



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104378887 A

(43) 申请公布日 2015.02.25

(21) 申请号 201410674405.3

(22) 申请日 2014.11.21

(71) 申请人 成都芯源系统有限公司

地址 611731 四川省成都市高新西区科新路
8号综合保税区(B区)

(72)发明人 邝乃兴 赵启明

(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.

H05B 37/02(2006.01)

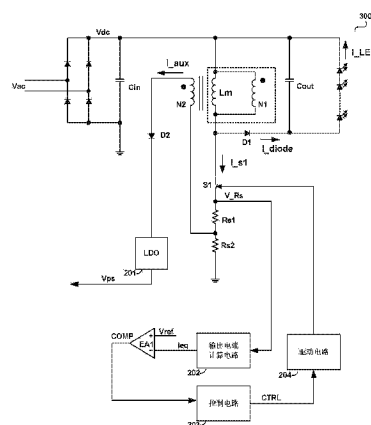
权利要求书3页 说明书6页 附图9页

(54) 发明名称

LED 驱动电路及其控制方法

(57) 摘要

公开了 LED 驱动电路及其控制方法,LED 驱动电路包括主开关管、耦接至主开关管的第一绕组、与第一绕组磁耦合并提供供电电压的第二绕组、以及与主开关管串联的第一采样电阻器和第二采样电阻器。该 LED 驱动电路通过第一采样电阻器、第二采样电阻器与第二绕组之间的特殊连接,实现供电电压环路与 LED 电流环路之间的去耦合。



1. 一种 LED 驱动电路,包括:

开关变换器,为 LED 提供驱动电流,其中该开关变换器包括主开关管以及耦接至主开关管的第一绕组,该第一绕组在主开关管导通时存储能量,在主开关管关断时将能量提供至 LED;

第二绕组,与开关变换器中的第一绕组磁耦合,具有第一端和第二端,其中第一端耦接以提供供电电压;

第一采样电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至主开关管;

第二采样电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一采样电阻器的第二端和第二绕组的第二端,第二端耦接至参考地;

输出电流计算电路,耦接至第一采样电阻器的第一端,基于第一采样电阻器第一端的电压计算 LED 驱动电流的等效值,产生等效电流信号;

误差放大器,耦接至输出电流计算电路,基于等效电流信号和参考电压产生补偿信号;以及

控制电路,耦接至误差放大器,基于补偿信号产生控制信号以控制开关变换器中的主开关管。

2. 如权利要求 1 所述的 LED 驱动电路,还包括:

电压调节电路,具有输入端和输出端,其中输入端耦接至第二绕组的第一端,输出端提供供电电压。

3. 如权利要求 2 所述的 LED 驱动电路,其中电压调节电路为低压差线性稳压器。

4. 如权利要求 1 所述的 LED 驱动电路,其中供电电压被提供至无线模块和微控制单元,无线模块接收无线信号,并将其提供至微控制单元,微控制单元基于该无线信号产生调光信号,以对 LED 进行调光。

5. 如权利要求 4 所述的 LED 驱动电路,还包括:

参考电压产生电路,耦接至微控制单元以接收调光信号,并基于调光信号产生参考电压。

6. 如权利要求 1 所述的 LED 驱动电路,其中开关变换器包括升降压电路或者反激电路。

7. 一种 LED 驱动电路,包括:

开关变换器,为 LED 提供驱动电流,其中该开关变换器包括主开关管以及耦接至主开关管的第一绕组,该第一绕组在主开关管导通时存储能量,在主开关管关断时将能量提供至 LED;

第二绕组,与开关变换器中的第一绕组磁耦合并提供供电电压;

信号处理电路,接收代表流过主开关管电流的第一电流采样信号和代表流过第二绕组电流的第二电流采样信号,并基于第一电流采样信号和第二电流采样信号产生处理信号;

输出电流计算电路,耦接至信号处理电路,基于处理信号计算 LED 驱动电流的等效值,产生等效电流信号;

误差放大器,耦接至输出电流计算电路,基于等效电流信号和参考电压产生补偿信号;以及

控制电路,耦接至误差放大器,基于补偿信号产生控制信号以控制开关变换器中的主开关管。

8. 如权利要求 7 所述的 LED 驱动电路,还包括:

电压调节电路,具有输入端和输出端,其中输入端耦接至第二绕组,输出端提供供电电压。

9. 如权利要求 7 所述的 LED 驱动电路,其中供电电压被提供至无线模块和微控制单元,无线模块接收无线信号,并将其提供至微控制单元,微控制单元基于该无线信号产生调光信号,以对 LED 进行调光。

10. 如权利要求 9 所述的 LED 驱动电路,还包括:

参考电压产生电路,耦接至微控制单元以接收调光信号,并基于调光信号产生参考电压。

11. 一种 LED 驱动电路,包括:

整流桥,具有输入端和输出端,其中输入端接收交流输入电压,输出端提供直流电压;

输入电容器,耦接在整流桥的输出端与地之间;

第一绕组,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至整流桥的输出端和 LED 的阴极;

主开关管,具有第一端、第二端和控制端,其中第一端耦接至第一绕组的第二端;

第一采样电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至主开关管的第二端;

第二采样电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一采样电阻器的第二端,第二端耦接至参考地;

续流元件,耦接在第一绕组的第二端与 LED 的阳极之间;

输出电容器,与 LED 并联;

第二绕组,与第一绕组磁耦合,具有第一端和第二端,其中第二端耦接至第一采样电阻器的第二端与第二采样电阻器的第一端;

二极管,具有阳极和阴极,其中阳极耦接至第二绕组的第一端;

低压差线性稳压器,具有输入端和输出端,其中输入端耦接至二极管的阴极,输出端提供供电电压;

输出电流计算电路,耦接至第一采样电阻器的第一端,基于第一采样电阻器第一端的电压,计算流过 LED 电流的等效值,产生等效电流信号;

误差放大器,耦接至输出电流计算电路,基于等效电流信号和参考电压产生补偿信号;以及

控制电路,耦接至误差放大器,基于补偿信号产生控制信号以控制主开关管。

12. 如权利要求 11 所述的 LED 驱动电路,其中供电电压被提供至无线模块和微控制单元,无线模块接收无线信号,并将其提供至微控制单元,微控制单元基于该无线信号产生调光信号,以对 LED 进行调光。

13. 如权利要求 12 所述的 LED 驱动电路,还包括:

参考电压产生电路,耦接至微控制单元以接收调光信号,并基于调光信号产生参考电压。

14. 如权利要求 11 所述的 LED 驱动电路,其中控制电路包括:

乘法器,具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端接收代表直流电压的输入采样信号,第二输入端耦接至误差放大器以接收补偿信号,乘法器将输入采样信号与补偿信号相乘,在输出端产生乘积信号;

比较器,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至第一采样电阻器的第一端,第二输入端耦接至乘法器的输出端,输出端提供比较信号;

过零检测电路,检测流过第一绕组的电流是否过零,产生过零检测信号;以及

逻辑电路,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至比较器的输出端,第二输入端耦接至过零检测电路以接收过零检测信号,逻辑电路基于比较信号和过零检测信号,在输出端产生控制信号。

15. 一种 LED 驱动电路的控制方法,其中该 LED 驱动电路包括主开关管、耦接至主开关管的第一绕组以及与第一绕组磁耦合的第二绕组,该第一绕组在主开关管导通时存储能量,并在主开关管关断时将能量提供至 LED,该控制方法包括:

采样流过主开关管的电流,产生第一电流采样信号;

采样流过第二绕组的电流,产生第二电流采样信号;

基于第一电流采样信号与第二电流采样信号,产生处理信号;

基于处理信号,计算流过 LED 电流的等效值,产生等效电流信号;

基于等效电流信号和参考电压产生补偿信号;以及

基于补偿信号产生控制信号以控制主开关管。

16. 如权利要求 15 所述的控制方法,其中 LED 驱动电路还包括耦接至第二绕组并为无线模块提供供电电压的电压调节电路,该控制方法还包括:

通过无线模块接收无线信号;以及

基于无线信号产生调光信号,以对 LED 进行调光。

17. 一种 LED 驱动电路,包括:

主开关管;

第一绕组,耦接至主开关管,该第一绕组在主开关管导通时存储能量,在主开关管关断时将能量提供至 LED;

第二绕组,与第一绕组磁耦合,具有第一端和第二端;

第一采样电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至主开关管;以及

第二采样电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一采样电阻器的第二端和第二绕组的第二端,第二端耦接至参考地;以及

控制器,基于第一采样电阻器第一端的电压,产生控制信号以控制主开关管。

LED 驱动电路及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电子电路,尤其涉及 LED 驱动电路及其控制方法。

背景技术

[0002] 随着科技的不断发展,LED 由于其体积小、驱动简单且节能环保,正逐渐取代荧光灯在液晶显示背光和普通照明中的应用。LED 需要驱动电路来为其提供受控的电流信号。在某些应用场合,除了受控的 LED 电流以外,还需要一些诸如 12V、5V 之类的电源电压,用以其他电路或芯片供电。

[0003] 图 1 为现有的 LED 驱动电路,其中整流桥对交流输入电压 V_{ac} 进行整流,第一直流 / 直流开关变换器和第二直流 / 直流开关变换器均耦接至整流桥的输出端。第一直流 / 直流开关变换器为 LED 提供驱动电流,第二直流 / 直流开关变换器为其他电路或芯片提供供电电压 V_{ps} 。

[0004] 现有的 LED 驱动电路包括两个高压直流 / 直流开关变换器,体积庞大且成本高昂。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是提供一种结构简单、成本低廉的 LED 驱动电路及其控制方法。

[0006] 根据本发明实施例的一种 LED 驱动电路,包括:开关变换器,为 LED 提供驱动电流,其中该开关变换器包括主开关管以及耦接至主开关管的第一绕组,该第一绕组在主开关管导通时存储能量,在主开关管关断时将能量提供至 LED;第二绕组,与开关变换器中的第一绕组磁耦合,具有第一端和第二端,其中第一端耦接以提供供电电压;第一采样电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至主开关管;第二采样电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一采样电阻器的第二端和第二绕组的第二端,第二端耦接至参考地;输出电流计算电路,耦接至第一采样电阻器的第一端,基于第一采样电阻器第一端的电压计算 LED 驱动电流的等效值,产生等效电流信号;误差放大器,耦接至输出电流计算电路,基于等效电流信号和参考电压产生补偿信号;以及控制电路,耦接至误差放大器,基于补偿信号产生控制信号以控制开关变换器中的主开关管。

[0007] 根据本发明实施例的一种 LED 驱动电路,包括:开关变换器,为 LED 提供驱动电流,其中该开关变换器包括主开关管以及耦接至主开关管的第一绕组,该第一绕组在主开关管导通时存储能量,在主开关管关断时将能量提供至 LED;第二绕组,与开关变换器中的第一绕组磁耦合并提供供电电压;信号处理电路,接收代表流过主开关管电流的第一电流采样信号和代表流过第二绕组电流的第二电流采样信号,并基于第一电流采样信号和第二电流采样信号产生处理信号;输出电流计算电路,耦接至信号处理电路,基于处理信号计算 LED 驱动电流的等效值,产生等效电流信号;误差放大器,耦接至输出电流计算电路,基于等效电流信号和参考电压产生补偿信号;以及控制电路,耦接至误差放大器,基于补偿信号产生控制信号以控制开关变换器中的主开关管。

[0008] 根据本发明实施例的一种 LED 驱动电路,包括:整流桥,具有输入端和输出端,其中输入端接收交流输入电压,输出端提供直流电压;输入电容器,耦接在整流桥的输出端与地之间;第一绕组,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至整流桥的输出端和 LED 的阴极;主开关管,具有第一端、第二端和控制端,其中第一端耦接至第一绕组的第二端;第一采样电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至主开关管的第二端;第二采样电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一采样电阻器的第二端,第二端耦接至参考地;续流元件,耦接在第一绕组的第二端与 LED 的阳极之间;输出电容器,与 LED 并联;第二绕组,与第一绕组磁耦合,具有第一端和第二端,其中第二端耦接至第一采样电阻器的第二端与第二采样电阻器的第一端;二极管,具有阳极和阴极,其中阳极耦接至第二绕组的第一端;低压差线性稳压器,具有输入端和输出端,其中输入端耦接至二极管的阴极,输出端提供供电电压;输出电流计算电路,基于第一采样电阻器第一端的电压,计算流过 LED 电流的等效值,产生等效电流信号;误差放大器,耦接至输出电流计算电路,基于等效电流信号和参考电压产生补偿信号;以及控制电路,耦接至误差放大器,基于补偿信号产生控制信号以控制主开关管。

[0009] 根据本发明实施例的一种 LED 驱动电路的控制方法,其中该 LED 驱动电路包括主开关管、耦接至主开关管的第一绕组以及与第一绕组磁耦合的第二绕组,该第一绕组在主开关管导通时存储能量,并在主开关管关断时将能量提供至 LED,该控制方法包括:采样流过主开关管的电流,产生第一电流采样信号;采样流过第二绕组的电流,产生第二电流采样信号;基于第一电流采样信号与第二电流采样信号,产生处理信号;基于处理信号,计算流过 LED 电流的等效值,产生等效电流信号;基于等效电流信号和参考电压产生补偿信号;以及基于补偿信号产生控制信号以控制主开关管。

[0010] 根据本发明实施例的一种 LED 驱动电路,包括:主开关管;第一绕组,耦接至主开关管,该第一绕组在主开关管导通时存储能量,在主开关管关断时将能量提供至 LED;第二绕组,与第一绕组磁耦合,具有第一端和第二端;第一采样电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至主开关管;以及第二采样电阻器,具有第一端和第二端,其中第一端耦接至第一采样电阻器的第二端和第二绕组的第二端,第二端耦接至参考地;以及控制器,基于第一采样电阻器第一端的电压,产生控制信号以控制主开关管。

附图说明

[0011] 图 1 示出现有的 LED 驱动电路;

[0012] 图 2 为根据本发明实施例的 LED 驱动电路 200 的电路原理图;

[0013] 图 3 为根据本发明实施例的 LED 驱动电路 300 的电路原理图;

[0014] 图 4 为根据本发明实施例的输出电流计算电路 202A 的电路原理图;

[0015] 图 5 为根据本发明实施例的图 3 所示 LED 驱动电路 300 的波形图;

[0016] 图 6 为根据本发明实施例的 LED 驱动电路 300A 的电路原理图;

[0017] 图 7 为根据本发明实施例的 LED 驱动电路 400 的电路原理图;

[0018] 图 8 为根据本发明实施例的 LED 驱动电路 500 的电路原理图;

[0019] 图 9 为根据本发明实施例的 LED 驱动电路 600 的电路原理图。

具体实施方式

[0020] 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。在以下描述中,为了提供对本发明的透彻理解,阐述了大量特定细节。然而,对于本领域普通技术人员显而易见的是:不必采用这些特定细节来实行本发明。在其他实例中,为了避免混淆本发明,未具体描述公知的电路、材料或方法。

[0021] 在整个说明书中,对“一个实施例”、“实施例”、“一个示例”或“示例”的提及意味着:结合该实施例或示例描述的特定特征、结构或特性被包含在本发明至少一个实施例中。因此,在整个说明书的各个地方出现的短语“在一个实施例中”、“在实施例中”、“一个示例”或“示例”不一定都指同一实施例或示例。此外,可以以任何适当的组合和/或子组合将特定的特征、结构或特性组合在一个或多个实施例或示例中。此外,本领域普通技术人员应当理解,在此提供的附图都是为了说明的目的,并且附图不一定是按比例绘制的。应当理解,当称“元件”“连接到”或“耦接”到另一元件时,它可以是直接连接或耦接到另一元件或者可以存在中间元件。相反,当称元件“直接连接到”或“直接耦接到”另一元件时,不存在中间元件。相同的附图标记指示相同的元件。这里使用的术语“和/或”包括一个或多个相关列出的项目的任何和所有组合。

[0022] 针对背景技术中指出的问题,本发明提出了一种结构简单的 LED 驱动电路,在该 LED 驱动电路中,包括主开关管和第一绕组的开关变换器被用作为 LED 提供驱动电流。该第一绕组在主开关管导通时存储能量,在主开关管关断时将能量提供至 LED。一第二绕组与开关变换器中的第一绕组磁耦合,并通过电压调节器(例如低压差线性稳压器, LDO) 为其他电路或芯片提供供电电压。

[0023] 图 2 为根据本发明实施例的 LED 驱动电路 200 的电路原理图,其中整流桥接收交流输入电压 V_{ac} ,并提供直流电压 V_{dc} 。为 LED 提供驱动电流的开关变换器为一升降压变换器(Buck-Boost Converter),耦接至整流桥的输出端,包括输入电容器 C_{in} 、第一绕组、主开关管 S1、二极管 D1 以及输出电容器 C_{out} 。第二绕组与第一绕组磁耦合,其一端通过二极管 D2 耦接至 LD0201,另一端耦接至参考地。LD0201 提供供电电压 V_{ps} 。

[0024] 为了省去 LED 电流反馈电路,常根据流过主开关管 S1 的电流来计算 LED 驱动电流的等效值,并基于该等效值进行电流调节。如图 2 所示,电流采样信号 I_{sense1} 代表流过主开关管 S1 的电流。输出电流计算电路 202 根据电流采样信号 I_{sense1} 计算 LED 驱动电流的等效值,产生等效电流信号 I_{eq} 。在一个实施例中,等效电流信号 I_{eq} 在主开关管 S1 导通、二极管 D1 关断时等于零,在主开关管 S1 关断、二极管 D1 导通时等于电流采样信号 I_{sense1} 的峰值。误差放大器 EA1 接收等效电流信号 I_{eq} ,并根据参考电压 V_{ref} 与等效电流信号 I_{eq} 产生补偿信号 COMP。控制电路 203 根据补偿信号 COMP 产生控制信号 CTRL,以通过驱动电路 204 控制主开关管 S1。LD0201、输出电流计算电路 202、误差放大器 EA1、控制电路 203 以及驱动电路 204 可以集成在同一控制器,例如控制 IC 中。

[0025] 第一绕组和第二绕组构成的变压器可以等效为励磁电感与理想变压器并联而成。在主开关管 S1 关断时,二极管 D1 导通,二极管 D2 关断,流过第二绕组的电流为零,LED 驱动电流取决于流过励磁电感的电流。在主开关管 S1 导通时,二极管 D1 关断,二极管 D2 导通,流过主开关管 S1 的电流不仅包括流过励磁电感的电流,也受流过第二绕组电流的影响。因此,基于电流采样信号 I_{sense1} 产生的等效电流信号 I_{eq} 也将受到流过第二绕组电流的影响。

响,而无法准确反映 LED 驱动电流。当供电电压 V_{ps} 驱动芯片或者电路瞬时功率较大时,流过第二绕组的电流也较大(例如几十毫安),此时供电电压环路对 LED 电流环路的影响尤为明显。

[0026] 图 3 为根据本发明实施例的 LED 驱动电路 300 的电路原理图。与图 2 所示电路相比,LED 驱动电路 300 进一步包括采样电阻器 R_{s1} 和 R_{s2} 。采样电阻器 R_{s1} 具有第一端和第二端,其中第一端耦接至主开关管 $S1$ 。采样电阻器 R_{s2} 具有第一端和第二端,其中第一端耦接至采样电阻器 R_{s1} 的第二端,第二端耦接至参考地。第二绕组具有第一端和第二端,其中第一端通过二极管 $D2$ 耦接至 $LD0201$,第二端耦接至采样电阻器 R_{s1} 的第二端和采样电阻器 R_{s2} 的第一端。输出电流计算电路 202 耦接至采样电阻器 R_{s1} 的第一端,基于采样电阻器 R_{s1} 第一端的电压 V_{Rs} 产生等效电流信号 I_{eq} 。

[0027] 如图 3 所示,第一绕组和第二绕组构成的变压器被等效为励磁电感 L_m 与理想变压器并联而成。当主开关管 $S1$ 关断时,流过主开关管 $S1$ 的电流 I_{s1} 等于零。当主开关管 $S1$ 导通时,流过主开关管 $S1$ 的电流 I_{s1} 可以表示为:

[0028]

$$I_{s1} = I_{Lm} + \frac{N2}{N1} \times I_{aux} \quad (1.1)$$

[0029] 其中 I_{Lm} 为流过励磁电感 L_m 的电流, I_{aux} 为流过第二绕组的电流, $\frac{N2}{N1}$ 为第二绕组与第一绕组的匝数比。

[0030] 此时,电压 V_{Rs} 可以表示为:

$$V_{Rs} = I_{s1} \times (R_{s1} + R_{s2}) - I_{aux} \times R_{s2} \quad (1.2)$$

[0032] 将公式 (1.1) 代入公式 (1.2),可知:

[0033]

$$V_{Rs} = I_{Lm} \times (R_{s1} + R_{s2}) + I_{aux} \times \left[\frac{N2}{N1} \times R_{s1} - \left(1 - \frac{N2}{N1} \right) \times R_{s2} \right] \quad (1.3)$$

[0034] 如果使

[0035]

$$\frac{N2}{N1} \times R_{s1} = \left(1 - \frac{N2}{N1} \right) \times R_{s2} \quad (1.4)$$

[0036] 则可以得到:

$$V_{Rs} = I_{Lm} \times (R_{s1} + R_{s2}) \quad (1.5)$$

[0038] 这意味着,电压 V_{Rs} 仅与流过励磁电感的电流 I_{Lm} 相关,而不再受流过第二绕组的电流 I_{aux} 的影响。因此,LED 电流环路与供电电压环路之间的去耦合得以实现,基于电压 V_{Rs} 产生的等效电流信号 I_{eq} 可以准确反映 LED 驱动电流 I_{LED} ,确保了对 LED 驱动电流的准确调节。

[0039] 图 4 为根据本发明实施例的输出电流计算电路 202A 的电路原理图。输出电流计算电路 202A 包括电容器 $C1$ 以及受控制信号 CTRL 控制的开关管 $S2 \sim S4$ 。当主开关管 $S1$ 导通时,开关管 $S2$ 和 $S4$ 导通,开关管 $S3$ 关断,此时等效电流信号 I_{eq} 等于零。当主开关管 $S1$ 关断时,开关管 $S2$ 和 $S4$ 关断,开关管 $S3$ 导通,此时等效电流信号 I_{eq} 等于储存于电容器

C1 上之电压,该电压等于信号 V_{Rs} 的峰值。

[0040] 图 5 为根据本发明实施例的图 3 所示 LED 驱动电路 300 在临界连续模式下的波形图,其中 I_{diode} 为流过二极管 D1 的电流。如图 5 所示,当控制信号 CTRL 为高电平时,主开关管 S1 和二极管 D2 均导通,二极管 D1 关断。流过励磁电感 L_m 的电流 I_{Lm} 线性增大,流过第二绕组的电流 I_{aux} 大于零。当控制信号 CTRL 为低电平时,主开关管 S1 和二极管 D2 均关断,二极管 D1 导通。流过第二绕组的电流等于零,流过二极管 D1 的电流 I_{diode} 与流过励磁电感 L_m 的电流 I_{Lm} 相等并线性减小。

[0041] 由于输出电容器 C_{out} 的存在,LED 驱动电流 I_{LED} 与电流 I_{diode} 的平均值相等。驱动电流 I_{LED} 可以表示为:

[0042]

$$I_{LED} = I_{diode_{ave}} = \frac{I_{pk} \times t_{off}}{2 \times T_s} \quad (1.6)$$

[0043] 其中 I_{pk} 为 I_{diode} 在一个开关周期中的峰值, T_s 为开关周期, t_{off} 为主开关管 S1 的关断时间。

[0044] 由于等效电流信号 I_{eq} 在主开关管 S1 导通、二极管 D1 关断时等于零,在主开关管 S1 关断、二极管 D1 导通时等于信号 V_{Rs} 的峰值。则根据公式 (1.5),等效电流信号 I_{eq} 的平均值可以表示为:

[0045]

$$I_{eq_{ave}} = \frac{I_{pk} \times (R_{s1} + R_{s2}) \times t_{off}}{T_s} \quad (1.7)$$

[0046] 在误差放大器 EA1 的作用下,等效电流信号 I_{eq} 的平均值被调节至等于参考电压 V_{ref} ,则根据公式 (1.6) 和公式 (1.7) 可以得到:

[0047]

$$I_{LED} = \frac{V_{ref}}{2 \times (R_{s1} + R_{s2})} \quad (1.8)$$

[0048] 根据公式 (1.8) 可知,在实现 LED 电流环路与供电电压环路之间的去耦合之后,通过误差放大器 EA1 对等效电流信号 I_{eq} 的调节,即可实现对 LED 驱动电流 I_{LED} 的准确调节。

[0049] 图 6 为根据本发明实施例的 LED 驱动电路 300A 的电路原理图。其中 LD0201A 包括工作在线性模式的晶体管 T1。控制电路 203A 包括乘法器 631、过零检测电路 632、逻辑电路 633 以及比较器 COM1。乘法器 631 具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端接收代表直流电压 V_{dc} 的输入采样信号 V_{sense} ,第二输入端耦接至误差放大器 EA1 以接收补偿信号 COMP,乘法器 631 将输入采样信号 V_{sense} 与补偿信号 COMP 相乘,在输出端产生乘积信号 PDT。比较器 COM1 具有第一输入端、第二输入端和输出端,其中第一输入端接收电压 V_{Rs} ,第二输入端耦接至乘法器 631 的输出端以接收乘积信号 PDT,输出端提供比较信号 RST。过零检测电路 632 检测流过第一绕组的电流是否过零,产生过零检测信号 ZCD。逻辑电路 633 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至比较器 COM1 的输出端,第二输入端耦接至过零检测电路 632 的输出端,逻辑电路 633 基于比较信号 RST 和过零检测信号 ZCD,在输出端产生控制信号 CTRL。逻辑电路 633 可以包括如图 6 所示的触发器 FF,在电压 V_{Rs} 增大至乘积信号 PDT 时将主开关管 S1 关断,在检测到流过第一绕组的电

流过零时将主开关管 S1 导通。

[0050] 在一个实施例中,除了第二绕组之外,LED 驱动电路 300A 还包括与第一绕组磁耦合的第三绕组,过零检测电路 632 通过监测该第三绕组两端的电压来判断流过第一绕组的电流是否过零。

[0051] 在一个实施例中,供电电压 V_{ps} 被提供至无线模块 605 和微控制单元 (Micro Control Unit, MCU) 606。无线模块 605 接收无线信号 SG,并将其提供至微控制单元 606。微控制单元 606 基于无线信号 SG 产生调光信号 DIM,以对 LED 进行调光。该调光信号 DIM 可以被提供至一参考电压产生电路 607。参考电压产生电路 607 根据调光信号 DIM 产生参考电压 V_{ref} ,并将其提供至误差放大器 EA1。在一个实施例中,若调光信号 DIM 在一段时间内 (例如 10 毫秒) 持续低电平,参考电压产生电路 607 将参考电压 V_{ref} 设置为一很低的值,以使流过 LED 的驱动电流为零。

[0052] 图 3 和图 5 所示的实施例采用采样电阻器 R_{s1} 、 R_{s2} 与第二绕组之间的特殊连接来实现 LED 电流环路与供电电压环路之间的去耦合。然而,本发明并不局限于这样的方式,上述去耦合也可通过如图 7 所示的实施例来实现。在图 7 所示的 LED 驱动电路 400 中,信号处理电路 708 接收代表流过主开关管 S1 电流的电流采样信号 I_{sense1} 和代表流过第二绕组电流的电流采样信号 I_{sense2} ,并产生处理信号 I_{sp} 。输出电流计算电路 202 基于处理信号 I_{sp} 产生等效电流信号 I_{eq} 。

[0053] 在信号处理电路 708 的作用下,处理信号 I_{sp} 可不受流过第二绕组的电流影响。在一个实施例中,处理信号 I_{sp} 为电流采样信号 I_{sense1} 与 I_{sense2} 之差,可表示为:

[0054]

$$I_{sp} = I_{sense1} - I_{sense2} = K1 \times \left(I_{Lm} + \frac{N2}{N1} \times I_{aux} \right) - K2 \times I_{aux} \quad (1.9)$$

[0055] 其中 $K1$ 和 $K2$ 为电流采样系数。

[0056] 如果使

[0057]

$$K1 \times \frac{N2}{N1} \times I_{aux} = K2 \times I_{aux} \quad (1.10)$$

[0058] 则可得到:

$$I_{sp} = K1 \times I_{Lm} \quad (1.11)$$

[0060] 在前述实施例中,LED 驱动电路均为包括整流桥的 AC/DC 电路,但本领域技术人员可知,整流桥并非必需,本发明也同样适用于直流输入。电压调节电路也不局限于 LDO,而可以采用其他合适的电路,甚至可以被省略。本发明的 LED 驱动电路不仅可以驱动一串 LED,也可用于驱动单个、多个或多串 LED。此外,LED 驱动电路中的开关电路除了升降压变换器,还可以采用其他合适的拓扑结构,如图 8 和图 9 所示。

[0061] 虽然已参照几个典型实施例描述了本发明,但应当理解,所用的术语是说明和示例性、而非限制性的术语。由于本发明能够以多种形式具体实施而不脱离发明的精神或实质,所以应当理解,上述实施例不限于任何前述的细节,而应在随附权利要求所限定的精神和范围内广泛地解释,因此落入权利要求或其等效范围内的全部变化和改型都应随附权利要求所涵盖。

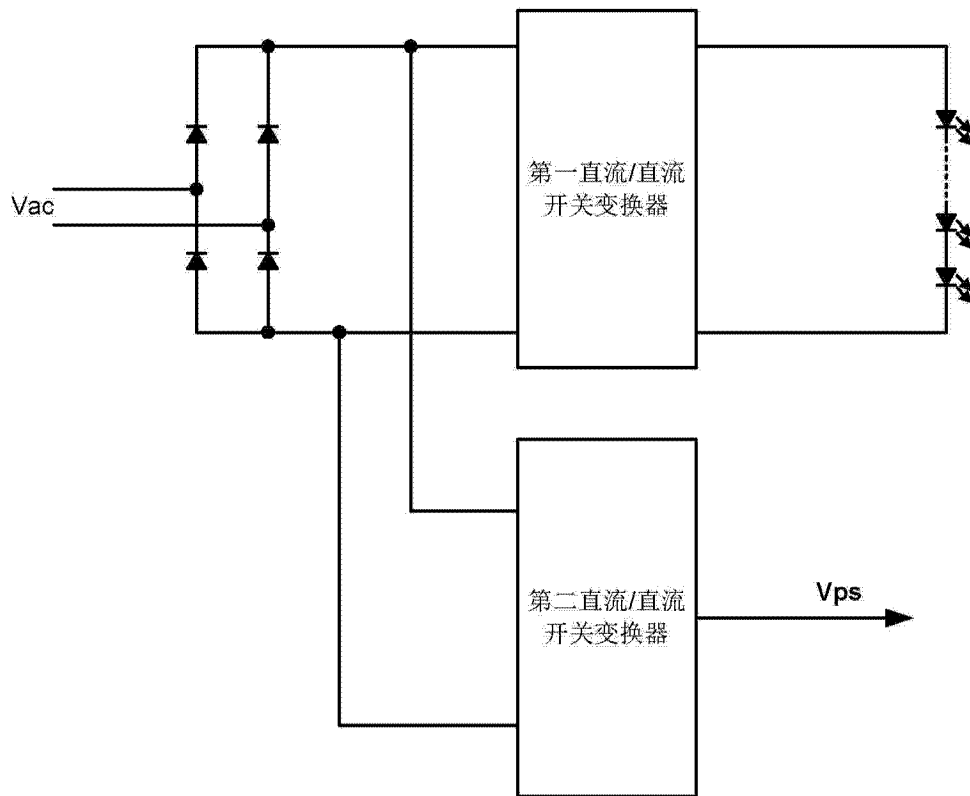


图 1

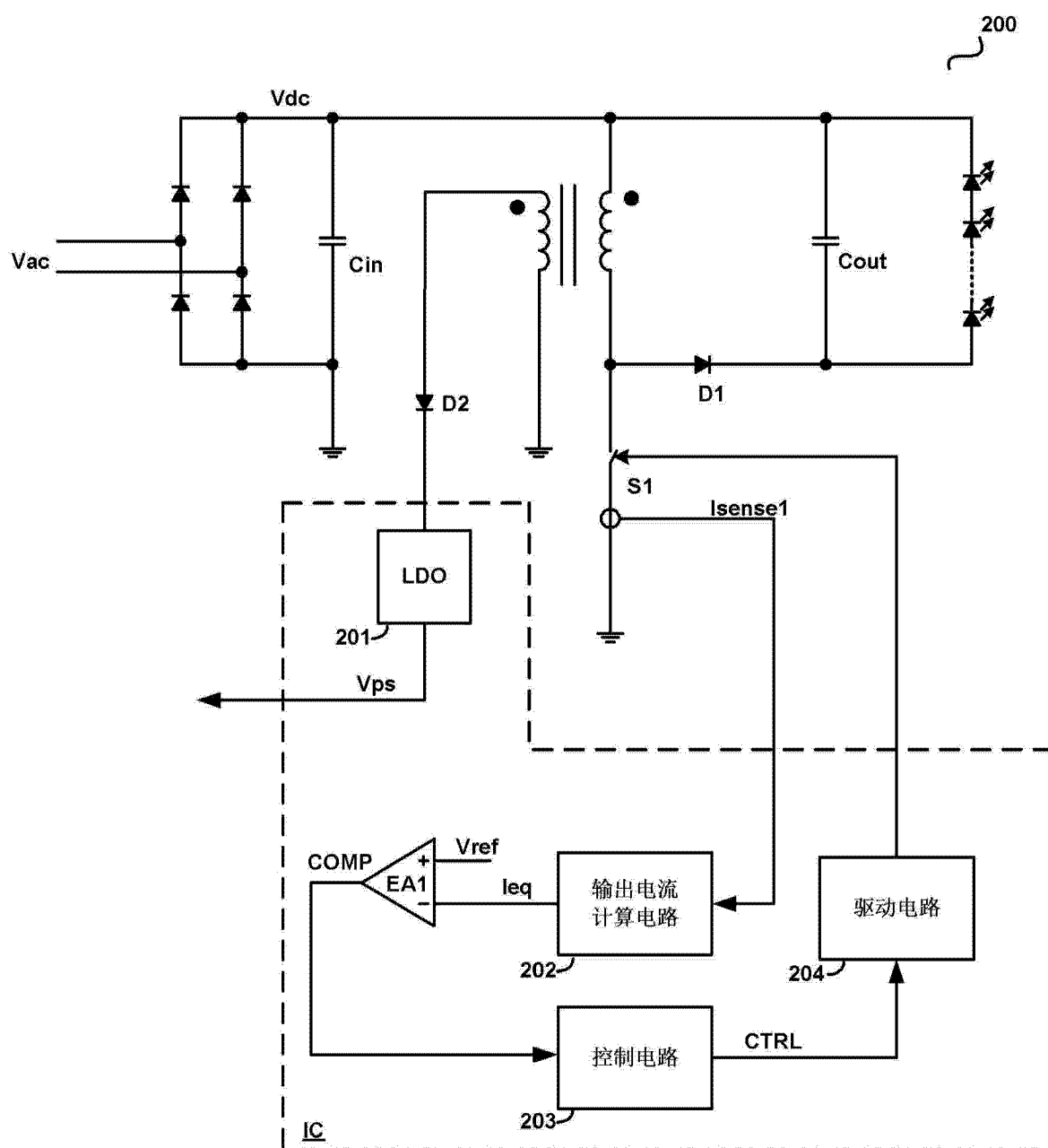


图 2

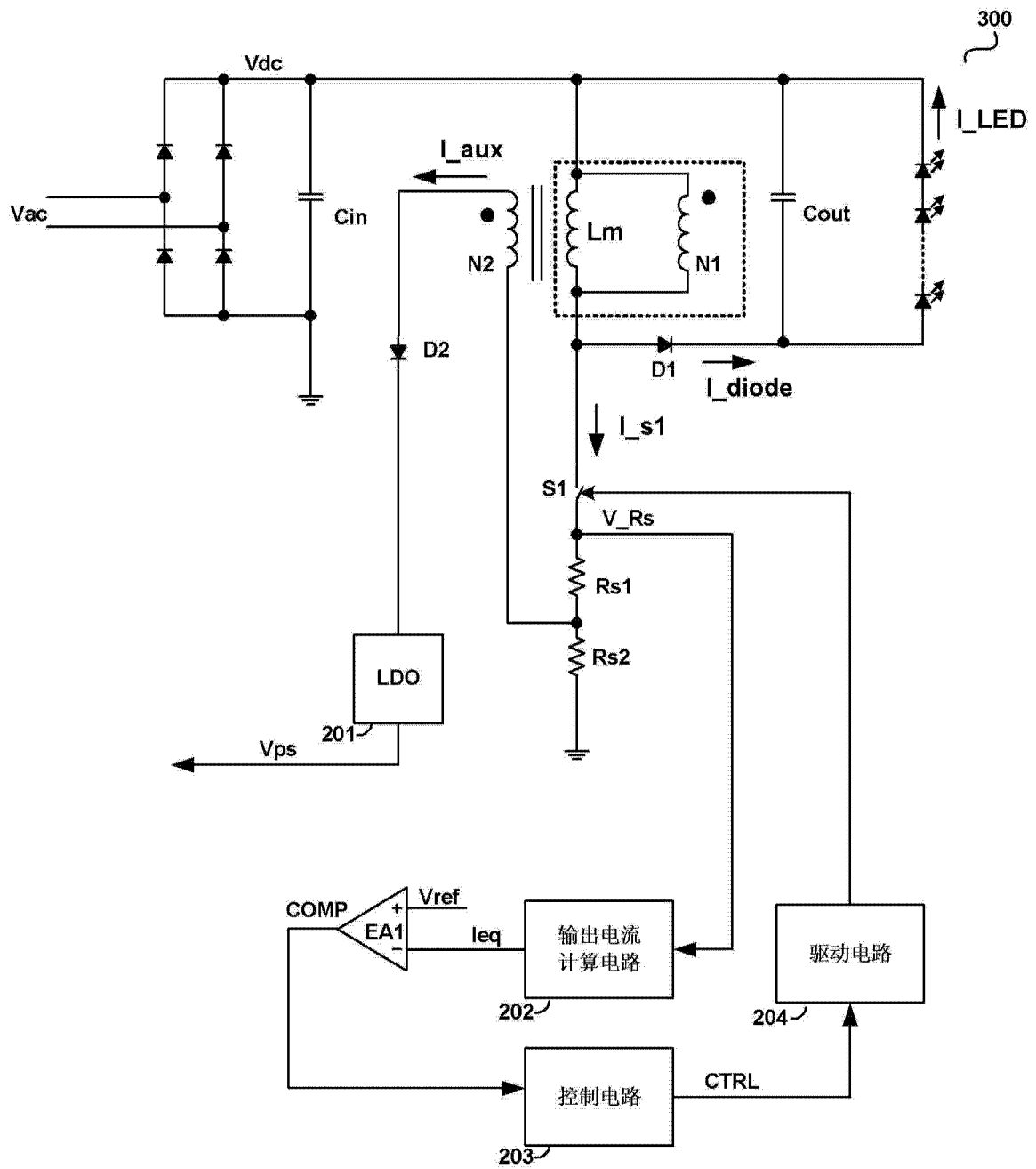


图 3

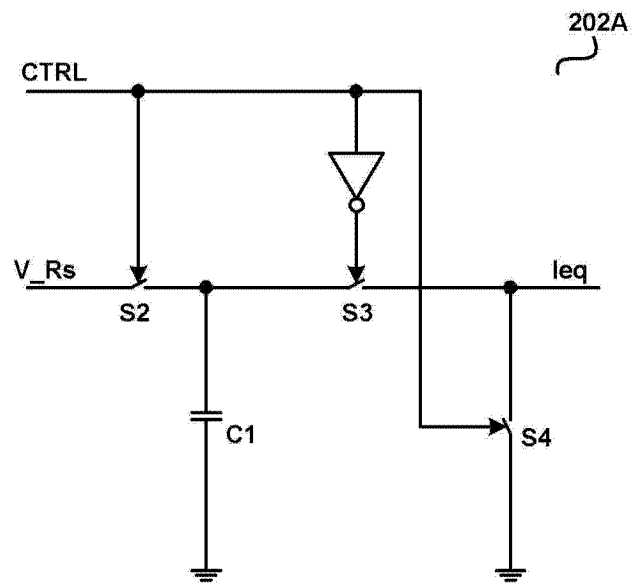


图 4

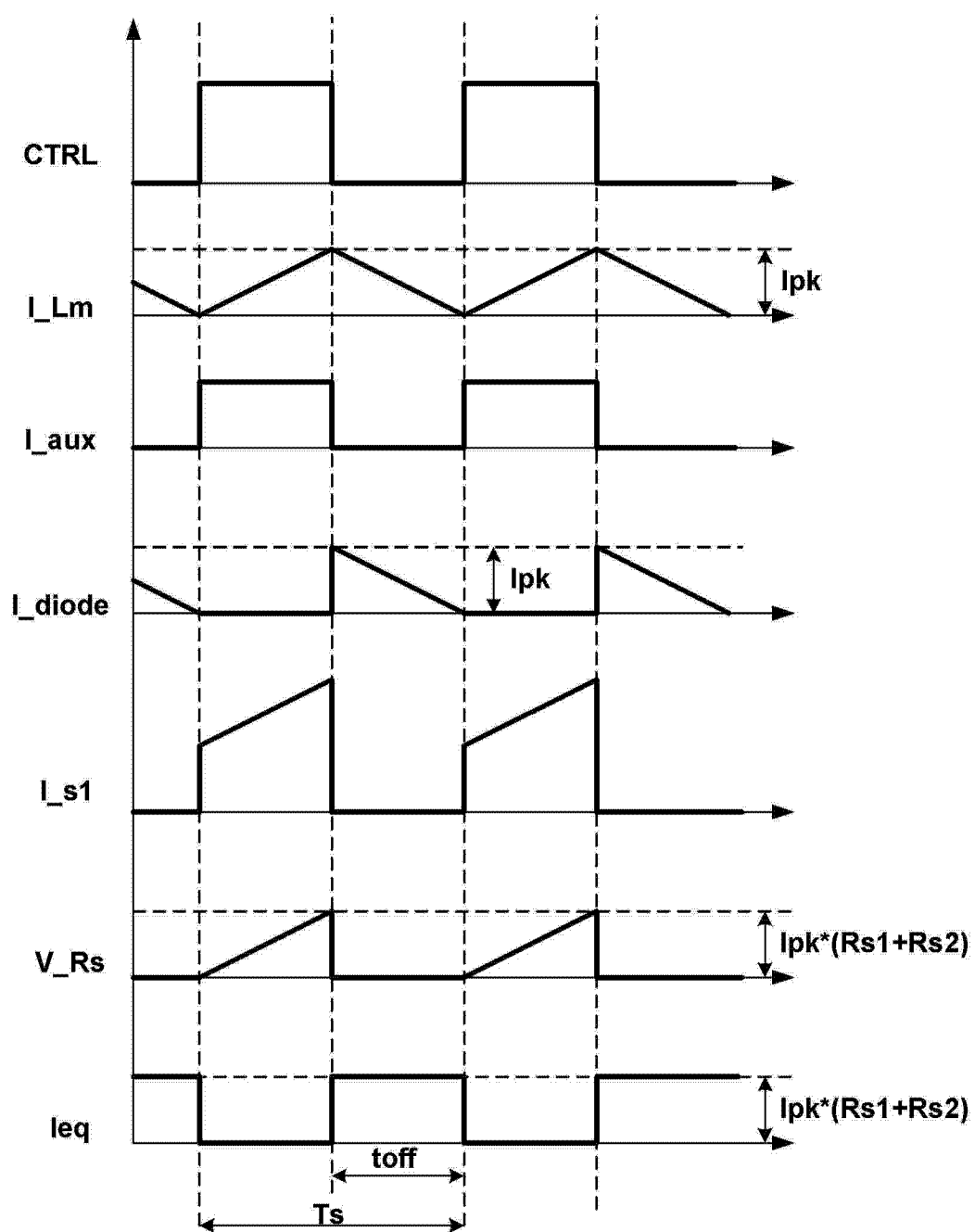


图 5

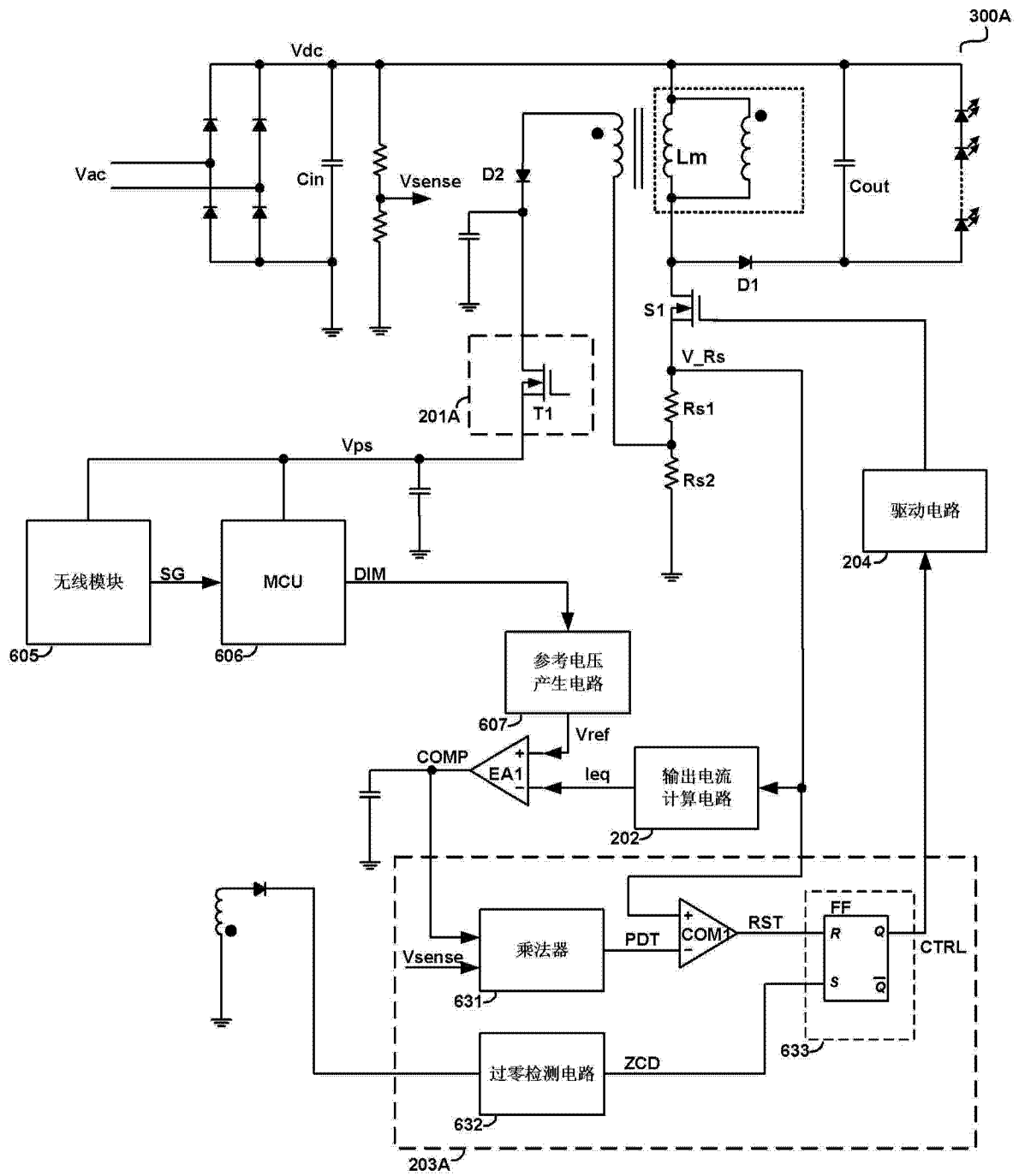


图 6

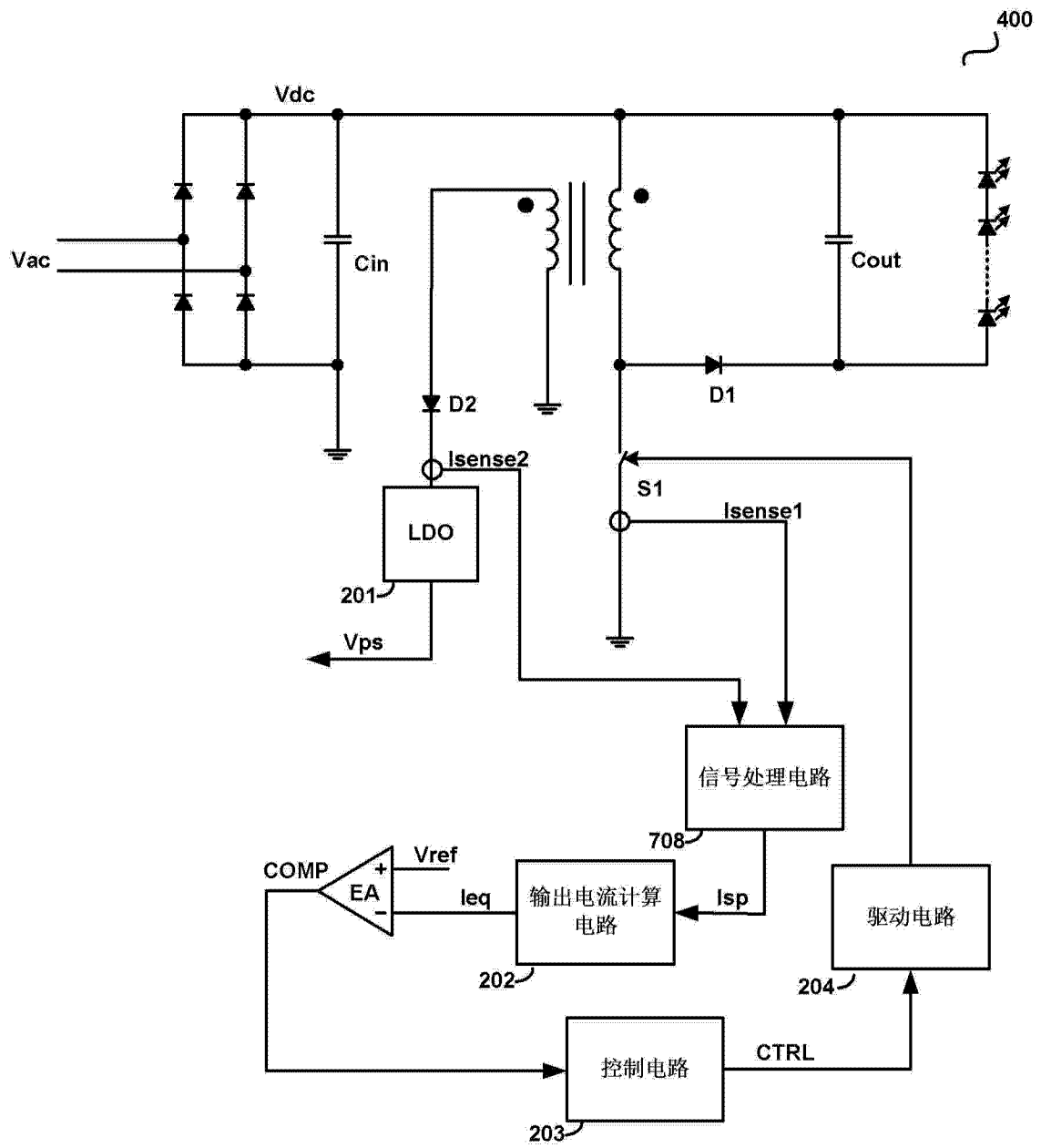


图 7

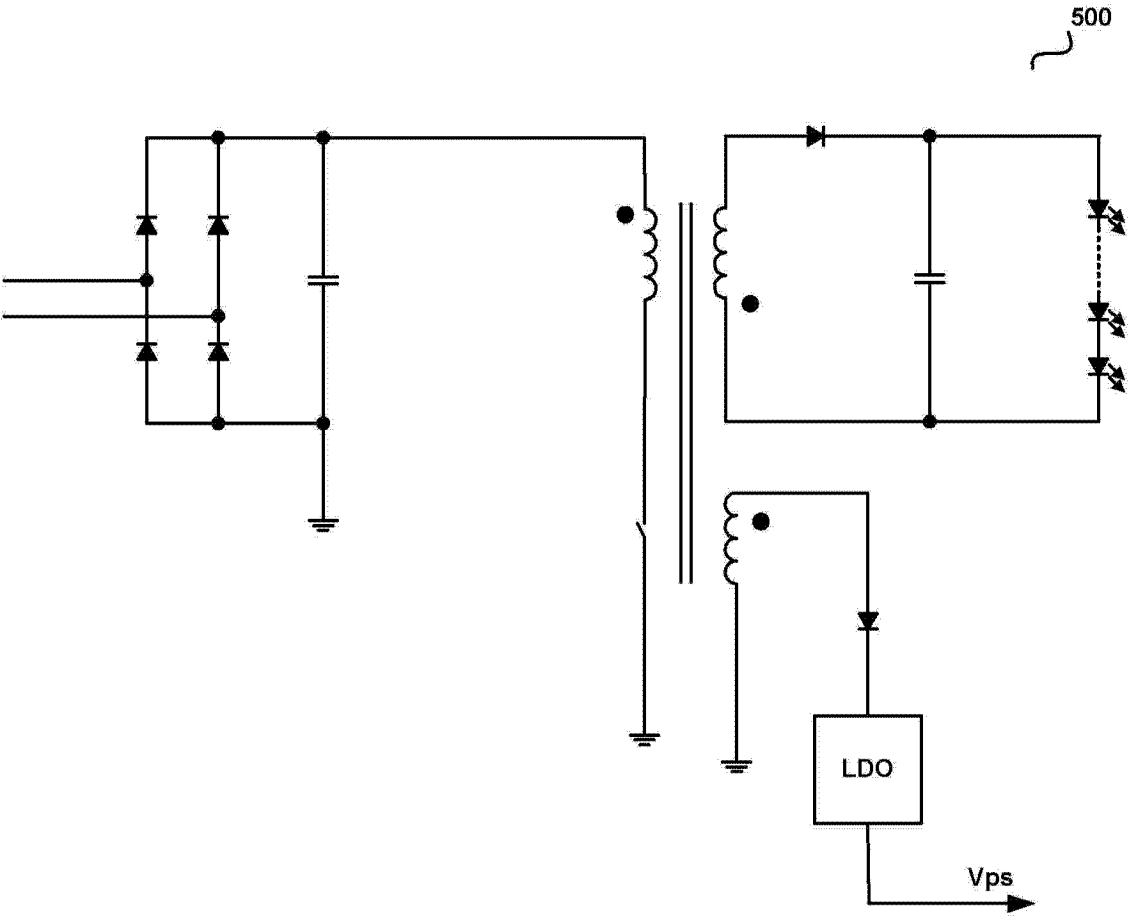


图 8

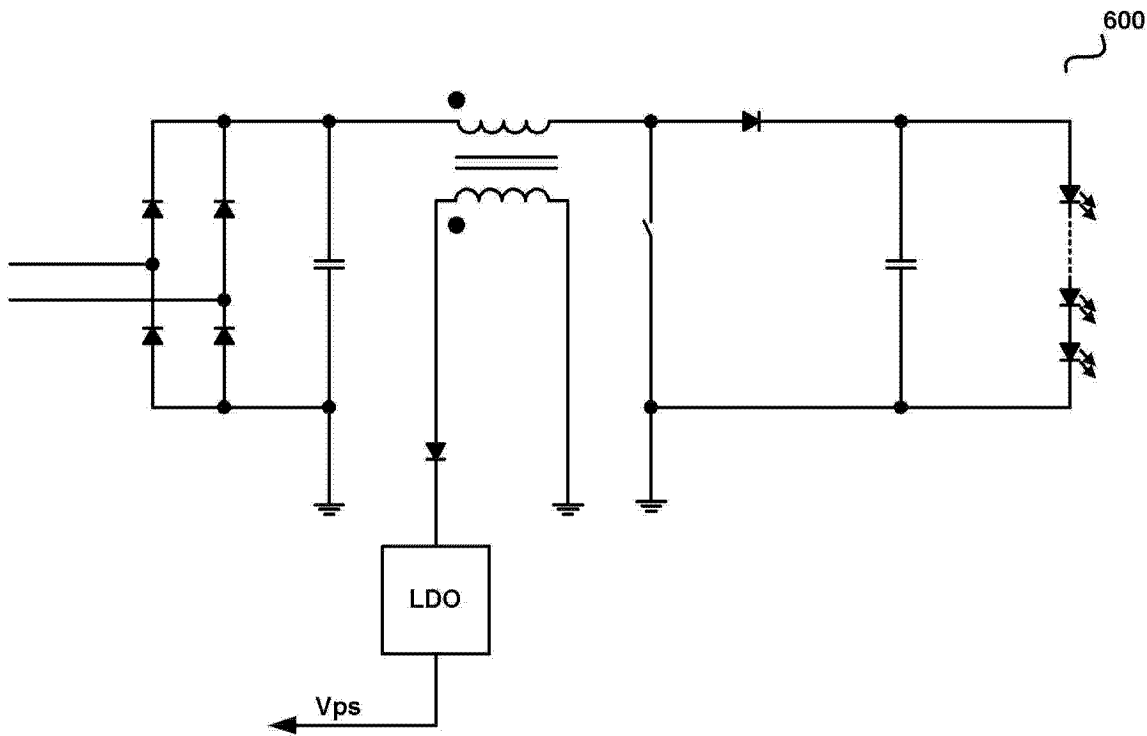


图 9