

Method for Identifying the Blocked Status of Electric Disconnecting Switches Based on Instantaneous Active Power

Yongxiong Yang Honghao Wu* Tao He Jiaqi Huang Hailin Yang

Guangzhou Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510620, China

Abstract

As a critical piece of equipment in the power system, the operational status of electric disconnecting switches directly impacts the safety and stability of the power grid. The current methods for assessing the health status of disconnectors primarily rely on manual inspections and periodic maintenance, which suffer from limitations such as low efficiency and the inability to perform targeted maintenance based on the equipment's actual operational status. This makes it difficult to meet the modern power system's demand for real-time monitoring and precise management. To solve this problem, this paper proposes a method for identifying the blocked status of an electric disconnecting switch based on the characteristics of the motor's instantaneous active power curve. This method acquires the motor's operating voltage and current signals, performs a rotational transformation to obtain the instantaneous active power curve, and then compares and analyzes the characteristic values of the power curve for both normal and different blocked conditions. This provides an identification method that can accurately reflect the blocked status of the electric disconnecting switch. Simulation results show that the method can promptly detect the blocked status of the disconnecting switches and has high value for engineering applications.

Keywords

Instantaneous active power; Electric disconnecting switch; Blocked status; Identification; Fault diagnosis

基于瞬时有功功率的电动刀闸阻塞状态鉴别方法

杨永雄 吴泓灏* 何涛 黄家棋 杨海琳

广东电网有限责任公司广州供电局, 中国·广东 广州 510620

摘要

电动刀闸作为电力系统中的关键设备, 其运行状态直接影响电网的安全稳定。目前的隔离开关健康状态判别主要依赖人工巡检和定期检修, 存在效率低下、无法根据设备实际运行状态进行针对性维护等局限性, 难以满足现代电力系统对设备状态实时监测和精准管理的需求。为解决这一问题, 本文提出一种基于电动刀闸电动机瞬时有功功率曲线特征的阻塞状态鉴别方法。该方法通过采集电动机的工作电压和电流信号, 进行旋转变换后获得瞬时有功功率曲线图, 并以此为基础, 对比分析电动刀闸在正常状况下与不同阻塞状态下的瞬时有功功率曲线的特征值, 从而获得了能准确体现电动刀闸阻塞状态的鉴定方法。仿真结果表明, 该方法可及时发现电动刀闸的阻塞状态, 具有较高的工程应用价值。

关键词

瞬时有功功率; 电动刀闸; 阻塞状态; 鉴别; 故障诊断

1 引言

随着我国技术与经济的不断发展, 越来越多的电动刀闸被投入到电网运行中。如何对数量庞大的电动刀闸进行健

康状态监测, 直接关系到电力系统的安全稳定运行。目前传统的电动刀闸运维方式主要依赖人工巡检和定期检修, 然而, 这两种方式存在诸多局限性^[1-5]。这些局限性主要体现在: 1) 电动刀闸的健康状态判定非常依赖运维人员的工作经验以及其技术水平, 这种主观的判定方法容易导致误判, 且难以实现大规模设备的统一管理; 2) 定期检修往往无法根据设备的实际运行状态及时进行针对性维护, 这可能导致对电动刀闸的过度检修, 增加了运维成本, 或检修不足, 埋下安全隐患。

为了解决这一问题, 国内外科研和技术人员, 尤其是电力系统的技术人员, 开发了不同结构的监控系统。例如, 文献^[6]提出了一种基于红外热成像技术的监控系统, 该系统主要用于评估高中压变电站设备的热缺陷及预测其发展

【基金项目】中国南方电网有限责任公司科技项目“AIS 变电站隔离开关负载传动电机在线监测与预测性维护研究与应用”(项目编号: GDKJXM20222339)。

【作者简介】杨永雄(1970-), 男, 中国广东茂名, 本科, 工程师, 从事电力设备状态监测与故障诊断研究。

【通讯作者】吴泓灏(1989-), 男, 中国江西吉安人, 博士, 工程师, 从事电力物理信息系统可靠性研究。

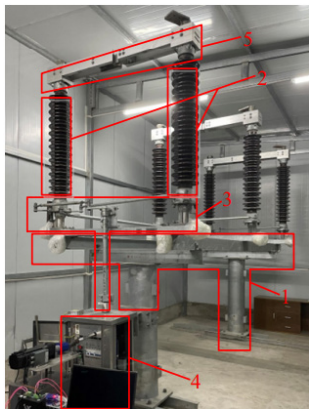
程度。然而，该方法对隔离开关因卡涩等引起的机械故障不敏感，难以对电动刀闸的机械故障状态进行有效响应与预测，存在明显的局限性。有学者尝试运用人工智能技术对实时监测数据进行推理，以判定电力系统一次设备的健康状态^[7]，但这种技术目前仍面临数据依赖性强、模型泛化能力有限以及实时性要求高等技术挑战，短期内难以有效投入实际运行。文献^[8]提出电动刀闸分合闸时，电机电流与负载密切相关，当传动机构出现机械故障时，操作力矩异常会导致电流峰面积和电机电流时间特性发生异常变化，并以此为基础建立了故障诊断系统。但该方法需要大量历史故障数据进行训练，且涉及复杂的积分运算，实际实施中存在一定困难。

为了克服上述方法的局限性，本文提出了一种通过分析电动刀闸中电动机瞬时有功功率曲线特征的阻塞状态鉴别方法。该方法首先通过对电动机的电流和电压进行旋转变换，然后由旋转后的电流、电压值求取电动机的瞬时有功功率曲线，通过比对不同阻塞状态下的电动刀闸电动机瞬时有功功率曲线与正常工作状态下的电动刀闸电动机瞬时有功功率曲线，进而推测出电动刀闸的阻塞状态。本方法计算复杂度相对较低，且能直接反映电机负载变化，具有较好的工程应用前景。本文后续章节将详细介绍此方法仿真系统的构建、瞬时有功功率的计算方法、仿真分析结果以及结论。

2 仿真系统的构建

2.1 电动刀闸的结构图

图 1 给出了在电力系统中的一种电动刀闸的结构图。从图中可以看出，电动刀闸主要由基础部件、支撑部件、传动部件、操动机构、导电部件等 5 部分构成。这些部件协同工作，实现电动刀闸的分合闸操作。很显然，由传动部件、导电部分及操动机构引发的发热故障、控制回路故障、拒分合故障和锈蚀故障是影响电动刀闸状态的主要因素，而这些故障的状况一般都会体现在电动刀闸电动机的有功功率上。因此，提取并分析电动机瞬时有功功率的特性，就能对电动刀闸的阻塞状态进行判别。



1- 基础部件 2- 支撑部件 3- 传动部件 4- 操动机构 5- 导电部件

图 1 GW6H-252 型电动刀闸结构图

2.2 仿真模型

结合图 1 所示的电动刀闸工作状态分析，图 2 给出了本文计算电动机瞬时有功功率的技术框图。

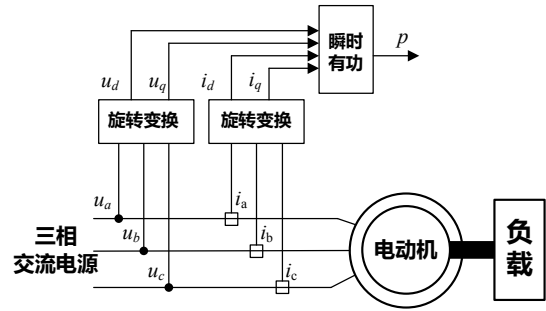


图 2 电动机瞬时有功功率

在图 2 中，电动机一般为三相异步电动机，负载代表电动刀闸的传动轴上的阻力力矩， u_a 、 u_b 和 u_c 分别为三相交流电源的电压、 i_a 、 i_b 和 i_c 分别为电动机的三相电流， u_d 和 u_q 分别为经过旋转变换后的电压、 i_d 和 i_q 分别为经过旋转变换后的电流。

其中， i_d 和 i_q 与 i_a 、 i_b 和 i_c 的关系为：

$$i_{abc} / dq = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin \theta & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中， u_d 和 u_q 与 u_a 、 u_b 和 u_c 的关系为：

$$u_{abc} / dq = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin \theta & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 θ 为旋转角度。

在对 i_d 、 i_q 、 u_d 和 u_q 求取后，则瞬时有功功率 p 的表达式为：

$$p = V_d I_d + V_q I_q \quad (3)$$

3 仿真分析

3.1 仿真结果

图 3 给出了在不同的转矩负载 TM 下（用代替电动刀闸的阻塞状态），电动刀闸中电动机（电机的参数如下：额定功率 4 KW，额定电压 400 V，额定频率 50 Hz，额定转速 1430 转 / 分）的定子电流波形及电动机瞬时有功功率曲线图（在 0.5 秒处，投入电动机）。

通过对比分析电动刀闸在启停过程中的瞬时有功功率曲线可以得出：

健康状态（T_M 值较小）：如图 3(b) 所示，在电动刀闸处于健康状态时（此时 T_M 值较小，电机转速快速上升，启动时间短），电动刀闸中电动机的瞬时有功功率曲线为一

个振荡衰减波形。传动轴上的阻力力矩与振荡衰减波形第一个波头的峰值密切相关；电动机启动完毕后有功率较小。

阻塞状态 (T_M 值中等)：如图 3(d) 和 3(f) 所示，在电动刀闸处于阻塞状态时（此时 T_M 值中等，电机转速上升速率和启动时间长短与转矩负载大小有关），电动刀闸中电动机的瞬时有功功率曲线出现“平台”现象，且“平台”的幅值和持续时间与电动刀闸的阻塞状态密切相关；电动机启动完毕后有功率较大。

严重阻塞状态 (T_M 值较大)：如图 3(h) 所示，在电动刀闸处于严重阻塞状态时（此时 T_M 值较大，电机转速上升缓慢和启动时间很长），电动刀闸中电动机的瞬时有功功率曲线中的“平台”持续时间较长；电动机启动完毕后有功率很大。

堵转状态：如图 3(j) 所示，在电动刀闸处于堵转状态时，电动机的有功功率一直处于很大状态，且基本维持不变，电机无法完成启动过程。

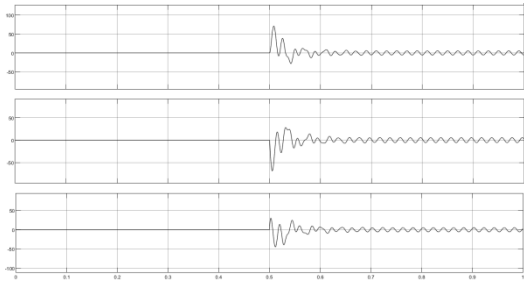


图 3 (a) $T_M=0$ 时，定子电流波形

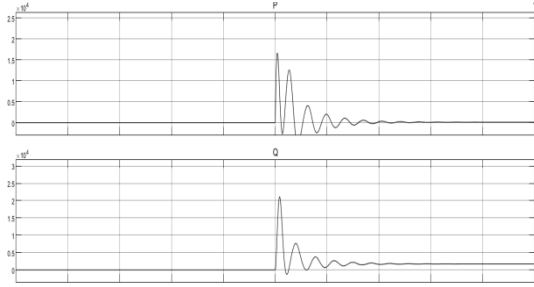


图 3 (b) $T_M=0$ 时，瞬时有功曲线

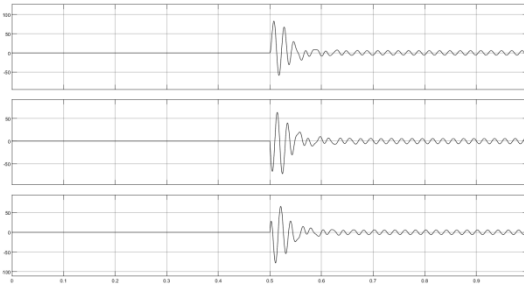


图 3 (c) $T_M=5$ 时，定子电流波形

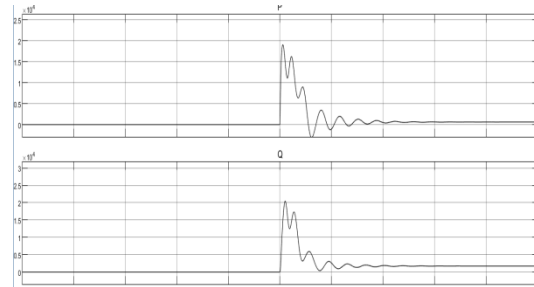


图 3 (d) $T_M=5$ 时，瞬时有功曲线

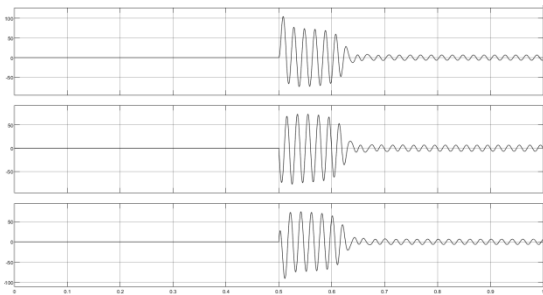


图 3 (e) $T_M=10$ 时，定子电流波形

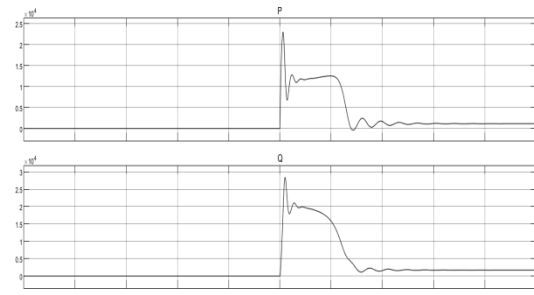


图 3 (f) $T_M=10$ 时，瞬时有功曲线

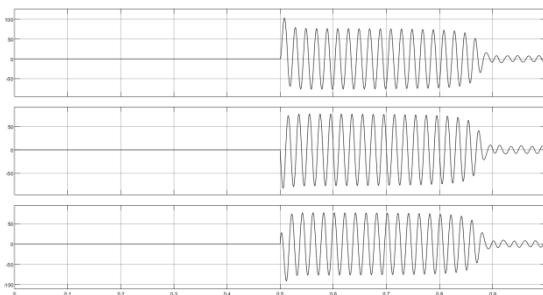


图 3 (g) $T_M=15$ 时，定子电流波形

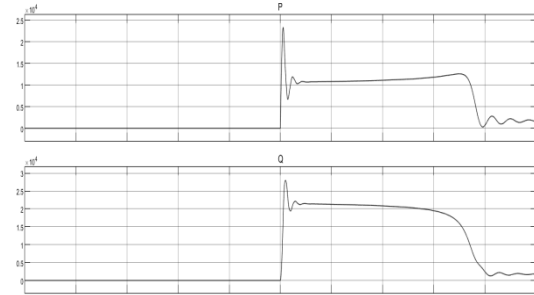


图 3 (h) $T_M=15$ 时，瞬时有功曲线

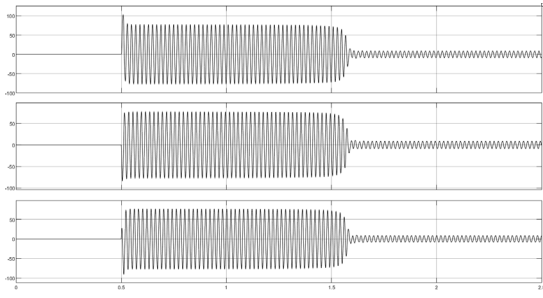


图 3 (i) TM=18 时, 定子电流波形

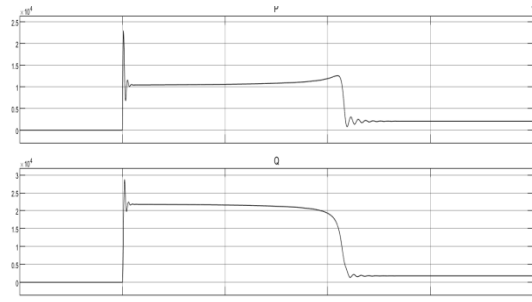


图 3 (j) TM=18 时, 瞬时有功曲线

综上所述, 通过对比分析电动刀闸在正常状况下与不同阻塞状态下的瞬时有功功率曲线的特征值, 就能准确地获得电动刀闸的阻塞状态。下面给出了一种可实现基于瞬时有功功率特征对电动刀闸阻塞状态进行判定的具体流程:

采集启、停过程的电动刀闸中电动机定子电流和电压信号;

离线计算出电动刀闸中电动机的瞬时有功功率曲线;

判定稳定状态下的有功功率值大小, 并根据该数值大小对阻塞状态进行初步判定;

根据功率曲线的第一个波头峰值大小和功率曲线“平台”持续时间的长短对阻塞状态进行精确判定。

4 结语

为了满足对数量庞大的电动刀闸进行健康状态监测的需求, 并响应南方电网公司智慧变电站建设的技术要求, 本文根据电动刀闸中电动机启动过程中的瞬时有功功率曲线图, 提出了能准确体现电动刀闸阻塞状态的鉴别方法, 并给出了具体实现流程。仿真结果表明, 本文设计的系统分析结果与实际故障情况吻合度较高, 具有一定的工程应用价值, 为电动刀闸的智能化提升和工程化应用提供了新的思路。未来研究将进一步优化瞬时有功功率曲线特征的提取算法, 提高判别精度和实时性; 研究多特征融合的健康状态判别方

法, 结合电流包络线等其他特征, 以提高系统的鲁棒性和泛化能力; 并探索开发基于大数据和人工智能的故障预测模型, 实现更早期的故障预警, 将本方法推广应用到其他电力设备的健康状态监测。

参考文献

- [1] 刘军. 隔离开关故障处理技术研究与应用[D]. 广东省: 华南理工大学, 2017.
- [2] 黄小卫. GW4型隔离开关导电部位发热缺陷分析及消除对策[J]. 电气开关, 2013, 51(05): 83-85.
- [3] 李建伟, 刘萍. GW4型隔离开关热缺陷分析及消除对策[J]. 科技创新导报, 2008, (15): 57.
- [4] 刘淑琼, 曾祥胜, 陶丽芬, 等. 电力系统常用GW4型隔离开关热故障及处理[J]. 科技创新与应用, 2018, (23): 149-150.
- [5] 张霁月, 孙正来, 卫功存, 等. GW4型隔离开关触头发热原因分析及措施[J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2014, 19(01): 16-19.
- [6] 肖匀, 王文瑞, 王斌, 等. 基于变权理论的高压隔离开关健康监测系统的研究[J]. 仪表技术与传感器, 2020, (03): 48-53.
- [7] 陈模盛, 李敬兆. 基于LPWAN多源信息融合的高压开关柜智能监测与故障诊断系统[J]. 智慧电力, 2020, 48(08): 98-103+122.
- [8] 黄峻峰, 陈富国, 吴军辉. 基于电流峰面积及时间特性的隔离开关故障诊断系统设计[J]. 电工技术, 2023, (06): 147-151