

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H05B 37/02 (2006.01)

H02M 7/08 (2006.01)

H02M 3/157 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910153404.3

[43] 公开日 2010年3月10日

[11] 公开号 CN 101668369A

[22] 申请日 2009.10.1

[21] 申请号 200910153404.3

[71] 申请人 英飞特电子(杭州)有限公司

地址 310053 浙江省杭州市滨江区东信大道
66号东方通信城B座309

[72] 发明人 葛良安 姚晓莉 华桂潮

[74] 专利代理机构 浙江杭州金通专利事务所有限
公司

代理人 沈孝敬

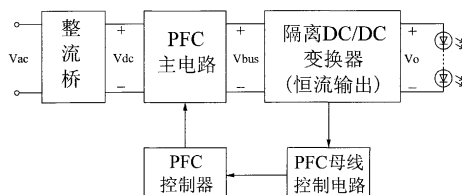
权利要求书3页 说明书14页 附图6页

[54] 发明名称

一种高效率恒流 LED 驱动器

[57] 摘要

本发明公开了一种高效率恒流 LED 驱动器，包括整流桥、PFC 主电路、隔离 DC/DC 变换器、PFC 控制器和 PFC 母线控制电路。由于输入电压为跟随输出电压变化的 PFC 输出中间母线电压，当所述的隔离 DC/DC 变换器是 LLC 谐振变换电路时，在较宽的输出电压范围内，LLC 电路可以工作在谐振频率附近，因此谐振单元的增益范围减小，可以使恒流模块在宽输出电压范围内能实现很高的效率；当所述的隔离 DC/DC 变换器是对称、不对称半桥电路或全桥电路时，在较宽的输出电压范围内，DC/DC 电路可以工作在接近 50% 占空比状态。因此 DC/DC 变换器占空比的变化范围可大大缩小，有效提高效率。



1、一种高效率恒流 LED 驱动器，包括整流桥、PFC 主电路、隔离 DC/DC 变换器、PFC 控制器和 PFC 母线控制电路，其特征在于：

所述的整流桥将交流输入电压（ V_{ac} ）整流后输出整流电压（ V_{dc} ）给 PFC 主电路；

所述的 PFC 主电路接受整流桥输出的整流电压（ V_{dc} ），以及来自 PFC 控制器的反馈电压，经功率因数校正后向隔离 DC/DC 变换器输出直流电压（ V_{bus} ）；

所述的隔离 DC/DC 变换器接收来自 PFC 主电路的直流电压（ V_{bus} ），经 DC/DC 变换后向 LED 负载输出输出电压（ V_o ），并且提供 LED 负载所需要的恒流控制；

所述的 PFC 控制器接收来自 PFC 母线控制电路的控制信号，向 PFC 主电路输出反馈信号；

所述的 PFC 母线控制电路对隔离 DC/DC 变换器输出电压（ V_o ）或输出电压的等效电压进行采样，输出控制信号控制 PFC 控制器的输出反馈电压；实现 PFC 输出中间母线电压（ V_{bus} ）随输出电压（ V_o ）而变化。

2、如权利要求 1 所述的高效率恒流 LED 驱动器，其特征在于所述的 PFC 母线控制电路包括输出电压采样电路、PFC 输出电压调制电路，所述的输出电压采样电路的输入信号来自隔离 DC/DC 变换器中的变压器 T1 的辅助绕组经过二极管 D4 和电容 C4 的峰值保持信号，由输出电压采样电路转换成和输出电压（ V_o ）成比例的信号，作为 PFC 输出电压调制电路的输入信号，PFC 输出电压调制电路的输出端接 PFC 控制器的输入端。

3、如权利要求 2 所述的高效率恒流 LED 驱动器，其特征在于所述的 PFC 主电路包括电感 L1、开关管 S1、二极管 D1 和母线电容 C1，整流电压（ V_{dc} ）正端连接到电感 L1 的第一端，电感 L1 的第二端连接到开关管 S1 的第一端和二极管 D1 的阳极，整流电压（ V_{dc} ）负端连接到开关管 S1 的第二端，母线电容 C1 并联在二极管 D1 的阴极和开关管 S1 的第二端；所述的 PFC 控制器的输出端接控制开关管 S1 的第三端；母线电容 C1 两端并联一个由电阻 R1 和 R2 串联的电路，电阻 R1 连接电阻 R2 的公共端子，作为反馈信号连接到 PFC 控制器的输

入端和 PFC 输出电压调制电路的输出端。

4、如权利要求 3 所述的高效率恒流 LED 驱动器，其特征在于所述的 PFC 输出电压调制电路包括三极管 Q1、电阻 R3 以及供电电源 VCC，输出电压采样电路的输出端连接到三极管 Q1 的基极，三极管 Q1 的发射极连接到电阻 R3 的一端，电阻 R3 的另外一端连接到供电电源 VCC；三极管 Q1 的集电极输出信号连接到电阻 R1 和 R2 的公共端。

5、如权利要求 1-4 任何一项所述的高效率恒流 LED 驱动器，其特征在于所述的隔离 DC/DC 变换器是 LLC 谐振变换电路，或者是对称、不对称半桥电路或全桥电路。

6、一种高效率恒流 LED 驱动器，包括整流桥、PFC 主电路、隔离 DC/DC 变换器、PFC 控制器、PFC 母线控制电路、一路或多路恒流变换器、输出电压采样电路、DC/DC 输出电压控制电路、DC/DC 控制电路，其特征在于：

所述的整流桥将交流输入电压（Vac）整流后输出整流电压（Vdc）给 PFC 主电路；

所述的 PFC 主电路接受整流桥输出的整流电压（Vdc），以及来自 PFC 控制器的反馈电压，经功率因数校正后向隔离 DC/DC 变换器输出直流电压（Vbus）；

所述的隔离 DC/DC 变换器接收来自 PFC 主电路的直流电压（Vbus）和 DC/DC 控制电路的输出信号，经 DC/DC 变换后向 LED 负载输出输出电压（Vo），同时向 DC/DC 控制电路输出电压反馈信号；

所述的 PFC 控制器接收来自 PFC 母线控制电路的控制信号，向 PFC 主电路输出反馈信号；

所述的 PFC 母线控制电路对隔离 DC/DC 变换器输出电压（Vo）或输出电压的等效电压进行采样，输出控制信号控制 PFC 控制器的输出反馈电压；

所述的一路或多路恒流变换器的输入端接隔离 DC/DC 变换器，输出端向 LED 负载输出输出电压（Vo1，Vo2，……，Von），同时接输出电压采样电路的输入端；输出电压采样电路的输出端连接到 DC/DC 输出电压控制电路的输入端；DC/DC 输出电压控制电路的输出端连接到 DC/DC 控制电路的输入端。

7、如权利要求 6 所述的高效率恒流 LED 驱动器，其特征在于所述的恒流变换器是非隔离 DC/DC 电路、BUCK 电路、线性调整电路或 BOOST 电路。

8、如权利要求6所述的高效率恒流LED驱动器，其特征在于所述的输出电压采样电路包括二极管Da1，……，Dan和电阻R4；输出电压负端电压Vo1-，……，Von-分别连接到二极管Da1，……，Dan的阴极，Da1，……，Dan的阳极连接到电阻R4的第一端，电阻R4的第二端连接到DC/DC输出电压控制电路的输入端。

9、如权利要求8所述的高效率恒流LED驱动器，其特征在于所述的DC/DC输出电压控制电路包括运放IC1，电阻R5，电阻R6，电容C4，电阻R7，电阻R8，电阻R9和三极管Q2；电阻R4第二端连接到运放IC1的反向端和电容C4的第一端，电容C4的第二端连接到电阻R5的第一端，电阻R5的第二端连接到运放IC1的输出端，运放IC1的同向端为电压参考信号Vref，运放IC1输出连接到电阻R7的第一端，电阻R7的第二端连接到电阻R8的第一端和三极管Q2的基极，电阻R8的第二端连接到Q2的发射极，并连接到输出地端；三极管Q2的集电极连接到电阻R9的第一端，R9的第二端连接到DC/DC控制电路的反馈电路的反馈信号端。

10、如权利要求8所述的高效率恒流LED驱动器，其特征在于所述的DC/DC控制电路的反馈电路是由分压电阻R10和电阻R11构成的分压器，所述的分压器并联在隔离DC/DC变换器的输出端，所述的反馈信号端为分压电阻R10和电阻R11的公共端。

一种高效率恒流 LED 驱动器

技术领域

本发明涉及一种高效率恒流 LED 驱动器。具体的说应该是，一种带有有源功率因数校正（PFC）功能的恒流 LED 驱动器电路，该电路中，PFC 输出的中间母线电压跟随输出电压变化，使恒流驱动器在较宽的输出电压范围内都有较高的效率。

背景技术

LED 恒流驱动电源中比较常用一个方案是有源 PFC+隔离 DC/DC 变换器，PFC 输出通常为固定电压。常用的 DC/DC 变换的拓扑包括对称或不对称半桥电路、全桥电路、谐振变换电路等，谐振变换电路以三元件 LLC 电流谐振变换器应用最普遍。

传统的 LLC 电流谐振变换器，由于可以在整个负载范围内实现原边 MOSFET 的零电压开通和副边二极管的零电流关断。因此具有开关损耗低，效率高，便于实现高频化，提高功率密度等优点。

LLC 谐振电路在谐振频率附近工作效率最优，因此往往将额定工作点设置在谐振频率点附近，当输入电压降低或输出电压增大时，通过降低工作频率来获得较大的增益；当输入电压增大或输出电压降低时，通过提高工作频率来获得较低的增益。但在谐振频率之上，频率对增益调节能力不够，调节范围较窄。即使能够调节，工作频率范围也会非常宽，效率较低，因此 LLC 电路在应用于宽输出电压范围的恒流 LED 驱动器时，很难保证在整个输出变化范围内效率都比较高

传统的对称或不对称半桥电路、全桥电路在占空比接近 50%时效率最高，应用于宽输出电压范围的恒流 LED 驱动器时，在输出电压较低、占空比较小时效率也比较低。

发明内容

本发明针对上述问题，提出一种提高恒流 LED 驱动器效率的技术，通过调节 PFC 输出的中间母线电压跟随输出电压变化，使后级 DC/DC 电路工作在最优状态来提高驱动电源的整体效率。

解决上述问题采用的技术方案是：一种高效率恒流 LED 驱动器，包括整流桥、PFC 主电路、隔离 DC/DC 变换器、PFC 控制器和 PFC 母线控制电路，其特征在于：

所述的整流桥将交流输入电压（ V_{ac} ）整流后输出整流电压（ V_{dc} ）给 PFC 主电路；

所述的 PFC 主电路接受整流桥输出的整流电压（ V_{dc} ），以及来自 PFC 控制器的反馈电压，经功率因数校正后向隔离 DC/DC 变换器输出直流电压（ V_{bus} ）；

所述的隔离 DC/DC 变换器接收来自 PFC 主电路的直流电压（ V_{bus} ），经 DC/DC 变换后向 LED 负载输出输出电压（ V_o ），并且提供 LED 负载所需要的恒流控制；

所述的 PFC 控制器接收来自 PFC 母线控制电路的控制信号，向 PFC 主电路输出反馈信号；

所述的 PFC 母线控制电路对隔离 DC/DC 变换器输出电压（ V_o ）或输出电压的等效电压进行采样，输出控制信号控制 PFC 控制器的输出反馈电压；实现 PFC 输出中间母线电压（ V_{bus} ）随输出电压（ V_o ）而变化。

根据本发明，所述的 PFC 母线控制电路包括输出电压采样电路、PFC 输出电压调制电路，所述的输出电压采样电路的输入信号来自隔离 DC/DC 变换器中的变压器 T1 的辅助绕组经过二极管 D4 和电容 C4 的峰值保持信号，由输出电压采样电路转换成和输出电压（ V_o ）成比例的信号，作为 PFC 输出电压调制电路的输入信号，PFC 输出电压调制电路的输出端接 PFC 控制器的输入端。

根据本发明，所述的 PFC 主电路包括电感 L1、开关管 S1、二极管 D1 和母线电容 C1，整流电压（ V_{dc} ）正端连接到电感 L1 的第一端，电感 L1 的第二端连接到开关管 S1 的第一端和二极管 D1 的阳极，整流电压（ V_{dc} ）负端连接到开关管 S1 的第二端，母线电容 C1 并联在二极管 D1 的阴极和开关管 S1 的第二端；所述的 PFC 控制器的输出端接控制开关管 S1 的第三端；母线电容 C1 两端并联一个由电阻 R1 和 R2 串联的电路，电阻 R1 连接电阻 R2 的公共端子，作为反馈

信号连接到 PFC 控制器的输入端和 PFC 输出电压调制电路的输出端。

根据本发明,所述的 PFC 输出电压调制电路包括三极管 Q1、电阻 R3 以及供电电源 VCC,输出电压采样电路的输出端连接到三极管 Q1 的基极,三极管 Q1 的发射极连接到电阻 R3 的一端,电阻 R3 的另外一端连接到供电电源 VCC;三极管 Q1 的集电极输出信号连接到电阻 R1 和 R2 的公共端。

根据本发明,所述的隔离 DC/DC 变换器是 LLC 谐振变换电路,或者是对称、不对称半桥电路或全桥电路。

本发明的高效率恒流 LED 驱动器,当所述的隔离 DC/DC 变换器是 LLC 谐振变换电路时,由于输入电压为跟随输出电压(V_o)变化的 PFC 输出中间母线电压(V_{bus}),在较宽的输出电压范围内,LLC 电路可以工作在谐振频率附近,因此谐振单元的增益范围减小,工作频率范围缩小,可以使恒流模块在宽输出电压范围内能实现很高的效率。

当所述的隔离 DC/DC 变换器是对称、不对称半桥电路或全桥电路时,由于输入电压为跟随输出电压(V_o)变化的 PFC 输出中间母线电压(V_{bus}),在较宽的输出电压范围内,DC/DC 电路可以工作在接近 50%占空比状态。因此 DC/DC 变换器占空比的变化范围可大大缩小,有效提高效率。

前面描述的高效率恒流 LED 驱动器为单路输出,隔离 DC/DC 变换器本身具有恒流输出功能。

本发明还要提供一种具有多路输出的高效率恒流 LED 驱动器,包括整流桥、PFC 主电路、隔离 DC/DC 变换器、PFC 控制器、PFC 母线控制电路、一路或多路恒流变换器、输出电压采样电路、DC/DC 输出电压控制电路、DC/DC 控制电路,其特征在于:

所述的整流桥将交流输入电压(V_{ac})整流后输出整流电压(V_{dc})给 PFC 主电路;

所述的 PFC 主电路接受整流桥输出的整流电压(V_{dc}),以及来自 PFC 控制器的反馈电压,经功率因数校正后向隔离 DC/DC 变换器输出直流电压(V_{bus});

所述的隔离 DC/DC 变换器接收来自 PFC 主电路的直流电压(V_{bus})和 DC/DC 控制电路的输出信号,经 DC/DC 变换后向 LED 负载输出输出电压(V_o),同时向 DC/DC 控制电路输出电压反馈信号;

所述的 PFC 控制器接收来自 PFC 母线控制电路的控制信号，向 PFC 主电路输出反馈信号；

所述的 PFC 母线控制电路对隔离 DC/DC 变换器输出电压（ V_o ）或输出电压的等效电压进行采样，输出控制信号控制 PFC 控制器的输出反馈电压；

所述的一路或多路恒流变换器的输入端接隔离 DC/DC 变换器，输出端向 LED 负载输出输出电压（ V_{o1} , V_{o2} , ..., V_{on} ），同时接输出电压采样电路的输入端；输出电压采样电路的输出端连接到 DC/DC 输出电压控制电路的输入端；DC/DC 输出电压控制电路的输出端连接到 DC/DC 控制电路的输入端。

根据本发明，恒流变换器通常是非隔离 DC/DC 电路，可以是 BUCK 电路、线性调整电路或 BOOST 电路。多路输出恒流 LED 驱动器由 PFC 电路、隔离 DC/DC 变换器、后级恒流变换器三级电路构成。隔离 DC/DC 变换器为前述的 LLC 电流谐振变换器、对称或不对称半桥电路、全桥电路。

当后级恒流变换器为 BUCK 变换器时，隔离 DC/DC 变换器输出电压跟随 BUCK 变换器的输出电压，隔离 DC/DC 变换器的输出电压始终比多路 BUCK 变换器中输出电压最高的一路略高，使 BUCK 电路在每路输出能实现精确恒流控制基础上始终工作在接近 100% 占空比的高效率状态。PFC 电路输出电压再按前述方法（图 1）跟随隔离 DC/DC 变换器输出电压，使隔离 DC/DC 变换器也工作在高效率工作点，从而使多路输出恒流驱动器获得较高的整体效率。

当后级恒流变换器为线性调整电路时，隔离 DC/DC 变换器输出电压跟随线性调整电路，隔离 DC/DC 变换器的输出电压始终比多路线性调整电路中输出电压最高的一路略高，使线性调整电路在每路输出能实现精确恒流控制的基础上的功耗始终接近最小。PFC 电路输出电压再按前述方法（图 1）跟随隔离 DC/DC 变换器输出电压，使隔离 DC/DC 变换器也工作在高效率工作点，从而使多路输出恒流驱动器获得较高的整体效率。

当后级恒流变换器为 BOOST 变换器时，隔离 DC/DC 变换器输出电压跟随 BOOST 变换器，隔离 DC/DC 变换器的输出电压始终比多路 BOOST 变换器中输出电压最低的一路略低，使 BOOST 变换器在每路输出能实现精确恒流控制的基础上始终工作在很小占空比的高效率状态。PFC 电路输出电压再按前述方法（图 1）跟随隔离 DC/DC 变换器输出电压，使隔离 DC/DC 变换器也工作在高效率工

作点，从而使多路输出恒流驱动器获得较高的整体效率。

附图说明

下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

图 1 是本发明的电路结构框图之一。

图 2 是本发明的电路结构框图之二。

图 3 本发明实现电路结构一的第一种实施方式（LLC 谐振变换器）。

图 4 是本发明实现电路结构一的的第二种实施方式（对称半桥变换器）。

图 5 是本发明实现电路结构一的的第三种实施方式（不对称半桥变换器）。

图 6 是本发明实现电路结构一的的第四种实施方式（全桥变换器）。

图 7 是本发明实现电路结构二的第一种实施方式（LLC 谐振变换器）。

图 8 是本发明实现电路结构二的第二种实施方式（LLC 谐振变换器）。

具体实施例

参照图 3，所述的 LED 电路输入端为交流输入电压 V_{ac} ，连接到整流桥两端，经过整流桥整流后的直流电压 V_{dc} 。

所述的 PFC 主电路由电感 $L1$ ，开关管 $S1$ ，二极管 $D1$ ，母线电容 $C1$ 等组成。

V_{dc} 正端连接到 PFC 主电路的电感 $L1$ 的第一端，电感 $L1$ 的第二端连接到开关管 $S1$ 的第一端和二极管 $D1$ 的阳极， V_{dc} 负端连接到开关管 $S1$ 的第二端，PFC 母线电容 $C1$ 并联在二极管 $D1$ 的阴极和开关管 $S1$ 的第二端。PFC 母线输出电压为(V_{bus})。

所述的 PFC 控制器电路输出信号控制开关管 $S1$ 的第三端，实现功率因数校正功能；电阻 $R1$ 和 $R2$ 串联后并联在 PFC 母线电容 $C1$ 两端；电阻 $R1$ 连接电阻 $R2$ 的公共端子，作为反馈信号连接到 PFC 控制器电路，实现对 PFC 母线电压(V_{bus})的稳压。

所述的 DC/DC 变换器是由开关管 $S2$ ， $S3$ ，谐振电感 $L2$ ，谐振电容 $C2$ ，变压器 $T1$ ，输出二极管 $D2$ ， $D3$ ，输出电容 $C3$ 等组成的 LLC 谐振变换器。

PFC 母线电容 $C1$ 的输出正端连接到开关管 $S2$ 的第一端，开关管的第二端连接到开关管 $S3$ 的第一端和谐振电感 $L2$ 的一端，母线电容 $C1$ 的负端连接到开

关管 S3 的第二端。谐振电感 L2 的另外一端连接到谐振电容 C2 的一端，变压器 T1 的原边并联到谐振电容 C2 的第二端与母线电容 C1 的负端。变压器 T1 的副边绕组输出分别连接到输出整流管 D2, D3 的阳极，二极管 D2, D3 的阴极连接到输出电容 C3 的正端，输出电容 C3 的负端连接到变压器中心抽头。LED 负载并联在输出电容 C3 两端。输出电容 C3 两端电压(V_o)为加在 LED 两端的电压。LLC 谐振变换器的输出提供 LED 所需要的恒流驱动。

所述的 PFC 母线控制电路由输出电压采样电路、PFC 输出电压调制电路等电路组成。

所述的输出电压采样电路的输入信号来自变压器的辅助绕组经过二极管 D4 和电容 C4 的峰值保持信号，经过输出电压采样电路转换成和输出电压成比例的信号，作为 PFC 输出电压调制电路的输入信号。

所述的 PFC 输出电压调制电路由三极管 Q1, 电阻 R3 以及供电电源 VCC 组成。输出电压采样电路的输出信号连接到三极管 Q1 的基极，三极管 Q1 的发射极连接到电阻 R3 的一端，电阻 R3 的另外一端连接到供电电源 VCC。三极管 Q1 的集电极输出信号连接到由电阻 R1 和 R2 构成的反馈信号端，通过对 PFC 控制器的控制，来改变 PFC 输出中间母线电压(V_{bus})。

所述的 PFC 输出中间母线电压(V_{bus})作为 LLC 谐振变换器的输入电压，可根据 DC/DC 变换器输出电压(V_o)来变化，因此在很宽的负载电压范围内，可工作在谐振点附近，从而减小开关频率的范围，可大大提高变换器效率。

参照图 4, 所述的 LED 电路输入端为交流输入电压 V_{ac} , 连接到整流桥两端，经过整流桥整流后的直流电压 V_{dc} 。

所述的 PFC 主电路由电感 L1, 开关管 S1, 二极管 D1, 母线电容 C1 等组成。

V_{dc} 正端连接到 PFC 主电路的电感 L1 的第一端，电感 L1 的第二端连接到开关管 S1 的第一端和二极管 D1 的阳极， V_{dc} 负端连接到开关管 S1 的第二端，PFC 母线电容 C1 并联在二极管 D1 的阴极和开关管 S1 的第二端。PFC 母线输出电压为(V_{bus})。

所述的 PFC 控制器电路输出信号控制开关管 S1 的第三端，实现功率因数校正功能；电阻 R1 和 R2 串联后并联在 PFC 母线电容 C1 两端；电阻 R1 连接电阻 R2 的公共端子，作为反馈信号连接到 PFC 控制器电路，实现 PFC 母线电压(V_{bus})

的稳压。

所述的 DC/DC 变换器是由开关管 S2, S3, 隔直电容 C2, 变压器 T1, 输出二极管 D2, D3, 输出电感 L2, 输出电容 C3 等组成的不对称半桥变换器。

PFC 母线电容 C1 的输出正端连接到开关管 S2 的第一端, 开关管的第二端连接到开关管 S3 的第一端和隔直电容 C2 的一端, 母线电容 C1 的负端连接到开关管 S3 的第二端。变压器 T1 的原边并联到隔直电容 C2 的第二端与母线电容 C1 的负端。变压器 T1 的副边绕组输出分别连接到输出整流管 D2, D3 的阳极, 二极管 D2, D3 的阴极连接到输出电感 L2 的第一端, 输出电感 L2 的第二端连接到输出电容 C3 的正端, 输出电容 C3 的负端连接到变压器中心抽头。LED 负载并联在输出电容 C3 两端。输出电容 C3 两端电压(V_o)为加在 LED 两端的电压。

所述的 PFC 母线控制电路由输出电压采样电路、PFC 输出电压调制电路等电路组成。

所述的输出电压采样电路的输入信号来自变压器的辅助绕组经过 D4 和 C4 的峰值保持信号, 经过输出电压采样电路转换成和输出电压成比例的信号, 作为 PFC 输出电压调制电路的输入信号。

所述的 PFC 输出电压调制电路由三极管 Q1, 电阻 R3 以及供电电源 VCC 组成。输出电压采样电路连接到三极管 Q1 的基极, 三极管 Q1 的发射极连接到电阻 R3 的一端, 电阻 R3 的另外一端连接到供电电源 VCC。三极管 Q1 的集电极输出信号连接到由电阻 R1 和 R2 构成的反馈信号端, 通过对 PFC 控制器的控制, 来改变 PFC 输出中间母线电压(V_{bus})。

所述的 PFC 输出中间母线电压(V_{bus})作为不对称半桥变换器的输入电压, 可根据 DC/DC 变换器输出电压(V_o)来变化, 因此在很宽的负载电压范围内, 可工作在满占空比 (50%) 附近, 从而减小占空比的范围, 可大大提高变换器效率。

参照图 5, 所述的 LED 电路输入端为交流输入电压 V_{ac} , 连接到整流桥两端, 经过整流桥整流后的直流电压 V_{dc} 。

所述的 PFC 主电路由电感 L1, 开关管 S1, 二极管 D1, 母线电容 C1 等组成。

V_{dc} 正端连接到 PFC 主电路的电感 L1 的第一端, 电感 L1 的第二端连接到开关管 S1 的第一端和二极管 D1 的阳极, V_{dc} 负端连接到开关管 S1 的第二端, PFC 母线电容 C1 并联在二极管 D1 的阴极和开关管 S1 的第二端。PFC 母线输出

电压为(V_{bus})。

所述的 PFC 控制器电路输出信号控制开关管 S1 的第三端,实现功率因数校正功能;电阻 R1 和 R2 串联后并联在 PFC 母线电容 C1 两端;电阻 R1 连接电阻 R2 的公共端子,作为反馈信号连接到 PFC 控制器电路,实现 PFC 母线电压(V_{bus})的稳压。

所述的 DC/DC 变换器是由开关管 S2, S3, 电容 C2, C4, 变压器 T1, 输出二极管 D2, D3, 输出电感 L2, 输出电容 C3 等组成的对称半桥变换器。

PFC 母线电容 C1 的输出正端连接到开关管 S2 的第一端和电容 C2 的第一端,开关管 S2 的第二端连接到开关管 S3 的第一端,命名为中点 A,电容 C2 的第二端连接到电容 C4 的第一端,命名为中点 B,母线电容 C1 的负端连接到开关管 S3 的第二端和电容 C4 的第二端。变压器 T1 的原边并联到中点 A 和 B 之间。变压器 T1 的副边绕组输出分别连接到输出整流管 D2, D3 的阳极,二极管 D2, D3 的阴极连接到输出电感 L2 的第一端,输出电感 L2 的第二端连接到输出电容 C3 的正端,输出电容 C3 的负端连接到变压器中心抽头。LED 负载并联在输出电容 C3 两端。输出电容 C3 两端电压(V_o)为加在 LED 两端的电压。

所述的 PFC 母线控制电路由输出电压采样电路、PFC 输出电压调制电路等电路组成。

所述的输出电压采样电路的输入信号来自变压器的辅助绕组经过 D4 和 C4 的峰值保持信号,经过输出电压采样电路转换成和输出电压成比例的信号,作为 PFC 输出电压调制电路的输入信号。

所述的 PFC 输出电压调制电路由三极管 Q1, 电阻 R3 以及供电电源 VCC 组成。输出电压采样电路连接到三极管 Q1 的基极,三极管 Q1 的发射极连接到电阻 R3 的一端,电阻 R3 的另外一端连接到供电电源 VCC。三极管 Q1 的集电极输出信号连接到由电阻 R1 和 R2 构成的反馈信号端,通过对 PFC 控制器的控制,来改变 PFC 输出中间母线电压(V_{bus})。

所述的 PFC 输出中间母线电压(V_{bus})作为对称半桥变换器的输入电压,可根据 DC/DC 变换器输出电压 (V_o) 来变化,因此在很宽的负载电压范围内,可工作在满占空比 (50%) 附近,从而减小占空比的范围,可大大提高变换器效率。

参照图 6,所述的 LED 电路输入端为交流输入电压 V_{ac} ,连接到整流桥两端,

经过整流桥整流后的直流电压 V_{dc} 。

所述的 PFC 主电路由电感 $L1$ ，开关管 $S1$ ，二极管 $D1$ ，母线电容 $C1$ 等组成。

V_{dc} 正端连接到 PFC 主电路的电感 $L1$ 的第一端，电感 $L1$ 的第二端连接到开关管 $S1$ 的第一端和二极管 $D1$ 的阳极， V_{dc} 负端连接到开关管 $S1$ 的第二端，PFC 母线电容 $C1$ 并联在二极管 $D1$ 的阴极和开关管 $S1$ 的第二端。PFC 母线输出电压为(V_{bus})。

所述的 PFC 控制器电路输出信号控制开关管 $S1$ 的第三端，实现功率因数校正功能；电阻 $R1$ 和 $R2$ 串联后并联在 PFC 母线电容 $C1$ 两端；电阻 $R1$ 连接电阻 $R2$ 的公共端子，作为反馈信号连接到 PFC 控制器电路，实现 PFC 母线电压(V_{bus})的稳压。

所述的 DC/DC 变换器是由开关管 $S2$ ， $S3$ ， $S4$ ， $S5$ ，变压器 $T1$ ，输出二极管 $D2$ ， $D3$ ，输出电容 $C3$ 等组成的全桥变换器。

PFC 母线电容 $C1$ 的输出正端连接到开关管 $S2$ 的第一端和开关管 $S4$ 的第一端，开关管 $S2$ 的第二端连接到开关管 $S3$ 的第一端，命名为中点 A，开关管 $S4$ 的第二端连接到开关管 $S5$ 的第一端，命名为中点 B，母线电容 $C1$ 的负端连接到开关管 $S3$ 的第二端和开关管 $S5$ 的第二端。变压器 $T1$ 的原边并联到中点 A 和 B 之间。变压器 $T1$ 的副边绕组输出分别连接到输出整流管 $D2$ ， $D3$ 的阳极，二极管 $D2$ ， $D3$ 的阴极连接到输出电感 $L2$ 的第一端，输出电感 $L2$ 的第二端连接到输出电容 $C3$ 的正端，输出电容 $C3$ 的负端连接到变压器中心抽头。LED 负载并联在输出电容 $C3$ 两端。输出电容 $C3$ 两端电压(V_o)为加在 LED 两端的电压。

所述的 PFC 母线控制电路由输出电压采样电路、PFC 输出电压调制电路等电路组成。

所述的输出电压采样电路的输入信号来自变压器的辅助绕组经过 $D4$ 和 $C4$ 的峰值保持信号，经过输出电压采样电路转换成和输出电压成比例的信号，作为 PFC 输出电压调制电路的输入信号。

所述的 PFC 输出电压调制电路由三极管 $Q1$ ，电阻 $R3$ 以及供电电源 VCC 组成。输出电压采样电路连接到三极管 $Q1$ 的基极，三极管 $Q1$ 的发射极连接到电阻 $R3$ 的一端，电阻 $R3$ 的另外一端连接到供电电源 VCC 。三极管 $Q1$ 的集电极输出信号连接到由电阻 $R1$ 和 $R2$ 构成的反馈信号端，通过对 PFC 控制器的控制，

来改变 PFC 输出中间母线电压 (V_{bus})。

所述的 PFC 输出中间母线电压(V_{bus})作为全桥变换器的输入电压, 可根据 DC/DC 变换器输出电压 (V_o) 来变化, 因此在很宽的负载电压范围内, 可工作在满占空比 (50%) 附近, 从而减小占空比的范围, 可大大提高变换器效率。

参照图 7, 所述的 LED 电路输入端为交流输入电压 V_{ac} , 连接到整流桥两端, 经过整流桥整流后的直流电压 V_{dc} 。

所述的 PFC 主电路由电感 L_1 , 开关管 S_1 , 二极管 D_1 , 母线电容 C_1 等组成。

V_{dc} 正端连接到 PFC 主电路的电感 L_1 的第一端, 电感 L_1 的第二端连接到开关管 S_1 的第一端和二极管 D_1 的阳极, V_{dc} 负端连接到开关管 S_1 的第二端, PFC 母线电容 C_1 并联在二极管 D_1 的阴极和开关管 S_1 的第二端。PFC 母线输出电压为(V_{bus})。

所述的 PFC 控制器电路输出信号控制开关管 S_1 的第三端, 实现功率因数校正功能; 电阻 R_1 和 R_2 串联后并联在 PFC 母线电容 C_1 两端; 电阻 R_1 连接电阻 R_2 的公共端子, 作为反馈信号连接到 PFC 控制器电路, 实现对 PFC 母线电压 (V_{bus})的稳压。

所述的 DC/DC 变换器是由开关管 S_2 , S_3 , 谐振电感 L_2 , 谐振电容 C_2 , 变压器 T_1 , 输出二极管 D_2 , D_3 , 输出电容 C_3 等组成的 LLC 谐振变换器。

PFC 母线电容 C_1 的输出正端连接到开关管 S_2 的第一端, 开关管 S_2 的第二端连接到开关管 S_3 的第一端和谐振电感 L_2 的一端, 母线电容 C_1 的负端连接到开关管 S_3 的第二端。谐振电感 L_2 的另外一端连接到谐振电容 C_2 的一端, 变压器 T_1 的原边并联到谐振电容 C_2 的第二端与母线电容 C_1 的负端。变压器 T_1 的副边绕组输出分别连接到输出整流管 D_2 , D_3 的阳极, 二极管 D_2 , D_3 的阴极连接到输出电容 C_3 的正端, 输出电容 C_3 的负端连接到变压器中心抽头。输出电容 C_3 两端电压 (V_{oA}) 为 DC/DC 变换器输出电压。

所述的 PFC 母线控制电路由输出电压采样电路、PFC 输出电压调制电路等电路组成。

所述的输出电压采样电路的输入信号来自变压器的辅助绕组经过 D_4 和 C_4 的峰值保持信号, 经过输出电压采样电路转换成和输出电压成比例的信号, 作为 PFC 输出电压调制电路的输入信号。

所述的 PFC 输出电压调制电路由三极管 Q1, 电阻 R3 以及供电电源 VCC 组成。输出电压采样电路连接到三极管 Q1 的基极, 三极管 Q1 的发射极连接到电阻 R3 的一端, 电阻 R3 的另外一端连接到供电电源 VCC。三极管 Q1 的集电极输出信号连接到由电阻 R1 和 R2 构成的反馈信号端, 通过对 PFC 控制器的控制, 来改变 PFC 输出中间母线电压(Vbus)。

所述的 PFC 输出中间母线电压(Vbus)作为 LLC 谐振变换器的输入电压, 可根据 DC/DC 变换器输出电压(VoA)来变化, 因此在很宽的负载电压范围内, 可工作在谐振点附近, 从而减小开关频率的范围, 可大大提高 DC/DC 变换器效率。

所述的隔离 DC/DC 变换器的输出电压 (VoA) 作为后级恒流变换器的输入电压, 后级恒流变换器是由多个 Buck 电路 (如电路 Buck_1 到 Buck_n) 组成, 每个 Buck 电路提供一路 LED 的恒流驱动。为描述方便, 以电路 Buck_1 为例说明, 其余 BUCK 电路结构相同。Buck 电路由开关管 So1, 二极管 Do1, 电感 Lo1 以及 LED 负载组成; 隔离 DC/DC 变换器的输出电容 C3 的正端连接到二极管 Do1 的阴极, 二极管 Do1 的阳极连接到开关管 So1 的第一端, 开关管 So1 的第二端连接到输出电容 C3 的负端, 二极管 Do1 的阳极连接到 Lo1 的第一端, LED 灯并联到二极管 Do1 的阴极和 Lo1 的第二端之间。LED 负载由多个 LED 组成。电路 Buck_1 到 Buck_n 的输出电压分别为 Vo1, ...Von。

所述的输出电压采样电路由二极管 Da1, ...Dan, 电阻 R4 组成。输出电压负端电压 Vo1-, ...Von- 分别连接到二极管 Da1, ...Dan 的阴极, Da1, ...Dan 的阳极连接到电阻 R4 的第一端, 电阻 R4 的第二端连接到 DC/DC 输出电压控制电路的输入端。DC/DC 输出电压控制电路由运放 IC1, 电阻 R5, 电阻 R6, 电容 C4, 电阻 R7, 电阻 R8, 电阻 R9, 三极管 Q2 组成。电阻 R4 第二端连接到运放 IC1 的反向端和电容 C4 的第一端, 电容 C4 的第二端连接到电阻 R5 的第一端, 电阻 R5 的第二端连接到运放 IC1 的输出端, 运放 IC1 的同向端为电压参考信号 Vref, 运放 IC1 输出连接到电阻 R7 的第一端, 电阻 R7 的第二端连接到电阻 R8 的第一端和三极管 Q2 的基极, 电阻 R8 的第二端连接到 Q2 的发射极, 并连接到输出地端。三极管 Q2 的集电极连接到电阻 R9 的第一端, R9 的第二端连接到 DC/DC 控制电路的反馈电路 (由分压电阻 R10 和电阻 R11 构成的分压器) 的中点。

所述的输出电压采样电路对输出电压负端电压 V_{o1-} , ... V_{on-} 最低（即输出电压 V_{o1} , ... V_{on} 最高电压）的一路和参考信号 V_{ref} 比较，经过运放 IC1，电阻 R5，R6，以及电容 C4 的调节，控制三极管 Q2 导通状态，改变 DC/DC 控制电路的反馈信号，从而改变隔离 DC/DC 变换器的输出电压。这样，可实现 DC/DC 变换器的输出电压始终比多路 BUCK（Buck_1 到 Buck_n）变换器中输出电压最高的一路略高，使 BUCK 电路在每路输出能实现精确恒流控制基础上始终工作在接近 100% 占空比的状态，从而提高后级恒流变换器的工作效率。

参照图 8，所述的 LED 电路输入端为交流输入电压 V_{ac} ，连接到整流桥两端，经过整流桥整流后的直流电压 V_{dc} 。

所述的 PFC 主电路由电感 L1，开关管 S1，二极管 D1，母线电容 C1 等组成。

V_{dc} 正端连接到 PFC 主电路的电感 L1 的第一端，电感 L1 的第二端连接到开关管 S1 的第一端和二极管 D1 的阳极， V_{dc} 负端连接到开关管 S1 的第二端，PFC 母线电容 C1 并联在二极管 D1 的阴极和开关管 S1 的第二端。PFC 母线输出电压为 (V_{bus})。

所述的 PFC 控制器电路输出信号控制开关管 S1 的第三端，实现功率因数校正功能；电阻 R1 和 R2 串联后并联在 PFC 母线电容 C1 两端；电阻 R1 连接电阻 R2 的公共端子，作为反馈信号连接到 PFC 控制器电路，实现对 PFC 母线电压 (V_{bus}) 的稳压。

所述的 DC/DC 变换器是由开关管 S2，S3，谐振电感 L2，谐振电容 C2，变压器 T1，输出二极管 D2，D3，输出电容 C3 等组成的 LLC 谐振变换器。

PFC 母线电容 C1 的输出正端连接到开关管 S2 的第一端，开关管 S2 的第二端连接到开关管 S3 的第一端和谐振电感 L2 的一端，母线电容 C1 的负端连接到开关管 S3 的第二端。谐振电感 L2 的另外一端连接到谐振电容 C2 的一端，变压器 T1 的原边并联到谐振电容 C2 的第二端与母线电容 C1 的负端。变压器 T1 的副边绕组输出分别连接到输出整流管 D2，D3 的阳极，二极管 D2，D3 的阴极连接到输出电容 C3 的正端，输出电容 C3 的负端连接到变压器中心抽头。输出电容 C3 两端电压 (V_{oA}) 为 DC/DC 变换器输出电压。

所述的 PFC 母线控制电路由输出电压采样电路、PFC 输出电压调制电路等电路组成。

所述的输出电压采样电路的输入信号来自变压器的辅助绕组经过 D4 和 C4 的峰值保持信号, 经过输出电压采样电路转换成和输出电压成比例的信号, 作为 PFC 输出电压调制电路的输入信号。

所述的 PFC 输出电压调制电路由三极管 Q1, 电阻 R3 以及供电电源 VCC 组成。输出电压采样电路连接到三极管 Q1 的基极, 三极管 Q1 的发射极连接到电阻 R3 的一端, 电阻 R3 的另外一端连接到供电电源 VCC。三极管 Q1 的集电极输出信号连接到由电阻 R1 和 R2 构成的反馈信号端, 通过对 PFC 控制器的控制, 来改变 PFC 输出中间母线电压(Vbus)。

所述的 PFC 输出中间母线电压(Vbus)作为 LLC 谐振变换器的输入电压, 可根据 DC/DC 变换器输出电压(VoA)来变化, 因此在很宽的负载电压范围内, 可工作在谐振点附近, 从而减小开关频率的范围, 可大大提高 DC/DC 变换器效率。

所述的隔离 DC/DC 变换器的输出电压 (VoA) 作为后级恒流变换器的输入电压, 后级恒流变换器是由多个线性调整电路 (如线性调整电路 1 到线性调整电路 n) 组成, 每个线性调整电路提供一路 LED 的恒流驱动。为描述方便, 以线性调整电路 1 为例说明, 其余电路结构相同。线性调整电路 1 由开关管 So1, 驱动控制电路 1 以及 LED 负载组成; 隔离 DC/DC 变换器的输出电容 C3 的负端连接开关管 So1 的第二端, LED 灯并联到输出电容 C3 的正端和开关管 So1 的第一端之间。负载电流的采样信号连接到驱动控制电路 1 的输入端, 经过驱动控制电路 1, 输出端连接到线性调整电路 1 的开关管 So1 的第三端, 实现对负载电流的恒流控制。LED 负载由多个 LED 组成。线性调整电路 1 到线性调整电路 n 的输出电压分别为 Vo1, ...Von。

所述的输出电压采样电路由二极管 Da1, ...Dan, 电阻 R4 组成。输出电压负端电压 Vo1-, ...Von- 分别连接到二极管 Da1, ...Dan 的阴极, Da1, ...Dan 的阳极连接到电阻 R4 的第一端, 电阻 R4 的第二端连接到 DC/DC 输出电压控制电路的输入端。DC/DC 输出电压控制电路由运放 IC1, 电阻 R5, 电阻 R6, 电容 C4, 电阻 R7, 电阻 R8, 电阻 R9, 三极管 Q2 组成。电阻 R4 第二端连接到运放 IC1 的反向端和电容 C4 的第一端, 电容 C4 的第二端连接到电阻 R5 的第一端, 电阻 R5 的第二端连接到运放 IC1 的输出端, 运放 IC1 的同向端为电压参考信号 Vref, 运放 IC1 输出连接到电阻 R7 的第一端, 电阻 R7 的第

二端连接到电阻 R8 的第一端和三极管 Q2 的基极，电阻 R8 的第二端连接到 Q2 的发射极，并连接到输出地端。三极管 Q2 的集电极连接到电阻 R9 的第一端，R9 的第二端连接到 DC/DC 控制电路的反馈电路（由分压电阻 R10 和电阻 R11 构成的分压器）的中点。

所述的输出电压采样电路对输出电压负端电压 V_{o1-} , ... V_{on-} 最低（即输出电压 V_{o1} , ... V_{on} 最高电压）的一路和参考信号 V_{ref} 比较，经过运放 IC1，电阻 R5，R6，以及电容 C4 的调节，控制三极管 Q2 导通状态，改变 DC/DC 控制电路的反馈信号，从而改变隔离 DC/DC 变换器的输出电压。这样，可实现 DC/DC 变换器的输出电压始终比多路线性调整电路（线性调整电路 1 到线性调整电路 n）中输出电压最高的一路略高，使线性调整电路在每路输出能实现精确恒流控制基础上始终工作在导通压降较低的状态，从而提高后级恒流变换器的工作效率。

最后，还需要注意的是，以上列举的仅是本发明的具体实施例。显然，本发明不限于以上实施例，还可以有许多变形。本领域的普通技术人员能从本发明公开的内容直接导出或联想到的所有变形，均应认为是发明的保护范围。

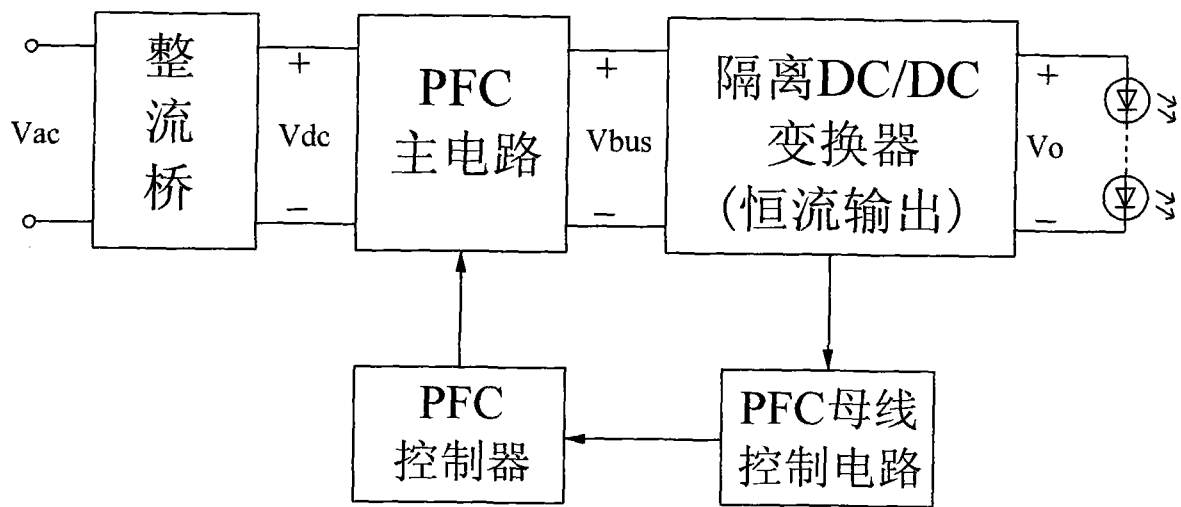


图 1

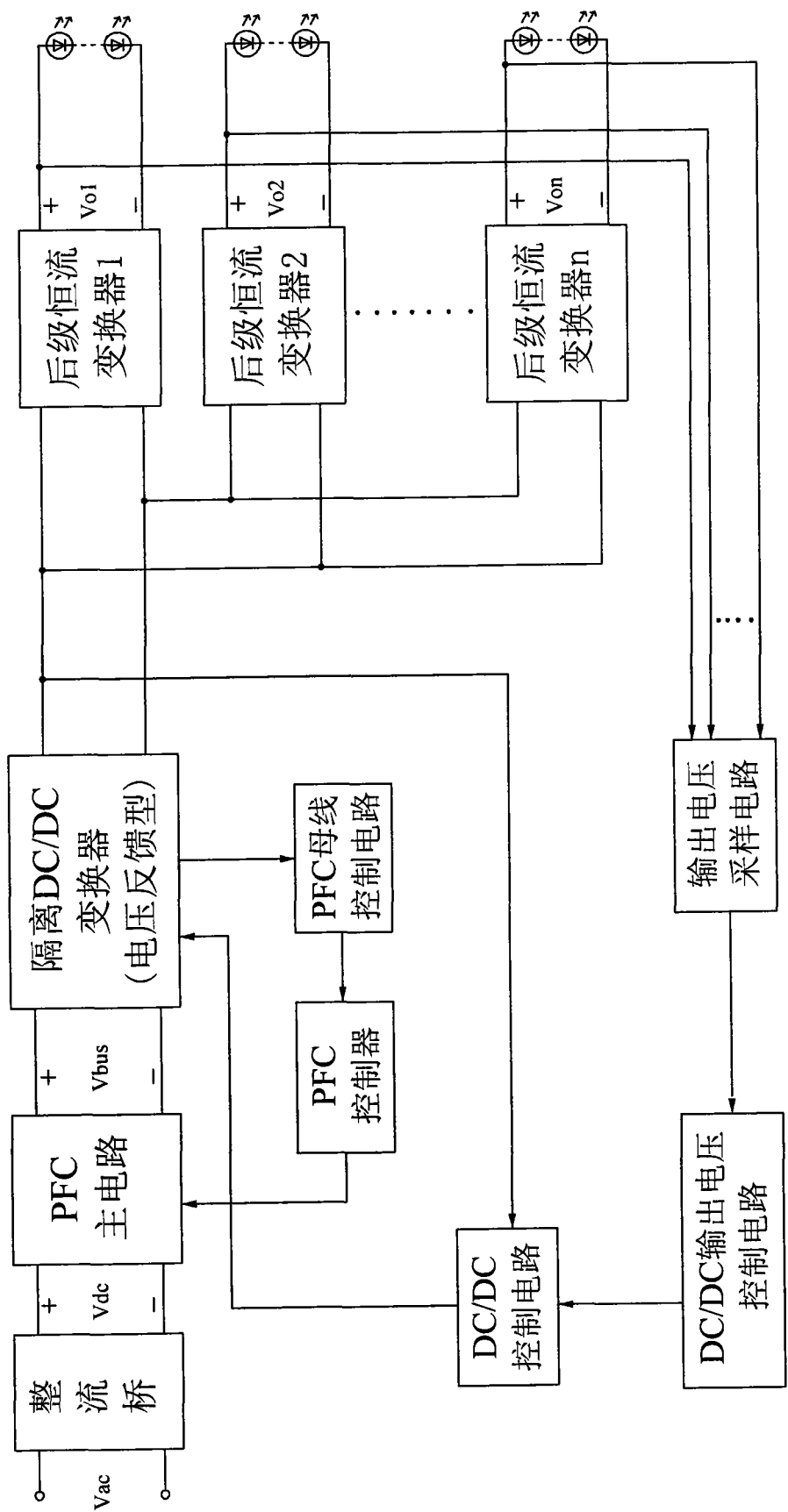


图2

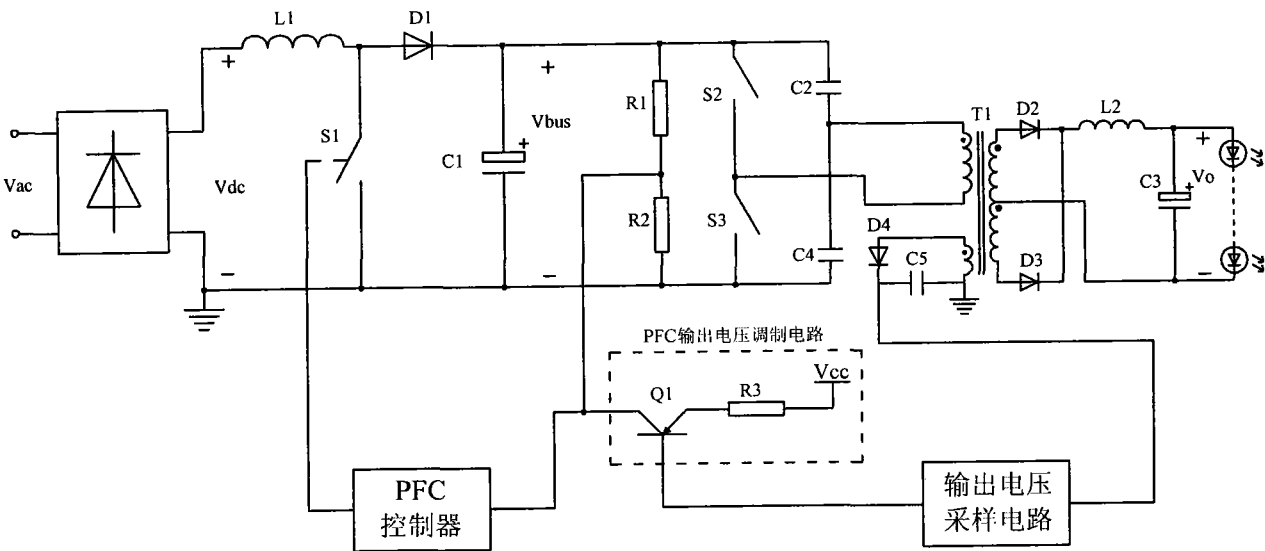


图5

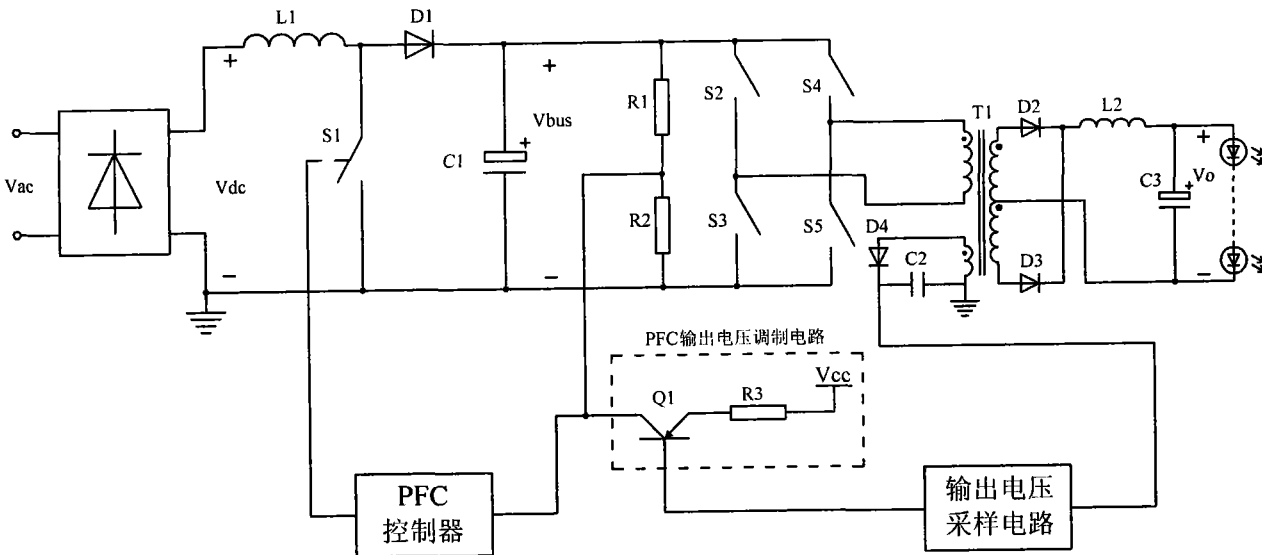


图6

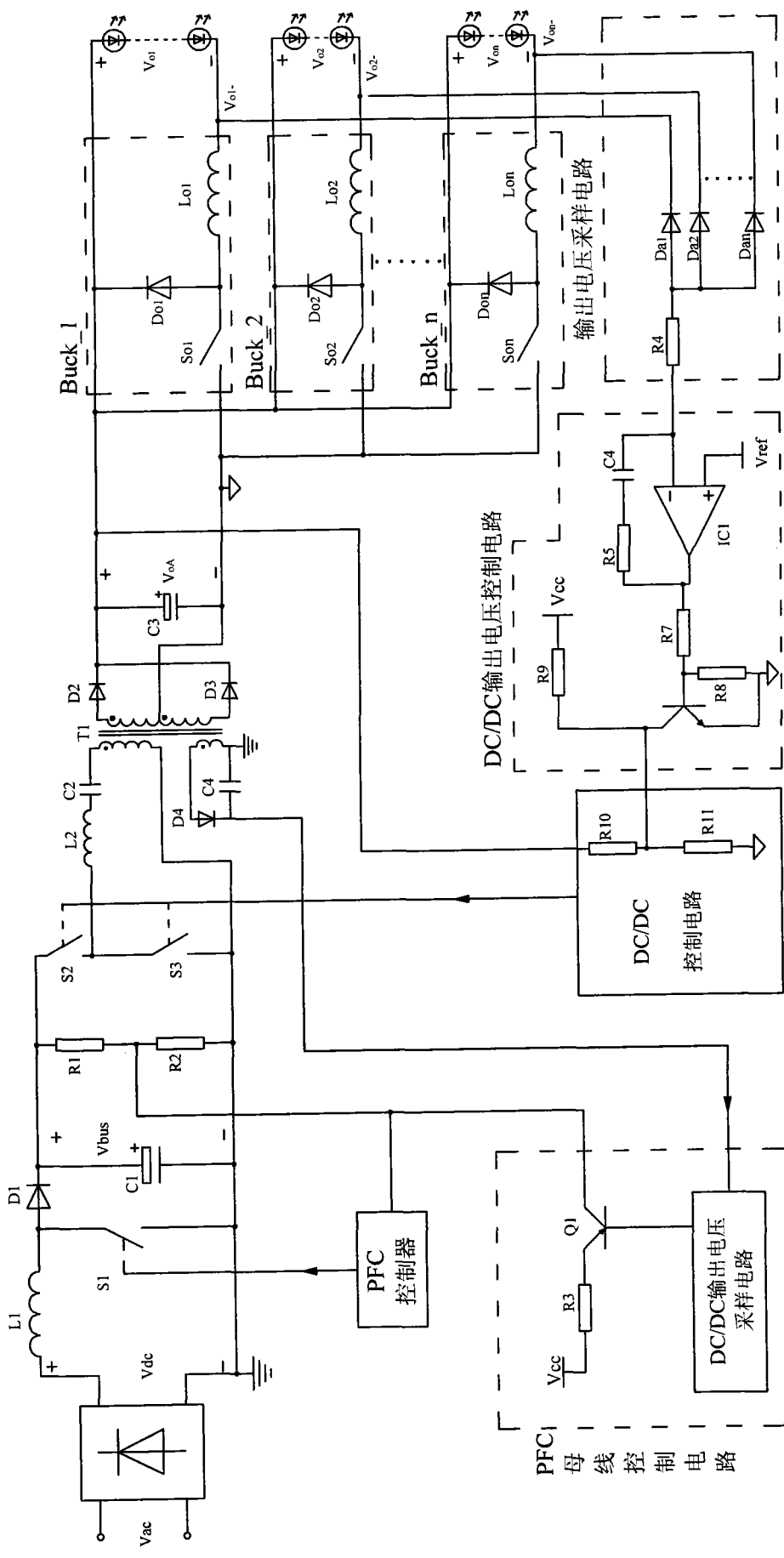


图7

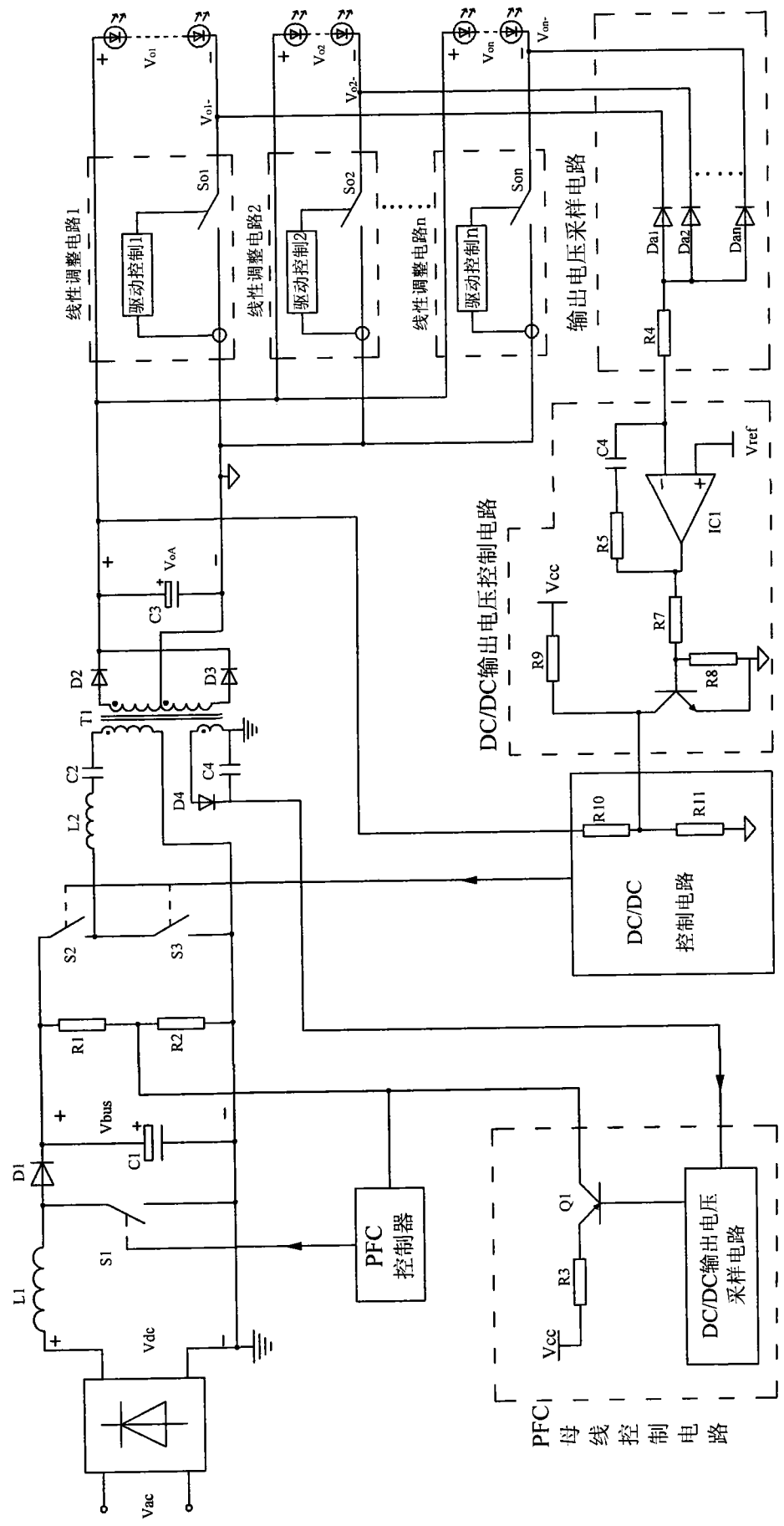


图8