



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104218826 A

(43) 申请公布日 2014. 12. 17

(21) 申请号 201410228724. 1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2014. 05. 27

H02M 7/217 (2006. 01)

H02M 1/44 (2007. 01)

(30) 优先权数据

61/829, 119 2013. 05. 30 US

14/262, 660 2014. 04. 25 US

(71) 申请人 弗莱克斯电子有限责任公司

地址 美国科罗拉多州

(72) 发明人 许华明 李威 张辉 张新豪

张毅

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 王茂华

权利要求书4页 说明书8页 附图4页

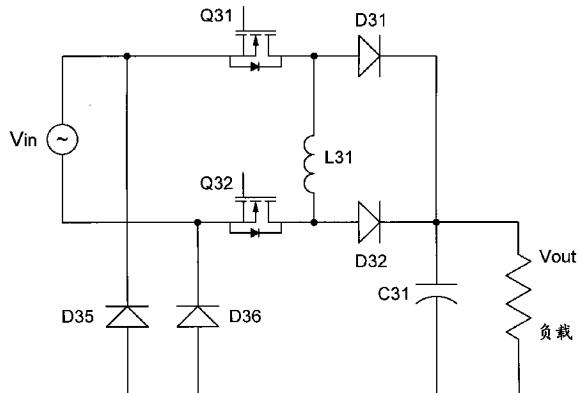
(54) 发明名称

具有减小的 EMI 噪声的无桥式 PFC 功率变换

器

(57) 摘要

本发明提供一种具有减小的 EMI 噪声的无桥式 PFC 功率变换器。无桥式 PFC 升压变换器具有单个开关单元或者两个配置成 180 度异相操作的相同的开关单元。开关单元包括耦合至输入 AC 电压源的相对两端的第一晶体管开关和第二晶体管开关，以及第一整流二极管和第二整流二极管，一个整流二极管串联地耦合至两个晶体管开关中的每个晶体管开关。升压电感器耦合至每个晶体管开关和整流二极管串联之间的接合节点。第三整流二极管或第三晶体管开关耦合至输入 AC 电压源和第一晶体管开关之间的接合节点。第四整流二极管或第四晶体管开关耦合至输入 AC 电压源和第二晶体管开关之间的接合节点。整流二极管耦合至输出电容器。两个开关单元能被交错。



1. 一种无桥式功率因数校正升压变换器，包括：
  - a. 第一晶体管开关，所述第一晶体管开关耦合至 AC 电压源的第一端子；
  - b. 第二晶体管开关，所述第二晶体管开关耦合至所述 AC 电压源的第二端子；
  - c. 第一二极管，所述第一二极管包括耦合至所述第一晶体管开关的阳极；
  - d. 第二二极管，所述第二二极管包括耦合至所述第二晶体管开关的阳极；
  - e. 升压电感器，所述升压电感器包括耦合至所述第一整流二极管的阳极和所述第一晶体管开关的第一端子，其中所述升压电感器还包括耦合至所述第二整流二极管的阳极和所述第二晶体管开关的第二端子；
  - f. 第三二极管，所述第三二极管包括耦合至所述 AC 电压源的所述第一端子的阴极；
  - g. 第四二极管，所述第四二极管包括耦合至所述 AC 电压源的所述第二端子的阴极；以及
  - h. 输出电容器，所述输出电容器包括耦合至所述第一二极管的阴极和所述第二二极管的阴极的第一端子，其中所述输出电容器还包括耦合至所述第三二极管的阳极和所述第四二极管的阳极的第二端子。
2. 根据权利要求 1 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第一二极管和所述第二二极管均包括升压整流二极管，并且所述第三二极管和所述第四二极管均包括续流二极管。
3. 根据权利要求 1 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第一晶体管开关的第一端子耦合至所述升压电感器的所述第一端子和所述第一二极管的所述阳极，并且所述第一晶体管开关的第二端子耦合至所述 AC 电压源的所述第一端子和所述第三二极管的所述阴极。
4. 根据权利要求 1 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第二晶体管开关的第一端子耦合至所述升压电感器的所述第二端子和所述第二二极管的所述阳极，并且所述第二晶体管开关的第二端子耦合至所述 AC 电压源的所述第二端子和所述第四二极管的所述阴极。
5. 根据权利要求 1 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第一晶体管开关和所述第二晶体管开关均包括金属氧化物半导体场效应晶体管。
6. 一种无桥式功率因数校正升压变换器，包括：
  - a. 第一晶体管开关，所述第一晶体管开关耦合至 AC 电压源的第一端子；
  - b. 第二晶体管开关，所述第二晶体管开关耦合至所述 AC 电压源的第二端子；
  - c. 第一二极管，所述第一二极管包括耦合至所述第一晶体管开关的阳极；
  - d. 第二二极管，所述第二二极管包括耦合至所述第二晶体管开关的阳极；
  - e. 升压电感器，所述升压电感器包括耦合至所述第一整流二极管的所述阳极和所述第一晶体管开关的第一端子，其中所述升压电感器还包括耦合至所述第二整流二极管的所述阳极和所述第二晶体管开关的第二端子；
  - f. 第三晶体管开关，所述第三晶体管开关耦合至所述 AC 电压源的所述第一端子；
  - g. 第四晶体管开关，所述第四晶体管开关耦合至所述 AC 电压源的所述第二端子；以及
  - h. 输出电容器，所述输出电容器包括耦合至所述第一二极管的阴极和所述第二二极管的阴极的第一端子，其中所述输出电容器还包括耦合至所述第三晶体管开关和所述第四晶

体管开关的第二端子。

7. 根据权利要求 6 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第一二极管和所述第二二极管均包括升压整流二极管。

8. 根据权利要求 6 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第一晶体管开关的第一端子耦合至所述升压电感器的所述第一端子和所述第一二极管的所述阳极，并且所述第一晶体管开关的第二端子耦合至所述 AC 电压源的所述第一端子和所述第三晶体管开关的第一端子。

9. 根据权利要求 6 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第二晶体管开关的第一端子耦合至所述升压电感器的所述第二端子和所述第二二极管的所述阳极，并且所述第二晶体管开关的第二端子耦合至所述 AC 电压源的所述第二端子和所述第四晶体管开关的第一端子。

10. 根据权利要求 6 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第三晶体管开关的第一端子耦合至所述第一晶体管开关和所述 AC 电压源的所述第一端子，并且所述第三晶体管开关的第二端子耦合至所述输出电容器的所述第二端子。

11. 根据权利要求 6 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第四晶体管开关的第一端子耦合至所述第二晶体管开关和所述 AC 电压电源的所述第二端子，并且所述第四晶体管开关的第二端子耦合至所述输出电容器的所述第二端子。

12. 根据权利要求 6 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第一晶体管开关、所述第二晶体管开关、所述第三晶体管开关和所述第四晶体管开关均包括金属氧化物半导体场效应晶体管。

13. 一种无桥式功率因数校正升压变换器，包括：

a. 第一开关单元，包括：

- i. 第一晶体管开关，所述第一晶体管开关耦合至 AC 电压源的第一端子；
- ii. 第二晶体管开关，所述第二晶体管开关耦合至所述 AC 电压源的第二端子；
- iii. 第一二极管，所述第一二极管包括耦合至所述第一晶体管开关的阳极；
- iv. 第二二极管，所述第二二极管包括耦合至所述第二晶体管开关的阳极；以及
- v. 第一升压电感器，所述第一升压电感器包括耦合至所述第一整流二极管的所述阳极和所述第一晶体管开关的第一端子，其中所述升压电感器还包括耦合至所述第二整流二极管的所述阳极和所述第二晶体管开关的第二端子；以及

b. 第二开关单元，包括：

- i. 第三晶体管开关，所述第三晶体管开关耦合至所述 AC 电压源的所述第一端子；
  - ii. 第四晶体管开关，所述第四晶体管开关耦合至所述 AC 电压源的所述第二端子；
  - iii. 第三二极管，所述第三二极管包括耦合至所述第三晶体管开关的阳极；
  - iv. 第四二极管，所述第四二极管包括耦合至所述第四晶体管开关的阳极；以及
  - v. 第二升压电感器，所述第二升压电感器包括耦合至所述第三整流二极管的所述阳极和所述第三晶体管开关的第一端子，其中所述升压电感器还包括耦合至所述第四整流二极管的所述阳极和所述第四晶体管开关的第二端子；以及
- c. 第五二极管，所述第五二极管包括耦合至所述 AC 电压源的所述第一端子的阴极；
  - d. 第六二极管，所述第六二极管包括耦合至所述 AC 电压源的所述第二端子的阴极；以

及

e. 输出电容器，所述输出电容器包括耦合至所述第一二极管的阴极、所述第二二极管的阴极、所述第三二极管的阴极和所述第四二极管的阴极的第一端子，其中所述输出电容器还包括耦合至所述第五二极管的阳极和所述第六二极管的阳极的第二端子。

14. 根据权利要求 13 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第一二极管、所述第二二极管、所述第三二极管和所述第四二极管均包括升压整流二极管，并且所述第五二极管和所述第六二极管均包括续流二极管。

15. 根据权利要求 13 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第一晶体管开关的第一端子耦合至所述第一升压电感器的所述第一端子和所述第一二极管的所述阳极，并且所述第一晶体管开关的第二端子耦合至所述 AC 电压源的所述第一端子和所述第五二极管的所述阴极。

16. 根据权利要求 13 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第二晶体管开关的第一端子耦合至所述第一升压电感器的所述第二端子和所述第二二极管的所述阳极，并且所述第二晶体管开关的第二端子耦合至所述 AC 电压源的所述第二端子和所述第六二极管的所述阴极。

17. 根据权利要求 13 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第三晶体管开关的第一端子耦合至所述第二升压电感器的所述第一端子和所述第三二极管的所述阳极，并且所述第三晶体管开关的第二端子耦合至所述 AC 电压源的所述第一端子和所述第五二极管的所述阴极。

18. 根据权利要求 13 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第四晶体管开关的第一端子耦合至所述第二升压电感器的所述第二端子和所述第四二极管的所述阳极，并且所述第四晶体管开关的第二端子耦合至所述 AC 电压源的所述第二端子和所述第六二极管的所述阴极。

19. 根据权利要求 13 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第一晶体管开关、所述第二晶体管开关、所述第三晶体管开关和所述第四晶体管开关均包括金属氧化物半导体场效应晶体管。

20. 一种无桥式功率因数校正升压变换器，包括：

a. 第一开关单元，包括：

- i. 第一晶体管开关，所述第一晶体管开关耦合至 AC 电压源的第一端子；
- ii. 第二晶体管开关，所述第二晶体管开关耦合至所述 AC 电压源的第二端子；
- iii. 第一二极管，所述第一二极管包括耦合至所述第一晶体管开关的阳极；
- iv. 第二二极管，所述第二二极管包括耦合至所述第二晶体管开关的阳极；以及

v. 第一升压电感器，所述第一升压电感器包括耦合至所述第一整流二极管的所述阳极和所述第一晶体管开关的第一端子，其中所述升压电感器还包括耦合至所述第二整流二极管的所述阳极和所述第二晶体管开关的第二端子；以及

b. 第二开关单元，包括：

- i. 第三晶体管开关，所述第三晶体管开关耦合至所述 AC 电压源的所述第一端子；
- ii. 第四晶体管开关，所述第四晶体管开关耦合至所述 AC 电压源的所述第二端子；
- iii. 第三二极管，所述第三二极管包括耦合至所述第三晶体管开关的阳极；

- iv. 第四二极管，所述第四二极管包括耦合至所述第四晶体管开关的阳极；以及
- v. 第二升压电感器，所述第二升压电感器包括耦合至所述第三整流二极管的所述阳极和所述第三晶体管开关的第一端子，其中所述升压电感器还包括耦合至所述第四整流二极管的所述阳极和所述第四晶体管开关的第二端子；以及
- c. 第五晶体管开关，所述第五晶体管开关包括耦合至所述 AC 电压源的所述第一端子；
- d. 第六晶体管开关，所述第六晶体管开关包括耦合至所述 AC 电压源的所述第二端子；以及
- e. 输出电容器，所述输出电容器包括耦合至所述第一二极管的阴极、所述第二二极管的阴极、所述第三二极管的阴极和所述第四二极管的阴极的第一端子，其中所述输出电容器还包括耦合至所述第五晶体管开关和所述第六晶体管开关的第二端子。
21. 根据权利要求 20 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第一二极管、所述第二二极管、所述第三二极管和所述第四二极管均包括升压整流二极管。
22. 根据权利要求 20 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第一晶体管的第一端子耦合至所述第一升压电感器的所述第一端子和所述第一二极管的所述阳极，并且所述第一晶体管开关的第二端子耦合至所述 AC 电压源的所述第一端子和所述第五晶体管开关的第一端子。
23. 根据权利要求 20 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第二晶体管开关的第一端子耦合至所述第一升压电感器的所述第二端子和所述第二二极管的所述阳极，并且所述第二晶体管开关的第二端子耦合至所述 AC 电压源的所述第二端子和所述第六晶体管开关的第一端子。
24. 根据权利要求 20 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中，所述第三晶体管的第一端子耦合至所述第二升压电感器的所述第一端子和所述第三二极管的所述阳极，并且所述第三晶体管开关的第二端子耦合至所述 AC 电压源的所述第一端子和所述第五晶体管开关的第一端子。
25. 根据权利要求 20 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第四晶体管的第一端子耦合至所述第二升压电感器的所述第二端子和所述第四二极管的所述阳极，并且所述第二晶体管开关的第二端子耦合至所述 AC 电压源的所述第二端子和所述第六晶体管开关的第一端子。
26. 根据权利要求 20 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第五晶体管开关的第一端子耦合至所述第一晶体管开关、所述第三晶体管开关和所述 AC 电压源的所述第一端子，并且所述第五晶体管开关的第二端子耦合至所述输出电容器的所述第二端子。
27. 根据权利要求 20 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第六晶体管开关的第一端子耦合至所述第二晶体管开关、所述第四晶体管开关和所述 AC 电压源的所述第二端子，并且所述第六晶体管开关的第二端子耦合至所述输出电容器的所述第二端子。
28. 根据权利要求 20 所述的无桥式功率因数校正升压变换器，其中所述第一晶体管开关、所述第二晶体管开关、所述第三晶体管开关、所述第四晶体管开关、所述第五晶体管开关和所述第六晶体管开关均包括金属氧化物半导体场效应晶体管。

## 具有减小的 EMI 噪声的无桥式 PFC 功率变换器

### [0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本专利申请要求 2013 年 5 月 30 日提交的、名称为“Bridgeless PFC Power Converter with High Efficiency”的共同未决美国临时申请序列号 61/829,119 在 35U.S.C. 119(e) 下的优先权。该申请通过引用将美国临时申请序列号 61/829,119 的全部内容结合于此。

### 技术领域

[0003] 本发明一般涉及功率变换器。更具体地，本发明涉及一种具有减小的 EMI 噪声的无桥式功率因数校正 (PFC) 功率变换器。

### 背景技术

[0004] 功率变换器是指将一种形式的电力转换成另一种期望形式和电压，例如将由供电公司提供的 115 或 230 伏特交流电 (AC) 变换为用于电子装置的经调节的低电压直流电 (DC)，称为 AC 至 DC 功率变换。

[0005] 开关式电源、开关模式电源或 SMPS 是合并了开关调节器的电源。当线性调节器使用在其有源区中偏置的晶体管来规定输出电压时，SMPS 主动地使晶体管在完全饱和与完全截止之间高速率切换。然后，将得到的矩形波形通过低通滤波器以获得近似的输出电压，其中低通滤波器通常是电感器和电容器 (LC) 电路。开关模式电源以变化的占空比使用高频开关、晶体管以保持输出电压。由开关引起的输出电压变化由 LC 滤波器滤出。

[0006] SMPS 能提供升压、降压或反相输出电压功能。SMPS 通过临时存储输入能量然后以不同电压释放能量到输出来将输入电压水平变换到另一水平。存储可以在诸如电感器和 / 或变压器的电磁元件中，或诸如电容器的静电元件中。

[0007] SMPS 优于线性电源的优点包括较小的尺寸，较好的电力效率以及较低的热生成。缺点包括以下事实，即，SMPS 通常比线性电源更复杂，产生可能需要被小心抑制的高频电噪声，并且具有开关频率下的特征纹波电压。

[0008] 高频纹波在电流通过晶体管开关并且然后用无源元件过滤电流时产生。纹波的频率成分取决于半导体开关的开关频率和开关速度。高频纹波产生有害的电磁干扰 (EMI) 并且必须被高度去除以使变换器通过标准 EMI 要求。

[0009] 常规的功率变换器通过减小输入和输出纹波通过 EMI 要求。减小通过以下方法来实现：大滤波器，开关频率的降低，和 / 或开关速度的降低。这样的技术在几乎所有常规的功率变换器中普遍执行。然而，这些技术中的每一种技术的使用具有显著的缺陷。使用大滤波器增加空间和成本。减小开关频率增大无源元件的尺寸和成本。减小开关速度降低了效率。

[0010] AC 电力系统的功率因数被定义为实际功率与视在功率的比，并且是 0 和 1 之间的数字。实际功率是用于在具体时间执行工作的电路的能力。视在功率是电路的电流和电压的乘积。由于存储在负载中并且返回到源的能量，或者由于使从源汲取的电流的波形失真

的非线性负载,视在功率能大于实际功率。低功率因数负载增大电力分配系统的损失并且导致增大的能量成本。功率因数校正 (PFC) 是抵消造成小于 1 的功率因数的电负载的不期望的效果的技术。功率因数校正试图将功率因数调节至一 (1.00)。

[0011] 高电力应用,以及一些低电力应用要求变换器以高功率因数从 AC 线路汲取电流。升压变换器通常用来产生高功率因数输出。桥式整流器通常连接至输入 AC 电压以用于在电压升压之前将输入 AC 电压变换成全波整流的 DC 电压。然而,构成桥式整流器的整流二极管引起相当大的传导损耗,从而导致功率变换效率降低。因此,包括桥式整流器的常规的 PFC 升压变换器通常未能为高电力应用提供足够的效率。

[0012] 不包括桥式整流器,一般称为无桥式 PFC 升压变换器的 PFC 升压变换器与具有桥式整流器的类似的 PFC 升压变换器相比提供提高的效率和降低的传导损失。图 1 示出了常规的无桥式功率因数校正升压变换器的电路图。图 1 中,升压电感器 L11 耦合至输入 AC 电压 Vin 的第一节点,并且升压电感器 L12 耦合至输入 AC 电压 Vin 的第二节点。晶体管开关 S11 耦合至升压电感器 L11,并且晶体管开关 S12 耦合至升压电感器 L12。整流二极管 D11 耦合至升压电感器 L11 并且还与晶体管开关 S11 串联。整流二极管 D12 耦合至升压电感器 L12 并且还与晶体管开关 S12 串联。整流二极管 D11、D12 通过第一母线耦合至输出电容器 C11,并且晶体管开关 S11、S12 通过第二母线耦合输出电容器 C11。输出电容器 C11 耦合至负载 R11。

[0013] 在输入 AC 电压 Vin 的正半周期期间,晶体管开关 S11 被接通并且输入电流被感应以朝着升压电感器 L11 流动,从而对升压电感器 L11 充电。与接通的晶体管开关 S11 同时发生,晶体管开关 S12 也被接通,并且电流路径通过晶体管开关 S22 的体二极管被闭合。接下来,仍在输入 AC 电压的正半周期期间,晶体管开关 S11 被断开并且被存储在升压电感器 L11 中的能量通过整流二极管 D11 被放电到输出电容器 C11。电流路径通过晶体管开关 S12 的体二极管闭合,其中电流路径从输入 AC 电压 Vin,通过升压电感器 L11,通过整流二极管 D11,通过输出电容器 C11,通过晶体管开关 S12 的体二极管,通过升压电感器 L12,并且回到输入 AC 电压 Vin。

[0014] 在输入 AC 电压 Vin 的负半周期期间,晶体管开关 S12 被接通并且输入电流被感应以朝着升压电感器 L12 流动,从而对升压电感器 L12 充电。与晶体管开关 S12 被接通同时发生,晶体管开关 S11 也被接通,并且电流路径通过晶体管开关 S11 的体二极管闭合。接下来,仍在输入 AC 电压 Vin 的负半周期期间,晶体管开关 S12 被断开并且被存储在升压电感器 L12 中的能量通过整流二极管 D12 被放电到输出电容器 C11。电流路径通过晶体管开关 S11 的体二极管闭合。因此,在输入 AC 电压 Vin 的每个半周期期间,一个晶体管开关用作有源开关并且另一晶体管开关用作整流二极管。图 1 所示的变换器的缺点在于,与输入 AC 电压 Vin 和接地相比输出电压值浮动。另一个缺点在于,图 1 的变换器部分地由于母线和接地之间的寄生电容值的增大而经受严重的 EMI 噪声问题。

[0015] 图 2 示出了另一个常规的无桥式功率因数校正升压变换器的电路图。图 2 的无桥式功率因数校正升压变换器是图 1 的无桥式功率因数校正升压变换器的改进的电路图。图 2 的升压电感器 L21、L22,晶体管开关 S21、S22,整流二极管 D21、D22 以及输出电容器 C21 被配置和操作成分别类似于图 1 的升压电感器 L11、L12,晶体管开关 S11、S12,整流二极管 D11、D12 以及输出电容器 C11。图 2 的无桥式 PFC 升压变换器将一对辅助二极管 D23、D24

添加到变换器的输入侧以更有效地抑制变换器的 EMI 噪声。然而，跨二极管 D23、D24 的功率损耗降低了电路效率。

## 发明内容

[0016] 实施例涉及一种具有单个开关单元或者两个配置成 180 度异相操作的相同的开关单元的无桥式 PFC 升压变换器。开关单元包括耦合至输入 AC 电压源的相对两端的第一晶体管开关和第二晶体管开关，以及第一整流二极管和第二整流二极管，一个整流二极管串联地耦合至两个晶体管开关中的每个晶体管开关。升压电感耦合至每个晶体管开关和整流二极管串联之间的接合节点。第三整流二极管或第三晶体管耦合至输入 AC 电压源和第一晶体管开关之间的接合节点。第四整流二极管或第四晶体管开关耦合至输入 AC 电压源和第二晶体管开关之间的接合节点。第一整流二极管和第二整流二极管的阴极共同耦合至输出电容器的第一节点。在两个开关单元的情况下，两个开关单元分别耦合至输入 AC 电压源，输出电容器以及第三和第四整流二极管或第三和第四晶体管开关。

[0017] 在一方面，无桥式功率因数校正升压变换器包括第一晶体管开关、第二晶体管开关、第一二极管、第二二极管、升压电感器、第三二极管、第四二极管和输出电容器。第一晶体管开关耦合至 AC 电压源的第一端子。第二晶体管开关耦合至 AC 电压源的第二端子。第一二极管包括耦合至第一晶体管开关的阳极。第二二极管包括耦合至第二晶体管开关的阳极。升压电感器包括耦合至第一整流二极管的阳极和第一晶体管开关的第一端子，其中升压电感器还包括耦合至第二整流二极管的阳极和第二晶体管开关的第二端子。第三二极管包括耦合至 AC 电压源的第一端子的阴极。第四二极管包括耦合至 AC 电压源的第二端子的阴极。输出电容器包括耦合至第一二极管的阴极和第二二极管的阴极的第一端子，其中输出电容器还包括耦合至第三二极管的阳极和第四二极管的阳极的第二端子。在一些实施方式中，第一二极管和第二二极管分别均为升压整流二极管，并且第三二极管和第四二极管分别均为续流二极管。在一些实施例中，第一晶体管开关的第一端子耦合至升压电感的第一端子和第一二极管的阳极，并且第一晶体管开关的第二端子耦合至 AC 电压源的第一端子和第三二极管的阴极。在一些实施例中，第二晶体管开关的第一端子耦合至升压电感的第二端子并且耦合至第二二极管的阳极，并且第二晶体管开关的第二端子耦合至 AC 电压源的第二端子并且耦合至第四二极管的阴极。在一些实施例中，第一晶体管开关和第二晶体管开关分别均为金属氧化物半导体场效应晶体管。

[0018] 在另一方面，无桥式功率因数校正升压变换器包括第一晶体管开关、第二晶体管开关、第一二极管、第二二极管、升压电感器、第三晶体管开关、第四晶体管开关和输出电容器。第一晶体管开关耦合至 AC 电压源的第一端子。第二晶体管开关耦合至 AC 电压源的第二端子。第一二极管包括耦合至第一晶体管开关的阳极。第二二极管包括耦合至第二晶体管开关的阳极。升压电感器包括耦合至第一整流二极管的阳极和第一晶体管开关的第一端子，其中升压电感器还包括耦合至第二整流二极管的阳极和第二晶体管开关的第二端子。第三晶体管开关耦合至 AC 电压源的第一端子。第四晶体管开关耦合至 AC 电压源的第二端子。输出电容器包括耦合至第一二极管的阴极和第二二极管的阴极的第一端子，其中输出电容器还包括耦合至第三晶体管开关和第四晶体管开关的第二端子。在一些实施例中，第一二极管和第二二极管均包括升压整流二极管。在一些实施例中，第一晶体管的第一端子

耦合至升压电感器的第一端子和第一二极管的阳极，并且第一晶体管的第二端子耦合至 AC 电压源的第一端子和第三晶体管开关的第一端子。在一些实施例中，第二晶体管开关的第一端子耦合至升压电感的第二端子和第二二极管的阳极，并且第二晶体管开关的第二端子耦合至 AC 电压源的第二端子和第四晶体管开关的第一端子。在一些实施例中，第三晶体管开关的第一端子耦合至第一晶体管开关和 AC 电压源的第一端子，并且第三晶体管开关的第二端子耦合至输出电容器的第二端子。在一些实施例中，第四晶体管开关的第一端子耦合至第二晶体管开关和 AC 电压源的第二端子，并且第四晶体管开关的第二端子耦合至输出电容器的第二端子。在一些实施例中，第一晶体管开关、第二晶体管开关、第三晶体管开关和第四晶体管开关均为金属氧化物半导体场效应晶体管。

[0019] 在又一方面，无桥式功率因数校正升压变换器包括第一开关单元和第二开关单元。第一开关单元包括第一晶体管、第二晶体管、第一二极管、第二二极管和第一升压电感器。第一晶体管开关耦合至 AC 电压源的第一端子。第二晶体管开关耦合至 AC 电压源的第二端子。第一二极管包括耦合至第一晶体管开关的阳极。第二晶体管包括耦合至第二晶体管开关的阳极。第一升压电感器包括耦合至第一整流二极管的阳极和第一晶体管开关的第一端子，其中升压电感还包括耦合至第二整流二极管的阳极和第二晶体管开关的第二端子。第二开关单元包括第三晶体管开关、第四晶体管开关、第三二极管、第四二极管和第二升压电感器。第三晶体管开关耦合至 AC 电压源的第一端子。第四晶体管开关耦合至 AC 电压源的第二端子。第三二极管包括耦合至第三晶体管开关的阳极。第四二极管包括耦合至第四晶体管开关的阳极。第二升压电感器包括耦合至第三整流二极管和第三晶体管开关的第一端子，其中升压电感器还包括耦合至第四整流二极管的阳极和第四晶体管开关的第二端子。无桥式功率因数校正升压变换器还包括第五二极管、第六二极管和输出电容器。第五二极管包括耦合至 AC 电压源的第一端子的阴极。第六二极管包括耦合至 AC 电压源的第二端子的阴极。输出电容器包括耦合至第一二极管的阴极、第二二极管的阴极、第三二极管的阴极和第四二极管的阴极的第一端子，其中输出电容器还包括耦合至第五二极管的阳极和第六二极管的阳极的第二端子。在一些实施例中，第一二极管、第二二极管、第三二极管和第四二极管均为升压整流二极管，并且第五二极管和第六二极管均为续流二极管。在一些实施例中，第一晶体管开关的第一端子耦合至第一升压电感器的第一端子和第一二极管的阳极，并且第一晶体管开关的第二端子耦合至 AC 电压源的第一端子和第五二极管的阴极。在一些实施例中，第二晶体管开关的第一端子耦合至第一升压电感器的第二端子和第二二极管的阳极，并且第二晶体管开关的第二端子耦合至 AC 电压源的第二端子和第六二极管的阴极。在一些实施例中，第三晶体管开关的第一端子耦合至第二升压电感器的第一端子和第三二极管的阳极，并且第三晶体管开关的第二端子耦合至 AC 电压源的第一端子和第五二极管的阴极。在一些实施例中，第四晶体管开关的第一端子耦合至第二升压电感器的第二端子和第四二极管的阳极，并且第四晶体管开关的第二端子耦合至 AC 电压源的第二端子和第六二极管的阴极。在一些实施例中，第一晶体管开关、第二晶体管开关、第三晶体管开关和第四晶体管开关均为金属氧化物半导体场效应晶体管。

[0020] 在仍又另一方面中，无桥式功率因数校正升压变换器包括第一开关单元和第二开关单元。第一开关单元包括第一晶体管开关、第二晶体管开关、第一二极管、第二二极管和第一升压电感器。第一晶体管开关耦合至 AC 电压源的第一端子。第二晶体管开关耦合至 AC

电压源的第二端子。第一二极管包括耦合至第一晶体管开关的阳极。第二二极管包括耦合至第二晶体管开关的阳极。第一升压电感器包括耦合至第一整流二极管的阳极和第一晶体管开关的第一端子，其中升压电感器还包括耦合至第二整流二极管的阳极和第二晶体管开关的第二端子。第二开关单元包括第三晶体管开关、第四晶体管开关、第三二极管、第四二极管和第二升压电感器。第三晶体管开关耦合至 AC 电压源的第一端子。第四晶体管开关耦合至 AC 电压源的第二端子。第三二极管包括耦合至第三晶体管开关的阳极。第四二极管包括耦合至第四晶体管开关的阳极。第二升压电感器包括耦合至第三整流二极管的阳极和第三晶体管开关的第一端子，其中升压电感器还包括耦合至第四整流二极管的阳极和第四晶体管开关的第二端子。无桥式功率因数校正升压变换器还包括第五晶体管、第六晶体管和输出电容器。第五晶体管开关耦合至 AC 电压源的第一端子。第六晶体管开关耦合至 AC 电压源的第二端子。输出电容器包括耦合至第一二极管的阴极、第二二极管的阴极、第三二极管的阴极和第四二极管的阴极的第一端子，其中输出电容器还包括耦合至第五晶体管开关和第六晶体管开关的第二端子。在一些实施例中，第一二极管、第二二极管、第三二极管和第四二极管均为升压整流二极管。在一些实施例中，第一晶体管的第一端子耦合至第一升压电感器的第一端子和第一二极管的阳极，并且第一晶体管开关的第二端子耦合至 AC 电压源的第一端子和第五晶体管开关的第一端子。在一些实施例中，第二晶体管开关的第一端子耦合至第一升压电感器的第二端子和第二二极管的阳极，并且第二晶体管开关的第二端子耦合至 AC 电压源的第二端子和第六晶体管开关的第一端子。在一些实施例中，第三晶体管的第一端子耦合至第二升压电感器的第一端子和第三二极管的阳极，并且第三晶体管开关的第二端子耦合至 AC 电压源的第一端子和第五晶体管开关的第一端子。在一些实施例中，第四晶体管开关的第一端子耦合至第二升压电感器的第二端子和第四二极管的阳极，并且第二晶体管开关的第二端子耦合至 AC 电压源的第二端子和第六晶体管开关的第一端子。在一些实施例中，第五晶体管开关的第一端子耦合至第一晶体管开关、第三晶体管开关和 AC 电压源的第一端子，并且第五晶体管开关的第二端子耦合至输出电容器的第二端子。在一些实施例中，第六晶体管开关的第一端子耦合至第二晶体管开关，第四晶体管开关和 AC 电压源的第二端子，并且第六晶体管开关的第二端子耦合至输出电容器的第二端子。在一些实施例中，第一晶体管开关、第二晶体管开关、第三晶体管开关、第四晶体管开关、第五晶体管开关和第六晶体管开关均为金属氧化物半导体场效应晶体管。

## 附图说明

[0021] 参照附图描述若干示例实施例，其中相同的部件设置有相同的附图标记。这些示例实施例方式旨在图示，但不限制本发明。附图包括以下图：

- [0022] 图 1 图示了常规的无桥式功率因数校正升压变换器的电路图。
- [0023] 图 2 图示了另一常规的无桥式功率因数校正升压变换器的电路图。
- [0024] 图 3 图示了根据实施例的无桥式功率因数校正升压变换器的第一电路图。
- [0025] 图 4 图示了根据实施例的无桥式功率因数校正升压变换器的第二电路图。
- [0026] 图 5 图示了根据实施例的具有两个交错的开关单元的无桥式功率因数校正升压变换器的第一电路图。
- [0027] 图 6 图示了根据实施例的具有两个交错的开关单元的无桥式功率因数校正升

压变换器的第二电路图。

### 具体实施方式

[0028] 本申请的实施方式涉及一种无桥式 PFC 升压变换器。那些本领域技术人员将认识到无桥式 PFC 升压变换器的下列详细描述仅是说明性的并且并不旨在以任何方式限制。无桥式 PFC 升压变换器的其他实施例将容易向这样的本领域技术人员建议它们自己具有本公开的益处。

[0029] 现在详细地参考如附图中所示的无桥式 PFC 升压变换器的实施例。贯穿附图和下列详细描述中将使用相同的附图指示以指示相同或相似部件。为了清楚起见,未示出和描述本文所述的实施方式的所有常规特征。当然,将理解的是,在任何这样的实际实施方式的改进中,必需做出众多实施方式特定的决定以便实现开发者的特定目的,诸如依从应用和商业有关的约束,并且这些特定目的从一个实施方式到另一个实施方式并且从一个开发者到另一个开发者将有所变化。此外,将理解的是,这样的改进努力可能是复杂且耗时的,但是对于受益于本公开的益处的本领域技术人员来说仍然是工程的例行任务。

[0030] 无桥式 PFC 升压变换器的实施方式涉及与常规的无桥式 PFC 升压变换器相比提供提高的效率、可靠性和 EMI 噪声性能的电路和操作该电路的方法。无桥式 PFC 升压变换器包括单个开关单元或者两个配置成 180 度异相操作的相同的交错的开关单元。

[0031] 图 3 示出了根据实施例的无桥式功率因数校正升压变换器的第一电路图。无桥式 PFC 升压变换器包括两个晶体管开关 Q31 和 Q32,升压电感器 L31,两个升压整流二极管 D31 和 D32,输出电容器 C31,以及两个续流二极管 D35 和 D36。晶体管开关 Q31 的第一端子耦合至输入 AC 电压源的第一端子。晶体管开关 Q31 的第二节点耦合至升压整流二极管 D31 的阳极。晶体管开关 Q32 的第一端子耦合至输入 AC 电压源上的第二端子。晶体管开关 Q32 的第二节点耦合至升压整流二极管 D32 的阳极。升压电感器的第一端子耦合至晶体管开关 Q31 的第二端子和升压整流二极管 D31 的阳极之间的接合节点。升压电感器的第二端子耦合至晶体管开关 Q32 的第二端子和升压整流二极管 D32 的阳极之间的接合节点。升压整流二极管 D31 的阴极和升压整流二极管 D32 的阴极耦合至输出电容器 C31 的第一节点。续流二极管 D35 的阴极耦合至输入 AC 电压电源的第一端子和晶体管开关 Q31 的第一端子之间的接合节点。续流二极管 D36 的阴极耦合至输入 AC 电压源的第二端子和晶体管开关 Q32 的第一端子之间的接合节点。续流二极管 D35 的阳极和续流二极管 D36 的阳极耦合至输出电容器 C31 的第二节点。输出电容器 C31 并联地耦合至负载。在一些实施例中,续流二极管 D35 的阳极、续流二极管 D36 的阳极和输出电容器 C31 的第二端子耦合至接地。

[0032] 在一些实施例中,晶体管开关 Q31、Q32、Q35、Q36 中的每个晶体管开关均是金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET)。可选地,能使用其他类型的半导体晶体管。晶体管开关 Q31、Q32、Q35、Q36 中的每个晶体管开关均受被施加至晶体管开关的栅极的驱动信号控制,所述驱动信号例如是脉冲宽度信号调制 (PWM) 驱动信号。

[0033] 在输入 AC 电压 Vin 的正半周期期间,晶体管开关 Q31 的体二极管是正向偏置传导,因此晶体管开关 Q31 在该晶体管开关的栅极处不受 PWM 驱动信号控制。晶体管开关 Q32 用作开关,并且受 PWM 驱动信号控制。当晶体管开关 Q32 被接通时,电流流过晶体管开关 Q31、升压电感器 L31 和晶体管开关 Q32。在晶体管开关 Q32 导通时间期间,输入 AC 电压 Vin

直接施加至升压电感器 L31，因此流过升压电感器 L31 的电流增大并且升压电感器 L31 被通电。当晶体管开关 Q32 被关断时，电流流过晶体管开关 Q31、升压电感器 L31、升压整流二极管 D32、输出电容器 C31 和续流二极管 D36，从而使升压电感器 L31 断电并且向输出电容器 C31 充电。跨已充电的输出电容器 C31 的电压被施加至负载。

[0034] 在输入 AC 电压 Vin 的负半周期期间，晶体管开关 Q32 的体二极管正向偏置传导，因此晶体管开关 Q32 在该晶体管开关的栅极处不受 PWM 驱动信号控制。晶体管开关 Q31 用作开关并且受 PWM 驱动信号控制。当晶体管开关 Q31 被接通时，电流流过晶体管开关 Q32、升压电感器 L31 和晶体管开关 Q31。在晶体管开关 Q31 导通时间期间，输入 AC 电压 Vin 被直接施加至升压电感器 L31，因此流过升压电感器 L31 的电流增大，并且升压电感器 L31 被通电。当晶体管开关 Q31 被关断时，电流流过晶体管开关 Q32、升压电感器 L31、升压整流二极管 D31、输出电容器 C31 和续流二极管 D35，从而使升压电感器 L31 断电并且向输出电容器 C31 充电。跨已充电的输出电容器 C31 的电压被施加至负载。

[0035] 基于上述操作描述，当晶体管开关 Q32 在输入 AC 电压 Vin 的正半周期期间被接通时，并且当晶体管开关 Q31 在输入 AC 电压 Vin 的负半周期期间被接通时，电流流过两个晶体管开关、一个电感器和一个二极管。当晶体管开关 Q32 在输入 AC 电压 Vin 的正半周期期间被关断时，并且当晶体管开关 Q31 在输入 AC 电压 Vin 的负半周期期间被关断时，电流流过一个晶体管开关、一个电感器和两个二极管。因此在任一情况下，电流路径包括三个半导体器件，其中半导体器件被认为是晶体管开关或二极管。

[0036] 与图 2 的常规的 PFC 升压变换器相比，图 3 的无桥式 PFC 升压变换器将电感器充电电流和放电电流路径中的半导体器件的数量从四减少到三，将传导损耗降低大约一个二极管 - 结电压降 (VF)。这将大大增大效率。

[0037] 晶体管开关作为以交替 ac 半周期操作的高频开关或低频半波整流器导电。因此，正常由 AC 桥式整流器处理的功率损失的一些现在被转移到无桥配置的开关，从而因为晶体管开关具有非常低的导通阻抗而增大效率。

[0038] 不同于通常具有差的 EMI 性能的常规的无桥式 PFC 升压变换器，图 3 中的无桥式 PFC 升压变换器具有非常良好的 EMI 性能，更符合使用 AC 桥式整流器的常规的 PFC 升压变换器。

[0039] 图 3 的无桥式 PFC 升压变换器能被改进以用晶体管开关替代续流二极管 D35 和 D36。图 4 示出了根据一实施例的无桥式功率因数校正升压变换器的第二电路图。图 4 的无桥式 PFC 升压变换器被配置为类似图 3 的无桥式 PFC 升压变换器，除了图 3 的无桥式 PFC 升压变换器的续流二极管 D35 和 D36 在图 4 的无桥式 PFC 升压变换器中分别由晶体管开关 Q45 和 Q46 替代之外。图 4 的无桥式 PFC 升压变换器的操作类似于图 3 的无桥式 PFC 升压变换器的操作，在输入 AC 电压 Vin 的正半周期期间，晶体管开关 Q41 和 Q45 两者的体二极管正向偏置传导。晶体管开关 Q41 和 Q45 也能借助始终高的驱动信号被接通以获得低导通阻抗。在输入 AC 电压 Vin 的负半周期期间，晶体管开关 Q42 和 Q46 两者的体二极管正向偏置传导。晶体管开关 Q42 和 Q46 也能借助始终高的驱动信号被接通以获得低的导通阻抗。利用晶体管开关代替续流二极管进一步提高了电路效率。

[0040] 图 3 和图 4 的无桥式 PFC 升压变换器均包括单个开关单元。图 3 的无桥式 PFC 升压变换器中的开关单元包括晶体管开关 Q31、Q32，升压电感器 L31 和升压整流二极管 D31、

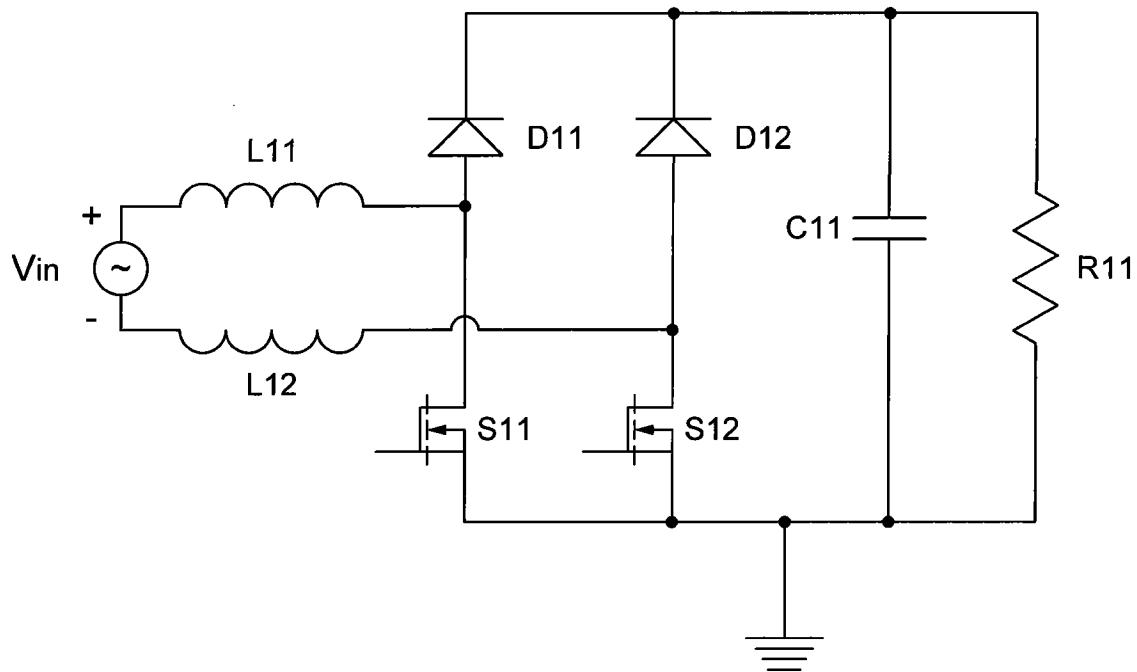
D32。在一些实施例中，无桥式 PFC 升压变换器配置成具有两个交错的开关单元。

[0041] 图 5 示出了根据一实施例的具有两个交错的开关单元的无桥式功率因数校正升压变换器的第一电路图。无桥式 PFC 升压变换器包括两个相同的开关单元。第一开关单元包括两个晶体管开关 Q51 和 Q52、升压电感器 L51 以及两个升压整流二极管 D51 和 D52。第一开关单元被配置为类似图 3 的无桥式 PFC 升压变换器的单个开关单元。第一开关单元以类似于图 3 的单个开关单元耦合至输入 AC 电压源和输出电容器 C31 的方式耦合至输入 AC 电压源和输出电容器 C51。第二开关单元包括两个晶体管开关 Q53 和 Q54、升压电感器 L52 以及两个升压整流二极管 D53 和 D54。第二开关单元被配置为类似图 3 的无桥式 PFC 升压变换器的单个开关单元。第二开关单元以类似于图 3 的单个开关单元耦合至输入 AC 电压源和输出电容器 C31 的方式耦合至输入 AC 电压源和输出电容器 C51。因此，升压整流二极管 D51、D52、D53、D54 中的每个升压整流二极管的阴极耦合至输出电容器 C51 的第一端子。两个开关单元配置不同于单个开关单元配置在于，续流二极管 D55 的阴极耦合至第一开关单元中的晶体管开关 Q51 和第二开关单元中的晶体管开关 Q53 两者的第一端子，并且续流二极管 D56 的阴极耦合至第一开关单元中的晶体管开关 Q52 和第二开关单元中的晶体管开关 Q54 两者的第一端子。续流二极管 D55 的阴极还耦合至输入 AC 电压源的第一端子。续流二极管 D56 的阴极还耦合至输入 AC 电压源的第二端子。

[0042] 第一开关单元和第二开关单元中的每个开关单元均以与图 3 的单个开关单元相同的方式操作，但是第一开关单元和第二开关单元 180 度异相。

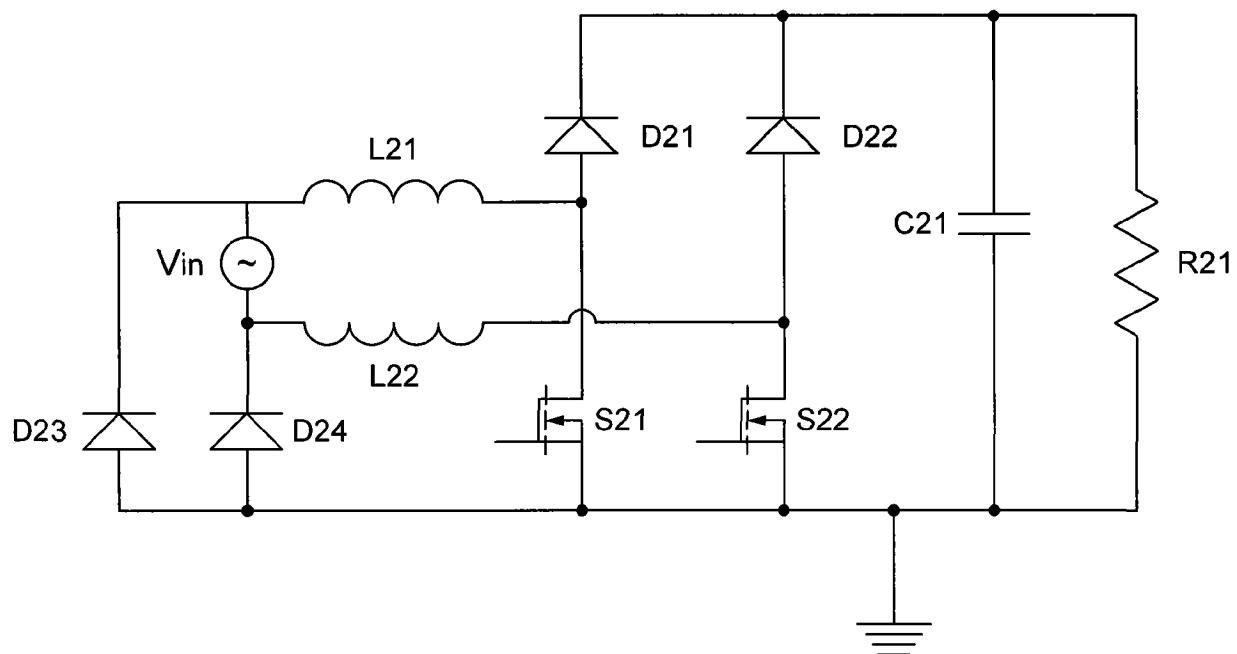
[0043] 图 5 的无桥式 PFC 升压变换器能被修改以用晶体管开关代替续流二极管 D55 和 D56。图 6 示出了根据一实施例具有两个交错的开关单元的无桥式功率因数校正升压变换器的第二电路图。图 6 的无桥式 PFC 升压变换器被配置为类似于图 5 的无桥式 PFC 升压变换器，除了图 5 的无桥式 PFC 升压变换器的续流二极管 D55 和 D56 分别由图 6 的无桥式 PFC 升压变换器中晶体管开关 Q65 和 Q66 代替之外。图 6 的无桥式 PFC 升压变换器的操作类似于图 5 的无桥式 PFC 升压变换器的操作，其中在输入 AC 电压 Vin 的正半周期期间，晶体管开关 Q61、Q64 和 Q65 的体二极管都正向偏置传导。晶体管开关 Q61、Q64 和 Q65 也能借助始终高的驱动信号被接通以获得低导通阻抗。在输入 AC 电压 Vin 的负半周期期间，晶体管开关 Q62、Q63 和 Q66 的体二极管都正向偏置传导。晶体管开关 Q62、Q63 和 Q66 也能借助始终高的驱动信号被接通以获得低导通阻抗。使用晶体管开关代替续流二极管还提高了电路效率。

[0044] 已根据合并细节的特定实施例描述了本申请以有助于理解无桥式 PFC 升压变换器的构造和操作的原理。在各种图中所示和所述的许多部件能被互换以获得必要的结果，并且该描述应该被理解为也包含这样的互换。因此，本文对特定实施例和其细节的参考并不旨在限制附于其的权利要求的范围。对于本领域技术人员来说显然，在没有脱离申请的精神和范围的情况下能对为图示而选择的实施方式进行修改。



现有技术

图 1



现有技术

图 2

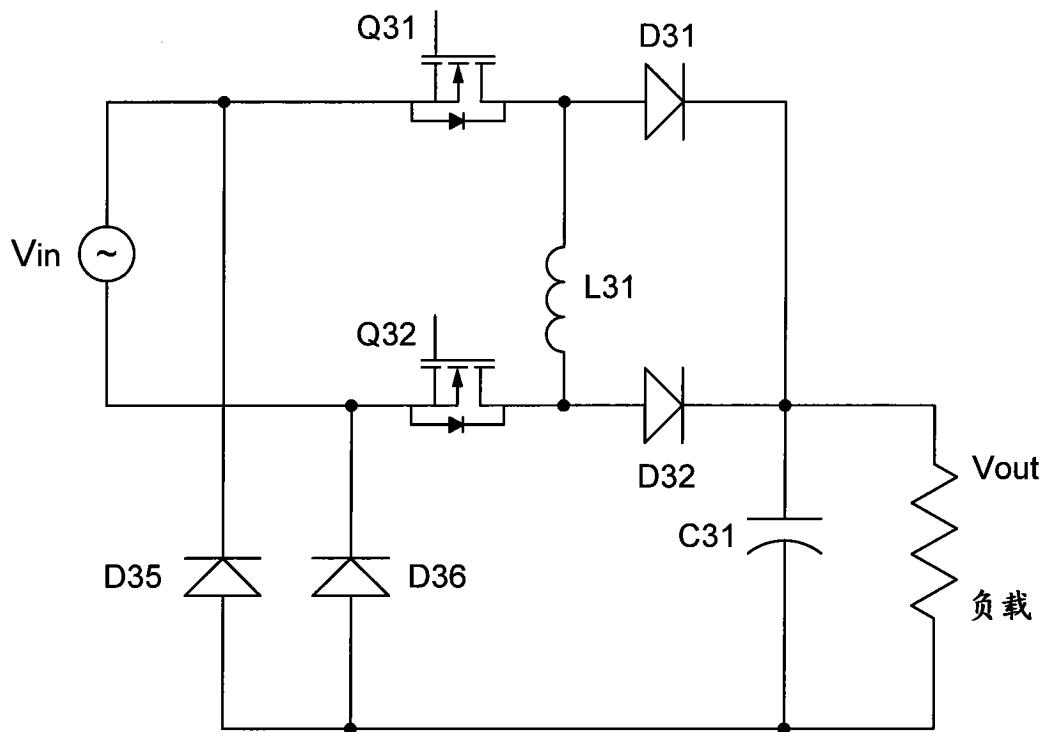


图 3

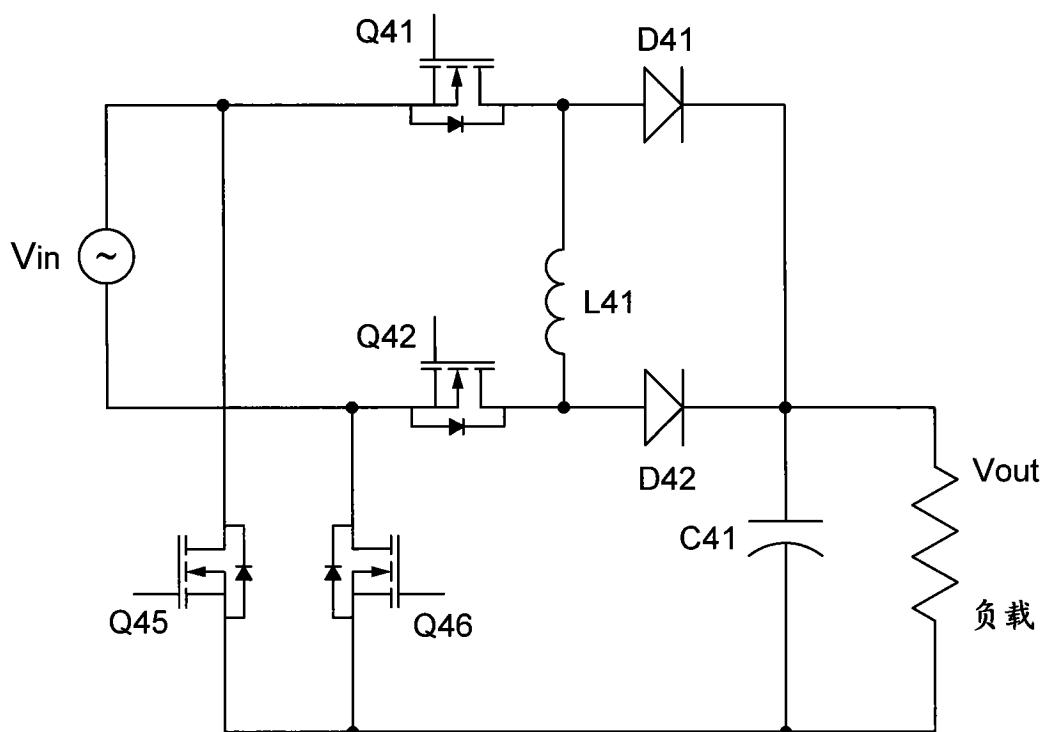


图 4

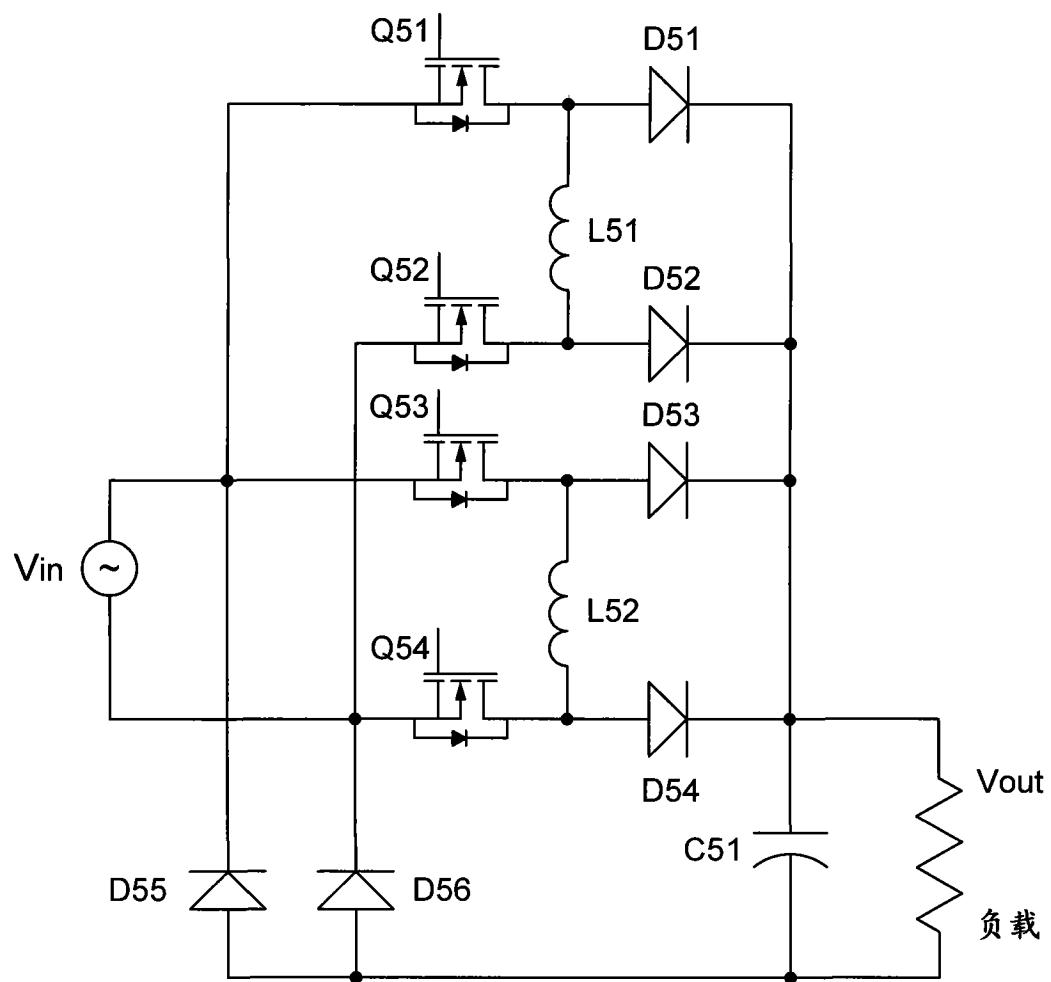


图 5

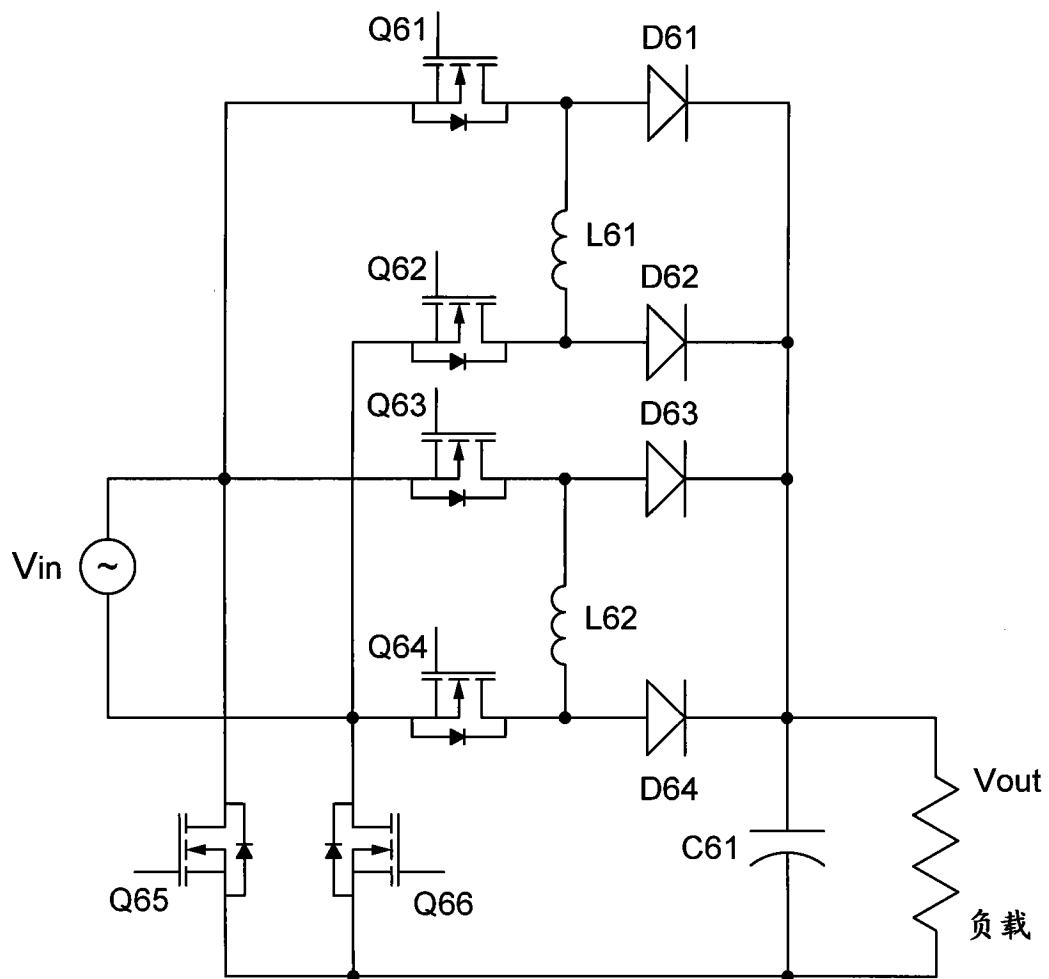


图 6