又不增加太多成本。

发明内容

[0005] 为了解决前面描述的一个问题或者多个问题,本发明提出一种 PFC 电路及其控制电路和控制方法。

[0006] 一种 PFC 电路包括:开关电路,包括主开关,开关电路具有输入端和输出端,其中输入端接收输入电压并具有输入电流,输出端提供输出电压;导通时间控制电路,产生导通时间控制信号控制主开关的关断;第一关断时间控制电路,产生第一关断时间控制信号;第二关断时间控制电路,产生第二关断时间控制信号;以及逻辑电路,接收导通时间控制信号、第一关断时间控制信号和第二关断时间控制信号,输出控制信号控制主开关选择性地工作于连续电流模式或断续电流模式;其中在连续电流模式下,第一关断时间控制信号控制主开关的导通;在断续电流模式下,第二关断时间控制信号控制主开关的导通。PFC 电路可进一步包括第三关断时间控制电路,第三关断时间控制电路产生第三关断时间控制信号,其中逻辑电路进一步接收第三关断时间控制信号并控制主开关选择性地工作于临界电流模式,其中在临界电流模式下第三关断时间控制信号控制主开关的导通。其中断续电流模式下的主开关频率低于连续电流模式下的主开关频率。在一个实施例中,开关电路包括升压变换电路。在一个实施例中,导通时间控制电路具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端耦接表征输入电压的输入电压检测信号,第二输入端耦接表征输出电压的输出电压反馈信号,输出端输出导通时间控制信号。在一个实施例中,导通时间控制电路包括:第一电流源,产生正比于输出电压的电流;第一电容,耦接第一电流源,第一电容具有第一端和第二端,其中第一端耦接参考地,第二端提供第一电容电压;第一开关,具有

第一端、第二端和控制端,其中第一开关的第一端耦接第一电容的第一端,第一开关的第二端耦接第一电容的第二端,第一开关在主开关关断时导通,第一开关在主开关导通时关断,在第一开关关断时,第一电流源对第一电容充电;减法电路,耦接输入电压检测信号和输出电压反馈信号,产生第二信号;比较电路,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中比较电路的第一输入端接收第一电容电压,比较电路的第二输入端接收第二信号,比较电路的输出端输出导通时间控制信号。在一个实施例中,第一关断时间控制电路包括比较电路,比较电路具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端耦接第一参考电流信号,第二输入端耦接表征输入电流的输入电流反馈信号,比较电路比较第一参考电流信号和输入电流反馈信号并在输出端输出第一关断时间控制信号。在一个实施例中,第二关断时间控制电路包括:第二电流源,产生正比于第一参考电流信号的电流;第二充电开关,和第二电流源串联;第三电流源,产生正比于平均电流二倍参考信号的电流,其中平均电流二倍参考信号表征输入电流平均期望值的两倍;放电开关,和第三电流源串联;第二电容,具有第一端和第二端,其中第一端耦接参考地,第二端提供第二电容电压;其中当输入电流大于零时,第二充电开关导通,第二电流源对第二电容充电使第二电容电压升高;当输入电流为零时,第三充电开关导通,第三电流源对第二电容放电使第二电容电压降低;以及比较电路,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端耦接第二电容电压,第二输入端耦接第二参考信号,比较电路比较第二电容电压和第二参考信号并在比较电路的输出端输出第二关断时间控制信号。逻辑电路可包括:模式判断电路,基于表征输入电流平均期望值两倍的平均电流二倍参考信号和输入电流峰值信号输出第一使能信号和第二使能信号,其中第一使能信号耦接第一关断时间控制电路,第二使能信号耦接第二关断时间控制电路,模式判断电路选择性地抑制第一关断时间控制电路或第二关断时间控制电路;或门,具有第一端、第二端和输出端,其中第一端接收第一关断时间控制信号,第二端接收第二关断时间控制信号;以及锁存电路,具有置位端、复位端和输出端,其中置位端耦接或门的输出端,复位端接收导通时间控制信号,输出端控制主开关的导通和关断。在一个实施例中,上述 PFC 电路进一步包含:参考信号发生电路,基于输入电压检测信号和输出电压反馈信号产生平均电流二倍参考信号;峰值电流采样电路,耦接输入电流反馈信号,输出输入电流峰值信号;以及减法电路,耦接平均电流二倍参考信号和输入电流峰值信号,输出第一参考电流信号。其中参考信号发生电路可包括:误差放大电路,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端耦接输出电压反馈信号,第二输入端耦接参考电压,输出端提供输出电压补偿信号;输入电压平均电路,具有输入端和输出端,其中输入端耦接输入电压检测信号,输出端提供输入电压平均信号;以及乘法电路,具有第一输入端、第二输入端、第三输入端和输出端,其中第一输入端耦接误差放大电路的输出端用于接收输出电压补偿信号,第二输入端耦接输入电压检测信号,第三输入端耦接输入电压平均电路的输出端用于接收输入电压平均信号,输出端提供平均电流二倍参考信号。

[0007] 一种 PFC 控制电路,用于控制开关电路中的耦接于输入端和输出端之间的主开关,其中输入端具有输入电压和输入电流,输出端具有输出电压,PFC 控制电路包括:导通时间控制电路,基于输入电压和输出电压产生导通时间控制信号,控制主开关的关断;第一关断时间控制电路,产生第一关断时间控制信号;第二关断时间控制电路,产生第二关断时间控制信号;以及逻辑电路,控制主开关选择性地工作于连续电流模式或断续电流模式;

其中在连续电流模式下,第一关断时间控制信号控制主开关的导通;在断续电流模式下,第二关断时间控制信号控制主开关的导通。在一个实施例中,断续电流模式下的主开关频率低于连续电流模式下的主开关频率。导通时间控制电路可包括:第一电流源,正比于输出电压;第一电容,由第一电流源充电,第一电容具有第一端和第二端,其中第一端耦接参考地,第二端提供第一电容电压;第一开关,具有第一端、第二端和控制端,其中第一开关的第一端耦接第一电容的第一端,第一开关的第二端耦接第一电容的第二端,第一开关在主开关关断时导通;减法电路,耦接输入电压检测信号和输出电压反馈信号,产生第二信号;以及比较电路,比较第一电容电压和第二信号,当第一电容电压大于第二信号时,比较电路的输出端输出信号控制主开关关断。第一关断时间控制电路可包括比较电路,比较电路将输入电流反馈信号和第一参考电流信号比较,当输入电流反馈信号小于第一参考电流信号时,比较电路的输出端控制主开关导通。第二关断时间控制电路可包括:第二电流源,正比于第一参考电流信号,其中第一参考电流信号为平均电流二倍参考信号和输入电流峰值信号的差值信号;第三电流源,正比于平均电流二倍参考信号;以及第二电容,具有第一端和第二端,其中第一端耦接参考地,第二端提供第二电容电压,其中当输入电流大于零时第二电流源对第二电容充电使第二电容电压升高,当输入电流为零时第三电流源对第二电容放电使第二电容电压降低;以及比较电路,比较第二电容电压和第二参考信号并输出第二关断时间控制信号。控制电路可进一步包括:误差放大电路,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端耦接输出电压反馈信号,第二输入端耦接参考电压,输出端提供输出电压补偿信号;输入电压平均电路,具有输入端和输出端,其中输入端耦接输入电压检测信号,输出端提供输入电压平均信号;乘法电路,具有第一输入端、第二输入端、第三输入端和输出端,其中第一输入端耦接误差放大电路的输出端用于接收输出电压补偿信号,第二输入端耦接输入电压检测信号,第三输入端耦接输入电压平均电路的输出端用于接收输入电压平均信号,输出端提供平均电流二倍参考信号;峰值电流采样电路,耦接输入电流反馈信号,输出输入电流峰值信号;以及减法电路,耦接平均电流二倍参考信号和输入电流峰值信号,输出第一参考电流信号。

[0008] 一种用于 PFC 控制的方法,包括:根据输入电流选择性地工作于连续电流模式或断续电流模式,其中在断续电流模式中的频率小于连续电流模式中的频率;以及同时在连续电流模式和断续电流模式中采用相同的主开关导通时间控制方式。在一个实施例中,当输入电流平均电流参考信号的两倍大于输入电流峰值信号时,采用连续电流模式,采用第一关断时间控制电路控制关断时间的长度;当输入电流平均电流参考信号的两倍小于输入电流峰值信号时,采用断续电流模式,采用第二关断时间控制电路控制关断时间的长度。在一个实施例中,在连续电流模式中,主开关的关断时间长度为从关断开始到输入电流下降到第一参考电流信号的时间,其中第一参考电流信号为输入电流平均电流参考信号的两倍与输入电流峰值信号的差值。

[0009] 根据本发明的实施例所提供的 PFC 电路及其控制电路和控制方法,既能工作于连续电流模式也能工作于断续电流模式,具有功率因数高、低载条件下效率高、实现模拟电路控制和成本低等优点。

附图说明

- [0010] 为了更好的理解本发明,将根据以下附图对本发明的实施例进行描述:
- [0011] 图 1 示出了一种用于 PFC 控制的波形图;
- [0012] 图 2 示出了根据本发明一实施例的 PFC 电路框图;
- [0013] 图 3 示出了根据本发明一具体实施例的 PFC 电路示意图;
- [0014] 图 4 示出了根据本发明另一实施例的 PFC 电路示意图;
- [0015] 图 5 示出了根据本发明一实施例的导通时间控制电路;
- [0016] 图 6 示出了根据本发明一实施例的在输入电压一个馒头波周期内的预定导通时间波形图;
- [0017] 图 7 示出了根据本发明一实施例的第一关断时间控制电路;
- [0018] 图 8 示出了根据本发明一实施例的对应图 7 中第一关断时间控制电路的波形示意图;
- [0019] 图 9 示出了根据本发明一实施例的第二关断时间控制电路;
- [0020] 图 10 示出了根据本发明一实施例的对应图 9 中第二关断时间控制电路的波形示意图;
- [0021] 图 11 示出了根据本发明一实施例的第三关断时间控制电路;
- [0022] 图 12 示出了根据本发明一实施例的不同负载下的输入电流波形图;
- [0023] 图 13 示出了根据本发明一实施例的不同负载下的频率示意图;
- [0024] 图 14 示出了根据本发明一实施例的对应图 4 中 PFC 电路的波形示意图;以及
- [0025] 图 15 示出了根据本发明一实施例的用于 PFC 控制的方法。
- [0026] 附图没有对实施例的所有电路或结构进行显示。贯穿所有附图相同的附图标记表示相同或相似的部件或特征。

具体实施方式

[0027] 下面将详细描述本发明的具体实施例,应当注意,这里描述的实施例只用于举例说明,并不用于限制本发明。在下面对本发明的详细描述中,为了更好地理解本发明,描述了大量的细节。然而,本领域技术人员将理解,没有这些具体细节,本发明同样可以实施。为了清晰明了地阐述本发明,本文简化了一些具体结构和功能的详细描述。此外,在一些实施例中已经详细描述过的类似的结构和功能,在其它实施例中不再赘述。尽管本发明的各项术语是结合具体的示范实施例来一一描述的,但这些术语不应理解为局限于这里阐述的示范实施方式。

[0028] 本发明的说明书中提到的“耦接”可指直接的连接或通过间接物的连接,如通过导体的连接,该导体具有阻值,也可有寄生参数,如具有电感值和电容值,以及如通过半导体器件如二极管的连接等。

[0029] 图 2 示出了根据本发明一实施例的 PFC 电路框图 200。PFC 电路 200 包括开关电路 21 和 PFC 控制电路 20。开关电路 21 包括主开关 M,开关电路 21 具有输入端 211 和输出端 212,其中输入端 211 接收输入电压 V_{in} ,并在 PFC 电路 200 的控制下输入端 211 进一步具有被调制的输入电流 I_{in} 。PFC 控制电路 20 控制主开关 M 的开关动作,在主开关 M 的开关动作下 PFC 电路 200 将输入电压 V_{in} 转换成输出电压 V_{out} 并在开关电路 21 的输出端 212 输出。控制电路 20 包括导通时间控制电路 24 (ON)、第一关断时间控制电路 22 (OFF1)、第二

关断时间控制电路 23 (OFF2) 和逻辑电路 25。导通时间控制电路 24 产生导通时间控制信号 R1 控制主开关 M 的导通时间,并在导通时间的终点控制主开关 M 的关断。在图示的实施例中,导通时间控制信号 R1 基于输入电压 V_{in} 和输出电压 V_{out} 产生导通时间控制信号 R1。

[0030] 输入电压 V_{in} 经输入电压检测电路检测获得输入电压检测信号 V_i ,其中输入电压检测电路可为任意的电压检测电路,如电阻分压电路等,为简洁起见,输入电压检测电路没有具体示出。输入电流 I_{in} 经输入电流反馈电路检测获得输入电流反馈信号 I_i 。在一个实施例中,输入电流检测信号 I_i 为一电压值,输入电流反馈信号 I_i 正比于输入电流 I_{in} 的值。为简洁起见,输入电流反馈电路没有具体示出。输出电压 V_{out} 经输出电压反馈电路检测获得输出电压反馈信号 V_{fb} 。在一个实施例中,输出电压反馈电路为电阻分压电路。

[0031] 因此,导通时间控制信号 R1 可基于输入电压检测信号 V_i 和输出电压反馈信号 V_{fb} 产生。在另一个实施例中,导通时间控制信号 R1 只基于输入电压检测信号 V_i 产生。

[0032] 第一关断时间控制电路 22 产生第一关断时间控制信号 S1,用于在连续电流模式下控制主开关 M 的导通,以控制主开关关断时间的长度。在一个实施例中,第一关断时间控制电路 22 基于输入电流反馈信号 I_i 和输出电压反馈信号 V_{fb} 产生第一关断时间控制信号 S1。在一个实施例中,第一关断时间控制电路 22 基于输入电流反馈信号 I_i 、输入电压检测信号 V_i 和输出电压反馈信号 V_{fb} 产生第一关断时间控制信号 S1。

[0033] 第二关断时间控制电路 23 产生第二关断时间控制信号 S2,用于在断续电流模式下控制主开关 M 的导通,以控制主开关关断时间的长度。在一个实施例中,第二关断时间控制电路 23 基于输入电流反馈信号 I_i 和输出电压反馈信号 V_{fb} 产生第二关断时间控制信号 S2。在另一个实施例中,第二关断时间控制电路 23 基于输入电流反馈信号 I_i 、输出电压反馈信号 V_{fb} 和输入电压检测信号 V_i 产生第二关断时间控制信号 S2。

[0034] 逻辑电路 25 具有第一输入端、第二输入端、第三输入端和输出端,其中第一输入端耦接导通时间控制电路 24 用于接收导通时间控制信号 R1,第二输入端耦接第一关断时间控制电路 22 用于接收第一关断时间控制信号 S1,第三输入端耦接第二关断时间控制电路 23 用于接收第二关断时间控制信号 S2,输出端耦接主开关 21 输出开关控制信号 V_g 控制主开关 M 选择性地工作于连续电流模式或断续电流模式。在连续电流模式下,第一关断时间控制信号 S1 控制主开关 M 的导通。在断续电流模式下,第二关断时间控制信号 S2 控制主开关 M 的导通。在一个实施例中,逻辑电路 25 包括或门,当第一关断时间控制信号 S1 电平为高时,第一关断时间控制信号 S1 控制主开关 M 导通;当第二关断时间控制信号 S2 为高电平时,第二关断时间控制信号 S2 控制主开关 M 导通。在其他实施例中,逻辑电路 25 可进一步包括模式判断电路,基于输入电流反馈信号 I_i 判断开关电路 21 工作于连续电流模式或断续电流模式并选择性地抑制第一关断时间控制电路 22 或第二关断时间控制电路 23 使第一关断时间控制信号 S1 或第二关断时间控制信号 S2 呈低电平。模块 26 基于输入电流反馈信号 I_i 、输入电压检测信号 V_i 和输出电压反馈信号 V_{fb} 产生一个或多个中间信号,并将中间信号提供给第一关断时间控制电路 22 和第二关断时间控制电路 23。在一个实施例中,模块 26 进一步将一个或多个中间信号提供给逻辑电路 25。

[0035] 图 3 示出了根据本发明一具体实施例的 PFC 电路 300 示意图。PFC 电路 300 包括整流电路 37,开关电路 31 和控制电路 30。在另一个实施例中,PFC 电路 300 不包括整流电路 37。在图示的实施例中,整流电路 37 将正弦交流电压 V_{ac} 进行整流,输出馒头波 V_{in} ,即

位于开关电路 31 输入端的输入电压 V_{in} 。在描述中,标记 V_{in} 和 V_{out} ,除了代表输入电压 V_{in} 和输出电压 V_{out} ,也可代表开关电路 31 的输入端和输出端。标记 V_i 、 I_i 、 V_{fb} 、 GND 和 V_g 除了代表输入电压检测信号 V_i 、输入电流反馈信号 I_i 、输出电压反馈信号 V_{fb} 、参考地 GND 和开关控制信号 V_g ,也可表示控制电路 31 的各端点。

[0036] 在图示的实施例中,开关电路 31 包括升压变换电路。开关电路 31 具有输入端 V_{in} 和输出端 V_{out} 。开关电路 31 内部包括主开关 M ,电感 $L1$,二极管 D 和输出电容 C_o 。电感 $L1$ 第一端接收输入电压 V_{in} ,电感 $L1$ 第二端耦接主开关 M 的第一端,主开关 M 的第二端耦接参考地 GND ,二极管 D 的阳极耦接电感 $L1$ 的第二端,二极管 D 的阴极耦接输出电容 C_o 的第一端,输出电容 C_o 的第二端耦接参考地 GND 。二极管 D 的阴极和输出电容 C_o 的第一端提供输出电压 V_{out} 。在另一个实施例中,二极管 D 由开关管代替。虽然图示的实施例中示出了输入电容 C_i ,但是在另一个实施例中,PFC 电路不包含输入电容 C_i 。在主开关 M 的开关作用下,开关电路 31 对输出电压 V_{out} 和输入电流 I_{in} 的大小进行调节,使得输入电流 I_{in} 的波形跟随输入电压 V_{in} 的波形。在另一个实施例中,开关电路 31 包括升压-降压变换电路。

[0037] 控制电路 30 耦接输入电压 V_{in} 、输入电流 I_{in} 和输出电压 V_{out} ,输出开关控制信号 V_g 控制主开关 M 的开关动作使输入电流 I_{in} 跟随输入电压 V_{in} 的波形。在不同的负载状态下,控制电路 30 选择开关电路 31 工作于连续电流模式或断续电流模式,其中在连续电流模式下,第一关断时间控制电路 32 输出的第一关断时间控制信号 $S1$ 控制主开关 M 的导通和关断时间长度,在断续电流模式下,第二关断时间控制电路 33 输出的第二关断时间控制信号 $S2$ 控制主开关 M 的导通或关断时间长度。导通时间控制电路 34 在所有的负载条件下,即无论是连续电流模式还是断续电流模式,都保持相同的主开关导通时间控制方式,即基于输入电压 V_{in} 和输出电压 V_{out} 输出导通时间控制信号 $R1$ 。控制电路 30 具有输入电压端 V_i ,输入电流端 I_i ,输出电压端 V_{fb} 和开关控制端 V_g ,其中输入电压端 V_i 耦接输入电压 V_{in} 用于接收输入电压 V_{in} 或输入电压反馈信号 V_i ,输入电流端 I_i 耦接输入电流 I_{in} 用于接收输入电流 I_{in} 或输入电流反馈信号 I_i ,输出电压端 V_{fb} 耦接输出电压 V_{out} 用于接收输出电压反馈信号 V_{fb} ,开关控制端 V_g 耦接主开关 M 的控制端用于控制主开关 M 的导通和关断。在图中,产生输入电压检测信号 V_i 的输入电压检测电路和产生输入电流反馈信号 I_i 的输入电流反馈电路未示出。在一个实施例中,控制电路 30 包括输入电压检测电路和输入电流反馈电路。在另一个实施例中,输入电压检测电路和输入电流反馈电路位于控制电路 30 之外。

[0038] 控制电路 30 包括第一关断时间控制电路 32、第二关断时间控制电路 33、导通时间控制电路 34 和逻辑电路 35。第一关断时间控制电路 32 基于输入电流反馈信号 I_i ,平均电流参考信号 I_{th} 和输入电流峰值信号 I_{pk} 产生第一关断时间控制信号 $S1$ 。在图示的实施例中,第一关断时间控制电路 32 基于输入电流反馈信号 I_i 和第一参考电流信号 I_{ref} 产生第一关断时间控制信号 $S1$,其中第一参考电流信号 I_{ref} 为平均电流参考信号 I_{th} 的二倍值减去输入电流峰值信号 I_{pk} , $I_{ref} = I_d - I_{pk} = 2I_{th} - I_{pk}$ 。图 7 示出了根据本发明一个实施例的第一关断时间控制电路 700。

[0039] 第二关断时间控制电路 33 基于平均电流参考信号 I_{th} ,输入电流峰值信号 I_{pk} 和电流状态检测信号 V_{pd} 产生第二关断时间控制信号 $S2$ 。在图示的实施例中,第二关断时间控制电路 33 基于第一参考电流信号 I_{ref} ,平均电流二倍参考信号 I_d 和电流状态检测信号

V_{pd} 产生第二关断时间控制信号 S2。其中平均电流二倍参考信号 I_d 为平均电流参考信号 I_{th} 的二倍值。图 9 示出了根据本发明一实施例的第二关断时间控制电路,将在下面章节进行详细描述。

[0040] 导通时间控制电路 34 具有第一输入端 341、第二输入端 342 和输出端 343,其中第一输入端 341 耦接输入电压检测信号 V_i,第二输入端 342 耦接输出电压反馈信号 V_{fb},输出端 343 输出导通时间控制信号 R1。图 5 示出了根据本发明一实施例的导通时间控制电路,将在下面的章节详细描述。

[0041] 逻辑电路 35 包括或门 351、锁存电路 352 和模式判断电路 353。或门 351 具有第一端、第二端和输出端,其中第一端耦接第一关断时间控制电路 32 用于接收第一关断时间控制信号 S1,第二端耦接第二关断时间控制电路 33 用于接收第二关断时间控制信号 S2。锁存电路 352 具有置位端 S、复位端 R 和输出端 Q,其中置位端 S 耦接或门 351 的输出端,复位端 R 耦接导通时间控制电路 34 用于接收导通时间控制信号 R1,输出端 Q 耦接主开关 M 的控制端用于控制主开关 M 的导通和关断。当第一关断时间控制信号 S1 或第二关断时间控制信号 S2 任一信号为有效电平时(在该实施例中,高电平为有效电平),或门 351 触发锁存电路 352 置位,开关控制信号 V_g 升高使得主开关 M 导通。当导通时间控制信号 R1 为高电平时,锁存电路 352 复位,开关控制信号 V_g 降低将主开关 M 关断,关断至锁存电路 352 被再次置位。模式判断电路 353 具有第一输入端、第二输入端、第一使能输出端和第二使能输出端,其中第一输入端耦接平均电流二倍参考信号 I_d,第二输入端耦接输入电流峰值信号 I_{pk},第一使能输出端 D1 耦接第一关断时间控制电路 32,第二使能输出端 D2 耦接第二关断时间控制电路 33。模式判断电路 353 基于平均电流二倍参考信号 I_d 和输入电流峰值信号 I_{pk} 输出第一使能信号 D1 和第二使能信号 D2,其中第一使能信号 D1 耦接第一关断时间控制电路 32,第二使能信号 D2 耦接第二关断时间控制电路 33,模式判断电路 353 选择性地抑制第一关断时间控制电路 32 或第二关断时间控制电路 33 使开关电路 31 选择性地工作于断续电流模式或连续电流模式。模式判断电路 353 包括比较器 C,比较平均电流二倍参考信号 I_d 和输入电流峰值信号 I_{pk},其中 $I_d = 2I_{th}$ 。当平均电流二倍参考信号 I_d 大于输入电流峰值信号 I_{pk},即 $2I_{th} > I_{pk}$ 时,模式判断电路 353 控制 PFC 电路 300 工作于连续电流模式,第一使能信号 D1 为高电平、第二使能信号 D2 为低电平,第一关断时间控制电路 32 被使能,第二关断时间控制电路 33 被抑制,第二关断时间控制信号 S2 保持低电平;当平均电流二倍参考信号 I_d 小于输入电流峰值信号 I_{pk},即 $2I_{th} < I_{pk}$ 时,模式判断电路 353 控制 PFC 电路 300 工作于断续电流模式,第二使能信号 D2 为高电平、第一使能信号 D1 为低电平,第二关断时间控制电路 33 被使能,第一关断时间控制电路 32 被抑制,第一关断时间控制信号 S1 保持低电平。

[0042] 控制电路 30 可进一步包含参考信号发生电路 38,峰值电流采样电路 364(P),减法电路 366 和电流状态检测电路 367(T)。其中参考信号发生电路 38 基于输入电压检测信号 V_i、输出电压反馈信号 V_{fb} 产生平均电流二倍参考信号 I_d。平均电流二倍参考信号 I_d 为期望的平均电流参考信号 I_{th} 的两倍,即输入电流检测信号 I_i 的平均值参考信号的两倍。

[0043] 在图示的实施例中,参考信号发生电路 38 包括误差放大电路 361,输入电压平均电路 362,第一乘法电路 363 和第二乘法电路 365。误差放大电路 361 输出输出电压反馈信号 V_{fb} 与参考电压 V_{ref} 的差值积分信号或称输出电压补偿信号 V_{comp},经控制电路 30 控制

使得输出电压反馈信号 V_{fb} 最终稳定在参考电压 V_{ref} 值。其中误差放大电路 361 具有耦接输出电压反馈信号 V_{fb} 的第一输入端、耦接参考电压 V_{ref} 的第二输入端和提供输出电压补偿信号 V_{comp} 的输出端。输入电压平均电路 362 获取输入电压检测信号 V_i 在一定周期内的平均值, 如一个开关周期内的平均值, 该平均值反映输入电压 V_{in} 的平均值。输入电压平均电路 362 的输入端耦接输入电压检测信号 V_i , 输入电压平均电路 362 的输出端提供输入电压平均信号 V_{iav} 至第一乘法电路 363。其中第一乘法电路 363 的第一输入端 A 耦接误差放大电路 361 的输出端用于接收输出电压补偿信号 V_{comp} , 第一乘法电路 363 的第二输入端 B 耦接输入电压检测信号 V_i , 第一乘法电路 363 的第三输入端 C 耦接输入电压平均电路 362 的输出端用于接收输入电压平均信号 V_{iav} , 第一乘法电路 363 的输出端提供平均电流参考信号 I_{th} , 使得 $I_{th} = (V_i * V_{comp}) / V_{iav}^2$ 。

[0044] 平均电流参考信号 I_{th} 为反映期望的输入电流平均值的参考信号。第二乘法电路 365 耦接第一乘法电路 363 的输出端, 产生二倍于平均电流参考信号 I_{th} 的平均电流二倍参考信号 I_d , 即 $I_d = 2 * I_{th}$ 。在一个实施例中, 参考信号发生电路 38 只包含一个乘法电路, 该乘法电路执行图 3 中第一乘法电路 363 和第二乘法电路 365 的功能, 即该乘法电路的第一输入端耦接误差放大电路 361 的输出端用于接收输出电压补偿信号 V_{comp} , 第二输入端耦接输入电压检测信号 V_i , 第三输入端耦接输入电压平均电路 362 的输出端用于接收输入电压平均信号, 输出端直接提供平均电流二倍参考信号 I_d 。在一个实施例中, 控制电路 30 不包括减法电路 366, 参考信号发生电路 38 进一步耦接输入电流峰值信号 I_{pk} , 同时输出平均电流二倍参考信号 I_d 和第一参考电流信号 I_{ref} 。

[0045] 峰值电流采样电路 364 耦接输入电流反馈信号 I_i , 输出输入电流峰值信号 I_{pk} , 其中输入电流峰值信号 I_{pk} 正比于输入电流 I_{in} 在一个开关周期内的峰值电流。

[0046] 减法电路 366 耦接峰值电流采样电路 364 和参考信号发生电路 38 将平均电流二倍参考信号 I_d 和输入电流峰值信号 I_{pk} 相减, 输出第一参考电流信号 I_{ref} , 其中 $I_{ref} = I_d - I_{pk} = 2I_{th} - I_{pk}$ 。在一个实施例中, 控制电路 30 进一步包括第二减法电路, 执行 $I_{pk} - 2I_{th}$ 的算法。

[0047] 电流状态检测电路 367 的输入端耦接输入电流反馈信号 I_i , 输出端输出电流状态检测信号 V_{pd} 。当输入电流 I_{in} 大于零时, 电流状态检测信号 V_{pd} 为高电平, 当输入电流 I_{in} 等于零时电流状态检测信号 V_{pd} 为低电平。

[0048] 在一个优选的实施例中, 图 3 中的导通时间控制电路 34 包括如图 5 所示的导通时间控制电路 500, 第一关断时间控制电路 32 包括如图 7 所示的第一关断时间控制电路 700, 第二关断时间控制电路 33 包括如图 9 所示的第二关断时间控制电路 900。为便于显示清楚, 导通时间控制电路 500、第一关断时间控制电路 700 和第二关断时间控制电路 900 在图 5、7 和 9 中单独显示并将在下面段落中具体描述。

[0049] 图 4 示出了根据本发明另一实施例的 PFC 电路 400 示意图。相比 PFC 电路 300, PFC 电路 400 中的控制电路 40 进一步包括第三关断时间控制电路 43 和零电流检测电路 47, 第三关断时间控制电路 43 产生第三关断时间控制信号 S_3 用于在临界电流模式下控制主开关 M 的导通时机和关断时间长度。逻辑电路 45 中的或门 451 进一步含第三输入端耦接第三关断时间控制信号 S_3 。或门 451 产生关断时间控制信号 S 控制主开关 M 选择性地工作于连续电流模式、断续电流模式和临界电流模式。

[0050] 逻辑电路 45 进一步具有第四输入端, 第四输入端耦接第三关断时间控制电路 43 用于接收第三关断时间控制信号 S3。逻辑电路 45 包括或门 451、锁存器 452 和模式判断电路 453。模式判断电路 453(JD) 基于输入电流峰值信号 I_{pk} 和平均电流二倍参考信号 I_d , 产生第一使能信号 D1、第二使能信号 D2 和第三使能信号 D3。第一使能信号 D1 耦接第一关断时间控制电路 41, 第二使能信号 D2 耦接第二关断时间控制电路 42, 第三使能信号 D3 耦接第三关断时间控制电路 43。在一个实施例中, 当 $2I_{th}-I_{pk} > I_z$ 时, 模式判断电路 453 判断开关工作于连续电流模式, 第一使能信号 D1 为高电平, 第二使能信号 D2 和第三使能信号 D3 为低电平, 其中 I_z 为略大于零的正数, 因此第一关断时间控制电路 41 被使能, 第一关断时间控制信号 S1 控制开关的导通和关断, 第二关断时间控制信号 S2 和第三关断时间控制信号 S3 为低电平; 当 $I_{pk}-2I_{th} > I_z$ 时, 模式判断电路 453 判断开关工作于断续电流模式, 第二使能信号 D2 为高电平, 第一使能信号 D1 和第三使能信号 D3 为低电平, 第二关断时间控制信号 S2 控制开关的导通和关断, 第一关断时间控制信号 S1 和第三关断时间控制信号 S3 为低电平; 当 $-I_z < 2I_{th}-I_{pk} < I_z$ 时, 模式判断电路 453 判断开关工作于临界电流模式, 第三使能信号 D3 为高电平, 第一使能信号 D1 和第二使能信号 D2 为低电平, 第三关断时间控制信号 S3 控制主开关 M 的导通, 或者说第三关断时间控制信号 S3 控制主开关 M 的关断时间长度。

[0051] 零电流检测电路 47 产生零电流检测信号 V_{zcd} , 零电流检测信号 V_{zcd} 在输入电流 I_{in} 等于零的下降沿产生高电平脉冲。第三关断时间控制电路 43 接收零电流检测信号 V_{zcd} 和第三使能信号 D3, 产生第三关断时间控制信号 S3。

[0052] 在一个优选的实施例中, 图 4 中的第一关断时间控制电路 41 包括图 7 中的第一关断时间控制电路 700, 第二关断时间控制电路 42 包括图 9 中的第二关断时间控制电路 900, 第三关断时间控制电路 43 包括图 11 中的第三关断时间控制电路 1100, 导通时间控制电路 44 包括图 5 中的导通时间控制电路 500。

[0053] 图 5 示出了根据本发明一实施例的导通时间控制电路 500。导通时间控制电路 500 包括第一电流源 I1、第一电容 C1、第一开关 K1、减法电路 54 以及比较电路 55。第一电流源 I1 耦接输出电压并产生正比于输出电压的电流, 即正比于输出电压反馈信号 V_{fb} 。第一电容 C1 耦接第一电流源 I1, 在第一开关 K1 关断的情况下第一电流源 I1 对第一电容 C1 充电。第一电容 C1 具有第一端 53 和第二端 52, 其中第一端 53 耦接参考地 GND, 第二端 52 提供第一电容电压 V_{c1} 。第一开关 K1 具有第一端、第二端和控制端, 其中第一开关 K1 的第一端耦接第一电容的第一端 53, 第一开关 K1 的第二端耦接第一电容的第二端 52, 第一开关 K1 耦接逻辑电路的输出端使得第一开关 K1 在主开关 M 关断时导通, 在主开关 M 导通时关断。在图示的实施例中, 导通时间控制电路 500 进一步包括驱动电路 56, 驱动电路 56 的输入端耦接开关控制信号 V_g , 驱动电路 56 的输出端耦接第一开关 K1 的控制端, 当开关控制信号 V_g 为低电平时, 驱动电路 56 控制第一开关 K1 导通, 当开关控制信号 V_g 为高电平时, 驱动电路 56 控制第一开关 K1 关断。减法电路 54 具有第一输入端、第二输入端和输出端, 其中第一输入端耦接输入电压检测信号 V_i , 第二输入端耦接输出电压反馈信号 V_{fb} , 产生第二信号 X2, 其中第二信号 $X2 = V_{fb}-V_i$ 。比较电路 55 的第一输入端耦接第一电容 C1 的第二端 52 用于接收第一电容电压 V_{c1} , 比较电路 55 的第二输入端耦接减法电路 54 的输出端用于接收第二信号 X2, 比较电路 55 的输出端输出导通时间控制信号 R1, 耦接逻辑电路的第一输入端。当

主开关 M 关断时,开关控制信号 Vg 为低电平,第一开关 K1 导通,第一电容电压 Vc1 为零值,导通时间控制信号 R1 为低电平。当主开关 M 导通时,第一开关 K1 关断,第一电流源 I1 开始对第一电容 C1 充电,第一电容电压 Vc1 上升,当第一电容电压 Vc1 大于第二信号 X2 时,比较电路 55 输出高电平的导通时间控制信号 R1 控制主开关 M 关断,由此决定导通时间长度 $T_{on} = ((V_{out}-V_{in})/V_{out}) * T_{est}$,其中, $T_{est} = a1 * C1$,其中 a1 为一个常数。因此导通时间控制信号 R1 的预定导通时间 Ton 与输入电压 Vin 成负相关。Ton 随输入电压 Vin 减小而增大,随输入电压 Vin 增大而减小。

[0054] 图 6 示出了根据本发明一实施例的在输入电压一个馒头波周期内的预定导通时间 Ton 波形图 600。其中在输入电压 Vin 最小时 (0, T/2),导通时间 Ton 最大,其中 T 为输入电压 Vin 的周期。在输入电压 Vin 最大时 (T/4),导通时间 Ton 最小。较小的输入电压对应较大的导通时间,图中上面的曲线对应输入电压峰值为 Vin1 的馒头波的导通时间,下面的曲线对应输入电压峰值为 Vin2 的馒头波的导通时间,其中电压 $V_{in2} > V_{in1}$ 。

[0055] 图 7 示出了根据本发明一实施例的第一关断时间控制电路 700。第一关断时间控制电路 700 包括比较电路 70,比较电路 70 具有第一输入端、第二输入端和输出端。第一输入端 (+) 耦接第一参考电流信号 Iref,第二输入端 (-) 耦接输入电流反馈信号 Ii,输出端耦接至逻辑电路的第二输入端并输出第一关断时间控制信号 S1。当输入电流反馈信号 Ii 小于第一参考电流信号 Iref 时,第一关断时间控制信号 S1 为高电平的有效信号。在图示的实施例中,第一输入端为同相端 (+),第二输入端为反相端 (-)。在一个实施例中,第一关断时间控制电路 700 进一步耦接第一使能信号 D1,当第一使能信号 D1 为高电平时,第一关断时间控制电路 700 工作。当第一使能信号 D1 为低电平时,第一关断时间控制信号 S1 保持低电平。在另一个实施例中,第一关断时间控制电路 700 可不受第一使能信号 D1 控制。

[0056] 图 8 示出了根据本发明一实施例的对应图 7 中第一关断时间控制电路的波形示意图 800。当 $I_{ref} = 2I_{th} - I_{pk}$ 大于零时,主开关 M 工作于连续电流模式,第一关断时间控制信号 S1 控制主开关 M 的导通。如图所示,输入电流峰值信号 Ipk 在每个开关周期更新一次,呈阶梯状。平均电流参考信号 Ith 参考值跟随输入电压 Vin 波形变化,平均电流参考信号 Ith 也跟随输入电压 Vin 呈馒头波 (半周期的正弦波)。在一个实施例中, $I_{th} = (V_i * V_{comp}) / V_{iav}^2$ 。

[0057] 在该实施例中,由输入电流峰值信号 Ipk 和平均电流参考信号 Ith 可获得第一参考电流信号 Iref,使 $I_{ref} = 2I_{th} - I_{pk}$ 。在时间 t1,导通时间控制电路将开关控制信号 Vg 置低,主开关 M 关断,输入电流反馈信号 Ii 下降。在时间 t2,输入电流反馈信号 Ii 下降到低于第一参考电流信号 Iref 时,比较电路 70 输出高电平的第一关断时间控制信号 S1,将开关控制信号 Vg 置高控制主开关 M 导通,由此控制关断时间长度 Toff。在一个实施例中,采用图 5 所示的导通时间控制电路,则主开关 M 的开关周期为恒定值 Tcst。

[0058] 图 9 示出了根据本发明一实施例的第二关断时间控制电路 900。第二关断时间控制电路 900 耦接第二使能信号 D2,当第二使能信号 D2 为高电平时,第二关断时间控制电路 900 在断续电流模式下控制主开关 M 的导通,即控制关断时间长度,当第二使能信号 D2 为低电平时,第二关断时间控制信号 S2 为低电平。

[0059] 第二关断时间控制电路 900 包括第二电流源 I2,第二充电开关 K2,第三电流源 I3,放电开关 K3,第二电容 C2 和比较电路 93。其中第二电流源 I2 耦接并产生正比于第一参

考电流信号 I_{ref} 的电流,其中第二电流源的电流 $I_2 = k*(-I_{ref}) = k*(I_{pk}-2I_{th})$,其中 k 为正数。输入电流峰值信号 I_{pk} 和平均电流参考信号 I_{th} 参见图 3 所示。在一个实施例中,第二关断时间控制电路 900 进一步包括减法电路,将输入电流峰值信号 I_{pk} 减去平均电流二倍参考信号 I_d 得到第二参考电流信号 $I_{ref2} = I_{pk}-2I_{th}$,使第二电流源的电流 $I_2 = k*I_{ref2} = k*(I_{pk}-2I_{th})$ 。在另一个实施例中,第二关断时间控制电路 900 和第一关断时间控制电路共用一个减法电路,用于生成第一参考电流信号 $I_{ref} = 2I_{th}-I_{pk}$,而第二电流源的电流 I_2 正比于第一参考电流信号的相反值 $-I_{ref}$ 。第二充电开关 K_2 具有耦接逻辑电路输出端的控制端,第二充电开关 K_2 和第二电流源 I_2 串联耦接。第三电流源 I_3 耦接并产生正比于平均电流二倍参考信号 I_d 的电流,即电流 $I_3 = k*I_d = k*2I_{th}$,放电开关 K_3 和第三电流源 I_3 串联耦接。放电开关 K_3 具有耦接至逻辑电路输出端的控制端。第二电容 C_2 具有第一端 91 和第二端 92,其中第二电容 C_2 的第一端 91 耦接参考地 GND,第二电容 C_2 的第二端 92 提供第二电容电压 V_{c2} 。其中当输入电流 I_{in} 大于零时,即电流状态检测信号 V_{pd} 为高电平时,第二充电开关 K_2 导通,第二电流源 I_2 对第二电容 C_2 充电,使第二电容电压 V_{c2} 升高。当输入电流 I_{in} 为零时,即电流状态检测信号 V_{pd} 为低电平时,放电开关 K_3 导通,第三电流源 I_3 对第二电容 C_2 放电使第二电容电压 V_{c2} 下降。比较电路 93 的第一输入端耦接第二电容 C_2 的第二端 92 用于接收第二电容电压 V_{c2} ,比较电路 93 的第二输入端耦接第二参考信号 V_{th} ,比较电路 93 比较第二电容电压 V_{c2} 和第二参考信号 V_{th} 并在比较电路 93 的输出端输出第二关断时间控制信号 S_2 ,并耦接至逻辑电路的第三输入端。

[0060] 图 10 示出了根据本发明一实施例的对应图 9 中第二关断时间控制电路的波形示意图 1000。当 $I_{ref} = 2I_{th}-I_{pk}$ 小于零时,主开关工作于断续电流模式,第二关断时间控制信号 S_2 控制主开关的导通。如图所示,在一个周期 T 内,在时间 t_3 至时间 t_5 期间,即时间 T_1 内,输入电流 I_{in} 被检测到大于零,电流状态检测信号 V_{pd} 为高电平,此时第二电流源 I_2 对第二电容 C_2 充电,第二电容电压 V_{c2} 上升;在时间 t_5 至 t_6 期间,输入电流 I_{in} 等于零,电流状态检测信号 V_{pd} 为低电平,此时第三电流源 I_3 对第二电容 C_2 放电,第二电容电压 V_{c2} 下降。在时间 t_6 ,当第二电容电压 V_{c2} 小于第二参考信号 V_{th} 时,比较电路 93 输出高电平的第二关断时间控制信号 S_2 ,将开关控制信号 V_g 置高,控制主开关 M 导通。此时输入电流反馈信号 I_i 上升,电流状态检测信号 V_{pd} 转变为高电平,第二电流源 I_2 再次对第二电容 C_2 进行充电。因为充电电流正比于 $-I_{ref} = I_{pk}-2I_{th}$,放电电流正比于平均电流二倍参考信号 $I_d = 2I_{th}$,因此 $T = I_{pk}*T_1/2I_{th}$,其中 T 为一个周期的时间, T_1 为周期 T 中输入电流大于零的时间,则 $I_{th}*T = I_{pk}*T_1/2$,即图 10 中的面积 A_2 等于 A_1 ,很好地实现了断续电流模式控制。

[0061] 图 11 示出了根据本发明一实施例的第三关断时间控制电路 1100。第三关断时间控制电路 1100 包括与门 1101。与门 1101 包括第一端、第二端和输出端,其中第一端耦接零电流检测信号 V_{zcd} ,第二端耦接第三使能信号 D_3 ,输出端提供第三关断时间控制信号 S_3 。当 D_3 为高电平时,PFC 电路 400 工作于临界电流模式,第三关断时间控制信号 S_3 的逻辑值与零电流检测信号 V_{zcd} 一致。因此,在临界电流模式下,若零电流检测信号 V_{zcd} 为高电平,主开关 M 被导通。

[0062] 图 12 示出了根据本发明一实施例的不同负载下的输入电流波形图。图 1201-1203 示出了一个馒头波周期内(对应半个正弦波)的输入电流 I_{in} 和平均电流 I_{av} 的波形图。

平均电流 I_{av} 跟随输入电压,为馒头波形状。波形图 1201 示出了重载情况下的输入电流 I_{in} 波形,其中主开关在整个馒头波周期内(如图所示 0 至 $T/2$ 之间,对应半个正弦波周期)都工作于连续电流模式 (CCM) 下。图 1202 示出了中度负载情况下的输入电流波形,其中主开关在一个馒头波周期内,在输入电流 I_{in} 较大时工作于连续电流模式 (CCM),如图所示周期 $T/4$ 附近,在输入电流 I_{in} 较小时工作于断续电流模式 (DCM),如图所示周期 0 和 $T/2$ 附近。图 1203 示出了轻载情况下的输入电流波形,其中主开关在整个馒头波周期内都工作于断续电流模式 (DCM)。其中轻载、重载水平可以根据实际需要设定。在一个实施例中,轻载、重载水平的设定可通过调节导通时间控制电路中的电流源和电容进行调整。

[0063] 图 13 示出了根据本发明一实施例的不同负载下的频率示意图 1300。图中示出了一个馒头波周期内的频率示意图。在重载情况下,主开关工作于连续电流模式 (CCM),频率为恒定值。在中度负载下,当输入电流较大时,工作于连续电流模式 (CCM),频率为恒定值;当输入电流较小时,工作于断续电流模式 (DCM),频率可变。其中断续电流模式下的频率小于连续电流模式下的频率,输入电流越小,频率越低。在轻载条件下主开关工作于断续电流模式 (DCM),其频率小于连续电流模式下的频率。

[0064] 图 14 示出了根据本发明一实施例的对应图 4 中 PFC 电路的波形示意图 1400。图中示出了在中度负载下,主开关在输入电流比较低时工作于断续电流模式 (DCM),在输入电流比较高时工作于连续电流模式 (CCM)。主开关还部分地工作于临界电流模式 (BCM)。图中示出了输入电流反馈信号 I_i 、输入电流峰值信号 I_{pk} 、平均电流参考信号 I_{th} 、第一参考电流信号 I_{ref} 、第一关断时间控制信号 S_1 、第二关断时间控制信号 S_2 、第二电容电压 V_{c2} 、第三关断时间控制信号 S_3 和开关控制信号 V_g 。其中在连续电流模式 (CCM) 下,开关控制信号 V_g 在第一关断时间控制信号 S_1 呈高电平时导通,在预定导通时间后关断。在断续电流模式 (DCM) 下,开关控制信号 V_g 在第二关断时间控制信号 S_2 呈高电平时导通,在预定导通时间后关断。根据图 5 所示的导通时间控制电路 500,导通时间控制信号 R_1 的预定导通时间在连续电流模式下较短,在断续电流模式下较长,很好地对应了断续电流模式下的频率比连续电流模式下的频率低的特性,提高了断续电流模式下的开关效率。在临界电流模式下,开关控制信号 V_g 在第三关断时间控制信号 S_3 呈高电平时导通,在预定导通时间后关断。

[0065] 在一个实施例中,当第一参考电流信号约等于零,即 $-I_z < 2I_{th} - I_{pk} < I_z$ 时,PFC 电路工作于临界电流模式,当第一参考电流信号大于零,即 $2I_{th} - I_{pk} > I_z$ 时,PFC 电路工作于连续电流模式,当第一参考电流信号小于零,即 $I_{pk} - 2I_{th} > I_z$ 时,PFC 电路工作于断续电流模式,其中参考值 I_z 为约等于零的较小的正数。具体地,当第一参考电流信号大于零,即当输入电流平均电流参考信号的两倍大于输入电流峰值信号时, $I_{ref} = 2I_{th} - I_{pk} > I_z$ 时,主开关 M 工作于连续电流模式 (CCM),此时第二关断时间控制信号 S_2 和第三关断时间控制信号 S_3 为低电平。当输入电流反馈信号 I_i 下降到第一参考电流信号 I_{ref} 时,第一关断时间控制信号 S_1 为高电平,开关控制信号 V_g 升高,主开关 M 导通,输入电流反馈信号 I_i 升高。在导通时间控制信号 R_1 的预定导通时间后,开关控制信号 V_g 下降,主开关 M 关断,输入电流反馈信号 I_i 下降,开始下一个周期。当第一参考电流信号小于零,即输入电流平均电流参考信号的两倍小于输入电流峰值信号时,即 $I_{ref} = 2I_{th} - I_{pk} < -I_z$ 时,主开关 M 工作在断续电流模式 (DCM),此时第一关断时间控制信号 S_1 和第三关断时间控制信号 S_3

为低电平。第二电容电压 V_{c2} 在输入电流反馈信号 I_i 大于零时充电,在输入电流反馈信号 I_i 等于零时放电,当第二电容电压 V_{c2} 下降到一参考电压时,第二关断时间控制信号 S_2 呈现高电平脉冲,开关控制信号 V_g 升高,主开关 M 导通,同时输入电流反馈信号 I_i 升高。在导通时间控制信号 R_1 的预定导通时间后,开关控制信号 V_g 下降,主开关 M 关断,同时输入电流反馈信号 I_i 下降,开始下一个周期。当第一参考电流信号约等于零,即 $-I_z < 2I_{th} - I_{pk} < I_z$ 时,主开关 M 工作在临界电流模式 (BCM),此时第一关断时间控制信号 S_1 和第二关断时间控制信号 S_2 为低电平。在另一个实施例中,此时第一关断时间控制信号 S_1 和第二关断时间控制信号 S_2 被屏蔽。当电流等于零时,第三关断时间控制信号 S_3 为高电平,开关控制信号 V_g 升高,主开关 M 导通。在导通时间控制信号 R_1 的预定导通时间后,开关控制信号 V_g 下降,主开关 M 关断,开始下一个周期。

[0066] 从图 14 的波形图中可以看到,输入电流的平均值信号 I_{th} 呈馒头波形状,实现了 PFC 控制,同时在断续电流模式 (DCM) 下的频率低于连续电流模式 (CCM) 下的频率,优化了低载条件下的开关效率。同时,上述多个实施例中的电路采用模拟电路,系统成本较低。

[0067] 图 15 示出了根据本发明一实施例的用于 PFC 控制的方法 1500。该方法 1500 包括根据输入电流选择性的工作于连续电流模式或断续电流模式,其中在断续电流模式中的频率小于连续电流模式中的频率,以及在连续电流模式和断续电流模式中采用相同的主开关导通时间控制方式,使得导通时间 $T_{on} = ((V_{out} - V_{in}) / V_{out}) * T_{cst}$,其中, $T_{cst} = a_1 * C_1$,其中 a_1 为一个常数。

[0068] 方法 1500 采用模拟电路的方法实现 PFC 控制,并使得断续电流模式下的频率低于连续电流模式下的频率,提高了低载条件下的效率。

[0069] 方法 1500 包括在步骤 1501 检测输入电压 V_{in} 和输出电压 V_{out} ;在步骤 1502 检测输入电流的峰值信号 I_{pk} ,同时在步骤 1503 基于输入电压 V_{in} 和输出电压 V_{out} 计算输入电流的平均电流参考信号 I_{th} ,使得输入电流平均值随输入电压和输出电压的变化而变化;在步骤 1504 判断第一参考电流信号 I_{ref} 水平,其中第一参考电流信号 I_{ref} 为平均电流参考信号 I_{th} 的二倍值与输入电流峰值信号 I_{pk} 之差,即 $I_{ref} = 2I_{th} - I_{pk}$ 。

[0070] 当第一参考电流信号大于零,即 $2I_{th} - I_{pk} > 0$ 时,方法 1500 包括在步骤 1505,选择工作于连续电流模式,第一关断时间控制电路控制主开关关断时间的长度。在连续电流模式下,主开关频率为连续电流模式频率 f_{s1} 。在一个实施例中,第一关断时间控制电路控制主开关的关断时间长度为从关断开始到输入电流下降到第一参考电流信号的时间,参看图 7、图 8 所示。

[0071] 当第一参考电流信号小于零,即 $2I_{th} - I_{pk} < 0$ 时,方法 1500 包括在步骤 1507,选择工作于断续电流模式,此时,第二关断时间控制电路控制主开关关断时间的长度。此时,主开关频率为断续电流模式频率 f_{s2} ,其中 $f_{s2} < f_{s1}$ 。在一个实施例中,断续电流模式频率 f_{s2} 为可变频率。在一个实施例中,主开关在关断时对一第二电容充电,在输入电流降到零时对第二电容放电,当第二电容电压降到一参考值时,控制主开关导通,以此决定断续电流模式下的关断时间长度。

[0072] 在步骤 1509,将主开关导通,并使主开关导通时间长度 T_{on} 控制为 $T_{on} = ((V_{out} - V_{in}) / V_{out}) * T_{cst}$,其中, $T_{cst} = a_1 * C_1$,其中 a_1 为一个常数。重复上述步骤。

[0073] 应当知道,说明书中的逻辑值可以采用相反的逻辑电平。例如,开关控制信号 V_g

信号可以在高电平时促使主开关 M 导通,也可以在低电平时促使主开关 M 导通。

[0074] 上述的一些特定实施例仅仅以示例性的方式对本发明进行说明,这些实施例不是完全详尽的,并不用于限定本发明的范围。对于公开的实施例进行变化和修改都是可能的,其他可行的选择性实施例和对实施例中元件的等同变化可以被本技术领域的普通技术人员所了解。本发明所公开的实施例的其他变化和修改并不超出本发明的精神和权利要求限定的保护范围。

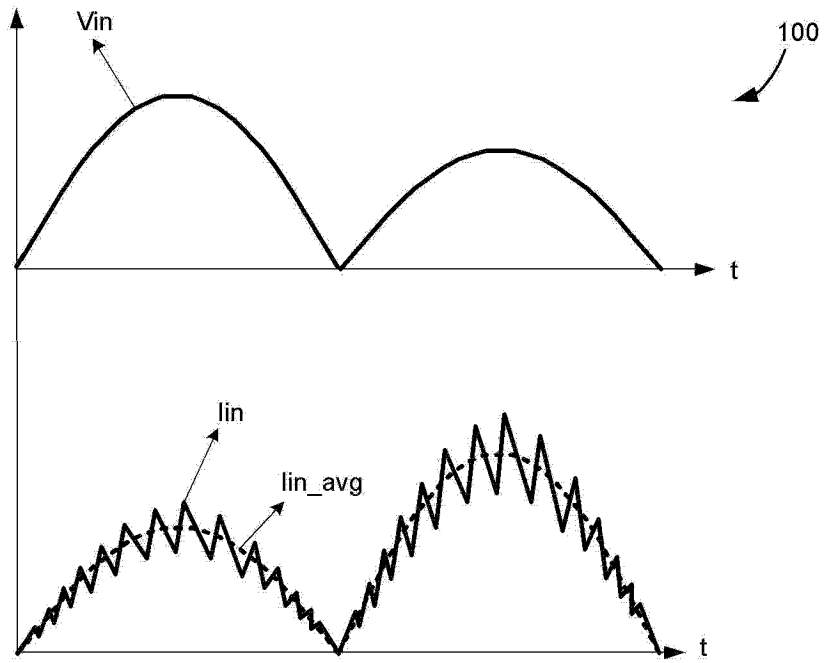


图 1

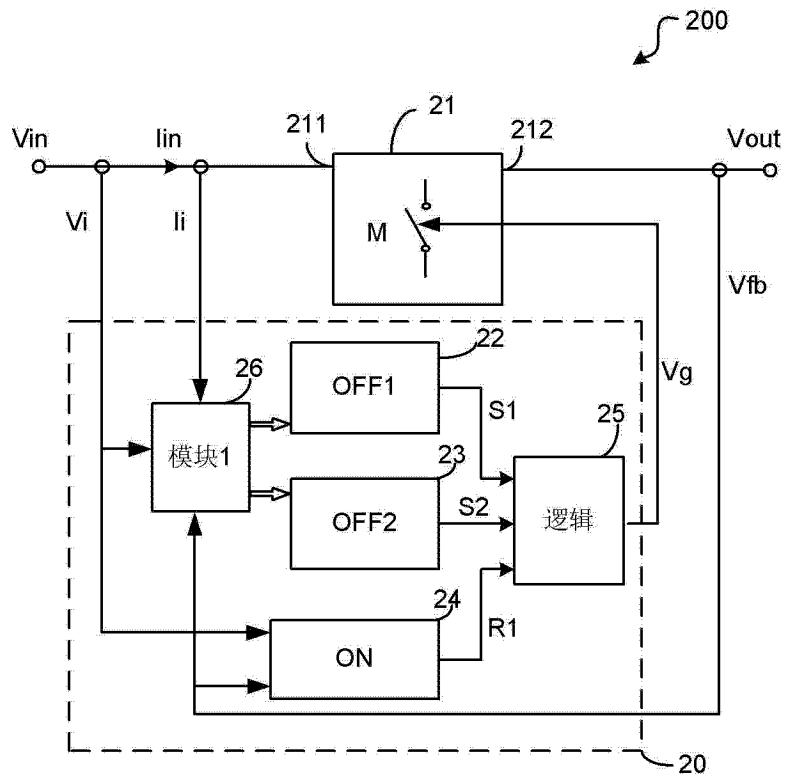


图 2

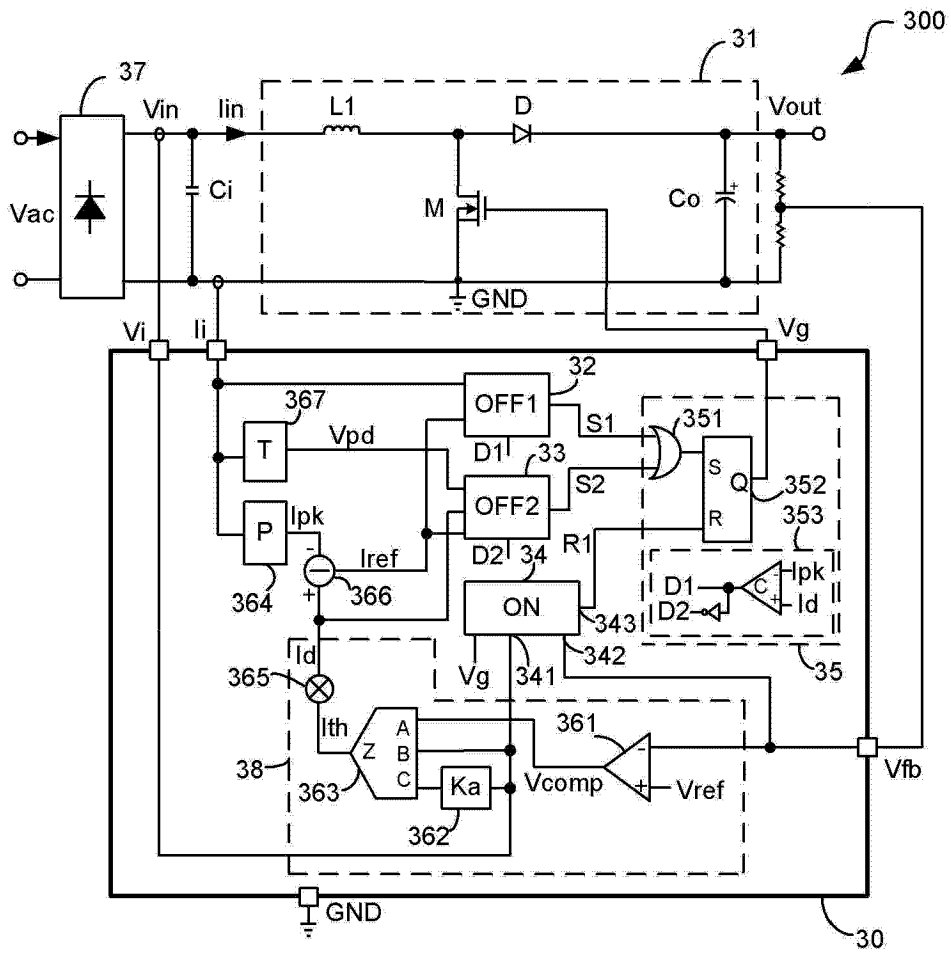


图 3

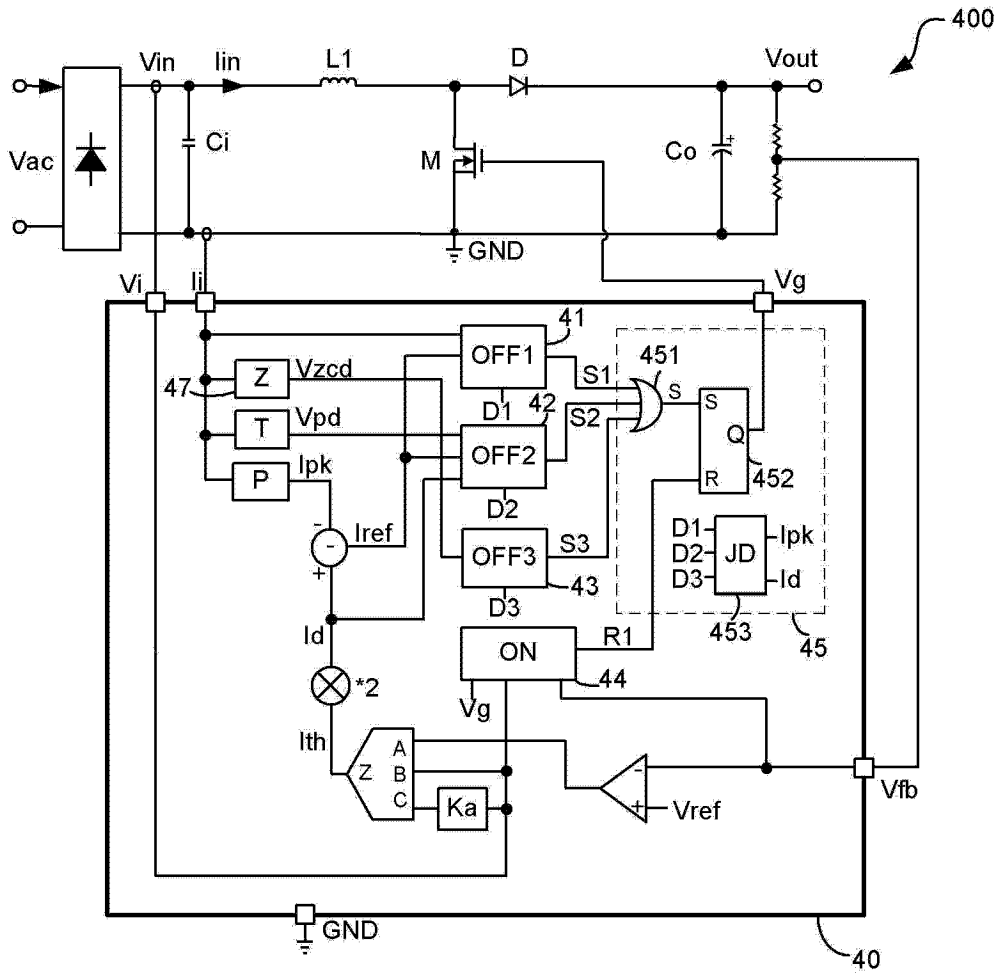


图 4

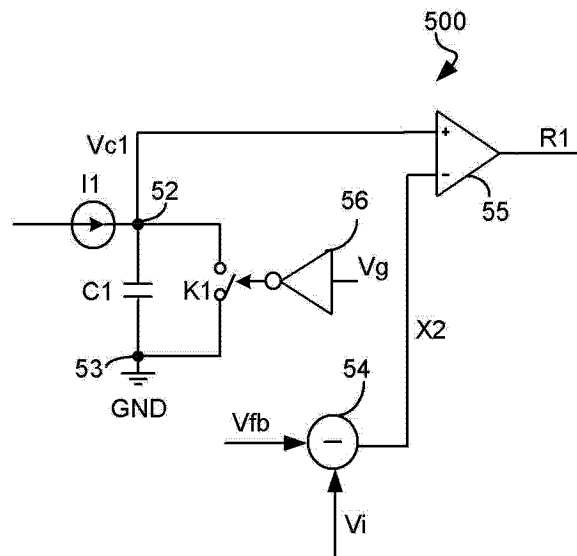


图 5

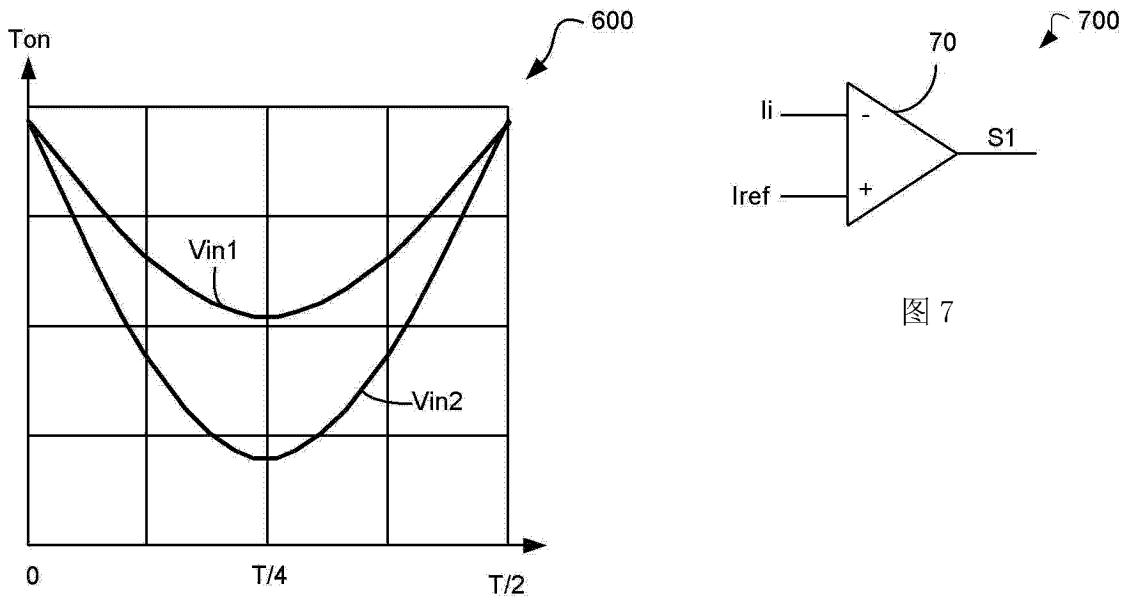


图 6

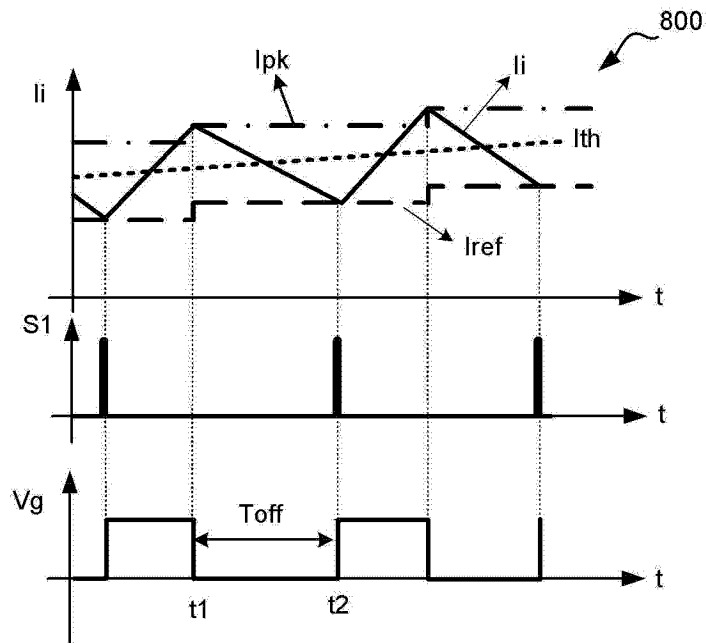


图 8

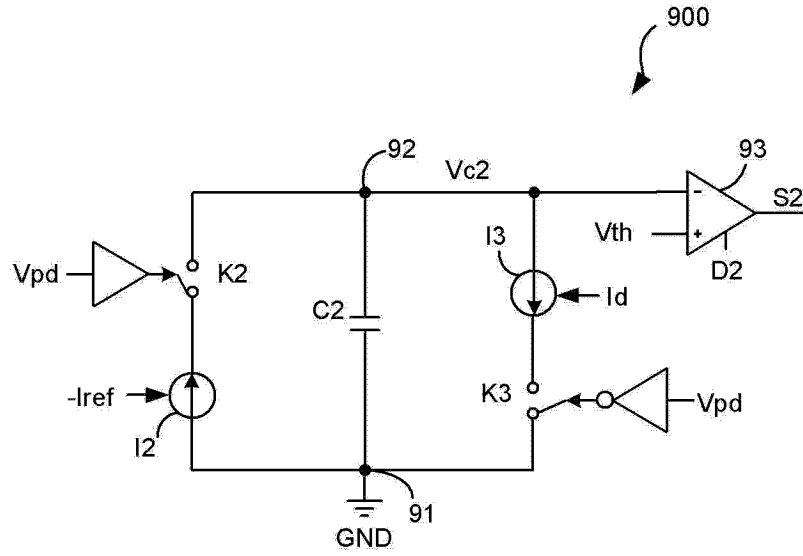


图 9

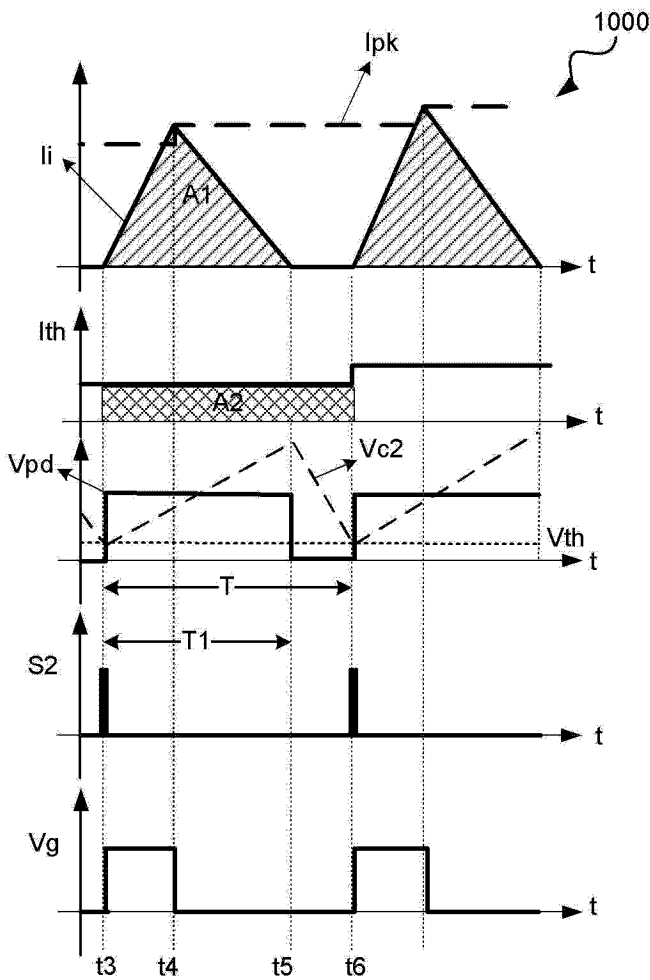


图 10

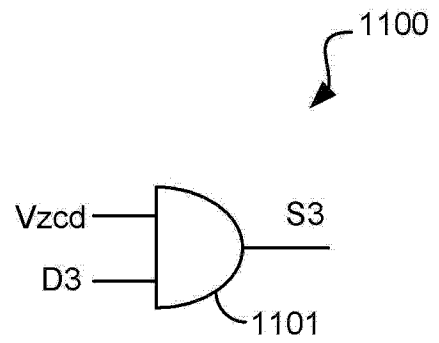


图 11

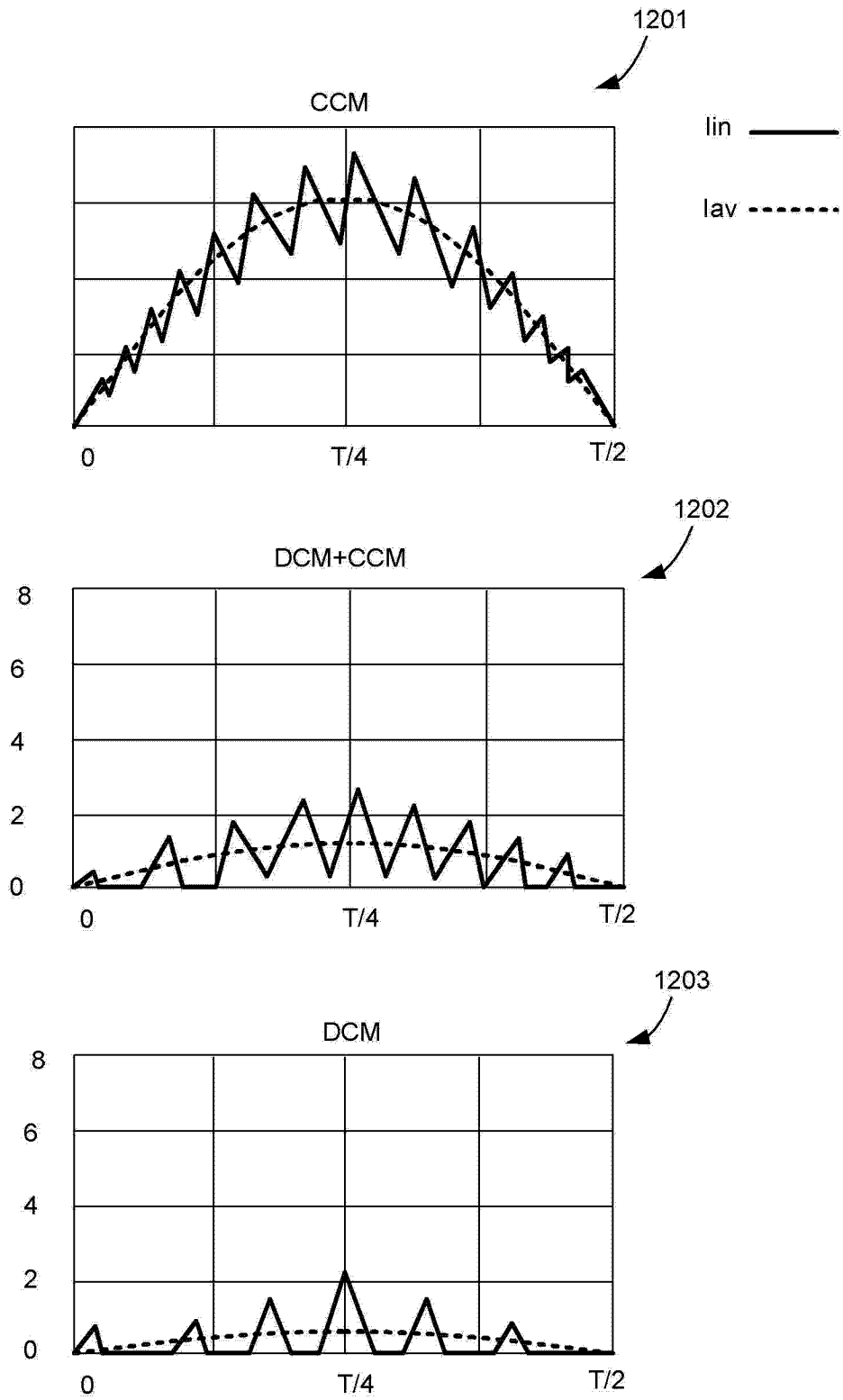


图 12

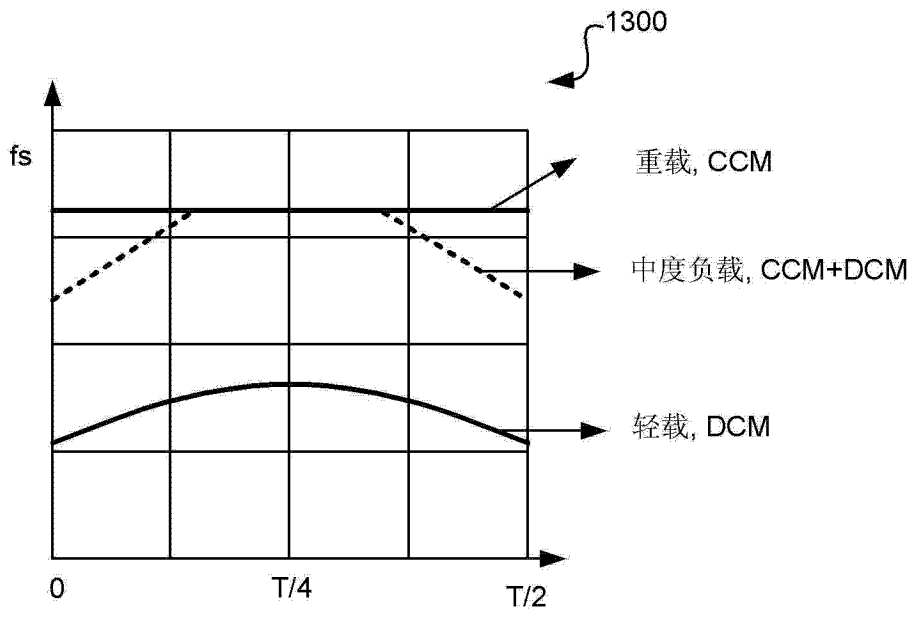


图 13

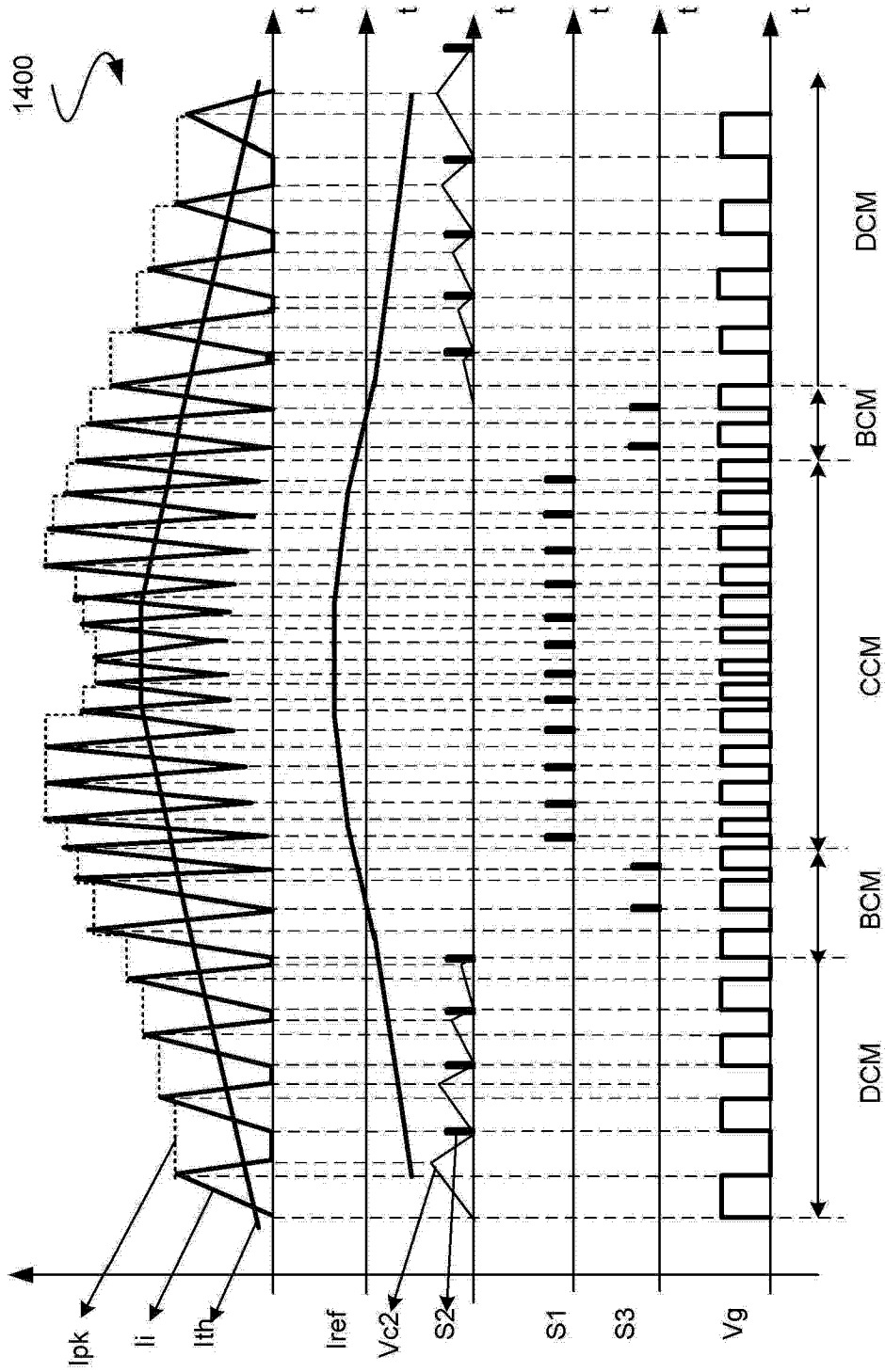


图 14

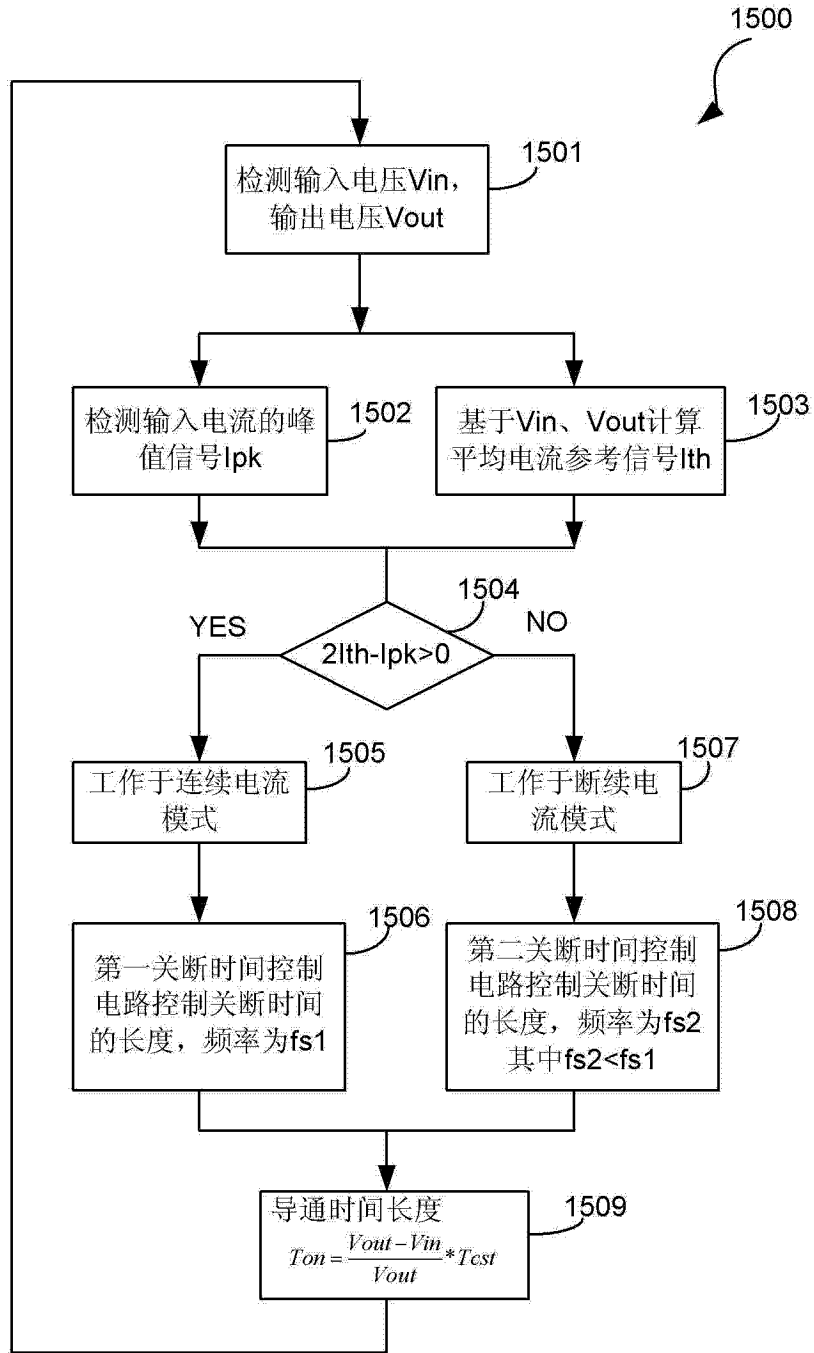


图 15