

Research on Fault Diagnosis Method of Main Circuit of Power Electronics

Wenli Zhang

Tongda Electromagnetic Energy Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410200, China

Abstract

Power electronics technology is the key technology of modern energy conversion and transmission, and the fault diagnosis of its main circuit is very important to ensure the reliable operation of the system. In this paper, the basic principle, fault type and corresponding fault diagnosis methods of the main circuit of power electronics are elaborated, and then the fault diagnosis strategies based on signal processing, pattern recognition and deep learning are deeply studied, and then the effectiveness of these methods is verified through experiments. Experimental results show that these methods have high accuracy and efficiency in the fault diagnosis of power electronic main circuits. Finally, this paper also proposes corresponding optimization and improvement strategies for the problems found in the experiment, and verifies the effectiveness of the improvement method through experiments, in order to provide useful reference for relevant personnel and their research.

Keywords

main circuit of power electronics; circuit fault; fault diagnosis method research

电力电子主电路故障诊断方法研究

张雯丽

通达电磁能股份有限公司, 中国·湖南长沙 410200

摘要

电力电子技术是现代能源转换与传输的关键技术, 其主电路的故障诊断对于保障系统可靠运行非常重要。论文先是具体阐述了电力电子主电路的基本原理、故障类型以及相应的故障诊断方法, 紧接着深入研究了基于信号处理、模式识别和深度学习等技术的故障诊断策略, 随后通过实验验证了这些方法的有效性。实验结果表明, 这些方法在电力电子主电路故障诊断中具有较高的准确率和效率。最后, 论文针对实验中发现的问题还提出了相应的优化和改进策略, 同时通过实验验证了改进方法的有效性, 以期对相关研究人员及其研究提供有益参考与借鉴。

关键词

电力电子主电路; 电路故障; 故障诊断方法研究

1 引言

随着电力电子技术的迅速发展, 其在能源转换、输电以及配电等多个关键领域的应用日益广泛和深入。然而, 电力电子主电路在运行过程中可能会因各种原因出现故障, 进而影响到系统的正常运行。因此, 对电力电子主电路实施精确、及时的故障诊断显得尤为重要, 这不仅关系到系统性能的维持, 更关系到系统安全性的保障。论文旨在深入探索和优化电力电子主电路的故障诊断方法, 进一步提高系统的可靠性和稳定性, 确保电力电子技术的持续健康发展。

2 电力电子主电路基本原理及故障类型

电力电子主电路作为电力电子设备的核心(图1), 其

基本原理涉及电能的变换和控制。它主要由功率半导体器件(如MOSFET、IGBT、TRIAC和SCR等)、能量转换与控制电路(如AC/DC、DC/DC、DC/AC和AC/AC变换器)以及保护与辅助电路(包括过电流、过电压和过热保护, 以及软启动与软停止功能)组成。这些部件协同工作, 实现电能的高效转换和精确控制。然而, 电力电子设备在使用过程中可能遭遇设备故障(如功率半导体器件、电容器或电感器损坏)、参数故障(如电流、电压或频率异常)以及控制故障(如控制器、传感器或通信故障)^[1]。

3 电力电子主电路故障诊断方法研究

3.1 基于信号处理的故障诊断方法

基于信号处理的故障诊断方法是一种有效且实用的技术, 它依赖于具体分析电力电子设备的运行信号来提取故障特征, 进一步实现精确的故障检测和诊断。这种方法的核心在于故障特征提取与分析, 即通过监测和分析电力电子设备

【作者简介】张雯丽(1987-), 女, 中国湖北仙桃人, 硕士, 工程师, 从事电力电子与电力传动研究。

的电流、电压、频率、温度等信号变化来初步判断设备是否出现故障。此外，为了进一步提高故障特征的准确性和可靠

性，还会运用先进的信号解卷积与滤波技术来去除信号中的噪声和干扰。

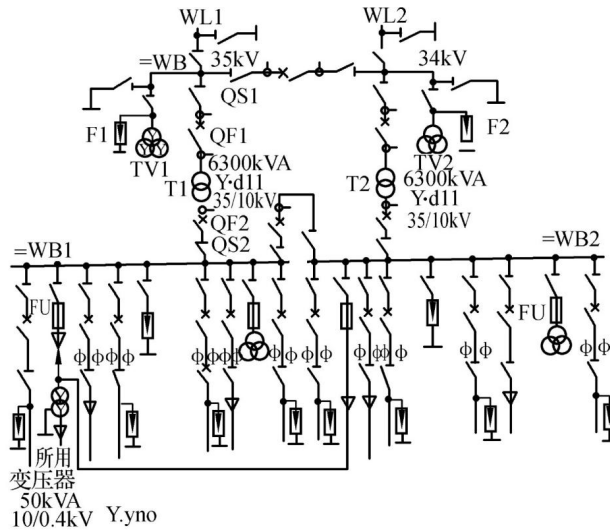


图 1 常见的电力设备控制电路图

3.2 基于模式识别的故障诊断方法

基于模式识别的故障诊断方法作为电力电子设备故障分类和识别的先进技术，展现出了卓越的性能。该方法先是根据故障类型和特征将故障划分为设备故障、参数故障和控制故障等多个不同的类别，为后续的精确诊断奠定基础。随后，通过深入分析这些故障特征，该方法能实现对故障模式的精准识别。在此过程中，机器学习技术发挥着关键作用，支持向量机（SVM）、随机森林（RF）和 k-近邻（k-NN）等先进的算法被广泛应用，它们通过学习和训练大量历史数据来构建高效的故障诊断模型，进而对新数据进行准确的故障诊断，大大提高了诊断的效率和准确性。

3.3 基于深度学习的故障诊断方法

基于深度学习的故障诊断方法是一种前沿且高效的电力电子设备故障识别手段。该方法充分利用了深度学习技术，特别是神经网络在特征自动提取和学习能力上的卓越能力。通过精心设计和训练适宜的神经网络结构，如卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）和长短期记忆网络（LSTM），它能够实现对电力电子设备故障特征的自动提取和故障类型的精确识别^[2]。为了进一步验证这种方法的可靠性，实验数据的收集与验证显得尤为重要。我们通过这一过程不仅可以评估深度学习模型的性能，如准确性、泛化能力和实时响应速度，还能根据评估结果对模型进行进一步优化，确保该方法在实际应用中的高效性和准确性，为实际应用提供强有力的支持。

4 实验设计与实施

4.1 实验平台搭建

在实验设计与实施的过程中，实验平台的搭建占据着非常重要的地位，主要包括硬件环境和软件环境的构建。在

硬件配置方面，我们选用了额定功率和电压等级均适宜的三相逆变器作为核心原型，并为其配备了高效的 IGBT 功率模块，此外，还安装了电流和电压传感器来实现对逆变器运行状态的实时监测。不仅如此，还选择了高速数据采集卡以更全面地收集传感器信号，并结合可调负载模拟器来模拟各种实际工作中的不同负载条件。在软件方面，充分利用 MATLAB/Simulink 的强大功能进行建模、仿真和信号处理，借助 Python 实现机器学习和深度学习算法的应用。

4.2 故障模拟

故障模拟是实验设计中至关重要的一个环节，它涉及故障类型的设计和模拟实施。在故障类型设计方面，主要考虑了设备故障、参数故障和控制故障三种类型。设备故障模拟的是功率模块（IGBT）的损坏情况，通过人为损坏 IGBT 模块或改变其参数来模拟器件损坏；参数故障则模拟了输入电压的波动和负载的变化，通过调整输入电压和负载模拟器来实现^[3]；控制故障模拟了控制器故障，如 PWM 信号的中断，通过软件中断 PWM 信号或修改控制算法来完成。这些故障模拟的实施旨在模拟实际工作环境中的故障情况，以提高实验数据的可靠性和准确性。

4.3 实验方案

实验方案旨在验证基于信号处理、模式识别和深度学习的故障诊断方法在三相逆变器上的应用效果。首先，我们将搭建一个全面的实验平台，配置必要的硬件和软件环境。紧接着通过模拟设备故障、参数故障和控制故障等不同类型的故障来收集故障数据。收集到的数据将经过去噪、滤波和归一化严格的预处理流程，并从中提取出与故障紧密相关的关键特征。随后，应用基于信号处理、模式识别和深度学习的方法不同的故障诊断方法对故障进行诊断。在实验过程中，根据逆变器的工作频率和奈奎斯特采样定理设置合适的

采样频率，并根据信号特点设计滤波器参数。

5 实验结果与分析

实验结果表明（表1），所测试的故障诊断方法在不同类型的故障场景下均表现出了较高的诊断准确率。特别地，在故障类型1（如温度异常和电流过载）和故障类型2（如绝缘电阻下降和振动异常）下，故障诊断方法能够准确识别出故障参数的变化，并给出相应的诊断结果。对于故障类型3（半导体元件损坏和控制信号错误）和故障类型4（电源电压波动和风扇故障），虽然故障特征较为复杂，但所测试的故障诊断方法仍能够有效地识别出这些故障，证明了其较

强的适应性和鲁棒性。

在深入分析实验结果后，全面评估了所研究的故障诊断方法的性能，并深入探讨了其潜在的优化方案。实验结果表明，尽管面临信号噪声、故障特征选择和诊断算法等多重挑战，所测试的故障诊断方法依旧在各种故障类型下均展现了较高的准确率。通过对比不同方法的诊断效果，我们发现了它们在准确率、识别时间和实时响应能力等方面的差异，并详细分析了这些方法在不同故障类型和工况下的优势与不足。实验总结显示，所研究的故障诊断方法在实际应用中具有显著的可行性和有效性，建议未来研究进一步优化算法并拓展其应用范围，尽可能地满足不断增长的工业需求。

表1 故障模拟实验详情表

故障类型	故障参数	故障数据
故障类型1	温度异常	传感器1温度读数：90°C（正常范围：20°C~80°C）
故障类型1	电流过载	相A电流：150A（额定电流：100A）
故障类型2	绝缘电阻下降	绝缘电阻值：50k Ω （正常范围：>1M Ω ）
故障类型2	振动异常	振动传感器读数：3.5mm/s（正常范围：<1mm/s）
故障类型3	半导体元件损坏	元件电阻：开路（正常阻值：几百欧姆）
故障类型3	控制信号错误	控制信号电平：低（应为高）
故障类型4	电源电压波动	输入电压：180V（额定电压：220V）
故障类型4	风扇故障	风扇转速：0rpm（正常转速：>2000rpm）

6 故障诊断方法的优化与改进

6.1 针对实验结果中发现的问题，提出优化和改进策略

在实验结果分析阶段，针对发现的故障诊断方法存在的问题，如准确率不足、识别时间过长以及对特定故障类型诊断效果不佳等，提出了以下优化和改进策略：一方面，通过重新评估和选择故障特征，利用如主成分分析（PCA）或递归特征消除（RFE）等特征选择算法，筛选出最具代表性的特征，以提高故障诊断的准确性；另一方面，针对诊断算法本身，计划尝试引入更先进的算法，如支持向量机（SVM）、随机森林或深度学习算法等，以增强故障诊断的准确率和实时性。

6.2 改进后方法的实验验证与分析

在提出针对故障诊断方法的优化和改进策略后，立即着手进行了实质性的方法改进，并辅以严谨的实验验证。首先对故障诊断方法进行了全面优化，涉及特征选择、诊断算法以及数据预处理等方面。随后重新搭建了与改进方法相匹配的实验平台，并依据新方法设计了故障模拟方案来全面测试其效果。在数据采集和处理阶段，采用了更新后的数据预处理方法，充分保证实验数据的准确和可靠。最后，精心设

计了新的实验方案，并严格按照既定方案实施了故障诊断实验，成功验证了改进后方法的性能。

7 结论

综上所述，经过对电力电子主电路故障诊断方法的深入研究，论文创新性地提出了一种基于信号处理、模式识别和深度学习的综合诊断策略。实验结果表明，该方法在电力电子主电路故障诊断领域展现出了卓越的准确率和效率。针对实验过程中发现的问题，论文提出了相应的优化和改进策略，并通过一系列实验验证了改进方法的有效性。这些研究成果不仅为电力电子主电路的故障诊断提供了新的思路和方法，还为提高电力电子系统的可靠性和稳定性提供了有力支持。

参考文献

- [1] 张书婷. 电力电子电路故障诊断及预测方法研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2021.
- [2] 张倩. 电力电子电路故障诊断方法仿真分析[J]. 科学技术创新, 2019(1): 6-7.
- [3] 姜书燕. 电力电子电路故障诊断与故障预测方法研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2016.