



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117148147 B

(45) 授权公告日 2024.03.05

(21) 申请号 202311397895.2

CN 106610473 A, 2017.05.03

(22) 申请日 2023.10.26

CN 109471026 A, 2019.03.15

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 110196392 A, 2019.09.03

申请公布号 CN 117148147 A

CN 116720447 A, 2023.09.08

(43) 申请公布日 2023.12.01

CN 1967278 A, 2007.05.23

(73) 专利权人 南方电网调峰调频发电有限公司

JP 2012215514 A, 2012.11.08

地址 511493 广东省广州市番禺区东环街

SU 1061217 A1, 1983.12.15

东星路100号208室

US 2022393625 A1, 2022.12.08

(72) 发明人 马一鸣 贺儒飞 彭煜民 李泽泉
王文辉

马一鸣等. 基于直流阶跃电压试验与NSGA II算法的同步电机动态参数辨识方法. 电工技术学报. 2019, 第34卷(第23期), 第4890-4900页.

(74) 专利代理机构 华进联合专利商标代理有限公司 44224

李含霜等. 电力系统稳定器参数优化仿真及性能试验研究. 红水河. 2018, 第37卷(第01期), 第46-49页.

专利代理师 胡雪

郭攀锋等. 电励磁同步电机参数测量方法探讨. 电子世界. 2014, (第01期), 第92-93页.

(51) Int. Cl.

审查员 赵豆豆

G01R 31/34 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 105403800 A, 2016.03.16

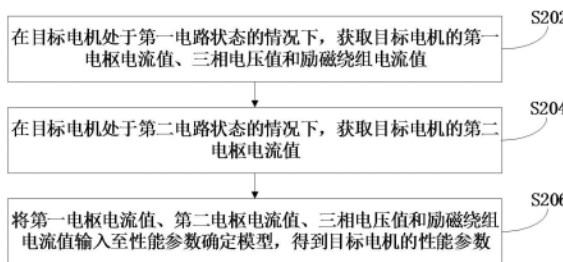
权利要求书3页 说明书17页 附图4页

(54) 发明名称

基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法

(57) 摘要

本申请涉及一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法。所述方法包括：在目标电机处于第一电路状态的情况下，获取目标电机的第一电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值；在目标电机处于第二电路状态的情况下，获取目标电机的第二电枢电流值；将第一电枢电流值、第二电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型，得到目标电机的性能参数。采用本方法能够基于两种电路状态下目标电机的电路数据，结合目标电机的电路特征和运行规律，利用性能参数确定模型对电路数据进行解算，从而快速确定准确的电机性能参数，进而提高电机性能参数的获取效率。



1. 一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法,其特征在于,所述方法包括:

在目标电机处于第一电路状态的情况下,获取所述目标电机的第一电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值;所述第一电路状态表征所述目标电机的励磁绕组短接,预设的直流恒压源的负端与所述目标电机的定子的三相绕组中的任意一相相接,所述预设的直流恒压源的正端和第一断路器串联后与所述目标电机的定子的另外两相绕组相连,且所述另外两相绕组处于并联状态,在所述第一断路器与所述另外两相绕组的连接处与所述预设的直流恒压源的负端之间并联第二断路器;

在所述目标电机处于第二电路状态的情况下,获取所述目标电机的第二电枢电流值;所述第二电路状态表征固定所述目标电机的转子的位置,将所述目标电机的三相绕组短接,解开励磁绕组短接线,所述预设的直流恒压源的正端和第三断路器串联后与励磁绕组一端相连,所述预设的直流恒压源的负端与励磁绕组另一端相连,在第一断路器与励磁绕组的连接处与所述预设的直流恒压源的负端之间并联第四断路器;

将所述第一电枢电流值、所述第二电枢电流值、所述三相电压值和所述励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型,得到所述目标电机的性能参数;获取所述目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数;将所述目标电机的性能参数、所述第一轴饱和系数和所述第二轴饱和系数输入至反应电抗饱和值确定模型,得到所述目标电机的反应电抗饱和值;将所述反应电抗饱和值作为所述目标电机的性能参数;获取所述目标电机的励磁电流机端空载电压饱和曲线信息;获取所述目标电机的额定励磁电流值,根据所述额定励磁电流值和所述励磁电流机端空载电压饱和曲线信息,确定所述额定励磁电流值对应的空载电压值;获取所述目标电机的气隙线信息,根据所述气隙线信息和所述空载电压值,确定所述目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述性能参数生成模型包括转子角度确定模型、轴电流确定模型和参数不饱和值确定模型,所述将所述第一电枢电流值、所述第二电枢电流值、所述三相电压值和所述励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型,得到所述目标电机的性能参数,包括:

将所述第二电枢电流值输入至所述转子角度确定模型,得到所述目标电机的转子位置角度值;

将所述转子位置角度值和所述第一电枢电流值输入至所述轴电流确定模型,得到所述目标电机的第一轴电流值和第二轴电流值;

根据所述三相电压值,确定所述目标电机在所述第一电路状态下的第一轴电压值和第二轴电压值;

将所述励磁绕组电流值、所述第一轴电流值、所述第二轴电流值、所述第一轴电压值和所述第二轴电压值输入至所述参数不饱和值确定模型,得到所述目标电机的性能参数不饱和值;

将所述性能参数不饱和值作为所述目标电机的性能参数。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述参数不饱和值确定模型包括增量电流时域通解确定模型和增量电流频域通解确定模型,所述将所述励磁绕组电流值、所述第一轴电流值、所述第二轴电流值、所述第一轴电压值和所述第二轴电压值输入至参数不饱和

值确定模型,得到所述目标电机的性能参数不饱和值,包括:

将所述励磁绕组电流值、所述第一轴电流值和所述第二轴电流值输入至所述增量电流时域通解确定模型,得到所述目标电机的增量电流时域通解信息;

将所述第一轴电压值和所述第二轴电压值输入至所述增量电流频域通解确定模型,得到所述目标电机的增量电流频域通解信息;

对比所述增量电流时域通解信息和所述增量电流频域通解信息,得到所述目标电机的性能参数不饱和值。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述对比所述增量电流时域通解信息和所述增量电流频域通解信息,得到所述目标电机的性能参数不饱和值,包括:

将所述增量电流时域通解信息与所述励磁绕组电流值进行拟合,得到所述目标电机的时域拟合结果;

将所述时域拟合结果转换为所述时域拟合结果对应的频域转换结果;

对比所述频域转换结果和所述增量电流频域通解信息,确定所述目标电机的性能参数不饱和值。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述将所述性能参数不饱和值、所述第一轴饱和系数和所述第二轴饱和系数输入至反应电抗饱和值确定模型,得到所述目标电机的反应电抗饱和值,包括:

获取所述性能参数不饱和值和所述第一轴饱和系数之间的第一乘积;

获取所述性能参数不饱和值和所述第二轴饱和系数之间的第二乘积;

根据所述第一乘积和所述第二乘积,确定所述反应电抗饱和值。

6. 一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定装置,其特征在于,所述装置包括:

第一参数获取模块,用于在目标电机处于第一电路状态的情况下,获取所述目标电机的第一电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值;所述第一电路状态表征所述目标电机的励磁绕组短接,预设的直流恒压源的负端与所述目标电机的定子的三相绕组中的任意一相相接,所述预设的直流恒压源的正端和第一断路器串联后与所述目标电机的定子的另外两相绕组相连,且所述另外两相绕组处于并联状态,在所述第一断路器与所述另外两相绕组的连接处与所述预设的直流恒压源的负端之间并联第二断路器;

第二参数获取模块,用于在所述目标电机处于第二电路状态的情况下,获取所述目标电机的第二电枢电流值;所述第二电路状态表征固定所述目标电机的转子的位置,将所述目标电机的三相绕组短接,解开励磁绕组短接线,所述预设的直流恒压源的正端和第三断路器串联后与励磁绕组一端相连,所述预设的直流恒压源的负端与励磁绕组另一端相连,在第一断路器与励磁绕组的连接处与所述预设的直流恒压源的负端之间并联第四断路器;

性能参数确定模块,用于将所述第一电枢电流值、所述第二电枢电流值、所述三相电压值和所述励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型,得到所述目标电机的性能参数;获取所述目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数;将所述目标电机的性能参数、所述第一轴饱和系数和所述第二轴饱和系数输入至反应电抗饱和值确定模型,得到所述目标电机的反应电抗饱和值;将所述反应电抗饱和值作为所述目标电机的性能参数;获取所述目标电机的励磁电流机端空载电压饱和曲线信息;获取所述目标电机的额定励磁电流值,根据所

述额定励磁电流值和所述励磁电流机端空载电压饱和曲线信息,确定所述额定励磁电流值对应的空载电压值;获取所述目标电机的气隙线信息,根据所述气隙线信息和所述空载电压值,确定所述目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数。

7.一种计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求1至5中任一项所述的方法的步骤。

8.一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1至5中任一项所述的方法的步骤。

基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法

技术领域

[0001] 本申请涉及电机技术领域,特别是涉及一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法、装置、计算机设备、存储介质和计算机程序产品。

背景技术

[0002] 同步电机作为电力系统的重要组成部分,是一种集旋转与静止、电磁变化与机械运动于一体,实现电能与机械能变换的装置。同步电机的性能参数是电机运行特性的决定性因素,准确测量同步电机的性能参数对电机的性能评估和保护整定发挥重要作用。

[0003] 传统技术中,针对同步电机的性能参数的测量方法主要包括三相突然短路法和静止频域响应法。

[0004] 然而,传统技术对同步电机的性能参数进行测量时,三相突然短路法属于破坏性试验,不适合在大容量同步电机上开展,且只能获取d轴参数;而静止频域响应法需要在实验前进行转子预定位操作,针对大容量同步电机实施难度较大,且实验时需要配备可调频电源,设备要求较高。

发明内容

[0005] 基于此,有必要针对上述技术问题,提供一种能够提高电机性能参数的获取效率的基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法、装置、计算机设备、计算机可读存储介质和计算机程序产品。

[0006] 第一方面,本申请提供了一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法,所述方法包括:

[0007] 在目标电机处于第一电路状态的情况下,获取所述目标电机的第一电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值;所述第一电路状态表征所述目标电机的励磁绕组短接,预设的直流恒压源的负端与所述目标电机的定子的三相绕组中的任意一相相接,所述预设的直流恒压源的正端和第一断路器串联后与所述目标电机的定子的另外两相绕组相连,且所述另外两相绕组处于并联状态,在所述第一断路器与所述另外两相绕组的连接处与所述预设的直流恒压源的负端之间并联第二断路器;

[0008] 在所述目标电机处于第二电路状态的情况下,获取所述目标电机的第二电枢电流值;所述第二电路状态表征固定所述目标电机的转子的位置,将所述目标电机的三相绕组短接,解开励磁绕组短接线,所述预设的直流恒压源的正端和第三断路器串联后与励磁绕组一端相连,所述预设的直流恒压源的负端与励磁绕组另一端相连,在第一断路器与励磁绕组的连接处与所述预设的直流恒压源的负端之间并联第四断路器;

[0009] 将所述第一电枢电流值、所述第二电枢电流值、所述三相电压值和所述励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型,得到所述目标电机的性能参数。

[0010] 在其中一个实施例中,所述性能参数生成模型包括转子角度确定模型、轴电流确定模型和参数不饱和值确定模型,所述将所述第一电枢电流值、所述第二电枢电流值、所述

三相电压值和所述励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型,得到所述目标电机的性能参数,包括:

[0011] 将所述第二电枢电流值输入至所述转子角度确定模型,得到所述目标电机的转子位置角度值;

[0012] 将所述转子位置角度值和所述第一电枢电流值输入至所述轴电流确定模型,得到所述目标电机的第一轴电流值和第二轴电流值;

[0013] 根据所述三相电压值,确定所述目标电机在所述第一电路状态下的第一轴电压值和第二轴电压值;

[0014] 将所述励磁绕组电流值、所述第一轴电流值、所述第二轴电流值、所述第一轴电压值和所述第二轴电压值输入至所述参数不饱和值确定模型,得到所述目标电机的性能参数不饱和值;

[0015] 将所述性能参数不饱和值作为所述目标电机的性能参数。

[0016] 在其中一个实施例中,所述参数不饱和值确定模型包括增量电流时域通解确定模型和增量电流频域通解确定模型,所述将所述励磁绕组电流值、所述第一轴电流值、所述第二轴电流值、所述第一轴电压值和所述第二轴电压值输入至参数不饱和值确定模型,得到所述目标电机的性能参数不饱和值,包括:

[0017] 将所述励磁绕组电流值、所述第一轴电流值和所述第二轴电流值输入至所述增量电流时域通解确定模型,得到所述目标电机的增量电流时域通解信息;

[0018] 将所述第一轴电压值和所述第二轴电压值输入至所述增量电流频域通解确定模型,得到所述目标电机的增量电流频域通解信息;

[0019] 对比所述增量电流时域通解信息和所述增量电流频域通解信息,得到所述目标电机的性能参数不饱和值。

[0020] 在其中一个实施例中,所述对比所述增量电流时域通解信息和所述增量电流频域通解信息,得到所述目标电机的性能参数不饱和值,包括:

[0021] 将所述增量电流时域通解信息与所述励磁绕组电流值进行拟合,得到所述目标电机的时域拟合结果;

[0022] 将所述时域拟合结果转换为所述时域拟合结果对应的频域转换结果;

[0023] 对比所述频域转换结果和所述增量电流频域通解信息,确定所述目标电机的性能参数不饱和值。

[0024] 在其中一个实施例中,所述确定所述目标电机的性能参数不饱和值之后,所述方法还包括:

[0025] 获取所述目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数;

[0026] 将所述性能参数不饱和值、所述第一轴饱和系数和所述第二轴饱和系数输入至反应电抗饱和值确定模型,得到所述目标电机的反应电抗饱和值;

[0027] 将所述反应电抗饱和值作为所述目标电机的性能参数。

[0028] 在其中一个实施例中,所述获取所述目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数,包括:

[0029] 获取所述目标电机的励磁电流机端空载电压饱和曲线信息;

[0030] 获取所述目标电机的额定励磁电流值,根据所述额定励磁电流值和所述励磁电流

机端空载电压饱和曲线信息,确定所述额定励磁电流值对应的空载电压值;

[0031] 获取所述目标电机的气隙线信息,根据所述气隙线信息和所述空载电压值,确定所述目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数。

[0032] 在其中一个实施例中,所述将所述性能参数不饱和值、所述第一轴饱和系数和所述第二轴饱和系数输入至反应电抗饱和值确定模型,得到所述目标电机的反应电抗饱和值,包括:

[0033] 获取所述性能参数不饱和值和所述第一轴饱和系数之间的第一乘积;

[0034] 获取所述性能参数不饱和值和所述第二轴饱和系数之间的第二乘积;

[0035] 根据所述第一乘积和所述第二乘积,确定所述反应电抗饱和值。

[0036] 第二方面,本申请还提供了一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定装置,所述装置包括:

[0037] 第一参数获取模块,用于在目标电机处于第一电路状态的情况下,获取所述目标电机的第一电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值;所述第一电路状态表征所述目标电机的励磁绕组短接,预设的直流恒压源的负端与所述目标电机的定子的三相绕组中的任意一相相接,所述预设的直流恒压源的正端和第一断路器串联后与所述目标电机的定子的另外两相绕组相连,且所述另外两相绕组处于并联状态,在所述第一断路器与所述另外两相绕组的连接处与所述预设的直流恒压源的负端之间并联第二断路器;

[0038] 第二参数获取模块,用于在所述目标电机处于第二电路状态的情况下,获取所述目标电机的第二电枢电流值;所述第二电路状态表征固定所述目标电机的转子的位置,将所述目标电机的三相绕组短接,解开励磁绕组短接线,所述预设的直流恒压源的正端和第三断路器串联后与励磁绕组一端相连,所述预设的直流恒压源的负端与励磁绕组另一端相连,在第一断路器与励磁绕组的连接处与所述预设的直流恒压源的负端之间并联第四断路器;

[0039] 性能参数确定模块,用于将所述第一电枢电流值、所述第二电枢电流值、所述三相电压值和所述励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型,得到所述目标电机的性能参数。

[0040] 第三方面,本申请还提供了一种计算机设备。所述计算机设备包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现上述的方法的步骤。

[0041] 第四方面,本申请还提供了一种计算机可读存储介质。所述计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现上述的方法的步骤。

[0042] 第五方面,本申请还提供了一种计算机程序产品。所述计算机程序产品,包括计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现上述的方法的步骤。

[0043] 上述基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法、装置、计算机设备、存储介质和计算机程序产品,通过在目标电机处于第一电路状态的情况下,获取目标电机的第一电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值,从而将目标电机设置为励磁绕组短接,预设的直流恒压源的负端与目标电机的定子的三相绕组中的任意一相相接,预设的直流恒压源的正端和第一断路器串联后与目标电机的定子的另外两相绕组相连,且另外两相绕组处于并联状态,在第一断路器与另外两相绕组的连接处与预设的直流恒压源的负端之间并联第二断路器的第一电路状态,确定目标电机在第一电路状态下的电路参数,为后续性能

参数计算提供数据支撑;在目标电机处于第二电路状态的情况下,获取目标电机的第二电枢电流值,从而将目标电机设置为第二电路状态设置为固定目标电机的转子的位置,将目标电机的三相绕组短接,解开励磁绕组短接线,预设的直流恒压源的正端和第三断路器串联后与励磁绕组一端相连,预设的直流恒压源的负端与励磁绕组另一端相连,在第一断路器与励磁绕组的连接处与预设的直流恒压源的负端之间并联第四断路器的第二电路状态,确定目标电机在第二电路状态下的电路参数,为后续性能参数计算提供数据支撑;将第一电枢电流值、第二电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型,得到目标电机的性能参数,从而通过性能参数确定模型,快捷地获取准确度电机性能参数,实现通过获取目标电机在两种电路状态下的电路参数,利用电路参数和性能参数确定模型,确定准确的电机性能参数,能够基于两种电路状态下目标电机的电路数据,结合目标电机的电路特征和运行规律,利用性能参数确定模型对电路数据进行解算,从而快速确定准确的电机性能参数,进而提高电机性能参数的获取效率。

附图说明

[0044] 图1为一个实施例中一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法的应用环境图;

[0045] 图2为一个实施例中一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法的流程示意图;

[0046] 图3为一个实施例中一种第一电路状态的结构示意图;

[0047] 图4为一个实施例中一种第二电路状态的结构示意图;

[0048] 图5为一个实施例中一种电枢电流的示意图;

[0049] 图6为一个实施例中另一种电枢电流的示意图;

[0050] 图7为一个实施例中一种转子位置角的示意图;

[0051] 图8为一个实施例中一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定装置的结构框图;

[0052] 图9为一个实施例中计算机设备的内部结构图。

具体实施方式

[0053] 为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本申请进行进一步详细说明。应当理解,此处描述的具体实施例仅仅用以解释本申请,并不用于限定本申请。

[0054] 本申请实施例提供的基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法,可以应用于如图1所示的应用环境中。其中,电机102通过网络与服务器104进行通信。数据存储系统可以存储服务器104需要处理的数据。数据存储系统可以集成在服务器104上,也可以放在云上或其他网络服务器上。在目标电机处于第一电路状态的情况下,服务器104获取目标电机的第一电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值;第一电路状态表征目标电机的励磁绕组短接,预设的直流恒压源的负端与目标电机的定子的三相绕组中的任意一相相接,预设的直流恒压源的正端和第一断路器串联后与目标电机的定子的另外两相绕组相连,且另外两相绕组处于并联状态,在第一断路器与另外两相绕组的连接处与预设的直流

恒压源的负端之间并联第二断路器；在目标电机处于第二电路状态的情况下，服务器104获取目标电机的第二电枢电流值；第二电路状态表征固定目标电机的转子的位置，将目标电机的三相绕组短接，解开励磁绕组短接线，预设的直流恒压源的正端和第三断路器串联后与励磁绕组一端相连，预设的直流恒压源的负端与励磁绕组另一端相连，在第一断路器与励磁绕组的连接处与预设的直流恒压源的负端之间并联第四断路器；服务器104将第一电枢电流值、第二电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型，得到目标电机的性能参数。服务器104可以用独立的服务器或者是多个服务器组成的服务器集群来实现。

[0055] 在一些实施例中，如图2所示，提供了一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法，本实施例以该方法应用于服务器进行举例说明，可以理解的是，该方法也可以应用于终端，还可以应用于包括终端和服务器的系统，并通过终端和服务器的交互实现。本实施例中，该方法包括以下步骤：

[0056] 步骤S202，在目标电机处于第一电路状态的情况下，获取目标电机的第一电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值。

[0057] 其中，目标电机可以是指需要进行性能参数获取或计算的电机，实际应用中，目标电机可以包括同步电机。

[0058] 其中，第一电路状态可以是指一种针对目标电机的试验电路。

[0059] 作为一种示例，在目标电机处于第一电路状态的情况下，如图3所示，提供了一种第一电路状态的结构示意图，在第一电路状态下，目标电机处于静止状态，励磁绕组短接，一直流恒压源负端与电机定子三相绕组中的任意一相相接，直流恒压源正端和一断路器 K_1 串联后与定子另外两相绕组相连，且此两相绕组处于并联状态。同时，在断路器 K_1 与定子两相并联绕组的连接处与直流恒压源负端间并联另一个断路器 K_2 ，此时 K_1 处于合闸状态， K_2 处于分闸状态，断开 K_2 的同时闭合 K_1 ，使目标电机电枢端产生衰减的直流电流，服务器对此动态过程中的电机三相电压 u_{abc} （三相电压）、电枢电流 i_{abc} （第一电枢电流）与励磁绕组电流 i_f （励磁绕组电流）的波形进行录制，得到目标电机的第一电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值。

[0060] 步骤S204，在目标电机处于第二电路状态的情况下，获取目标电机的第二电枢电流值；第二电路状态表征固定目标电机的转子的位置，将目标电机的三相绕组短接，解开励磁绕组短接线，预设的直流恒压源的正端和第三断路器串联后与励磁绕组一端相连，预设的直流恒压源的负端与励磁绕组另一端相连，在第一断路器与励磁绕组的连接处与预设的直流恒压源的负端之间并联第四断路器。

[0061] 其中，第二电路状态可以是指另一种针对目标电机的试验电路。

[0062] 作为一种示例，在目标电机处于第二电路状态的情况下，如图4所示，提供了一种第二电路状态的结构示意图，在第二电路状态下，维持目标电机转子位置不变，将电枢三相绕组短接，解开励磁绕组短接线。直流恒压源正端和断路器 K_1 串联后励磁绕组一端相连，直流恒压源负端与励磁绕组另一端相连。同时，在断路器 K_1 与励磁绕组的连接处与直流恒压源负端间并联另一个断路器 K_2 ，此时 K_1 处于合闸状态， K_2 处于分闸状态，此时断开 K_2 的同时闭合 K_1 ，使目标电机电枢端产生衰减的直流电流，服务器对动态过程中的电枢电流 i_{abc} （第二电枢电流）进行录制，得到目标电机的第二电枢电流值。

[0063] 步骤S206,将第一电枢电流值、第二电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型,得到目标电机的性能参数。

[0064] 其中,性能参数确定模型可以是指预先构建的用于计算目标电机的性能参数的模型。

[0065] 作为一种示例,服务器将第一电枢电流值、第二电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型,由于性能参数确定模型是根据目标电机在第一电路状态和第二电路状态下的电路特征和运行规律而预先设置的,性能参数确定模型能够利用第一电枢电流值、第二电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值对目标电机的性能参数进行解算,进而得到目标电机的性能参数。

[0066] 上述基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法中,通过在目标电机处于第一电路状态的情况下,获取目标电机的第一电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值,从而将目标电机设置为励磁绕组短接,预设的直流恒压源的负端与目标电机的定子的三相绕组中的任意一相相接,预设的直流恒压源的正端和第一断路器串联后与目标电机的定子的另外两相绕组相连,且另外两相绕组处于并联状态,在第一断路器与另外两相绕组的连接处与预设的直流恒压源的负端之间并联第二断路器的第一电路状态,确定目标电机在第一电路状态下的电路参数,为后续性能参数计算提供数据支撑;在目标电机处于第二电路状态的情况下,获取目标电机的第二电枢电流值,从而将目标电机设置为第二电路状态设置为固定目标电机的转子的位置,将目标电机的三相绕组短接,解开励磁绕组短接线,预设的直流恒压源的正端和第三断路器串联后与励磁绕组一端相连,预设的直流恒压源的负端与励磁绕组另一端相连,在第一断路器与励磁绕组的连接处与预设的直流恒压源的负端之间并联第四断路器的第二电路状态,确定目标电机在第二电路状态下的电路参数,为后续性能参数计算提供数据支撑;将第一电枢电流值、第二电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型,得到目标电机的性能参数,从而通过性能参数确定模型,快捷地获取准确度电机性能参数,实现通过获取目标电机在两种电路状态下的电路参数,利用电路参数和性能参数确定模型,确定准确的电机性能参数,能够基于两种电路状态下目标电机的电路数据,结合目标电机的电路特征和运行规律,利用性能参数确定模型对电路数据进行解算,从而快速确定准确的电机性能参数,进而提高电机性能参数的获取效率。

[0067] 在一些实施例中,性能参数生成模型包括转子角度确定模型、轴电流确定模型和参数不饱和值确定模型,将第一电枢电流值、第二电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型,得到目标电机的性能参数,包括:将第二电枢电流值输入至转子角度确定模型,得到目标电机的转子位置角度值;将转子位置角度值和第一电枢电流值输入至轴电流确定模型,得到目标电机的第一轴电流值和第二轴电流值;根据三相电压值,确定目标电机在第一电路状态下的第一轴电压值和第二轴电压值;将励磁绕组电流值、第一轴电流值、第二轴电流值、第一轴电压值和第二轴电压值输入至参数不饱和值确定模型,得到目标电机的性能参数不饱和值;将性能参数不饱和值作为目标电机的性能参数。

[0068] 其中,转子角度确定模型可以是指用于计算目标电机的转子位置角的模型。

[0069] 其中,轴电流确定模型可以是指用于计算目标电机的d轴电流和q轴电流的模型。

[0070] 其中,参数不饱和值确定模型可以是指用于计算目标电机的特定性能参数的模

型。

[0071] 其中,转子位置角度值可以是指目标电机处于第一电路状态下转子的角度,实际应用中,由于第二电路状态下维持目标电机转子位置不变,则转子位置角度值也可以包括目标电机处于第二电路状态下转子的角度。

[0072] 其中,第一轴电流值可以是指目标电机的d轴电流的数值。

[0073] 其中,第二轴电流值可以是指目标电机的q轴电流的数值。

[0074] 其中,第一轴电压值可以是指目标电机的d轴电压的数值。

[0075] 其中,第二轴电压值可以是指目标电机的q轴电压的数值。

[0076] 其中,性能参数不饱和值可以是指目标电机d、q轴各阶次瞬态电抗与时间常数的不饱和值。

[0077] 作为一种示例,服务器将第二电枢电流值输入至转子角度确定模型,得到目标电机的转子位置角度值,具体地,根据动态过程中 $i_q = 0$ 的准则,转子角度确定模型可表示为:

$$[0078] \quad \theta = \arctan \left[\frac{\sqrt{3}(i_b - i_c)}{2i_a - i_b - i_c} \right].$$

[0079] 其中, θ 表示转子d轴轴线与A相的夹角, i_a 、 i_b 、 i_c 分别表示电枢绕组ABC三相的电流,第二电枢电流值可包括电枢绕组ABC三相的电流。

[0080] 服务器将转子位置角度值和第一电枢电流值输入至轴电流确定模型,轴电流确定模型可基于Park变换,确定目标电机的第一轴电流值和第二轴电流值;服务器根据三相电压值,确定目标电机在第一电路状态下的第一轴电压值和第二轴电压值,具体地,服务器根据目标电机在第一电路状态下目标电机的定子绕组连接方式,由电枢绕组电压 u_a 、 u_b 与 u_c 根据电压Park变换方程计算直流衰减试验中等效施加的d轴电压 u_d 与q轴电压 u_q ,并确定d、q轴电压的频域形式 $u_d(p)$ 与 $u_q(p)$, p 为拉普拉斯算子,由叠加定理,短路后的电流可拆解为两个部分,一部分是试验前的稳态电流分量,另一部分是由直流衰减试验等效施加的d轴电压 u_d 与q轴电压 u_q 引起的增量电流分量,进而确定电机的d、q轴等效回路模型及d、q轴运算电抗 $X_d(p)$ 与 $X_q(p)$,例如,当转子侧阻尼绕组回路数为N时,运算电抗 $X_d(p)$ 可表示为:

$$[0081] \quad X_d(p) = X_d \frac{(1 + pT'_d)(1 + pT''_d)\dots(1 + pT^{(N+1)}_d)}{(1 + pT'_{d0})(1 + pT''_{d0})\dots(1 + pT^{(N+1)}_{d0})}.$$

[0082] 其中, X_d 表示d轴同步电抗; T'_d , T''_d , ..., $T^{(N+1)}_d$ 表示d轴各阶次短路时间常数,含下标0的参数则表示开路时间常数。

[0083] 当转子侧阻尼绕组回路数为N时,运算电抗 $X_q(p)$ 可表示为:

$$[0084] \quad X_q(p) = X_q \frac{(1 + pT''_q)\dots(1 + pT^{(N+1)}_q)}{(1 + pT''_{q0})\dots(1 + pT^{(N+1)}_{q0})}.$$

[0085] 其中, X_q 表示q轴同步电抗; T'_q , T''_q , ..., $T^{(N+1)}_q$ 表示q轴各阶次短路时间常数,含下标0的参数则表示开路时间常数。

[0086] 服务器将励磁绕组电流值、第一轴电流值、第二轴电流值、第一轴电压值和第二轴

电压值输入至参数不饱和值确定模型,参数不饱和值确定模型可基于目标电机在两种电路状态下的电路特征和运行规律,计算目标电机的性能参数不饱和值;服务器将性能参数不饱和值作为目标电机的性能参数。

[0087] 本实施例中,通过将第二电枢电流值输入至转子角度确定模型,得到目标电机的转子位置角度值;将转子位置角度值和第一电枢电流值输入至轴电流确定模型,得到目标电机的第一轴电流值和第二轴电流值;根据三相电压值,确定目标电机在第一电路状态下的第一轴电压值和第二轴电压值;将励磁绕组电流值、第一轴电流值、第二轴电流值、第一轴电压值和第二轴电压值输入至参数不饱和值确定模型,得到目标电机的性能参数不饱和值;将性能参数不饱和值作为目标电机的性能参数,能够基于转子角度确定模型、轴电流确定模型和参数不饱和值确定模型,逐步确定准确的目标电机性能参数不饱和值,提高电机性能参数不饱和值的获取效率。

[0088] 在一些实施例中,参数不饱和值确定模型包括增量电流时域通解确定模型和增量电流频域通解确定模型,将励磁绕组电流值、第一轴电流值、第二轴电流值、第一轴电压值和第二轴电压值输入至参数不饱和值确定模型,得到目标电机的性能参数不饱和值,包括:将励磁绕组电流值、第一轴电流值和第二轴电流值输入至增量电流时域通解确定模型,得到目标电机的增量电流时域通解信息;将第一轴电压值和第二轴电压值输入至增量电流频域通解确定模型,得到目标电机的增量电流频域通解信息;对比增量电流时域通解信息和增量电流频域通解信息,得到目标电机的性能参数不饱和值。

[0089] 其中,增量电流时域通解确定模型可以是指计算目标电机的增量电流对应的时域通解的模型。

[0090] 其中,增量电流频域通解确定模型可以是指计算目标电机的增量电流对应的频谱通解的模型。

[0091] 作为一种示例,服务器将励磁绕组电流值、第一轴电流值和第二轴电流值输入至增量电流时域通解确定模型,增量电流时域通解确定模型可根据d、q轴等效回路模型及d、q轴运算电抗 $X_d(p)$ 与 $X_q(p)$,结合目标电机在第一电路状态下的第一电枢电流值(d轴增量电流 i_d 和q轴增量电流 i_q)和励磁绕组电流值(励磁绕组增量电流 i_f),确定目标电机的增量电流时域通解信息(i_d 、 i_q 和 i_f);服务器将第一轴电压值和第二轴电压值输入至增量电流频域通解确定模型,增量电流频域通解确定模型获取目标电机对应的频域中电压平衡方程,增量电流频域通解确定模型根据目标电机的第一电压值(d轴电压)、第二电压值(q轴电压)、频域中电压平衡方程和d、q轴运算电抗 $X_d(p)$ 与 $X_q(p)$,确定电机d、q轴各阶次电抗及时间常数与频域增量电流通解 $i_d(p)$ 、 $i_q(p)$ 及 $i_f(p)$ 的关联关系,服务器将该关联关系作为目标电机的增量电流频域通解信息,具体地,目标电机d、q轴各阶次瞬态电抗及时间常数与频域增量电流通解 $i_d(p)$ 、 $i_q(p)$ 及 $i_f(p)$ 的关系可表示为:

$$[0092] \quad i_d(p) = \frac{u_d(p)(1+pT'_d)(1+pT''_d)\dots(1+pT_d^{(N+1)})}{pX_d(1+pT'_d)(1+pT''_d)\dots(1+pT_d^{(N+1)})} + r_s(1+pT'_{d0})(1+pT''_{d0})\dots(1+pT_{d0}^{(N+1)})$$

$$[0093] \quad i_q(p) = \frac{u_q(p)(1+pT''_d)\dots(1+pT_d^{(N+1)})}{pX_q(1+pT''_d)\dots(1+pT_d^{(N+1)}) + r_s(1+pT''_{d0})\dots(1+pT_{d0}^{(N+1)})}$$

$$[0094] \quad i_f(p) = \frac{X_{ad}}{r_f} \frac{p(1+pT_{D1s}) \dots (1+pT_{DNs})}{(1+pT'_{d0})(1+pT''_{d0}) \dots (1+pT_{d0}^{(N+1)})} i_d(p)。$$

[0095] 其中, r_s 表示定子电阻, r_f 表示励磁绕组电阻; T_{D1s} 至 T_{DNs} 分别表示第一个阻尼回路到第N个阻尼回路的漏磁时间常数。

[0096] 服务器对比增量电流时域通解信息和增量电流频域通解信息, 根据增量电流时域通解信息和增量电流频域通解信息之间的差异, 确定目标电机的性能参数不饱和值。

[0097] 本实施例中, 通过将励磁绕组电流值、第一轴电流值和第二轴电流值输入至增量电流时域通解确定模型, 得到目标电机的增量电流时域通解信息; 将第一轴电压值和第二轴电压值输入至增量电流频域通解确定模型, 得到目标电机的增量电流频域通解信息; 对比增量电流时域通解信息和增量电流频域通解信息, 得到目标电机的性能参数不饱和值, 能够基于增量电流时域通解确定模型和增量电流频域通解确定模型, 分别确定增量电流时域通解信息和增量电流频域通解信息, 为后续数据对比确定性能参数不饱和值提供数据基础, 进而提高电机性能参数的获取效率。

[0098] 在一些实施例中, 对比增量电流时域通解信息和增量电流频域通解信息, 得到目标电机的性能参数不饱和值, 包括: 将增量电流时域通解信息与励磁绕组电流值进行拟合, 得到目标电机的时域拟合结果; 将时域拟合结果转换为时域拟合结果对应的频域转换结果; 对比频域转换结果和增量电流频域通解信息, 确定目标电机的性能参数不饱和值。

[0099] 其中, 时域拟合结果可以是指将增量电流时域通解信息与励磁绕组电流值进行拟合后得到的数据。

[0100] 其中, 频域转换结果可以是指将时域拟合结果转换至频域后得到的数据。

[0101] 作为一种示例, 服务器将增量电流时域通解信息与励磁绕组电流值 (i_f 的增量电流分量) 进行拟合, 得到目标电机的时域拟合结果; 服务器将时域拟合结果转换至频域后, 得到初步转换结果, 服务器对初步拟合结果 (频域中d、q轴增量电流 $i_d(p)$ 、 $i_q(p)$ 与励磁绕组增量电流 $i_f(p)$ 的表达式) 进行整理, 整理为有理分式的形式, 服务器将具有有理分式形式的整理后初步拟合结果作为频域转换结果; 服务器对比频域转换结果和增量电流频域通解信息, 例如, 服务器对比增量电流频域通解信息中的d、q轴频域增量电流通解和频域转换结果中的d、q轴频域增量电流, 确定目标电机的性能参数不饱和值 (d、q轴各阶次瞬态电抗与时间常数的不饱和值), 得到d、q轴各阶次瞬态电抗与时间常数的不饱和值之后, 服务器对比增量电流频域通解信息中的励磁绕组增量电流通解和频域转换结果中的励磁绕组增量电流, 确定d轴电枢反应电抗 X_{ad} 的不饱和值 X_{adu} 和q轴电枢反应电抗 X_{aq} 的不饱和值 X_{adu} 。

[0102] 本实施例中, 通过将增量电流时域通解信息与励磁绕组电流值进行拟合, 得到目标电机的时域拟合结果; 将时域拟合结果转换为时域拟合结果对应的频域转换结果; 对比频域转换结果和增量电流频域通解信息, 确定目标电机的性能参数不饱和值, 能够将时域形式的增量电流通解转换为频域形式, 便于数据对比, 进而提高电机性能参数的获取效率。

[0103] 在一些实施例中, 确定目标电机的性能参数不饱和值之后, 上述方法还包括: 获取目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数; 将性能参数不饱和值、第一轴饱和系数和第二轴饱和系数输入至反应电抗饱和值确定模型, 得到目标电机的反应电抗饱和值; 将反应电抗饱和值作为所目标电机的性能参数。

[0104] 其中, 第一轴饱和系数可以是指目标电机的d轴饱和系数。

[0105] 其中,第二轴饱和系数可以是指目标电机的q轴饱和系数。

[0106] 其中,反应电抗饱和值确定模型可以是指用于计算目标电机的反应电抗的饱和值的模型。

[0107] 其中,反应电抗饱和值可以是指目标电机的d、q轴电枢反应电抗的饱和值。

[0108] 作为一种示例,服务器获取目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数;服务器将性能参数不饱和值、第一轴饱和系数和第二轴饱和系数输入至反应电抗饱和值确定模型,反应电抗饱和值确定模型基于目标电机的运行规律,利用性能参数不饱和值、第一轴饱和系数和第二轴饱和系数进行解算,得到目标电机的反应电抗饱和值;服务器将反应电抗饱和值作为所目标电机的性能参数。

[0109] 本实施例中,通过获取目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数;将性能参数不饱和值、第一轴饱和系数和第二轴饱和系数输入至反应电抗饱和值确定模型,得到目标电机的反应电抗饱和值;将反应电抗饱和值作为所目标电机的性能参数,能够基于反应电抗饱和值确定模型计算准确的反应电抗饱和值,提高电机性能参数的获取效率。

[0110] 在一些实施例中,获取目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数,包括:获取目标电机的励磁电流机端空载电压饱和曲线信息;获取目标电机的额定励磁电流值,根据额定励磁电流值和励磁电流机端空载电压饱和曲线信息,确定额定励磁电流值对应的空载电压值;获取目标电机的气隙线信息,根据气隙线信息和空载电压值,确定目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数。

[0111] 其中,励磁电流机端空载电压饱和曲线信息可以是指利用针对目标电机的电机空载特性试验获取到的励磁电流-机端空载电压(i_f - u)饱和曲线。

[0112] 其中,额定励磁电流值可以是指目标电机在额定工作状态励磁电流的数值。

[0113] 其中,空载电压值可以是指目标电机的电源输出端没有接负载时的开路电压。

[0114] 其中,气隙线信息可以是指目标电机的空载特性在线性部分的延长线。

[0115] 作为一种示例,服务器利用针对目标电机的电机空载特性试验对应的试验结果,确定目标电机的励磁电流-机端空载电压(i_f - u)饱和曲线,服务器将励磁电流-机端空载电压(i_f - u)饱和曲线作为励磁电流机端空载电压饱和曲线信息;服务器获取目标电机的额定励磁电流值,根据额定励磁电流值和励磁电流机端空载电压饱和曲线信息,确定额定励磁电流值对应的空载电压值;服务器获取目标电机的气隙线信息,根据空载电压值在气隙线上的对应值,确定目标电机的第一轴饱和系数(d轴饱和系数 k_{sd})和第二轴饱和系数(q轴饱和系数 k_{sq}),具体地,d、q轴饱和系数 k_{sd} 与 k_{sq} 可用额定励磁电流 i_{fN} 下空载电压 u_N 值及气隙线上的对应值 u_0 表示为:

$$[0116] \quad k_{sd} = \frac{u_N}{u_0}, \quad k_{sq} = 1 - \left(1 - \frac{u_N}{u_0}\right) \frac{X_{aq}}{X_{ad}}。$$

[0117] 其中, X_{ad} 为目标电机的d轴电枢反应电抗, X_{aq} 为目标电机的q轴电枢反应电抗。

[0118] 本实施例中,通过获取目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数,包括:获取目标电机的励磁电流机端空载电压饱和曲线信息;获取目标电机的额定励磁电流值,根据额定励磁电流值和励磁电流机端空载电压饱和曲线信息,确定额定励磁电流值对应的空载

电压值;获取目标电机的气隙线信息,根据气隙线信息和空载电压值,确定目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数,能够基于预先的电机空载特性试验确定励磁电流机端空载电压饱和曲线信息,进而利用励磁电流机端空载电压饱和曲线信息和气隙线信息,结合额定励磁电流值,确定准确的饱和系数,提高饱和系数的准确性。

[0119] 在一些实施例中,将性能参数不饱和值、第一轴饱和系数和第二轴饱和系数输入至反应电抗饱和值确定模型,得到目标电机的反应电抗饱和值,包括:获取性能参数不饱和值和第一轴饱和系数之间的第一乘积;获取性能参数不饱和值和第二轴饱和系数之间的第二乘积;根据第一乘积和第二乘积,确定反应电抗饱和值。

[0120] 其中,第一乘积可以是指性能参数不饱和值与第一轴饱和系数的乘积。

[0121] 其中,第二乘积可以是指性能参数不饱和值与第二轴饱和系数的乘积。

[0122] 作为一种示例,服务器获取性能参数不饱和值(d轴反应电抗 X_{ad} 的不饱和值 X_{adu})和第一轴饱和系数(d轴饱和系数 k_{sd})之间的第一乘积($X_{adu} * k_{sd}$),服务器将第一乘积作为目标电机在额定励磁电流下d轴电枢反应电抗的饱和值 X_{ads} ;服务器获取性能参数不饱和值(q轴反应电抗 X_{aq} 的不饱和值 X_{aqu})和第二轴饱和系数(q轴饱和系数 k_{sq})之间的第二乘积($X_{aqu} * k_{sq}$)服务器将第二乘积作为目标电机在额定励磁电流下q轴电枢反应电抗的饱和值 X_{aqs} 。

[0123] 本实施例中,通过获取性能参数不饱和值和第一轴饱和系数之间的第一乘积;获取性能参数不饱和值和第二轴饱和系数之间的第二乘积;根据第一乘积和第二乘积,确定反应电抗饱和值,能够基于饱和系数和性能参数不饱和值,确定准确的反应电抗饱和值,进而提高电机性能参数的获取效率。

[0124] 在一些实施例中,确定反应电抗饱和值之后,上述方法还包括:对比频域转换结果和增量电流频域通解信息,得到目标电机的绕组漏抗值和电阻值;根据反应电抗饱和值、绕组漏抗值和电阻值,确定目标电机的各阶次电抗饱和值和时间常数饱和值;将各阶次电抗饱和值和时间常数饱和值作为目标电机的性能参数。

[0125] 其中,绕组漏抗值可以是指目标电机的等效电路对应的绕组的漏抗值。

[0126] 其中,电阻值可以是指目标电机的电阻值。

[0127] 其中,各阶次电抗饱和值可以是指目标电机的各阶次电抗的饱和值。

[0128] 其中,时间常数饱和值可以是指目标电机的时间常数的饱和值。

[0129] 作为一种示例,服务器对比频域转换结果和增量电流频域通解信息,得到目标电机的绕组漏抗值和电阻值;服务器将反应电抗饱和值、绕组漏抗值和电阻值输入至饱和值解算模型,具体地,饱和值解算模型可以包括但不限于斯洛顿模型和寿命模型,饱和值解算模型可以通过拟合实验数据或者仿真结果来确定模型参数,饱和值解算模型根据模型参数和反应电抗饱和值、绕组漏抗值和电阻值,计算得到目标电机的各阶次电抗饱和值和时间常数饱和值,服务器将各阶次电抗饱和值和时间常数饱和值作为目标电机的性能参数。

[0130] 本实施例中,通过对比频域转换结果和增量电流频域通解信息,得到目标电机的绕组漏抗值和电阻值;根据反应电抗饱和值、绕组漏抗值和电阻值,确定目标电机的各阶次电抗饱和值和时间常数饱和值;将各阶次电抗饱和值和时间常数饱和值作为目标电机的性能参数,能够基于目标电机的反应电抗饱和值、绕组漏抗值和电阻值,确定准确的各阶次电抗饱和值和时间常数饱和值,进而提高电机性能参数的获取效率。

[0131] 在一些实施例中,同步电机的性能参数主要包括d、q轴各阶稳、动态电抗与时间常

数,为了确定上述性能参数,可利用基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法进行参数确定,具体地,一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法可包括以下步骤:S301:在目标电机处于第一电路状态的情况下,对目标电机的电机三相电压 u_{abc} 、电枢电流 i_{abc} 与励磁绕组电流 i_f 的波形进行录制;S302:在目标电机处于第二电路状态的情况下,对目标电机的电枢电流 i_{abc} 进行录制,并计算此时的转子位置角 θ ;S303:利用S301获得的三相电流 i_{abc} 与S302获得的转子位置角 θ ,通过Park变换计算d、q轴电流 i_d 与 i_q ;S304:根据S301中定子绕组连接方式,由电枢绕组电压 u_a 、 u_b 与 u_c 根据电压Park变换方程计算直流衰减试验中等效施加的d轴电压 u_d 与q轴电压 u_q ,并确定d、q轴电压的频域形式 $u_d(p)$ 与 $u_q(p)$, p 为拉普拉斯算子;S305:由叠加定理,短路后的电流可拆解为两个部分,一部分是试验前的稳态电流分量,另一部分是由直流衰减试验等效施加的d轴电压 u_d 与q轴电压 u_q 引起的增量电流分量。进而,确定电机的d、q轴等效回路模型及d、q轴运算电抗 $X_d(p)$ 与 $X_q(p)$,并据此确定步骤S301操作中,d轴增量电流 i_d 、q轴增量电流 i_q 与励磁绕组增量电流 i_f 应具有时域通解 $i_d(t)$ 、 $i_q(t)$ 与 $i_f(t)$;S306:用S305中确定的 $i_d(t)$ 、 $i_q(t)$ 与 $i_f(t)$ 对S302中获取的 i_d 、 i_q 及S301中录制的 i_f 的增量电流分量进行拟合,并将时域中拟合得到的结果变换至频域,得到频域中d、q轴增量电流 $i_d(p)$ 、 $i_q(p)$ 与励磁绕组增量电流 $i_f(p)$ 的表达式,并整理为有理分式的形式;S307:由S304获取的 $u_d(p)$ 与 $u_q(p)$ 、频域中电压平衡方程与d、q轴运算电抗 $X_d(p)$ 与 $X_q(p)$,确定电机d、q轴各阶次电抗及时间常数与频域增量电流通解 $i_d(p)$ 、 $i_q(p)$ 及 $i_f(p)$ 的关系;S308:对比S307中获取的d、q轴频域增量电流通解与S306中经过时频变换得到的 $i_d(p)$ 与 $i_q(p)$,确定电机d、q轴各阶次瞬态电抗与时间常数的不饱和值;S309:获取S308中各阶次不饱和电抗与时间常数值后,再对比S307中获取的励磁绕组增量电流通解与经过时频变换得到的 $i_f(p)$,确定d轴电枢反应电抗 X_{ad} 的不饱和值 X_{adu} ,进而确定d、q轴等效电路的各绕组漏抗值与电阻值,以及q轴电枢反应电抗 X_{aq} 的不饱和值 X_{aqu} ;S310:由电机空载特性试验获取的励磁电流-机端空载电压(i_f - u)饱和曲线及其气隙线,确定额定励磁电流 i_{fN} 下空载电压 u_N 值及气隙线上的对应值 u_0 ,并获得d、q轴饱和系数 k_{sd} 与 k_{sq} ;S311:考虑到磁路饱和主要出现在主磁路而非漏磁路,因此励磁电流增大引起的磁路饱和主要考虑电枢反应电抗上的饱和,从而由 k_{sd} 与 X_{adu} 之积和 k_{sq} 与 X_{aqu} 之积确定额定励磁电流下d、q轴电枢反应电抗的饱和值 X_{ads} 与 X_{aqs} ;S312:由S311获得的 X_{ads} 与 X_{aqs} 以及S309获得的d、q轴等效电路的各绕组漏抗值与电阻值,确定考虑饱和后电机d、q轴各阶次电抗与时间常数的饱和值。

[0132] 作为一种示例,常用的同步电机五绕组模型为例进行详细介绍,所谓五绕组模型包括由定子侧三相绕组dq0变换后得到的d、q轴绕组、转子侧d轴励磁绕组与阻尼绕组、以及转子侧q轴阻尼绕组,在此情况下,d、q轴运算电抗可表示为:

$$[0133] \quad X_d(p) = X_d \frac{(1+pT'_d)(1+pT''_d)}{(1+pT'_{d0})(1+pT''_{d0})}, \quad X_q(p) = X_q \frac{(1+pT''_q)}{(1+pT''_{q0})}。$$

[0134] 其中, X_d 、 X_q 表示d、q轴同步电抗; T'_d 与 T''_d 分别表示d轴暂态与次暂态短路时间常数, T'_{d0} 与 T''_{d0} 分别表示d轴暂态与次暂态开路时间常数; T''_q 与 T''_{q0} 分别表示q轴次暂态短路与开路时间常数。

[0135] 按图3所示的接线图进行任意转子位置直流衰减试验的接线,即,使目标电机处于第一电路状态,此时电机电枢绕组的A相与B相并联后接于直流电压源的正端,C相接于直流电压源的负端,断路器K1合闸,K2分闸。闭合K1,断开K2,电枢电流 i_a 、 i_b 与 i_c 如图5所示,图5

提供了一种电枢电流的示意图,按图4所示的接线图完成试验接线,即,使目标电机处于第二电路状态,用于确定转子位置角,此时直流电压源接于励磁绕组,电枢三相绕组短接,K1合闸,K2分闸。闭合K1,断开K2,电枢电流 i_a 、 i_b 与 i_c 如图6所示,图6提供了另一种电枢电流的示意图,考虑到励磁绕组位于d轴方向,励磁绕组上的直流电流衰减只会引起电枢侧d轴的感应电流而q轴感应电流为零,由 $i_q = 0$,可按下式计算转子位置角 θ ,结果如图8所示,图7提供了一种转子位置角的示意图,此时的转子位置角 $\theta = 16.062$ 度,获取转子位置角后,计算图3所示直流衰减试验中的d轴电流 i_d 与q轴电流 i_q ,d轴电流 i_d 与q轴电流 i_q 可表示为:

$$[0136] \quad \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) & \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi) \\ -\sin \theta & -\sin(\theta - \frac{2}{3}\pi) & -\sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}。$$

[0137] 由于采用同步电机的五绕组模型为例进行介绍,当电枢端出现直流衰减后,d轴电流与励磁绕组电流中应有3个衰减分量,分别对应于定子电枢绕组、转子励磁绕组与转子d轴阻尼绕组;同时,q轴电流应有2个衰减分量,分别对应于定子电枢绕组与转子q轴阻尼绕组。由此,d轴增量电流、q轴增量电流与励磁绕组增量电流的时域通解形式可表示为:

$$i_d(t) = A_1 e^{-\lambda_1 t} + A_2 e^{-\lambda_2 t} + A_3 e^{-\lambda_3 t} - i_{d0}$$

$$[0138] \quad i_q(t) = B_1 e^{-\mu_1 t} + B_2 e^{-\mu_2 t} - i_{q0}。$$

$$i_f(t) = C_1 e^{-\eta_1 t} + C_2 e^{-\eta_2 t} + C_3 e^{-\eta_3 t} - i_{f0}$$

[0139] 其中, A_1 、 B_1 与 C_1 表示衰减量的幅值系数, λ 、 μ 与 η 表示衰减量的衰减因子。 i_{d0} 、 i_{q0} 与 i_{f0} 分别表示试验开始前电枢d轴电流、q轴电流与励磁绕组电流的稳态值,其中 i_{f0} 应为0。在图3的绕组连接方式下,由电压的Park变换,该试验中等效施加的d、q轴频域电压信号可表示为:

$$[0140] \quad \begin{bmatrix} u_d(p) \\ u_q(p) \end{bmatrix} = -\frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) & \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi) \\ -\sin \theta & -\sin(\theta - \frac{2}{3}\pi) & -\sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{U}{2p} \\ \frac{U}{2p} \\ -\frac{U}{2p} \end{bmatrix}。$$

[0141] 其中,U表示直流电压的稳态值。

[0142] 进而,结合电枢端的电压平衡方程,图3对应的直流衰减试验中,d轴、q轴和励磁绕组的增量电流频域形式 $i_d(p)$ 、 $i_q(p)$ 与 $i_f(p)$ 可表示为:

$$i_d(p) = \frac{u_d(p)(1 + pT'_d)(1 + pT''_d)}{pX_d(1 + pT'_d)(1 + pT''_d) + r_s(1 + pT'_{d0})(1 + pT''_{d0})}$$

[0143]
$$i_q(p) = \frac{u_q(p)(1 + pT''_d)}{pX_q(1 + pT''_d) + r_s(1 + pT''_{d0})}$$
。

$$i_f(p) = \frac{X_{ad}}{r_f} \frac{p(1 + pT_{Ds})}{(1 + pT'_{d0})(1 + pT''_{d0})} i_d(p)$$

[0144] 其中, X_{ad} 表示d轴电枢反应电抗, r_s 表示定子电阻, r_f 表示励磁绕组电阻, T_{Ds} 表示d轴阻尼绕组的漏磁时间常数。

[0145] 根据d轴、q轴与励磁绕组增量电流通解形式对图3所示试验获取的对应增量电流实测值进行时域拟合,并将拟合得到的电流方程变换至频域,与推导得到的 $i_d(p)$ 、 $i_q(p)$ 与 $i_f(p)$ 进行对比,即可解得电机的d、q轴各阶次瞬态电抗、时间常数与电枢反应电抗的不饱和值如下表1所示:

[0146]

参数	辨识值	参数	辨识值
Xd	1.025 pu	Xq	0.709 pu
X'd	0.295 pu	X''q	0.202 pu
X''d	0.198 pu	Xad	0.9105 pu
T'd	2.566 s	Xaq	0.594 pu
T''d	0.027 s	T''q	0.030 s

[0147] 表1

[0148] 其中,pu表示标么值。

[0149] 由该电机的空载特性曲线和气隙线可确定额定励磁电流下空载电压 u_N 值与气隙线上的对应值 u_0 之比为0.83,从而可得d轴饱和系数 $k_{sd}=0.83$, q轴饱和系数 $k_{sq}=0.89$,由此可得,考虑磁路饱和后的d、q轴电枢反应电抗饱和值 X_{ads} 与 X_{aqs} 分别为0.756 pu与0.529 pu,进而可以计算得到考虑饱和后的d、q轴各阶次瞬态电抗与时间常数如下表2所示:

[0150]

参数	辨识度	参数	辨识值
Xd	0.871 pu	Xq	0.644 pu
X'd	0.296 pu	X''q	0.206 pu
X''d	0.199 pu	T''q	0.032 s
T'd	2.570 s	T''d	0.028 s

[0151] 表2

[0152] 本实施例中,通过电机在第一电路状态和第二电路状态下的电路数据,对电机性能参数进行准确解算,能够省略对大容量同步电机难以实施的转子预定位过程,实现在单个任意转子位置下辨识d、q轴等效电路的全部参数,并通过饱和折算解决无法获取参数饱和值的难题,提高电机性能参数的获取效率。

[0153] 应该理解的是,虽然如上所述的各实施例所涉及的流程图中的各个步骤按照箭头的指示依次显示,但是这些步骤并不是必然按照箭头指示的顺序依次执行。除非本文中有

明确的说明,这些步骤的执行并没有严格的顺序限制,这些步骤可以以其它的顺序执行。而且,如上所述的各实施例所涉及的流程图中的至少一部分步骤可以包括多个步骤或者多个阶段,这些步骤或者阶段并不必然是在同一时刻执行完成,而是可以在不同的时刻执行,这些步骤或者阶段的执行顺序也不必然是依次进行,而是可以与其它步骤或者其它步骤中的步骤或者阶段的至少一部分轮流或者交替地执行。

[0154] 基于同样的发明构思,本申请实施例还提供了一种用于实现上述所涉及的基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法的基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定装置。该装置所提供的解决问题的实现方案与上述方法中所记载的实现方案相似,故下面所提供的一个或多个基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定装置实施例中的具体限定可以参见上文中对于基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法的限定,在此不再赘述。

[0155] 在一个实施例中,如图8所示,提供了一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定装置,包括:第一参数获取模块802、第二参数获取模块804和性能参数确定模块806,其中:

[0156] 第一参数获取模块802,用于在目标电机处于第一电路状态的情况下,获取所述目标电机的第一电枢电流值、三相电压值和励磁绕组电流值;所述第一电路状态表征所述目标电机的励磁绕组短接,预设的直流恒压源的负端与所述目标电机的定子的三相绕组中的任意一相相接,所述预设的直流恒压源的正端和第一断路器串联后与所述目标电机的定子的另外两相绕组相连,且所述另外两相绕组处于并联状态,在所述第一断路器与所述另外两相绕组的连接处与所述预设的直流恒压源的负端之间并联第二断路器;

[0157] 第二参数获取模块804,用于在所述目标电机处于第二电路状态的情况下,获取所述目标电机的第二电枢电流值;所述第二电路状态表征固定所述目标电机的转子的位置,将所述目标电机的三相绕组短接,解开励磁绕组短接线,所述预设的直流恒压源的正端和第三断路器串联后与励磁绕组一端相连,所述预设的直流恒压源的负端与励磁绕组另一端相连,在第一断路器与励磁绕组的连接处与所述预设的直流恒压源的负端之间并联第四断路器;

[0158] 性能参数确定模块806,用于将所述第一电枢电流值、所述第二电枢电流值、所述三相电压值和所述励磁绕组电流值输入至性能参数确定模型,得到所述目标电机的性能参数。

[0159] 在一个示例性实施例中,所述性能参数确定模型806包括转子角度确定模型、轴电流确定模型和参数不饱和值确定模型,上述性能参数确定模块具体还用于将所述第二电枢电流值输入至所述转子角度确定模型,得到所述目标电机的转子位置角度值;将所述转子位置角度值和所述第一电枢电流值输入至所述轴电流确定模型,得到所述目标电机的第一轴电流值和第二轴电流值;根据所述三相电压值,确定所述目标电机在所述第一电路状态下的第一轴电压值和第二轴电压值;将所述励磁绕组电流值、所述第一轴电流值、所述第二轴电流值、所述第一轴电压值和所述第二轴电压值输入至所述参数不饱和值确定模型,得到所述目标电机的性能参数不饱和值;将所述性能参数不饱和值作为所述目标电机的性能参数。

[0160] 在一个示例性实施例中,所述参数不饱和值确定模型包括增量电流时域通解确定

模型和增量电流频域通解确定模型,上述性能参数确定模块806具体还用于将所述励磁绕组电流值、所述第一轴电流值和所述第二轴电流值输入至所述增量电流时域通解确定模型,得到所述目标电机的增量电流时域通解信息;将所述第一轴电压值和所述第二轴电压值输入至所述增量电流频域通解确定模型,得到所述目标电机的增量电流频域通解信息;对比所述增量电流时域通解信息和所述增量电流频域通解信息,得到所述目标电机的性能参数不饱和值。

[0161] 在一个示例性实施例中,上述性能参数确定模块806具体还用于将所述增量电流时域通解信息与所述励磁绕组电流值进行拟合,得到所述目标电机的时域拟合结果;将所述时域拟合结果转换为所述时域拟合结果对应的频域转换结果;对比所述频域转换结果和所述增量电流频域通解信息,确定所述目标电机的性能参数不饱和值。

[0162] 在一个示例性实施例中,上述装置还包括第一饱和参数确定模块,该第一饱和参数确定模块具体用于获取所述目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数;将所述性能参数不饱和值、所述第一轴饱和系数和所述第二轴饱和系数输入至反应电抗饱和值确定模型,得到所述目标电机的反应电抗饱和值;将所述反应电抗饱和值作为所述目标电机的性能参数。

[0163] 在一个示例性实施例中,上述第一饱和参数确定模块具体还用于获取所述目标电机的励磁电流机端空载电压饱和曲线信息;获取所述目标电机的额定励磁电流值,根据所述额定励磁电流值和所述励磁电流机端空载电压饱和曲线信息,确定所述额定励磁电流值对应的空载电压值;获取所述目标电机的气隙线信息,根据所述气隙线信息和所述空载电压值,确定所述目标电机的第一轴饱和系数和第二轴饱和系数。

[0164] 在一个示例性实施例中,上述第一饱和参数确定模块具体还用于获取所述性能参数不饱和值和所述第一轴饱和系数之间的第一乘积;获取所述性能参数不饱和值和所述第二轴饱和系数之间的第二乘积;根据所述第一乘积和所述第二乘积,确定所述反应电抗饱和值。

[0165] 上述基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定装置中的各个模块可全部或部分通过软件、硬件及其组合来实现。上述各模块可以硬件形式内嵌于或独立于计算机设备中的处理器中,也可以以软件形式存储于计算机设备中的存储器中,以便于处理器调用执行以上各个模块对应的操作。

[0166] 在一个实施例中,提供了一种计算机设备,该计算机设备可以是终端,其内部结构图可以如图9所示。该计算机设备包括处理器、存储器、输入/输出接口、通信接口、显示单元和输入装置。其中,处理器、存储器和输入/输出接口通过系统总线连接,通信接口、显示单元和输入装置通过输入/输出接口连接到系统总线。其中,该计算机设备的处理器用于提供计算和控制能力。该计算机设备的存储器包括非易失性存储介质和内存。该非易失性存储介质存储有操作系统和计算机程序。该内存为易失性存储介质中的操作系统和计算机程序的运行提供环境。该计算机设备的输入/输出接口用于处理器与外部设备之间交换信息。该计算机设备的通信接口用于与外部的终端进行有线或无线方式的通信,无线方式可通过WIFI、移动蜂窝网络、NFC(近场通信)或其他技术实现。该计算机程序被处理器执行时以实现一种基于任意转子位置直流衰减法的电机性能参数确定方法。该计算机设备的显示单元用于形成视觉可见的画面,可以是显示屏、投影装置或虚拟现实成像装置。显示

屏可以是液晶显示屏或者电子墨水显示屏,该计算机设备的输入装置可以是显示屏上覆盖的触摸层,也可以是计算机设备外壳上设置的按键、轨迹球或触控板,还可以是外接的键盘、触控板或鼠标等。

[0167] 本领域技术人员可以理解,图9中示出的结构,仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图,并不构成对本申请方案所应用于其上的计算机设备的限定,具体的计算机设备可以包括比图中所示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者具有不同的部件布置。

[0168] 在一个实施例中,还提供了一种计算机设备,包括存储器和处理器,存储器中存储有计算机程序,该处理器执行计算机程序时实现上述各方法实施例中的步骤。

[0169] 在一个实施例中,提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现上述各方法实施例中的步骤。

[0170] 在一个实施例中,提供了一种计算机程序产品,包括计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现上述各方法实施例中的步骤。

[0171] 需要说明的是,本申请所涉及的用户信息(包括但不限于用户设备信息、用户个人信息等)和数据(包括但不限于用于分析的数据、存储的数据、展示的数据等),均为经用户授权或者经过各方充分授权的信息和数据,且相关数据的收集、使用和处理需要符合相关规定。

[0172] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程,是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一非易失性计算机可读存储介质中,该计算机程序在执行时,可包括如上述各方法的实施例的流程。其中,本申请所提供的各实施例中所使用的对存储器、数据库或其它介质的任何引用,均可包括非易失性和易失性存储器中的至少一种。非易失性存储器可包括只读存储器(Read-Only Memory, ROM)、磁带、软盘、闪存、光存储器、高密度嵌入式非易失性存储器、阻变存储器(ReRAM)、磁变存储器(Magnetoresistive Random Access Memory, MRAM)、铁电存储器(Ferroelectric Random Access Memory, FRAM)、相变存储器(Phase Change Memory, PCM)、石墨烯存储器等。易失性存储器可包括随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)或外部高速缓冲存储器等。作为说明而非局限,RAM可以是多种形式,比如静态随机存取存储器(Static Random Access Memory, SRAM)或动态随机存取存储器(Dynamic Random Access Memory, DRAM)等。本申请所提供的各实施例中所涉及的数据库可包括关系型数据库和非关系型数据库中至少一种。非关系型数据库可包括基于区块链的分布式数据库等,不限于此。本申请所提供的各实施例中所涉及的处理器可为通用处理器、中央处理器、图形处理器、数字信号处理器、可编程逻辑器、基于量子计算的数据处理逻辑器等,不限于此。

[0173] 以上实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

[0174] 以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为对本申请专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本申请的保护范围。因此,本申请的保护范围应以所附权利要求为准。

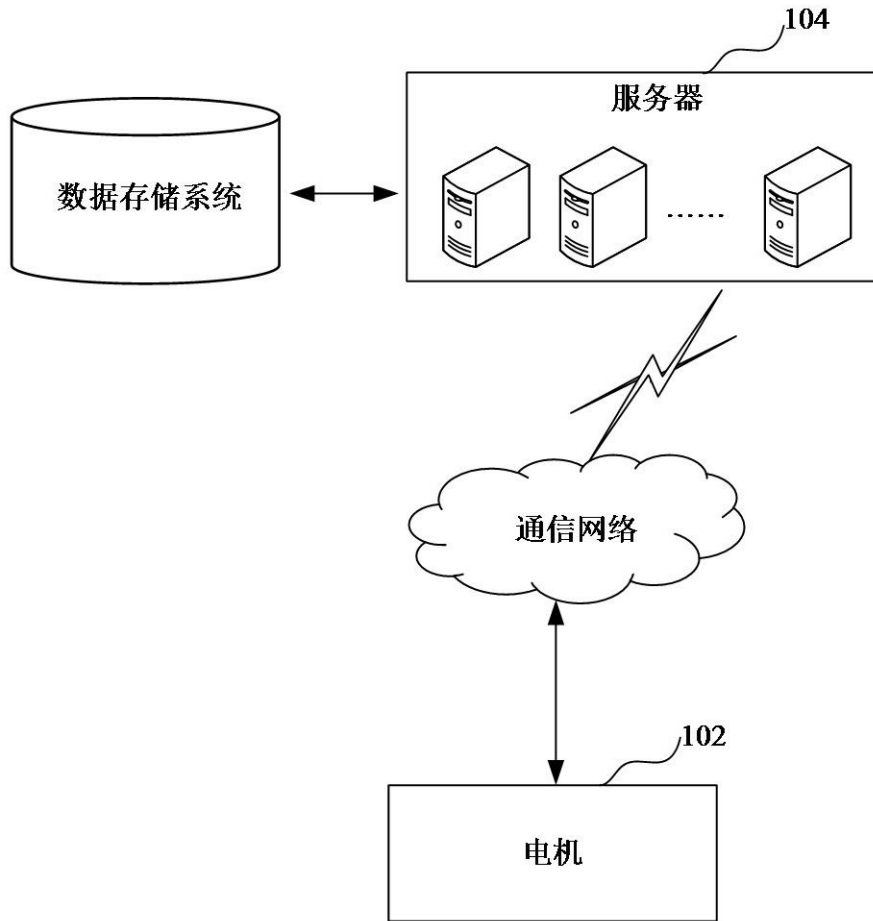


图1

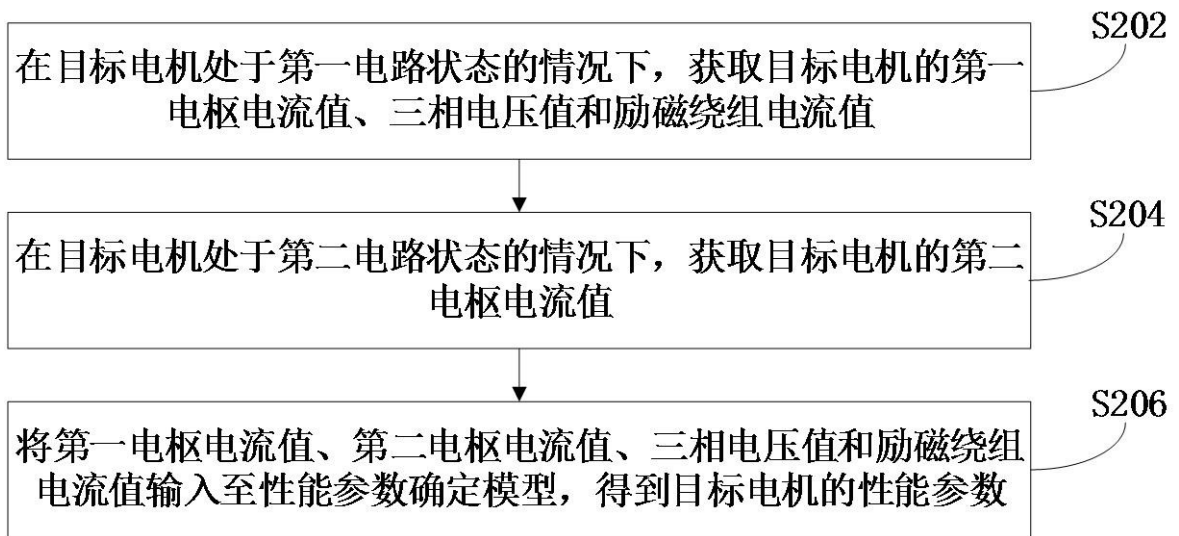


图2

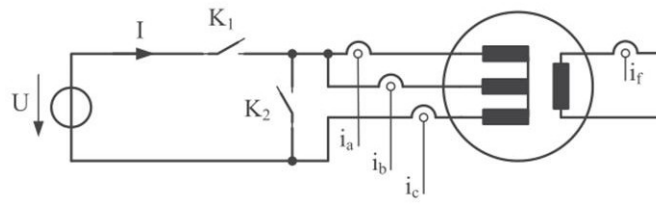


图3

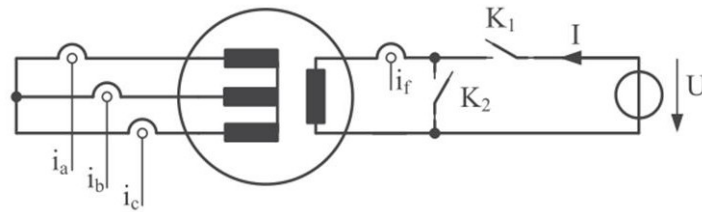


图4

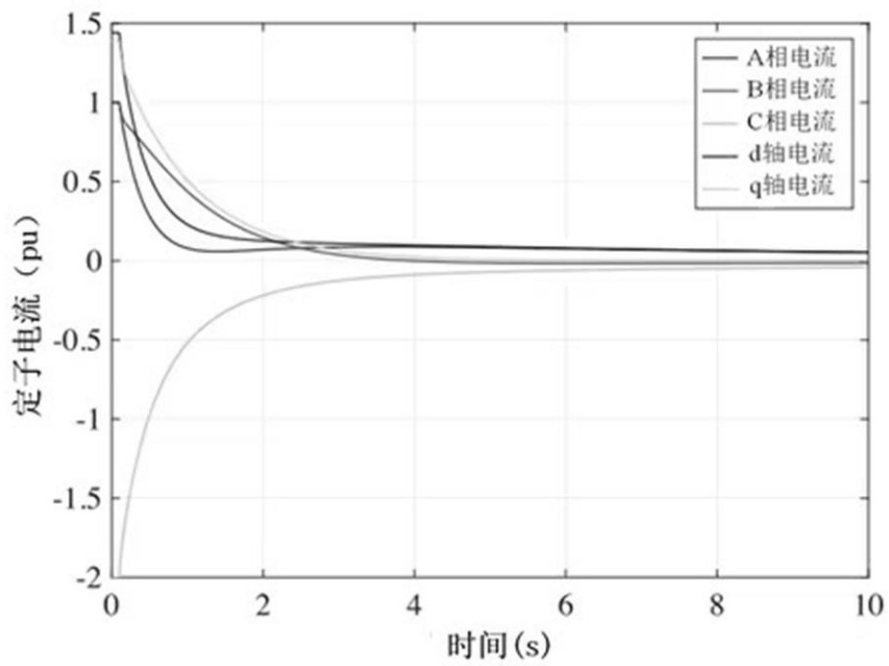


图5

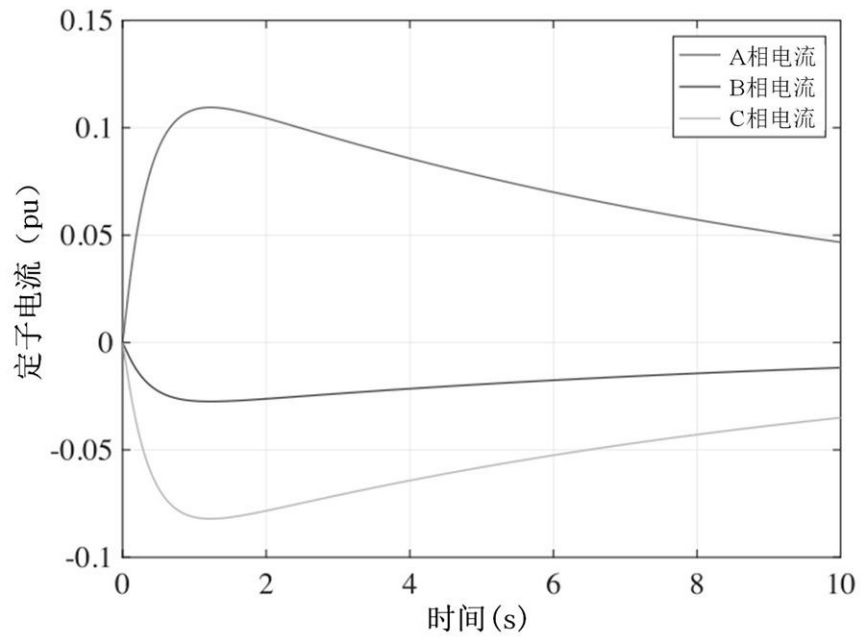


图6

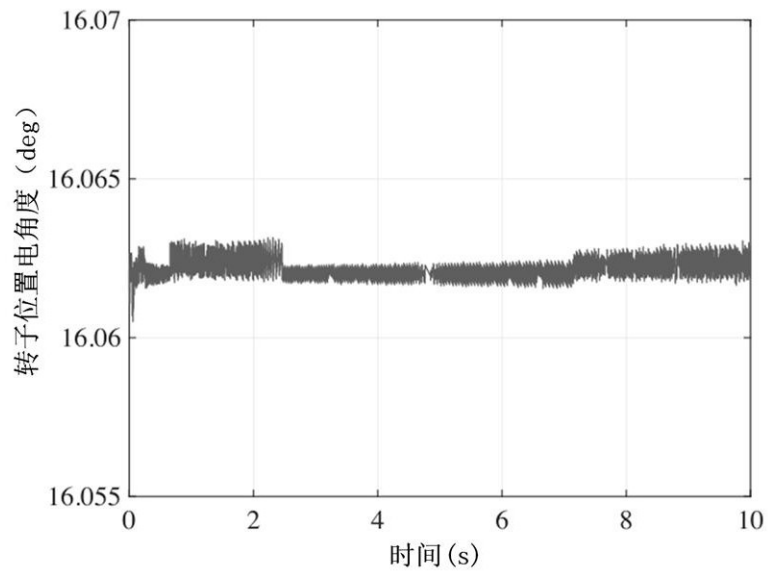


图7

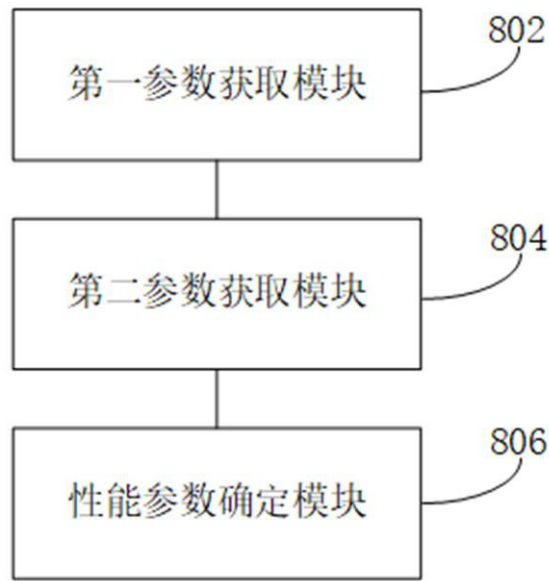


图8

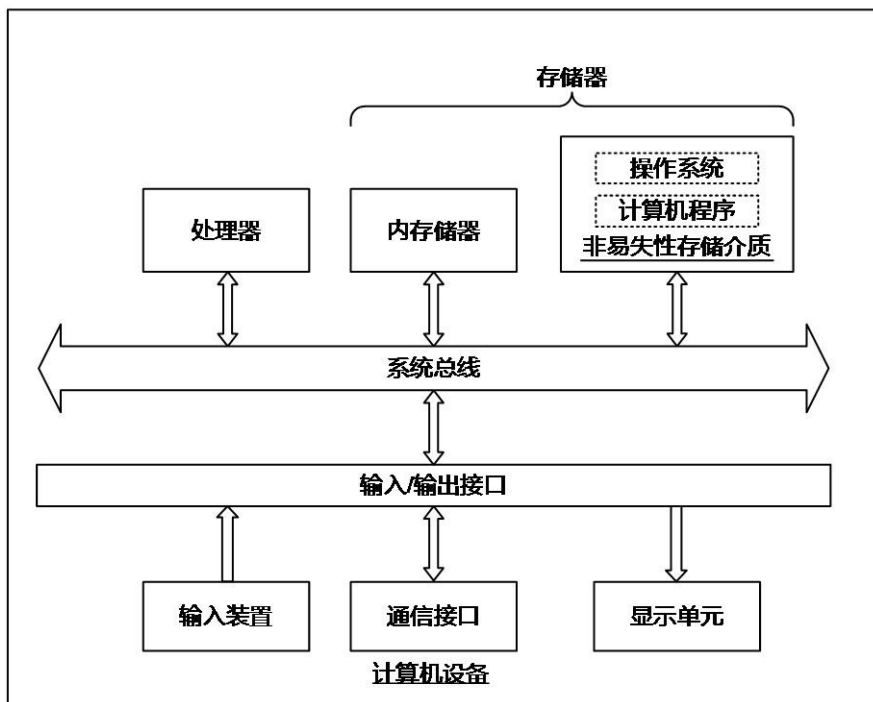


图9