

## 科研成果

## 新型组串式逆变器控制系统中的故障诊断与智能维护研究

李胜利 龚韬

(北京京能清洁能源电力股份有限公司内蒙古分公司 内蒙古呼和浩特市 010000)  
(京能浑源清洁能源有限公司 山西省大同市浑源县 037400)

摘要:随着太阳能光伏发电技术的迅速发展,逆变器作为太阳能光伏系统中的关键设备,发挥着将直流电转换为交流电的重要作用。而新型组串式逆变器作为一种新兴的逆变器技术,具有较高的效率、可靠性和灵活性,已经在太阳能光伏系统中得到广泛应用。然而,随着逆变器设备的规模越来越大和复杂度的增加,逆变器系统的故障诊断和维护变得更加重要。本文旨在研究新型组串式逆变器控制系统中的故障诊断与智能维护策略,通过对故障诊断方法和智能维护策略的分析和研究,提出一套有效的故障诊断与智能维护体系,为新型组串式逆变器的运行和维护提供技术支持。

关键词:新型组串式逆变器;控制系统;故障诊断;智能维护

## 一、引言

随着能源危机和环境问题的日益严重,可再生能源的开发和利用已经成为全球发展的必然趋势。太阳能作为一种清洁、可再生的能源,其光伏发电系统在国内外得到了广泛的应用。其中,组串式逆变器作为光伏发电系统中的核心组件,其性能和稳定性对整个系统的运行效率和可靠性具有重要影响。新型组串式逆变器控制系统在提高发电效率、降低维护成本等方面具有明显优势,因此,对其故障诊断与智能维护的研究具有重要的理论和实际意义。

## 二、新型组串式逆变器控制系统概述

### (一) 新型组串式逆变器概述

新型组串式逆变器是一种集中了传统组串式逆变器优点并与现代电力电子技术相结合的高效电力转换设备。它主要由多个逆变单元组成,每个逆变单元负责将一组光伏电池板产生的直流电转换为高质量的交流电。与传统的组串式逆变器相比,新型组串式逆变器在结构上更加紧凑,功能上更加多样,控制上更加智能化<sup>[1]</sup>。

### (二) 新型组串式逆变器控制系统特点

1、高可靠性:由于多个逆变器并联工作,当一个逆变器故障时,系统不会完全停止运行,而是自动切换至其他正常工作的逆变器,保证系统的稳定运行。

2、高效率:新型组串式逆变器控制系统采用集中式控制器进行统一管理和控制,可以实时监测系统的运行状态,调整逆变器的工作模式,提高系统的运行效率。

3、智能维护:新型组串式逆变器控制系统具有自动诊断和报警功能,在逆变器故障时可以及时发出警报,并提供详细的故障信息,方便维护人员进行故障排除。

### (三) 新型组串式逆变器工作原理

新型组串式逆变器将多个光伏组串的直流电压进行串联或并联后输入到逆变器进行转换,通过 PWM 控制技术将直流电转换为交流电输出给电网。逆变器控制系统根据不同组串的工作状态和输出功率需求,调节各个 MPPT 追踪器的工作参数,实现对各组串的独立控制。逆变器控制系统还通过通信接口与监控系统进行数据交互,实现对系统运行状态的远程监测和故障诊断。

## 三、新型组串式逆变器控制系统中的故障诊断策略

### (一) 参数性故障的检测与定位

逆变器的正常运行时,测量各个参数,然后进行故障定位。在这里我们对一个电压表模块、主控芯片以及输出电路都要做详细介绍。电压比较器发生故障后首先检测其输入端的高低电平并将它转换为数字量送入单片机中作为判断是否可以工作继续观察,没有问题之后再行测试路子的好坏。如果出现异常,则重新启动变压器模块进行测量,直到找到是哪个参数才算正常运行才能再次对逆变电源输出电流信号。

### (二) 故障诊断的实时性与准确性评估

1、在逆变器的整个工作过程中,从开始启动到结束一直有很大一部分是由于各种原因导致。而这些故障都会引起一定程度上的输出结果信号变化,如果将所有可能性因素进行分析和判断的话将会影响最终所需要达到理想效果。所以对系统来说非常重要的是能够准确无误地区分出正常状态下、故障点以及控制策略等相关部件之间出现的联系,这样就可以降低整个逆变器运行时发生错误与失误带来的不良后果<sup>[2]</sup>。

2、在逆变器所使用的控制方式中,电压、电流信号以及功放输出都是连续不断变化的,所以可能会出现一些误差。但是通过对这些采集到数据进行分析和处理之后我

们可以发现,其中 DMA 是一个非常完善并且实用性很强得模型。它把采样、滤波还有二次谐波三个步骤合理地结合在一起形成了完整且稳定度很高而且实时监控并调整量比较小的电压在线监测控制系统,同时还能够动态显示测量出来的瞬时功率以及相位差等各种参数值。

### (三) 基于模型的故障诊断方法

1、在逆变器中,由于各种干扰信号的影响,可能会导致组态仿真出现错误。所以我们需要建立一个模型来预测这种情况,首先要对故障进行建模然后用模块化方法将这些子类整合到一起可以单独观察和分析这类事件过程的变量域序列里去。之后再根据基本假设以及相关函数关系式得到各个单元是否正常运行及各部件之间如何工作状态下其参数传递路径,从而判断逆变器中所使用的虚拟仪器设备内部结构是否完整、有序。

2、通过对逆变器中的双母控制电路进行仿真,可以看出该开关器件工作在一个特定的时间内,但整个周期为 2 毫秒到 3 毫秒不等。因此我们就能够根据此规律来决定是否采用状态检修方法,这种故障诊断方法是一种将状态变量与输入电压信号作向量积神经网络分析后建立起一个数学模型然后对其逆变器拓扑结构和运行方式进行优化处理,从而达到快速准确地做出判断的目的。

3、在逆变器中间器件的工作过程中,由于其结构比较复杂,所以,一旦出现了故障后需要进行现场数据采集。通过人工对电路参数和信号输出结果来判断开关管是否损坏,这种方法虽然简单易行且能保证稳定性、可靠性较高但是成本很高而且效率也不高。而利用计算机技术就能够快速准确地找到相关部件并将它区分开从而大大提高逆变器的运行性能以及工作频率达到一个新水平,同时还减少了大量人力资源投入到系统中造成环境污染和经济浪费。

### (四) 基于数据驱动的诊断方法

1、数据驱动顾名思义就是对逆变器的工作原理进行分析,然后将其输出到 A/D 转换之后,再经过相应地处理就可以得到需要的电压、电流信号。在组串式 PLC 控制系统中主要负责的是采集模块和控制两个部分,采样电路,它是整个系统中最核心也最为重要之一并且功能比较强,数据驱动顾名思义就是利用了传感器来对输入量进行测量,然后通过模拟或者数字这种方式将其转换成相应的输出通道<sup>[3]</sup>。

2、数据驱动顾名思义就是通过对采集到的信号进行分析从而得到结论,在组串式逆变器故障诊断中,由于参数之间没有联系,因此需要采用多个输出通道将采样结果整合起来。然后利用模块化结构把输入电压转换成电流或电压值变化后产生转矩和方波用来进行动力支持下一

步计算控制电路的工作,这样就可以提高数据驱动设备对系统运行状态的监控精度以及可靠性。

3、数据驱动方法是通过各种传感器采集到的电信号,再对这些数据进行处理,将结果输出于液晶上。在组串式逆变器故障诊断中显示有很多不确定性因素,首先需要测量模块获取电路并观察电容电压变化情况。然后根据公式算出电流值和电压、功率三大类数值来判断是否为正常工作状态下所需要的波形类型及幅位数等参数;其次要通过对程序控制使其向主控芯片发送指令,从而实现数据驱动的方法。

### (五) 基于信号处理的故障诊断方法

1、在逆变器的输出电压出现异常时,会导致直流侧电流很大,这时就需要对逆变电路进行故障诊断了。通常情况下这种方法是通过将开关断开后直接判断是否有高压电子负载,如果检测到正常状态则说明基波频率不稳定或者存在短路现象。反之当发现无功功率或过低拍现象发生之后又可以继续上电的时候使用即可进一步确定电压出现异常并发出告警信号,从而有效地保证逆变器输出直流侧电流处于良好数值范围内。

2、在逆变器的输出电压中,当直流母线产生短路或过载时,会引起输出电流过大。这种情况下我们一般采用对开关管的补救措施,如果出现不正常泄放故障信号后(如发生断电)并没有恢复供电系统和输入保护装置工作状态下,而导致整个逆变电源停止继续运行了一段时间之后才能够进行处理故障以防止芯片内部损坏从而影响其他模块使用;当开关断开时,通过一定时间内整定电流得到的电压与实际输出功率相同。

### (六) 基于人工智能的故障诊断方法

1、在逆变器的输出端利用人工神经网络进行自动学习,使之能够识别,然后将所得到的结果反馈给主控机。通过对数据流分析判断是否有异常状态发生,如果出现这种情况就立即停止运行并采取相应措施来解决这个问题。若仍没有异常时继续保持系统原有工作模式不变即可直接采用故障自诊断功能,或在线监测模块接受来自现场高精度实时告警机制和自动处理算法中进行快速、紧急性故障报警的方法<sup>[4]</sup>。

2、用计算机代替了传统的故障诊断方法,提高了组串式逆变器设备中主处理器对数据运算处理能力,同时又能保证在发生异常情况时整个系统不会因为某个模块出错导致整体运行停滞。这种方式是利用网络技术来完成组串并网和逆变输出正弦值,通过网络接口与单片机连接。这样一个完整的通讯链路由一台或多台服务器构成,当出现故障后只需要将本地计算机拖到另一台或母线上继续传送信息以作为备用。

3、在逆变器的工作环境下,由于外部干扰和各种噪音会使逆变输出不稳定,所以需要可能对可能产生错误信号进行有效地滤波。常用的方法有两种即采用傅里叶变换、相位余弦分布以及小比例因子法。其中通过大量实验数据表明发现了一个由低频引起脉冲宽度调制而具有全局精度最高的是幅度较高幅值的正激式开关电源,该开关管可以满足逆变器直流电压稳定与高频稳压特性要求。

#### 四、新型组串式逆变器控制系统中的智能维护策略

##### (一) 基于数据驱动的预测性维护

1、数据驱动的预测性维护是指对逆变器开关管开通故障之后,利用采集到的大量现场报文信息进行分析,从而得出判断结果。通过这些检测得到了很多有价值有效信息,然后再经过一系列处理后就可以为系统提供准确、可靠地运行参数。这种方法也能在一定程度上提高效率减少投资费用和维修成本,还有一个很重要的是它还能帮助我们预测未来输出功率以及输出电压值之间可能存在可能出现的问题并给出解决办法(EBQ等)。

2、数据驱动的预测性维护主要是对逆变器输入和输出进行实时监测,通过改变主控芯片采集到的当前电压或电流信号,从而判断故障类型。这种方法需要使用高性能A/D转换电路来实现,在这一过程中必须利用专用采样通道用来完成外部设备之间串扰与内部网络通信协议之间存在延时问题。另外为了解决多台数据驱动软件构成复杂、系统价格昂贵等,还可以采用分布式控制策略组成双端数控系统以满足成本低廉的优点等<sup>[9]</sup>。

##### (二) 基于模型驱动的智能维护方法

1、在逆变器的维护过程中,故障现象是比较常见且复杂,但是往往会造成严重后果。所以对系统进行状态诊断与监测成为了一种必然要求,通过状态参数和错误检测概率之间的关系可以判断出整个系统是否存在Bug或者CJDrac误报警信号等问题发生。如果发现异常情况出现则需要及时做出相应处理并将其控制在正常范围内或是故障类型为硬件故障还是软件部分都会导致整体逆变器继续运行,从而实现逆变电源进行有效保护。

2、在组串式逆变器故障诊断与智能维护的过程中,通过对电路参数和工作状态进行采集,并将数据转换后输入微处理器。然后经单片机处理分析的电流、电压值及开关量等信号来驱动继电器。通过控制输出模块上有档位开关断开或者切换主控板有无相应按键动作实现了逆变系统电源模块,以及其他设备功能区之间相互联系与配合作用能够更好地保护供电系统安全稳定运行也保证了整个工业生产过程中经济性。

3、在整个逆变器的保护过程中,由于各种复杂的外界环境和内部故障,导致了保护系统不能够稳定工作。而通

过对各个模块输出电压信号进行采样、转换后得到所需数据并显示波形以及给出相应开关状态。然后根据这些数据经过计算就可以判断出是否出现逻辑错误,或者是发生其他异常情况(如断开电路或跳闸)等现象来保证整个逆变器都能正常的运行甚至切除掉所有故障,从而确保了整体系统能够稳定工作在额定值之上。

##### (三) 基于人工智能的智能维护方法

1、智能维护是指对可能发生的故障(包括硬件损坏、软件程序错误)进行分析,判断出并确定设备出现问题时是否会使机器停止工作。AWD及其控制策略,这种方法主要针对的是小信号注入型和大电压稳定输出电路。在实际应用中应根据实际情况决定采用哪种方式来实现组串式逆变器的功能,而对整个网络拓扑结构也要有一定程度上的优化升级,以便满足不同类型、规模下设备运行要求及后期系统扩展需要<sup>[6]</sup>。

2、神经网络是一种非常有前途的新技术,它能够自动完成人脑的思维、数据处理和知识发现,可以大大提高计算机系统处理能力。在线监测,这是最基本也是最有效的方法来对传感器输出进行检测,通过对采集到信号波形分析后得到所需结果然后再将结果应用于实践则可有效减少故障发生概率及影响程度,使整个维护工作量和成本达到最低化效果的一种技术手段。

3、智能维护技术是在传感器故障后,对逆变器进行的自动保护。这种方法可以解决传统的组串式电源中常见问题,当出现异常情况时通过人工干预和判断电路是否正常工作来排除并处理掉不必要地模块造成损失。然后根据这些参数值与系统初始状态下设定好程序窗口参数相互比较得到需要检查或改变哪些功能,从而实现整个过程所需控制量,再对逆变器进行故障诊断及远程维护操作。

##### (四) 故障预测与健康管理的

1、在逆变器的正常运行中,可能会出现一些故障,但是并不会影响整流器输出电压数值。所以可以利用DMA总线技术对逆变电源电路模块进行监测,首先要检测开关管是否有断路以及导通情况;其次判断有无短路或者开合,然后将这些数据上传到数据库里存入本地软件设定好的参数和用户事先设置好的值中输入内存里面去运行系统;最后通过串式网络分析得到正常状态下整个保护装置输出电压数值。

2、在整个组串式逆变器的故障诊断与健康管理中,首先需要逆变电路进行检查,包括:断路器开合失、短路过顺区等。其次是确定是否有短接或者接触不良导致开关跳闸,如果存在这些问题将会影响到电源模块产生误动作。所以要想成功地运行一次工作就必须对其进行监

测和分析处理并建立相关模型,以方便接下来的仿真测试过程中可以快速准确的定位逆变电路以及故障部位。

#### (五) 维护计划的优化

1、逆变器的正常运行是非常重要的,所以我们要对它进行有效地维护,这样可以减少不必要麻烦。在实际使用过程中经常会出现一些故障需要维修时不能及时停机,因此为了保证系统能够安全稳定工作和延长其功能寿命、使整个网络电路板更加美观化就要实时动态调整 ECU 软件。另外还要不断检测仿真结果及测试数据并分析原因以改进程序的设计方法来提高 PCB 图上运行效率,从而达到减少逆变器误动作率,改善网络性能的目的。

2、在逆变器的实际运行中,由于各种外部环境和内部故障都可能导致输出电压不稳定,所以需要对系统进行保护。而逆变电源是一个非常复杂的过程,因此我们要通过使用模块化设计方法将整个维护工作细化为各个子功能来实现系统之间数据交换以及通信方便。这样就可以减少大量人力、物力资源同时降低整体成本提高效率使其变得更加容易操作让其更简单结构越完善越好控制效果越来越明显,最终达到满足用户需求为目的<sup>[7]</sup>。

#### (六) 智能维护系统的实现与验证

1、在组串式逆变器故障诊断与监视的过程中,通过对逆变桥输出电压进行实时监测,然后将检测到的数据分析出相关逻辑信息是否存在。同时根据电路板上相应模块所对应参数值来判断系统能否正常工作,当需要改变 PWM 脉冲宽度调制芯片、控制单元以及执行元件等硬件设备时。在组串式逆变器故障诊断与监视过程中,通过对整个装置各个部分运行状态进行实时监测和观察。

2、在组串式逆变器故障诊断与智能维护的实验中,使用了模块化结构,可以将传统电路分成不同部分,然后通过调试和测试程序来验证此技术是否能达到要求。对于 AD 采样这种工作模式下比较稳定的电压变化方式来说是很困难进行检测出来的结果,而且由于信号处理过程存在复杂性导致数据出现波动情况也可能会在控制端有所体现出而造成误差较大现象发生,所以必须要有一个能够准确测量误差范围最小化系统才能保证对其精确性、准确性和稳定性。

#### (七) 智能监控与诊断技术

1、组串式逆变器主控电路的正常运行是由采集模块来完成,但是由于外界环境中存在一些干扰信号,会影响数据传输过程和系统误报率,因此需要对输入电压进行实时监测。通过组串变压器将模拟量转换为数字量后送

入单片机处理器,然后经过定时阀门切换到断开开关状态、断路调节切换至关停模式、闭合开关的全通全截止以及关闭主保护电路等一系列操作来保证逆变器能正常运行。

2、在使用组串式逆变器的过程中,发现故障会影响整个系统,可能是一些重要模块出现了问题。通过观察和研究这些特殊功能芯片并把它们集成到同一个芯片中,然后使用专用集成电路来监控发生故障的组件是否正常工作。如果检测出来有异常现象则需要进行紧急处理或者是对数据做进一步分析记录以备不时之需而非做出决定性动作,再将所有模块组合起来形成一个完整的 WMU,从而提高整个系统运行效率和可靠性<sup>[1]</sup>。

#### 五、总结

本文针对新型组串式逆变器控制系统中的故障诊断与智能维护问题进行了研究,分析了故障诊断策略包括参数性故障的检测与定位、基于模型、数据驱动、信号处理和人工智能等方法;智能维护策略包括基于数据驱动、模型驱动、人工智能、故障预测与健康管理和维护计划的优化等方法。通过深入探讨故障诊断与智能维护技术,可以提高逆变器系统的运行效率和可靠性,为太阳能光伏发电系统的发展提供支持。

#### 参考文献:

- [1]于心宇,辛凯,刘方诚.组串式逆变器的控制方法,控制器,逆变器及逆变系统.CN201810621957.6[2024-03-26].
- [2]王愚,李绍坚,黄增柯,et al.基于卷积神经网络的 UPS 系统逆变器故障诊断研究[J].电工技术,2023(6):161-166.
- [3]贾建坤.基于小波分析的动车组牵引逆变器故障诊断研究[J].中国铁路,2023(8):117-125.
- [4]陈沛然,宋辉,张建伟,等.组串式光伏逆变器的控制装置:CN202223149706.3[P].CN219204084 U[2024-03-26].
- [5]刘华东,窦泽春,姜耀伟,等.一种组串式光伏逆变器系统及电子设备:CN202111274797.0[P].CN202111274797.0[2024-03-26].
- [6]赵龙,罗劼,张林江,等.光伏逆变器接地故障控制电路及一种光伏逆变器系统:CN202121188100.3[P].CN216215885U[2024-03-26].
- [7]谭霄.一种大容量组串式逆变器的连接结构:CN202222653802.5[P].CN218733940U[2024-03-26].