



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115296552 B

(45) 授权公告日 2024.05.28

(21) 申请号 202210981053.0

H02M 1/14 (2006.01)

(22) 申请日 2022.08.16

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 115296552 A

US 2013279216 A1, 2013.10.24

CN 109347331 A, 2019.02.15

US 2016329809 A1, 2016.11.10

(43) 申请公布日 2022.11.04

CN 114744876 A, 2022.07.12

(73) 专利权人 易事特储能科技有限公司  
地址 472000 河南省三门峡市湖滨区工业  
园区

CN 209375467 U, 2019.09.10

CN 114465477 A, 2022.05.10

CN 112234808 A, 2021.01.15

(72) 发明人 仇文超 李现亭 马超群 刘宝辉  
王坤 王帆

董雨坤,等.一种应用于车载辅助电源的DC-DC变换器.《电源学报》.2022,第1-14页.

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

Piyush Patel, et al.Performance Investigation of Three-Level Boost Converter for Maximum Power Point Tracking .《2020 IEEE Students' Conference on Engineering & Systems (SCES) 》.2020,第1-6页.

专利代理师 陈建平

审查员 刘姝晗

(51) Int.Cl.

H02M 7/217 (2006.01)

H02M 1/088 (2006.01)

H02M 1/44 (2007.01)

权利要求书4页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

低干扰高效率TL-Boost控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种低干扰高效率TL-Boost控制方法,其包括如下步骤:构建基于TL-Boost变换器的性能函数 $F(k, d)$ ;计算电感电流纹波率 $\Delta I$ 和磁芯损耗 $P$ ,及计算母线电容纹波率 $\Delta V$ ;依据电感电流纹波率 $\Delta I$ 、磁芯损耗 $P$ 和母线电容纹波率 $\Delta V$ ,计算当前性能函数 $F(k, d)$ ;判断当前性能函数 $F(k, d)$ 与上一时刻性能函数 $F_1(k, d)$ 的大小,依据判断结果调整当前性能函数 $F(k, d)$ 中优化系数 $k$ 的大小;本发明通过交替改变TL-Boost两开关管的关闭时间,达到减小电感电流的纹波大小的目的,同时不影响共模漏电流的大小,提升TL-Boost变换器效率。



1. 一种低干扰高效率TL-Boost控制方法,应用于TL-Boost变换器,其特征在于,所述低干扰高效率TL-Boost控制方法包括如下步骤:

构建基于TL-Boost变换器的性能函数 $F(k, d)$ ,其中, $F(k, d) = a * \text{磁芯损耗} P + b * \text{电感电流纹波率} \Delta I + c * \text{母线电容纹波率} \Delta V$ , $k$ 为优化系数, $d$ 为所述TL-Boost变换器中开关管的占空比, $a$ 、 $b$ 、 $c$ 均为权重因子;

采集所述TL-Boost变换器上一时刻的电感电流值设定为 $IL_1$ 、当前时刻的电感电流值 $IL$ 、上一时刻的正母线电压值 $V_1'$ 、当前时刻的正母线电压值 $V_1$ 、上一时刻的负母线电压值 $V_2'$ 、当前时刻的负母线电压值 $V_2$ ;

依据当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ ,以及此前寻优得到的电感电流的最大值 $IL\_Max$ 和电感电流的最小值 $IL\_Min$ ,寻优得到一组新的电感电流最大值 $IL\_Max$ 以及电感电流最小值 $IL\_Min$ 用来计算电感电流纹波率 $\Delta I$ 和磁芯损耗 $P$ ,及依据当前时刻的正母线电压值 $V_1$ 、负母线电压值 $V_2$ 与上一时刻的正母线电压值 $V_1'$ 、负母线电压值 $V_2'$ ,以及此前寻优得到的正母线电压的最大值 $V_1\_Max$ 和正母线电压的最小值 $V_1\_Min$ ,寻优得到一组新的正母线电压最大值 $V_1\_Max$ 和正母线电压的最小值 $V_1\_Min$ ,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值 $V_2\_Max$ 和负母线电压的最小值 $V_2\_Min$ ,寻优得到一组新的负母线电压最大值 $V_2\_Max$ 以及负母线电压的最小值 $V_2\_Min$ ,然后得到正负母线之中最大 $V\_Max$ 和 $V\_Min$ ,计算母线电容纹波率 $\Delta V$ ;

依据电感电流纹波率 $\Delta I$ 、磁芯损耗 $P$ 和母线电容纹波率 $\Delta V$ ,计算当前性能函数 $F(k, d)$ ;

判断当前性能函数 $F(k, d)$ 与上一时刻性能函数 $F_1(k, d)$ 的大小,依据判断结果调整当前性能函数 $F(k, d)$ 中优化系数 $k$ 的大小。

2. 如权利要求1所述的低干扰高效率TL-Boost控制方法,其特征在于,所述依据当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ ,与此前寻优得到的 $IL\_Max$ 比较,得到比较后的最大电感电流 $IL\_Max$ ,此前需要得到的 $IL\_Min$ 比较得到比较后的最小电感电流 $IL\_Min$ ,计算电感电流纹波率 $\Delta I$ 和磁芯损耗 $P$ ,及依据当前时刻的正母线电压值 $V_1$ 、负母线电压值 $V_2$ 与上一时刻的正母线电压值 $V_1'$ 、负母线电压值 $V_2'$ ,以及此前寻优得到的正母线电压的最大值 $V_1\_Max$ ,和正母线电压的最小值 $V_1\_Min$ ,寻优得到一组新的正母线电压最大值 $V_1\_Max$ 以及正母线电压的最小值 $V_1\_Min$ ,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值 $V_2\_Max$ 和负母线电压的最小值 $V_2\_Min$ ,寻优得到一组新的负母线电压最大值 $V_2\_Max$ 以及负母线电压的最小值 $V_2\_Min$ ,寻优得到正负母线之中的 $V\_Max$ 和最小的 $V\_Min$ ,计算母线电容纹波率 $\Delta V$ 中,依据当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ ,与此前寻优得到的 $IL\_Max$ 比较得到比较后的最大电感电流 $IL\_Max$ ,此前需要得到的 $IL\_Min$ 比较得到比较后的最小电感电流 $IL\_Min$ ,计算电感电流纹波率 $\Delta I$ ,具体包括:

判断当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ 的大小;

将当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ 中的数值较大者与此前需要得到的 $IL\_Max$ 比较得到比较后的最大者,标记为最大电感电流值 $IL\_Max$ ,较小者与此前需要得到的 $IL\_Min$ 比较得到比较后的最小者标记为最小电感电流值 $IL\_Min$ ;

计算最大电感电流值 $IL\_Max$ 与最小电感电流值 $IL\_Min$ 的差值,将计算结果标记为电感电流纹波率 $\Delta I$ 。

3. 如权利要求2所述的低干扰高效率TL-Boost控制方法,其特征在于,所述依据当前时刻的电感电流值IL与上一时刻的电感电流值IL1,与此前寻优得到的电感电流的最大值IL\_Max和电感电流的最小值IL\_Min,寻优得到一组新的电感电流最大值IL\_Max以及电感电流最小值IL\_Min,计算电感电流波纹率 $\Delta I$ 和磁芯损耗P,及依据当前时刻的正母线电压值V1、负母线电压值V2与上一时刻的正母线电压值V1'、负母线电压值V2',与此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max和正母线电压的最小值V1\_Min,寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min,寻优得到一组新的负母线电压最大值V2\_Max以及负母线电压的最小值V2\_Min,然后得出正负母线之中的最大值和最小值,计算母线电容电压的波纹率 $\Delta V$ 中,依据当前时刻的电感电流值IL与上一时刻的电感电流值IL1,以及寻优得出的IL\_Max和IL\_Min计算磁芯损耗P,具体包括:

依据公式 $P=A_e l_e * 1000 * (0.5 * B_{pk})^{2.19} * (f_s * 1000^{-3})^{1.25}$ 计算磁芯损耗P,其中,所述 $A_e$ 为磁通面积, $l_e$ 为磁路长度, $B_{pk}$ 为磁通密度摆幅。

4. 如权利要求1所述的低干扰高效率TL-Boost控制方法,其特征在于,所述依据当前时刻的电感电流值IL与上一时刻的电感电流值IL1,以及此前寻优得到的电感电流的最大值IL\_Max和电感电流的最小值IL\_Min,寻优得到一组新的电感电流最大值IL\_Max和电感电流最小值IL\_Min,计算电感电流波纹率 $\Delta I$ 和磁芯损耗P,及依据当前时刻的正母线电压值V1、负母线电压值V2与上一时刻的正母线电压值V1'、负母线电压值V2',与此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max和正母线电压的最小值V1\_Min,寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min,寻优得到一组新的负母线电压最大值V2\_Max以及负母线电压的最小值V2\_Min,计算母线电容波纹率 $\Delta V$ 中,依据当前时刻的正母线电压值V1、负母线电压值V2与上一时刻的正母线电压值V1'、负母线电压值V2',根据此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max和正母线电压的最小值V1\_Min,寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min,寻优得到一组新的负母线电压最大值V2\_Max以及负母线电压的最小值V2\_Min,得到一组新的正负母线的最大值V\_Max和V\_Min,计算母线电容电压波纹率 $\Delta V$ ,具体包括:

依据当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1',计算最大正母线电压值V1\_Max和最小正母线电压值V1\_Min,及依据当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2',计算最大负母线电压值V2\_Max和最小负母线电压值V2\_Min,根据此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max,和正母线电压的最小值V1\_Min,寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min,寻优得到一组新的负母线电压最大值V2\_Max以及负母线电压的最小值V2\_Min,得到新的正负母线的最大值V\_Max和V\_Min;

依据最大正母线电压值V1\_Max、最小正母线电压值V1\_Min、最大负母线电压值V2\_Max和最小负母线电压值V2\_Min,以及此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max,和正母线电压的最小值V1\_Min,寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min,

Min, 寻优得到一组新的负母线电压最大值V2\_Max以及负母线电压的最小值V2\_Min, 得到新的正负母线的最大值V\_Max和V\_Min, 计算母线电容波纹率 $\Delta V$ 。

5. 如权利要求4所述的低干扰高效率TL-Boost控制方法, 其特征在于, 所述依据当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1', 以及此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max和正母线电压的最小值V1\_Min, 寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min以及依据当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2', 根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min, 寻优得到一组新的负母线电压最大值V2\_Max以及负母线电压的最小值V2\_Min具体包括:

判断当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1' 的大小;

将当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1' 中的数值以及此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max和正母线电压的最小值V1\_Min, 寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min。

6. 如权利要求4所述的低干扰高效率TL-Boost控制方法, 其特征在于, 所述依据当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1', 以及此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max, 和正母线电压的最小值V1\_Min, 寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min, 及依据当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2', 根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min, 寻优得到一组新的负母线电压最大值V2\_Max以及负母线电压的最小值V2\_Min, 具体包括:

判断当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2' 的大小;

将当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2' 中的数值较大者标记为最大负母线电压值V2\_Max, 较小者标记为最小负母线电压值V2\_Min, 以及根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min, 寻优得到一组新的负母线电压最大值V2\_Max以及负母线电压的最小值V2\_Min。

7. 如权利要求4所述的低干扰高效率TL-Boost控制方法, 其特征在于, 所述依据最大正母线电压值V1\_Max、最小正母线电压值V1\_Min、最大负母线电压值V2\_Max和最小负母线电压值V2\_Min, 以及此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max, 和正母线电压的最小值V1\_Min, 寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min, 根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min, 寻优得到一组新的负母线电压最大值V2\_Max以及负母线电压的最小值V2\_Min, 得到新的正负母线的最大值V\_Max和V\_Min, 计算母线电容波纹率 $\Delta V$ , 具体包括:

计算最大正母线电压值V1\_Max与最小正母线电压值V1\_Min的差值, 将计算结果标记为正母线电压波纹率 $\Delta V1$ , 及计算最大负母线电压值V2\_Max与最小负母线电压值V2\_Min的差值, 将计算结果标记为负母线电压波纹率 $\Delta V2$ ;

计算正母线电压波纹率 $\Delta V1$ 与负母线电压波纹率 $\Delta V2$ 的最大值, 将计算结果标记为母线电容波纹率 $\Delta V$ 。

8. 如权利要求1所述的低干扰高效率TL-Boost控制方法, 其特征在于, 所述判断当前性能函数F(k, d)与上一时刻性能函数F1(k, d)的大小, 依据判断结果调整当前性能函数F(k,

d) 中优化系数 $k$ 的大小,具体包括:

若上一时刻性能函数 $F_1(k, d)$ 大于当前性能函数 $F(k, d)$ ,则对当前性能函数 $F(k, d)$ 的优化系数 $k$ 增加预设增量;

若否,则对当前性能函数 $F(k, d)$ 的优化系数 $k$ 减小预设增量。

9. 如权利要求8所述的低干扰高效率TL-Boost控制方法,其特征在于,所述预设增量为0.01。

10. 如权利要求1所述的低干扰高效率TL-Boost控制方法,其特征在于,所述判断当前性能函数 $F(k, d)$ 与上一时刻性能函数 $F_1(k, d)$ 的大小,依据判断结果调整当前性能函数 $F(k, d)$ 中优化系数 $k$ 的大小,之后还包括:

将当前性能函数 $F(k, d)$ 标记为上一时刻性能函数 $F_1(k, d)$ ,将下一时刻性能函数标记为当前性能函数 $F(k, d)$ ;

重复上述步骤,以对当前性能函数 $F(k, d)$ 的优化系数 $k$ 进行动态寻优。

## 低干扰高效率TL-Boost控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光伏逆变器技术领域,尤其涉及一种低干扰高效率TL-Boost控制方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,随着当前越来越严重的能源短缺和环境污染问题,开发可再生能源和绿色能源已经成为实现社会可持续发展的重要举措。2020年随着“碳中和”和“碳达峰”双碳目标的提出,进一步加快了绿色技术的创新,其中光伏/风电并网项目由于同时兼顾经济发展和绿色转型的目标,得到了大力的发展,随着三相逆变器功率等级和电压等级的不断提高,传统两电平由于器件承受的电压和电流应力的限制和具有较严重的EMI以及较低的效率,功率器件选型难的问题,已经很难满足设计的需求。

[0003] 如图1示出的现有技术的TL-Boost拓扑结构可以解决的传统两电平Boost拓扑在高压和大功率中器件选型难,器件应力大,严重的EMI,低效率等缺点,故TL-Boost拓扑结构已经成为当前研究和应用的热点。图1中,L1和L2是Boost变换器的升压电感,D1和D2为续流管,Q1和Q2为驱动,C1和C2为正负母线电容,R为负载阻抗,Vin为输入电压,Vo为直流母线电压。

[0004] 当前TL-Boost主要由两种驱动发波方式,第一种为上管Q1和下管Q2同开同关同步发波方式,第二种为上管Q1和下管Q2移相交错发波方式。

[0005] 图2示出了开关管Q1和Q2同时导通时TL-Boost变换器等效电路,此时,输入电压给电感进行充电,母线电容给负载供电。图3示出了开关管Q1和Q2同时关断时TL-Boost变换器等效电路,此时,输入电压给母线电容和负载供电。

[0006] 采用相同的硬件参数,软件补偿参数对比上述两种发波方式的优缺点:

[0007] 1、同步发波方式:电感电流纹波大,共模漏电流较小;

[0008] 2、移相交错发波方式:电感电流纹波较小,共模漏电流较大,其中当移相角为 $180^\circ$ 时,电感电流纹波最小,共模漏电流最大。由于较大的共模漏电流具有极大的安全隐患,会对现场操作人员造成生命危险,同时会使得输出电压和电流畸变,具备严重的电磁干扰,加速光伏组件的老化等缺点。

[0009] 因此,目前TL-Boost通常会采用同步发波方式。但是,采用同步发波方式的TL-Boost由于电感电流纹波大,严重制约了行业的发展。

### 发明内容

[0010] 本发明的目的是提供一种低干扰高效率TL-Boost控制方法,其通过交替改变TL-Boost两开关管的关闭时间,可以有效减小电感电流的纹波大小,同时不影响系统的共模漏电流,有效提升TL-Boost变换器的控制效率。

[0011] 为了实现上述目的,本发明公开了一种低干扰高效率TL-Boost控制方法,应用于TL-Boost变换器,所述低干扰高效率TL-Boost控制方法包括如下步骤:

[0012] S1、构建基于TL-Boost变换器的性能函数 $F(k, d)$ ,其中, $F(k, d) = a * \text{磁芯损耗} P + b * \text{电感电流纹波率} \Delta I + c * \text{母线电容纹波率} \Delta V$ , $k$ 为优化系数, $d$ 为所述TL-Boost变换器中开关管的占空比, $a$ 、 $b$ 、 $c$ 均为权重因子;

[0013] S2、采集所述TL-Boost变换器上一时刻的电感电流值 $IL_1$ 、当前时刻的电感电流值 $IL$ 、上一时刻的正母线电压值 $V1'$ 、当前时刻的正母线电压值 $V1$ 、上一时刻的负母线电压值 $V2'$ 、当前时刻的负母线电压值 $V2$ ;

[0014] S3、依据当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ ,以及此前寻优得到的电感电流的最大值 $IL\_Max$ ,和电感电流的最小值 $IL\_Min$ ,寻优得到一组新的电感电流最大值 $IL\_Max$ 以及电感电流最小值 $IL\_Min$ ,计算电感电流纹波率 $\Delta I$ 和磁芯损耗 $P$ ,及依据当前时刻的正母线电压值 $V1$ 、负母线电压值 $V2$ 与上一时刻的正母线电压值 $V1'$ 、负母线电压值 $V2'$ ,以及此前寻优得到的正母线电压的最大值 $V1\_Max$ ,和正母线电压的最小值 $V1\_Min$ ,寻优得到一组新的正母线电压最大值 $V1\_Max$ 以及正母线电压的最小值 $V1\_Min$ ,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值 $V2\_Max$ 和负母线电压的最小值 $V2\_Min$ ,寻优得到一组新的负母线电压最大值 $V2\_Max$ 以及负母线电压的最小值 $V2\_Min$ ,得到新的正负母线的最大值 $V\_Max$ 和 $V\_Min$ ,计算母线电容纹波率 $\Delta V$ ;

[0015] S4、依据电感电流纹波率 $\Delta I$ 、磁芯损耗 $P$ 和母线电容纹波率 $\Delta V$ ,计算当前性能函数 $F(k, d)$ ;

[0016] S5、判断当前性能函数 $F(k, d)$ 与上一时刻性能函数 $F_1(k, d)$ 的大小,依据判断结果调整当前性能函数 $F(k, d)$ 中优化系数 $k$ 的大小。

[0017] 与现有技术相比,本发明通过构建基于TL-Boost变换器的性能函数 $F(k, d)$ ,通过将当前时刻与上一时刻的多个电路参量进行比较计算,以调整当前性能函数 $F(k, d)$ 中优化系数 $k$ 的大小,而优化系数 $k$ 的大小决定了两开关管的关闭时间差,从而通过调整当前性能函数 $F(k, d)$ 中优化系数 $k$ 的大小,实现交替改变TL-Boost两开关管的关闭时间,从而可以有效减小电感电流的纹波大小,同时不影响系统的共模漏电流,有效提升TL-Boost变换器的控制效率。

[0018] 较佳地,所述步骤S3中,依据当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ ,以及此前寻优得到的电感电流的最大值 $IL\_Max$ 和电感电流的最小值 $IL\_Min$ ,寻优得到一组新的电感电流最大值 $IL\_Max$ 以及电感电流最小值 $IL\_Min$ ,计算电感电流纹波率 $\Delta I$ ,具体包括:

[0019] 判断当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ 的大小;

[0020] 将当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ 中的数值较大者标记为最大电感电流值 $IL\_Max$ ,较小者标记为最小电感电流值 $IL\_Min$ ;以及此前寻优得到的电感电流的最大值 $IL\_Max$ ,和电感电流的最小值 $IL\_Min$ ,寻优得到一组新的电感电流最大值 $IL\_Max$ 以及电感电流最小值 $IL\_Min$ ,计算最大电感电流值 $IL\_Max$ 与最小电感电流值 $IL\_Min$ 的差值,将计算结果标记为电感电流纹波率 $\Delta I$ 。

[0021] 较佳地,所述步骤S3中,依据当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ ,计算磁芯损耗 $P$ ,具体包括:

[0022] 依据公式 $P = A_e l_e * 1000 * (0.5 * B_{pk})^{2.19} * (f_s * 1000^{-3})^{1.25}$ 计算磁芯损耗 $P$ ,其中,所述 $A_e$ 为磁通面积, $l_e$ 为磁路长度, $B_{pk}$ 为磁通密度摆幅。

[0023] 较佳地,所述步骤S3中,依据当前时刻的正母线电压值V1、负母线电压值V2与上一时刻的正母线电压值V1'、负母线电压值V2',计算母线电容波纹率 $\Delta V$ ,具体包括:

[0024] S31、依据当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1',计算最大正母线电压值V1\_Max和最小正母线电压值V1\_Min,以及此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max和正母线电压的最小值V1\_Min,寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min,及依据当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2',计算最大负母线电压值V2\_Max和最小负母线电压值V2\_Min,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min,寻优得到一组新的负母线电压最大值V2\_Max以及负母线电压的最小值V2\_Min,得到新的正负母线的最大值V\_Max和V\_Min;

[0025] S32、依据最大正母线电压值V1\_Max、最小正母线电压值V1\_Min、最大负母线电压值V2\_Max和最小负母线电压值V2\_Min,然后根据寻优得到新的最大母线电压值V1\_Max,和最小的母线电压值V1\_Min,计算母线电容波纹率 $\Delta V$ 。

[0026] 较佳地,所述步骤S31中,依据当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1',以及此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max,和正母线电压的最小值V1\_Min,寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min,具体包括:

[0027] 判断当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1'的大小;

[0028] 将当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1'中的数值较大者标记为最大正母线电压值V1\_Max,较小者标记为最小正母线电压值V1\_Min,以及此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max和正母线电压的最小值V1\_Min,寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min。

[0029] 较佳地,所述步骤S31中,依据当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2',以及此前寻优得到的正母线电压的最大值V2\_Max,和正母线电压的最小值V2\_Min,寻优得到一组新的正母线电压最大值V2\_Max以及正母线电压的最小值V2\_Min,具体包括:

[0030] 判断当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2'的大小;

[0031] 将当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2'中的数值较大者标记为最大负母线电压值V2\_Max,较小者标记为最小负母线电压值V2\_Min。

[0032] 较佳地,所述步骤S32具体包括:

[0033] S321、计算最大正母线电压值V1\_Max与最小正母线电压值V1\_Min的差值,将计算结果标记为正母线电压波纹率 $\Delta V1$ ,及计算最大负母线电压值V2\_Max与最小负母线电压值V2\_Min的差值,将计算结果标记为负母线电压波纹率 $\Delta V2$ ;

[0034] S322、计算正母线电压波纹率 $\Delta V1$ 与负母线电压波纹率 $\Delta V2$ 的最大值,将计算结果标记为母线电容波纹率 $\Delta V$ 。

[0035] 较佳地,所述步骤S5具体包括:

[0036] 若上一时刻性能函数F1(k,d)大于当前性能函数F(k,d),则对当前性能函数F(k,d)的优化系数k增加预设增量;

[0037] 若否,则对当前性能函数F(k,d)的优化系数k减小预设增量。

[0038] 具体地,所述预设增量为0.01。

[0039] 较佳地,所述步骤S5之后还包括:

[0040] S6、将当前性能函数 $F(k, d)$ 标记为上一时刻性能函数 $F_1(k, d)$ ,将下一时刻性能函数标记为当前性能函数 $F(k, d)$ ;

[0041] S7、重复上述步骤,以对当前性能函数 $F(k, d)$ 的优化系数 $k$ 进行动态寻优。

### 附图说明

[0042] 图1是TL-Boost变换器的拓扑结构;

[0043] 图2是图1中开关管Q1和Q2同时导通时TL-Boost变换器等效电路;

[0044] 图3是图1中开关管Q1和Q2同时关断时TL-Boost变换器等效电路;

[0045] 图4是图1中开关管Q1导通、开关管Q2关断时TL-Boost变换器等效电路;

[0046] 图5是图1中开关管Q1导通、开关管Q2关断时TL-Boost变换器等效电路;

[0047] 图6是发明的低干扰高效率TL-Boost控制方法的参数寻优过程。

### 具体实施方式

[0048] 为详细说明本发明的技术内容、构造特征、所实现目的及效果,以下结合实施方式并配合附图详予说明。

[0049] 请参阅图1-图6所示,本实施例的低干扰高效率TL-Boost控制方法,应用于TL-Boost变换器,所述低干扰高效率TL-Boost控制方法包括如下步骤:

[0050] S1、构建基于TL-Boost变换器的性能函数 $F(k, d)$ ,其中, $F(k, d) = a * \text{磁芯损耗} P + b * \text{电感电流纹率} \Delta I + c * \text{母线电容纹率} \Delta V$ , $k$ 为优化系数, $d$ 为所述TL-Boost变换器中开关管的占空比, $a$ 、 $b$ 、 $c$ 均为权重因子。

[0051] 可以理解的是,这里的性能函数 $F(k, d)$ 为包含优化系数 $k$ 和TL-Boost变换器中开关管的占空比 $d$ 的函数,其中,优化系数 $k$ 和占空比 $d$ 均为可以进行调节的常数,且优化系数 $k$ 的大小决定了两开关管的关闭时间差。另外,权重因子的选取需要依据TL-Boost变换器的电感材料及系统设计规范指标进行。

[0052] S2、采集所述TL-Boost变换器上一时刻的电感电流值 $IL_1$ 、当前时刻的电感电流值 $IL$ 、上一时刻的正母线电压值 $V_1'$ 、当前时刻的正母线电压值 $V_1$ 、上一时刻的负母线电压值 $V_2'$ 、当前时刻的负母线电压值 $V_2$ 。

[0053] S3、依据当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ ,以及此前寻优得到的电感电流的最大值 $IL_{Max}$ ,和电感电流的最小值 $IL_{Min}$ ,寻优得到一组新的电感电流最大值 $IL_{Max}$ 以及电感电流最小值 $IL_{Min}$ ,计算电感电流纹率 $\Delta I$ 和磁芯损耗 $P$ ,及依据当前时刻的正母线电压值 $V_1$ 、负母线电压值 $V_2$ 与上一时刻的正母线电压值 $V_1'$ 、负母线电压值 $V_2'$ ,以及此前寻优得到的正母线电压的最大值 $V_1_{Max}$ 和正母线电压的最小值 $V_1_{Min}$ ,寻优得到一组新的正母线电压最大值 $V_1_{Max}$ 以及正母线电压的最小值 $V_1_{Min}$ ,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值 $V_2_{Max}$ 和负母线电压的最小值 $V_2_{Min}$ ,寻优得到一组新的负母线电压最大值 $V_2_{Max}$ 以及负母线电压的最小值 $V_2_{Min}$ ,得到新的正负母线的最大值 $V_{Max}$ 和 $V_{Min}$ ,计算母线电容纹率 $\Delta V$ 。

[0054] S4、依据电感电流纹率 $\Delta I$ 、磁芯损耗 $P$ 和母线电容纹率 $\Delta V$ ,计算当前性能函数 $F(k, d)$ 。

[0055] S5、判断当前性能函数 $F(k, d)$ 与上一时刻性能函数 $F_1(k, d)$ 的大小,依据判断结果调整当前性能函数 $F(k, d)$ 中优化系数 $k$ 的大小。

[0056] 可以理解的是,本实施例根据系统设计的不同权重因子,将影响因素进行系数加权得到电感电流纹波符合期望、母线电容纹波符合期望、电感损耗较低的一组系数 $(d, k)$ ,在前后时刻的性能函数 $F(k, d)$ 中优化系数 $k$ 的调整中,实现对电感电流纹波的改善,稳定输出直流母线,降低电感损耗。另外,参数寻优的过程可以在DSP中进行实现,通过CPLD/FPGA直接控制关管Q1、开关管Q2的动作,从而实现对光伏逆变控制器的TL-Boost的控制。

[0057] 经过上述步骤,从而实现两开关管同开不同关的发波方式。图4示出了开关管Q1导通、开关管Q2关断时TL-Boost变换器等效电路,此时,输入电压给负母线电容和负载供电。图5示出了开关管Q1导通、开关管Q2关断时TL-Boost变换器等效电路,此时,输入电压给正母线电容和负载供电。

[0058] 假设本开关周期上管Q1的占空比减小,下管驱动Q2正常,则电感电流如下所示:

$$[0059] \quad \dot{i}_L = -\frac{1-(d-kd)}{L}v_{c1} - \frac{1-d}{L}v_{c2} + \frac{v_{in}}{L} = -\frac{1-d}{L}v_{c1} - \frac{1-d}{L}v_{c2} + \frac{v_{in}}{L} - \frac{k}{L}dv_{c1};$$

[0060] 假设下一个开关周期下管Q2的占空比减小,上管Q1驱动正常,则电感电流如下所示:

$$[0061] \quad \dot{i}_L = -\frac{1-(d-kd)}{L}v_{c2} - \frac{1-d}{L}v_{c1} + \frac{v_{in}}{L} = -\frac{1-d}{L}v_{c1} - \frac{1-d}{L}v_{c2} + \frac{v_{in}}{L} - \frac{k}{L}dv_{c2};$$

[0062] 由上述公式可知,假设在实际调制的占空比 $d$ 不发生改变,且正负母线电压不变的情况下,引入TL-Boost上下驱动同开不同关的调制策略,实际的电感电流纹波会减小,但是在实际调制过程以及在仿真实验中, $d$ 与 $k$ 都是一个未知量。 $k$ 越大,正负母线电压纹波越大,电感电流纹波越小。

[0063] 而通过本实施例的低干扰高效率TL-Boost控制方法,可以着重寻找最优化的 $d$ 与 $k$ ,以实现正负母线纹波和TL-Boost三电平电感电流纹波以及TL-Boost电感损耗三者之间的最优参数,即可改善电感电流纹波,降低损耗,也可使得正负母线纹波落入设计期望之内。

[0064] 较佳地,所述步骤S3中,依据当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ ,计算电感电流纹波率 $\Delta I$ ,具体包括:

[0065] 判断当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ 的大小;

[0066] 将当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ 中的数值较大者标记为最大电感电流值 $IL\_Max$ ,较小者标记为最小电感电流值 $IL\_Min$ ;

[0067] 计算最大电感电流值 $IL\_Max$ 与最小电感电流值 $IL\_Min$ 的差值,以及此前寻优得到的电感电流的最大值 $IL\_Max$ 和电感电流的最小值 $IL\_Min$ ,寻优得到一组新的电感电流最大值 $IL\_Max$ 以及电感电流最小值 $IL\_Min$ ,将计算结果标记为电感电流纹波率 $\Delta I$ 。

[0068] 较佳地,所述步骤S3中,依据当前时刻的电感电流值 $IL$ 与上一时刻的电感电流值 $IL_1$ ,以及此前寻优得到的电感电流的最大值 $IL\_Max$ 和电感电流的最小值 $IL\_Min$ ,寻优得到一组新的电感电流最大值 $IL\_Max$ 以及电感电流最小值 $IL\_Min$ ,计算磁芯损耗 $P$ ,具体包括:

[0069] 依据公式 $P=A_e l_e * 1000 * (0.5 * B_{pk})^{2.19} * (f_s * 1000^{-3})^{1.25}$ 计算磁芯损耗 $P$ ,其中,所述 $A_e$ 为磁通面积, $l_e$ 为磁路长度, $B_{pk}$ 为磁通密度摆幅。

[0070] 假设平均电感电流为 $I_{bmax}$ ,最大电感电流为 $I_p$ ,则最大电感电流的计算公式如下所示:

$$[0071] \quad I_p = I_{bmax} + \frac{\Delta I_{bmax}}{2},$$

[0072] 根据最大电感电流计算出此时的磁场强度 $H_p$ ,计算公式如下所示:

$$[0073] \quad H_p = \frac{I_p N_{XFLUX}}{l_e},$$

[0074] 设最大电感电流纹波处的磁通密度为 $B_p$ ,和最大纹波处的最小电感电流的磁通密度为 $B_k$ ,则通过最大电感电流纹波处的磁通密度为 $B_p$ 和最大纹波处的最小电感电流的磁通密度为 $B_k$ 可以计算磁通密度的摆幅 $B_{pk}$ ,则能够获得上述磁芯损耗P的计算公式。

[0075] 较佳地,所述步骤S3中,依据当前时刻的正母线电压值V1、负母线电压值V2与上一时刻的正母线电压值V1'、负母线电压值V2',以及此前寻优得到的正母线电压的最大值V1\_Max和正母线电压的最小值V1\_Min,寻优得到一组新的正母线电压最大值V1\_Max以及正母线电压的最小值V1\_Min,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min,寻优得到一组新的负母线电压最大值V2\_Max以及负母线电压的最小值V2\_Min,得到新的正负母线的最大值V\_Max和V\_Min,计算母线电容纹波率 $\Delta V$ ,具体包括:

[0076] S31、依据当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1',根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V1\_Max和负母线电压的最小值V1\_Min,寻优得到一组新的负母线电压最大值V1\_Max以及负母线电压的最小值V1\_Min,及依据当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2',根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min,寻优得到一组新的负母线电压最大值V2\_Max以及负母线电压的最小值V2\_Min;

[0077] S32、依据最大正母线电压值V1\_Max、最小正母线电压值V1\_Min、最大负母线电压值V2\_Max和最小负母线电压值V2\_Min,得到新的正负母线的最大值V\_Max和V\_Min,计算母线电容纹波率 $\Delta V$ 。

[0078] 较佳地,所述步骤S31中,依据当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1',根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V1\_Max和负母线电压的最小值V1\_Min,寻优得到一组新的负母线电压最大值V1\_Max以及负母线电压的最小值V1\_Min,具体包括:

[0079] 判断当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1'的大小;

[0080] 将当前时刻的正母线电压值V1与上一时刻的正母线电压值V1'中的数值较大者标记为最大正母线电压值V1\_Max,较小者标记为最小正母线电压值V1\_Min,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V1\_Max和负母线电压的最小值V1\_Min,寻优得到一组新的负母线电压最大值V1\_Max以及负母线电压的最小值V1\_Min。

[0081] 较佳地,所述步骤S31中,依据当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2',计算最大负母线电压值V2\_Max和最小负母线电压值V2\_Min,具体包括:

[0082] 判断当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2'的大小;

[0083] 将当前时刻的负母线电压值V2与上一时刻的负母线电压值V2'中的数值较大者标记为最大负母线电压值V2\_Max,较小者标记为最小负母线电压值V2\_Min,根据此前寻优得到的负母线电压的最大值V2\_Max和负母线电压的最小值V2\_Min,寻优得到一组新的负母线

电压最大值 $V2\_Max$ 以及负母线电压的最小值 $V2\_Min$ 。

[0084] 较佳地,所述步骤S32具体包括:

[0085] S321、计算最大正母线电压值 $V1\_Max$ 与最小正母线电压值 $V1\_Min$ 的差值,将计算结果标记为正母线电压波纹率 $\Delta V1$ ,及计算最大负母线电压值 $V2\_Max$ 与最小负母线电压值 $V2\_Min$ 的差值,将计算结果标记为负母线电压波纹率 $\Delta V2$ ;

[0086] S322、计算正母线电压波纹率 $\Delta V1$ 与负母线电压波纹率 $\Delta V2$ 的最大值,将计算结果标记为母线电容波纹率 $\Delta V$ 。

[0087] 较佳地,所述步骤S5具体包括:

[0088] 若上一时刻性能函数 $F1(k, d)$ 大于当前性能函数 $F(k, d)$ ,则对当前性能函数 $F(k, d)$ 的优化系数 $k$ 增加预设增量;

[0089] 若否,则对当前性能函数 $F(k, d)$ 的优化系数 $k$ 减小预设增量。

[0090] 具体地,所述预设增量为0.01。

[0091] 可以理解的是,通过每个时刻对优化系数 $k$ 进行预设增量的增加或减小,以确保相邻时刻的较佳地,所述步骤S5之后还包括:

[0092] S6、将当前性能函数 $F(k, d)$ 标记为上一时刻性能函数 $F1(k, d)$ ,将下一时刻性能函数标记为当前性能函数 $F(k, d)$ ;

[0093] S7、重复上述步骤,以对当前性能函数 $F(k, d)$ 的优化系数 $k$ 进行动态寻优。可以理解的是,通过不断的赋值计算,以实现优化系数 $k$ 的持续动态寻优,从而有效优化TL-Boost两开关管的关闭时间差,实现两开关管的同开不同关。

[0094] 结合图1-图6,本发明通过构建基于TL-Boost变换器的性能函数 $F(k, d)$ ,通过将当前时刻与上一时刻的多个电路参量进行比较计算,以调整当前性能函数 $F(k, d)$ 中优化系数 $k$ 的大小,而优化系数 $k$ 的大小决定了两开关管的关闭时间差,从而通过调整当前性能函数 $F(k, d)$ 中优化系数 $k$ 的大小,实现交替改变TL-Boost两开关管的关闭时间,从而可以有效减小电感电流的纹波大小,同时不影响系统的共模漏电流,有效提升TL-Boost变换器的控制效率。

[0095] 以上所揭露的仅为本发明的优选实施例而已,当然不能以此来限定本发明之权利范围,因此依本发明申请专利范围所作的等同变化,仍属本发明所涵盖的范围。

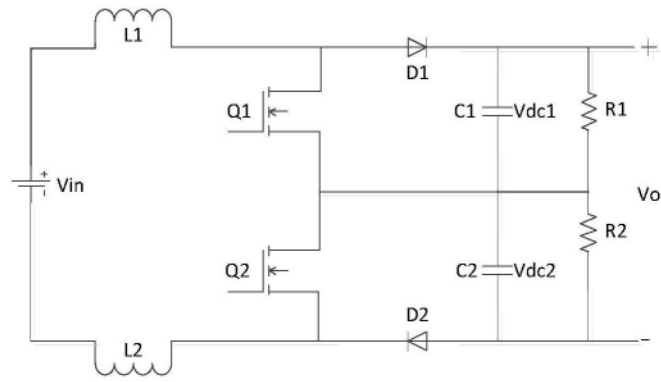


图1

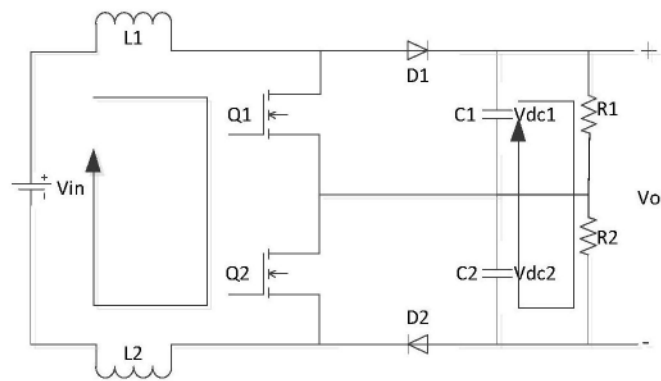


图2

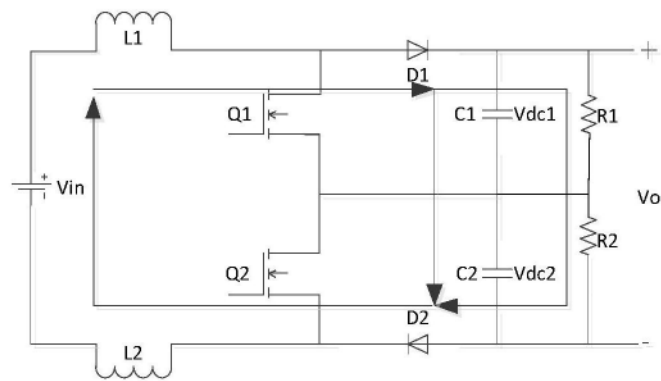


图3

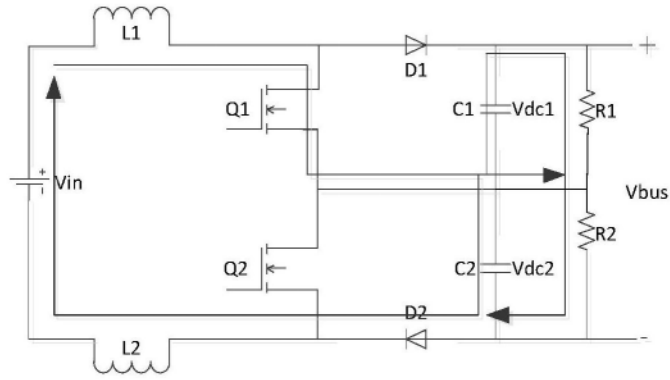


图4

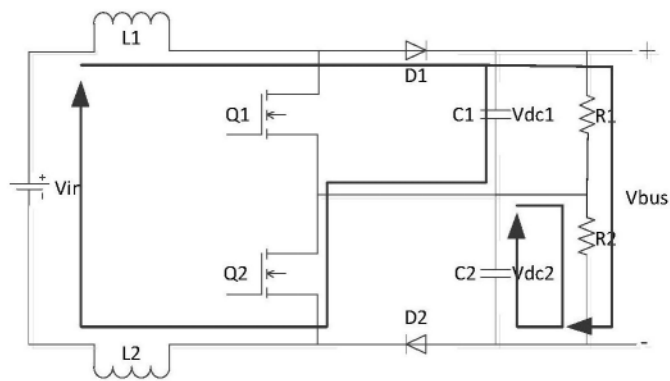


图5

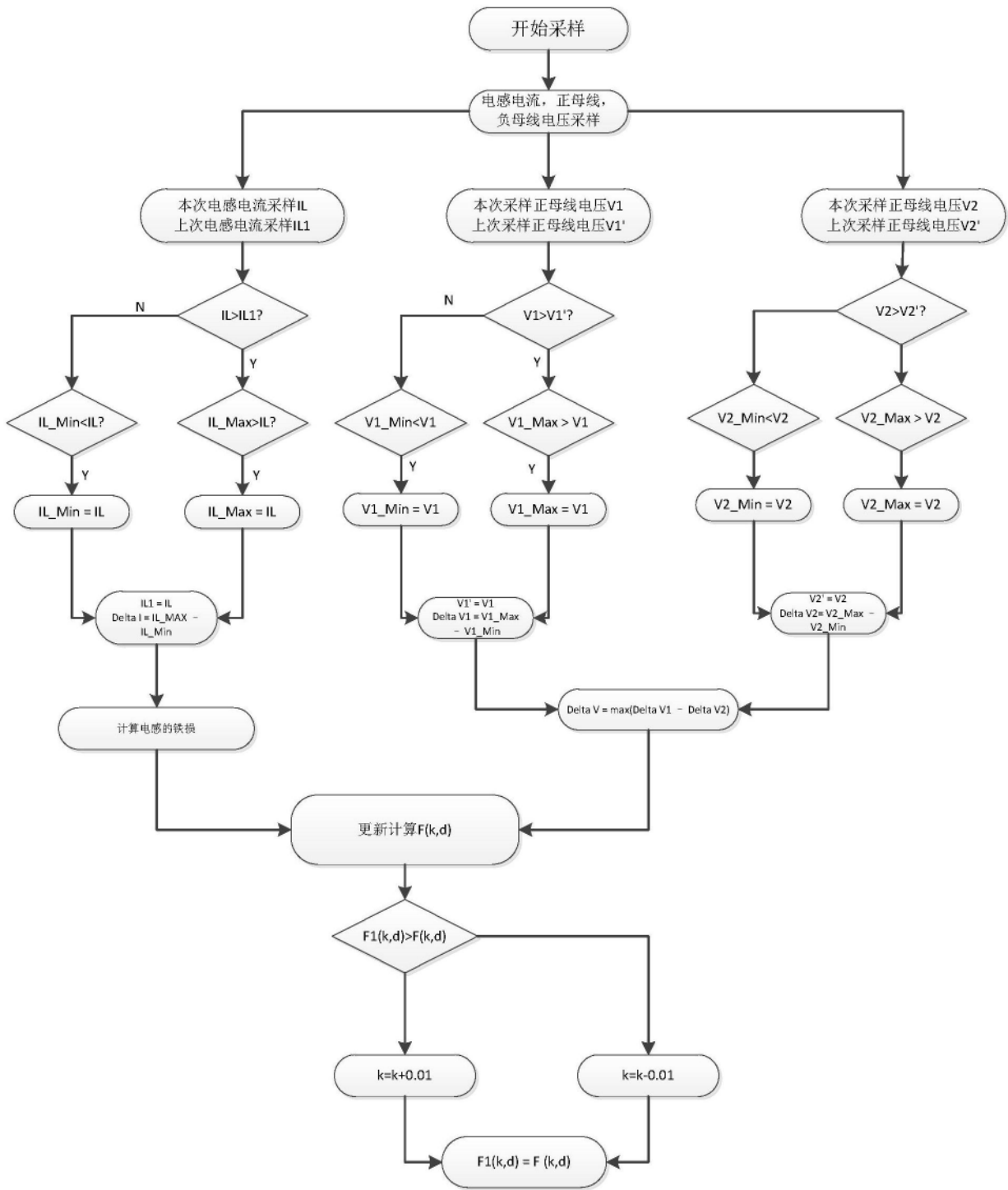


图6