

# 电力电子装置故障诊断技术研究

王 磊 陈冬梅

中核兰州铀浓缩有限公司 甘肃 兰州 730000

**摘要:** 随着电力电子技术的快速发展,其在电力系统中的应用日益广泛,电力电子装置的故障诊断技术研究也显得尤为重要。本文重点研究了电力电子装置的故障诊断技术,探讨了基于信号处理和中频电源设备的故障诊断方法,并对它们的优势和局限进行了分析。同时,对综合性故障诊断技术进行了研究,特别是对故障预测与健康管理技术的应用进行了深入探讨。这些研究有助于提高电力电子装置故障诊断的准确性和效率,为电力系统的稳定运行提供有力保障。

**关键词:** 电力电子装置;故障诊断技术;成因与特点

引言:电力电子装置作为现代电力系统中的关键组成部分,其稳定性和可靠性直接关系到整个系统的运行效果。随着电力电子技术的不断发展,其复杂性也日益增加,故障诊断成为确保装置正常运行的重要一环。本文旨在深入研究电力电子装置的故障诊断技术,探讨基于信号处理、中频电源设备等方法在故障诊断中的应用,并分析其优缺点及发展趋势。通过对这些技术的综合应用,旨在提高电力电子装置故障诊断的准确性和效率,为电力系统的安全稳定运行提供有力支持。

## 1 电力电子装置故障诊断理论基础

### 1.1 电力电子装置的基本构成与工作原理

电力电子装置作为现代电力系统中不可或缺的一部分,其基本构成通常包括电源、功率变换器、控制电路和负载等部分。电源负责提供稳定的电能输入,功率变换器则根据控制电路的指令,对电源进行转换、调制,以提供负载所需的电压、电流和频率等电气参数。控制电路则扮演着对整个系统进行调控与管理的核心角色。在工作原理上,电力电子装置主要依靠功率半导体器件进行电能的转换与控制。这些器件如二极管、晶体管、晶闸管等,具有快速开关、高效转换等特性,能够实现电能的高效利用与灵活调控。同时,电力电子装置还依赖于复杂的控制算法和策略,以实现精确的输出和稳定的运行。

### 1.2 故障诊断的基本概念与分类

故障诊断是电力电子装置运行维护中至关重要的环节。其基本概念在于通过对装置运行状态进行监测和分析,识别出潜在的故障或异常,进而采取相应的措施进行修复或维护,以确保系统的稳定可靠运行。故障诊断可以根据不同的维度进行分类。按照故障性质,可以分为硬件故障和软件故障。硬件故障通常与装置中的物

理元件有关,如功率半导体器件的损坏、电路板的断裂等;而软件故障则主要涉及控制算法的错误、程序运行异常等问题。按照故障影响范围,可以分为局部故障和系统故障。局部故障仅影响装置中的某一部分或某一功能,而系统故障则可能导致整个装置甚至整个系统的失效。此外,根据诊断方法的不同,故障诊断还可以分为基于模型的诊断、基于信号处理的诊断、基于IO系统的诊断等。这些方法各有优缺点,适用于不同的场景和需求<sup>[1]</sup>。

### 1.3 故障诊断技术的理论基础与关键方法

故障诊断技术的理论基础主要包括数学分析、数字信号处理(DSP技术)、变频控制技术等领域。数学分析通过建立系统数学模型,运用矩阵论、概率论等工具,对故障特征进行提取和分析;数字信号处理则关注如何从复杂的信号中提取出有用的故障信息,如时域分析、频域分析等;变频控制技术则通过机器运行参数采样、精准判断等方法,实现故障的自动识别、预测和维护。关键方法方面,以下是几种在电力电子装置故障诊断中常用的技术手段:(1)信号分析与处理方法,该方法通过对装置输出或传感器采集的电压、电流等信号进行频谱分析、小波变换等处理,提取出反映故障特征的信号成分,进而实现故障的定位和识别。(2)基于模型的故障诊断方法,这种方法首先建立电力电子装置的精确数学模型,然后根据实际运行状态与模型输出的比较结果来检测和隔离故障。常见的技术有参数估计法、状态估计法等。(3)变频控制与机器学习方法,近年来,随着中频电源设备技术的快速发展,越来越多的电力电子装置故障诊断研究开始应用神经网络、支持向量机、深度学习等应用于中频电源设备。这些方法可以通过大量的故障样本训练学习,实现故障特征的自动提取和识别,提高了诊断的准确性和效率。此外,还有一些综合性的

故障诊断方法,如基于多源信息融合的故障诊断、基于故障树的诊断推理等。这些方法能够充分利用各种信息来源和诊断手段,提高故障诊断的可靠性和准确性。

## 2 电力电子装置故障成因与特点分析

### 2.1 电力电子装置故障的主要成因

电力电子装置故障的成因多种多样,主要可以归结为以下几个方面:(1)工作环境的影响是故障发生的重要因素,电力电子装置往往工作在高温、高湿、高粉尘等恶劣环境下,这些环境因素可能导致装置内部的电气元件和绝缘材料老化、变形,从而引发故障。此外,电磁干扰、机械振动等外部因素也可能对装置的稳定运行产生不利影响。(2)运行条件的变化也是故障发生的重要原因,电力电子装置在运行过程中,其负载、电压、电流等参数可能会发生波动,这些变化可能导致装置内部电路发生异常。例如,过载、过压、过流等工况可能导致功率半导体器件损坏或电路板烧毁。(3)部件老化也是不可忽视的故障成因,随着使用时间的增长,电力电子装置中的电气元件、散热器等部件会逐渐老化,性能下降,从而增加了故障发生的风险。

### 2.2 故障的特点及表现形式

电力电子装置故障具有一些明显的特点和表现形式,主要包括以下几个方面:(1)故障具有多样性和复杂性的特点,由于电力电子装置的构成复杂,故障可能发生在不同的部位和元件上,如功率半导体器件、电容器、电感器等。同时,故障的类型也多种多样,可能是开路、短路、参数漂移等,这些故障类型可能相互交织,增加了故障诊断的难度。(2)故障具有突发性和难以预测性,由于工作环境和运行条件的变化难以准确预测,电力电子装置的故障往往突然发生,难以提前预警。这要求故障诊断技术必须具备快速响应和准确识别的能力<sup>[2]</sup>。(3)故障还具有传播性和连锁性的特点,电力电子装置中的故障一旦发生,可能会通过电路、控制系统等途径迅速传播到其他部分,导致多个故障点同时出现。这种连锁性故障可能使得整个系统陷入瘫痪状态,对系统运行造成严重威胁。在表现形式上,电力电子装置故障可能表现为电压波动、电流异常、功率损失等现象。这些现象可以通过传感器和监测设备进行实时检测和分析,为故障诊断提供重要依据。

### 2.3 故障对系统运行的影响与损失

电力电子装置故障对系统运行的影响和损失是多方面的。(1)故障可能导致系统稳定性下降,电力电子装置作为系统中的关键部件,其故障可能导致电压波动、频率漂移等问题,影响系统的稳定运行。在严重情况

下,故障可能导致系统崩溃或停电,给正常生产和生活带来严重影响。(2)故障还可能造成经济损失,电力电子装置的维修和更换需要投入大量的人力、物力和财力,尤其是在大规模停电或设备损坏的情况下,经济损失更为显著。此外,故障还可能影响企业的生产计划和经济效益,给企业带来不可估量的损失。(3)故障还可能对社会和环境产生负面影响,例如,电力系统中的故障可能导致交通信号灯失灵、医院设备停机等严重后果,危及公共安全和社会稳定。同时,电力电子装置的故障也可能导致能源消耗增加和环境污染加剧,对环境造成不良影响。

## 3 电力电子装置故障诊断技术研究

### 3.1 基于信号处理的故障诊断技术

基于信号处理的故障诊断技术是通过电力电子装置在运行过程中产生的各种信号进行采集、分析和处理,以提取故障特征并实现故障定位的技术。这种方法凭借其直观性和实时性,在故障诊断领域占据了重要的地位。(1)信号采集与预处理,信号采集是基于信号处理故障诊断的第一步,其目标是获取反映电力电子装置运行状态的各种信号,如电压、电流、温度等。采集到的信号往往包含噪声和干扰成分,因此需要进行预处理,包括滤波、去噪、平滑等处理,以提高信号的信噪比和可用性。预处理后的信号能够更好地反映装置的实际运行状态,为后续的故障特征提取和识别奠定基础。(2)特征提取与选择,特征提取是基于信号处理故障诊断的核心步骤,旨在从预处理后的信号中提取出能够反映故障状态的关键信息。这些特征可能是信号的统计量、波形参数、频谱特性等。在特征提取过程中,需要充分考虑电力电子装置的特点和故障模式,选择适合的特征提取方法。同时,还需要进行特征选择,从众多特征中挑选出对故障识别最为有效的特征,以提高诊断的准确性。(3)故障模式识别与定位,在提取出有效的故障特征后,需要进行故障模式识别与定位。这通常是通过建立分类器或识别模型来实现的。根据提取的特征,分类器可以判断装置是否处于故障状态,并进一步确定故障的类型和位置。常见的分类器包括阈值比较、聚类分析、机器学习模型等。通过选择合适的分类器和优化模型参数,可以提高故障识别的准确性和可靠性<sup>[3]</sup>。

### 3.2 基于中频电源设备的故障诊断技术

随着中频电源设备技术的快速发展,其在电力电子装置故障诊断领域的应用也日益广泛。基于中频电源设备的故障诊断技术通过利用机器学习、深度学习等算法对装置运行状态进行学习和分析,实现故障的智能识

别和预测。(1)神经网络在故障诊断中的应用,神经网络是一种模拟人脑神经网络结构和功能的计算模型,具有强大的非线性映射能力和学习能力。在电力电子装置故障诊断中,神经网络可以通过训练学习装置的正常状态和故障状态,之间的映射关系从而实现故障的识别。常见的神经网络包括BP神经网络、卷积神经网络(CNN)等。通过优化神经网络的结构和参数,可以进一步提高故障诊断的准确性和效率。(2)深度学习在故障诊断中的实践,深度学习是机器学习领域的一个重要分支,它通过构建深度神经网络来模拟人脑对数据的逐层抽象和处理过程。在电力电子装置故障诊断中,深度学习可以实现对海量数据的自动学习和特征提取,从而发现隐藏在数据中的故障信息。常见的深度学习算法包括自动编码器、循环神经网络(RNN)等。通过深度学习算法的应用,可以进一步提高故障诊断的准确性和可靠性。(3)支持向量机及其他方法的应用,支持向量机(SVM)是一种基于统计学习理论的机器学习方法,具有良好的分类和泛化能力。在电力电子装置故障诊断中,SVM可以通过构建分类超平面对故障模式进行分类和识别。此外,还有一些其他的中频电源设备方法也被应用于故障诊断中,如决策树、随机森林等。这些方法各有特点,可以根据具体的应用场景和需求进行选择和优化。

### 3.3 综合性故障诊断技术的研究与应用

故障预测与健康管理技术(PHM)在电力电子装置的综合性故障诊断技术中占据着举足轻重的地位。在电力系统运行过程中,电力电子装置的可靠性和稳定性是至关重要的。传统的单一故障诊断方法在面对复杂多变的故障模式时往往力不从心,而PHM技术的出现则提供了更加全面和深入的诊断解决方案。(1)多种诊断方法的融合为PHM技术的发展奠定了基础。通过将信号处理技术、中频电源设备方法等多种诊断手段相结合,PHM技术可以实现对电力电子装置故障的精准识别和快速定位。例如,利用信号处理技术对装置的电压、电流等信

号进行特征提取,然后将其作为中频电源设备模型的输入,通过模型的深度学习和推理,可以实现对故障类型的准确分类和预测。这种融合方法充分发挥了各种诊断方法的优势,提高了诊断的准确性和可靠性。(2)远程在线诊断技术的应用为PHM技术的发展注入了新的活力。随着物联网和云计算技术的快速发展,构建远程诊断平台已成为现实。通过该平台,可以对电力电子装置进行实时监测和故障诊断,突破了地域限制,实现了快速响应和资源共享。这种技术的应用不仅可以提高故障诊断的效率和准确性,还可以降低维护成本,提高电力系统的整体运行效率。(3)PHM技术在故障预测与健康管理方面的应用为电力电子装置的维护管理提供了有力支持。通过对装置运行数据的收集和分析,PHM技术可以实现对设备健康状况的实时评估,预测潜在故障的发生,从而提前制定维护策略。这种技术的应用可以帮助维护人员更好地了解设备的运行状态和性能变化,及时发现并解决潜在问题,避免故障的发生对电力系统造成不良影响。

### 结束语

本文深入研究了电力电子装置故障诊断技术,通过多种方法的应用,不仅提高了故障诊断的准确性和可靠性,还为电力系统的稳定运行提供了有力保障。未来,随着电力电子技术的不断进步和智能化程度的提高,故障诊断技术也将持续创新与发展。我们期待更多的研究者和工程师能够投身于这一领域,共同推动电力电子装置故障诊断技术向更高效、更智能的方向发展,为电力系统的安全可靠运行贡献更多的智慧和力量。

### 参考文献

- [1]张涛.基于中频电源设备的电力电子装置故障诊断系统研究[J].电子技术应用,2020,46(12):16-20.
- [2]王刚,马丽.电力电子装置健康管理与故障预测技术研究[J].电力系统自动化,2021,45(15):90-97.
- [3]刘华,陈明.基于信号处理的电力电子装置故障诊断方法[J].电子测量与仪器学报,2022,26(3):23-29.