

[变频器]

基于小波分析的高压变频器功率单元故障检测方法

文/张林
首钢长治钢铁有限公司

为控制提取故障特征的冗余度，实现对变频器功率单元故障的精准检测，引进小波分析技术，以某高压变频器为例，对其功率单元的故障检测方法展开设计与研究。对比实验结果表明：设计的方法可以在降低单元故障特征冗余度的基础上，实现对待检样本数据集中故障数据数量的正确统计。

据相关部门调研数据显示，在一些电厂中，大约有10%的电力被用来驱动电动机、变频器做功，而且这些电动机大多是大功率高压交流电动机，由于变频器都是直接以恒速拖动的，因此在运行中也存在着能量浪费和运行调节等问题。在此种条件下，针对电厂的循环水泵和风机等大功率感应电动机，按照工作条件，对其进行变频调速是一项十分有必要的工作。在变频调速技术不断发展的背景下，高压变频器以其高效率、低损耗和良好的制动特性而越来越多地应用于工业生产中。特别是在“入网”过程中，高压变频器更是起着举足轻重的作用。一旦变频器在运行中出现故障，不仅会对电力系统的正常运行和安全造成巨大的危害，还会在一定程度上对电力运营方造成经济层面损失。根据有关数据，目前高压变频调速装置中大功率装置的故障时有发生，但目前大功率装置的故障诊断水平却相对较低。对高压变频调速装置的常见故障进行诊断是一项非常有价值的工作。传统的高压变频器功率元件故障诊断方法有一些局限，一般都会出现诊断过程比较麻烦，而且所提取出来的故障特征的冗余程度比较高等问题，导致高压变频器功率元件故障诊断时间较长。为解决此方面问题，本文将在此次研究中，引进小波分析技术，以某高压变频器

为例，对其功率单元的故障检测方法展开设计与研究，旨在通过此次设计，实现对高压变频器故障的及时感知与快速处理，提高电网运行的规范性与连续性。

基于小波分析的高压变频器功率单元信号分解

为满足高压变频器功率单元故障检测需求，设计方法前，引进小波分析技术，进行变频器功率单元信号的分解。在此过程中，在高压变频器接线端接入电压、电流检测装置，采集变频器功率单元信号。将信号录入计算机后，在其中掺入细节信号与逼近信号，通过对不同尺度信号的处理与滤波处理，初步实现对信号中噪声的处理。处理中，设定信号的原始序列，先使用低通滤波器进行信号初步滤波，再使用高通滤波器进行处理后信号的细部排查。公式为

$$h_j(z) = h(z^2(j-1)) \quad (1)$$

$$g(z) = h_j(z) \cdot g(z^2(j-1)) \quad (2)$$

式中， h 表示低通滤波器； z 表示高压变频器功率单元信号原始序列； j 表示滤波处理次数； g 表示高通滤波器。

在完成处理的信号中插入细节信号，进行信号小波尺度的分解，公式为

$$\gamma_j(z) = g(z)\lambda_{j-1}(z) \quad (3)$$

式中， γ 表示高压变频器功率单元信号分解； λ 表示插入的细节信号。

按照上述方式，完成基于小波分析的信号分解处理。

高压变频器电压信号中故障特征提取

完成上述设计后，根据信号通频区间内的频繁信号局部化特征，进行高压变频器电压信号中故障特征的提取。在此过程中，考虑到通频区间内的信号中可能存在突变信息，因此，可以采用小包分解的方式，进行高压变频器连接线路中信号包络的提取。提取过程中，为排除相关因素的影响，应对高压变频器在运行过程中输出单元信号电压形式进行解析。公式为

$$G(t) = E(t) + \gamma_j(z) + j\hat{E}(t) \quad (4)$$

式中， $G(t)$ 表示高压变频器在运行过程中输出单元信号电压形式的解析处理，其中 t 表示采样时刻点； $E(t)$ 表示高压变频器在运行过程中输出的电压信号； $\hat{E}(t)$ 表示小波转换处理后的高压变频器电压信号。

根据上述公式的计算后，进行信号中幅值的解析与提取。公式为

$$A(t) = \sqrt{G^2(t) + E^2(t) + \hat{E}^2(t)} \quad (5)$$

式中， $A(t)$ 表示在 t 时刻点下的信号幅值。

在此基础上，利用小波分析得到的包络线振幅，实现了对电压信号中包络线的提取。在此过程中，为排除相关因素对其故障特征熵提取过程的影响，按照时间轴序列，将电压包络信号进行平分，将其平分为若干等分。公式为

$$B(i) = A(t) / \sum_{i=1}^N G(i) \quad (6)$$

式中， B 表示电压包络信号的平分处理； i 表示第 i 个等分； N 表示划分数量总数。

完成对高压变频器电压包络信号的处理后，对每一个平分的区段按照式（5）进行信号幅值的提取，以此种方式，实现对高压变频器电压信号中故障特征的提取。

故障信号处理与单元故障检测

考虑到故障信号的来源与表现形式具有多样

性，为避免由于信号的多样化表达影响故障检测结果，按照下述计算公式进行故障信号特征的集中处理

$$J = -\sum_{i=1}^N G(i) \ln B(i) \quad (7)$$

式中， J 表示故障信号特征的集中处理。

在此基础上，采用SVM方法对高压变频器电力系统中常见的故障进行诊断。在应用SVM进行故障诊断时，需要构造多台SVM，采用“一对多”的策略，使故障模型数目和SVM的故障分类器数目相同。故障诊断与检测中，将处理后的故障信号作为测试数据。为消除信号中无量纲的影响与干扰，还应测试数据进行统一化处理。处理后，根据高压变频器功率单元故障类型，构建基于支持向量机的故障检测器。将测试数据录入故障检测器，对测试数据进行训练，以此种方式，实现故障数据与故障类型的高度适配。基于此，实现故障信号处理与单元故障检测，完成基于小波分析的高压变频器功率单元故障检测方法设计。

对比实验

完成基于小波分析的功率单元故障检测方法设计后，为实现对该方法应用效果的检验，选择某地区大型电力生产单位作为实验参与对象。实验前，为排除相关因素对实验结果的影响，对所选的高压变频器基本技术参数进行分析，具体内容见表1。

表1 高压变频器在运行中的基本技术参数

序号	项目	参数
(1)	一次电压/kV	10
(2)	次电压/kV	0.4
(3)	空载损耗/W	380
(4)	负载损耗/W	2 800
(5)	短路阻抗/%	4.5
(6)	空载电流/%	0.7
(7)	相数	三相
(8)	频率/Hz	50
(9)	冷却方式	油浸自冷
(10)	功率/kW	200
(11)	型号	s11-200 kV·A
(12)	类型	油浸式变压器
(13)	品牌	晟致电力

完成上述相关内容的设计后，明确本文研究的变压器中，共设计四个功率单元，根据变频器的高

功率运行需求，对应的功率单元设定运行频率均为3 kV。为实现在实验中对功率单元的划分，对其进行标号，表示为GL-1~GL-4。由于GL-4的故障表现较为频繁，因此，在与相关技术人员商定后，获取GL-4在运行中产生100组数据。统计数据，在数据集合中，筛选其中800组数据作为测试数据，另外200组数据作为训练数据。对测试数据进行迭代处理，以此种方式，进行高压变频器功率单元的故障检测。

为满足检测过程中相关工作的具体需要，使用本文设计的方法进行检测。检测时，先引进小波分析技术，对高压变频器功率单元信号进行分解。同时，提取高压变频器电压信号中故障特征，最后，通过对故障信号的处理与单元故障的检测，完成本文方法在测试环境中的应用。

在此基础上，引进基于馈线功率的功率单元故障检测方法、基于机器学习算法的功率单元故障检测方法，将其作为传统方法1、传统方法2，使用三种方法，进行高压变频器功率单元故障检测。检测过程中，将三种方法提取的高压变频器功率单元故障特征冗余度，作为检验该方法在实际应用中效果的关键指标。冗余度越高，说明故障检测结果中携带的错误结果越多；反之，单元故障特征冗余度越低，说明检测结果准确度越高。以此为依据，记录并统计不同实验数据组数下的冗余度测试结果，如图1所示。

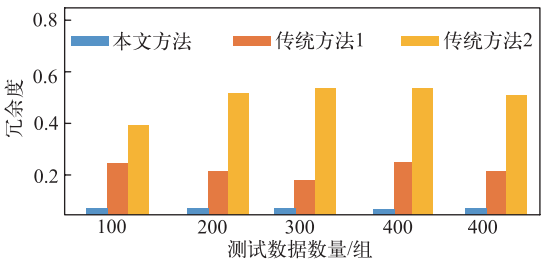


图1 故障特征提取后的冗余度检测结果

综合图1中的内容：使用本文方法进行高压变频器功率单元故障特征提取，提取后的特征冗余度极低，而使用传统方法进行高压变频器功率单元故障特征提取，提取后的特征冗余度相对较高。由此可见，三种方法中，使用本文方法进行故障检测，检测结果准确度相对较高。

完成上述测试后，按照规范划分高压变频器功

率单元故障类型与测试数据集合中的实际待检样本数量，用三种方法，进行待检样本数据集合中故障数据数量的检测与诊断，通过此种方式，统计实验结果，相关内容见表2。

表2 高压变频器功率单元故障类型划分与正确诊断故障数量统计

故障类型	待检样本数据集合中故障数据数量/个	本文方法正确诊断故障数量统计/个	传统方法1正确诊断故障数量统计/个	传统方法2正确诊断故障数量统计/个
光纤故障	6	6	5	7
单元通信故障	12	12	10	11
直流母线欠电压故障	18	18	15	18
单元输入缺项故障	22	22	20	21
直流母线过电压故障	14	14	11	13
单元过热故障	17	17	16	18
单元驱动故障	9	9	8	9
熔断器故障	8	8	8	6
绝缘功率管故障	12	12	10	11
外部短路故障	9	9	8	9

从表2所示的实验结果可以看出，三种方法中，只有本文方法可以实现对待检样本数据集合中故障数据数量的正确检测，而传统方法无法实现对待检样本集合中所有故障数据数量的正确检测。综合上述结果可知，本文设计的基于小波分析的检测方法应用效果良好，按照规范进行高压变频器功率单元故障检测，可以在降低单元故障特征冗余度的基础上，实现对待检样本数据集合中故障数据数量的正确统计。以此种方式，为供电站中的高压变频器运行提供全面的技术保障。

结束语

随着国家对电厂运行管理要求的逐步提升，为满足国家电力发展过程中节能降耗的需要，以及对电厂经营管理和降本增效的要求，如何对大功率电动机进行节能控制，是一个迫切需要解决的现实问题。针对此方面问题，电力有关单位提出了使用变频器进行电力装置运行调频，但在变频器投产使用一段时间后，其频发的功率单元故障引起了运营管理部门的重点关注。针对此方面问题，本文在此次研究中，引进小波分析技术，以某高压变频器为例，通过高压变频器功率单元信号分解、高压变频

器电压信号中故障特征提取、故障信号处理与单元故障检测，完成了高压变频器功率单元故障检测方法的设计研究。完成方法设计后，通过对比实验证明了，本文设计的方法可以在降低单元故障特征冗余度的基础上，实现对待检样本数据集中故障数据数量的正确统计。**EA**

(收稿日期：2023-08-25)

参考文献

[1] 黄健. 1 kW地面数字电视发射机末级高频功率合成器的工作原理和常见故障实例检修维护方法[J]. 数字传媒研究, 2023, 40(3): 55-57.

[2] 贺世庚, 杨理斌, 喻锐, 等. 基于馈线功率的配电网对地参数测量与接地故障灵敏感知新方法[J]. 湖南电力, 2023, 43(1): 50-57.

[3] 郑州, 贾明军. Alphasonic 2000 PSC型船舶推进系统实际功率故障实例[J]. 航海技术, 2023(1): 41-43.

[4] 陈俊宏. 门机电控中编码器信号干扰的预防与处理——以一起信号干扰引起的变频器故障的处理为例[J]. 现代食品, 2022, 28(20):

18-20.

[5] 刘姝, 王鹤岩, 曹福毅, 等. 基于故障树分析法的风电机组变频器故障与可靠性研究[J]. 电气应用, 2022, 41(8): 61-68.

[6] 谭磊, 赵留学, 周恺, 等. 基于迭代退火算法的高压变频器功率单元频繁故障诊断方法研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2022, 18(4): 199-203.

[7] 胡闻嘉, 孟旭. 钻井平台升降系统变频器故障排查方式的探讨——上海振华重工(集团)股份有限公司[J]. 中国新通信, 2022, 24(7): 111-113.

[8] 王康兴. 散粮抓斗与门机变频器的控制关系分析——一起变频器故障导致门机抓斗动作故障的处理[J]. 现代食品, 2021, (18): 23-25.

[9] 肖遥遥, 沈煜, 杨帆, 等. 基于故障状态变量积分的级联H桥变流器功率单元开路故障检测[J]. 电网技术, 2021, 45(11): 4213-4225.

[10] 孟宪梁, 梁伟, 杨志, 等. 基于机器学习算法与SCADA系统的风电机组变桨系统变频器的故障预警方法研究[J]. 太阳能, 2021(2): 78-84.

