

「电网」

基于可拓原理的电力监控信号智能分析技术的研究

文/国网山东省电力公司潍坊供电公司 杨文佳 李玉志 王君安 吴金玉 晋 飞 杨君仁
国网山东电力调控中心 卢 恒

为有效预防和防止故障的发生，提出了基于可拓原理的电力监控信号智能分析技术，结合可拓原理及特点，建立了智能电网中的设备模型，利用FFT和小波两种方法对小波进行分析，开发设计了基于励磁系统的可拓综合故障诊断系统。

随着电网规模不断扩大和“大运行”体系建设的深入推进，设备监控运行人员的工作压力也日益增大，监控人员面临的运行压力主要包括：新增一二次设备时大量建模工作，信号接入验收中烦琐的数据校核工作，日常运维中对异常告警的快速响应和对电网故障的准确分析。利用现代工业自动化和计算机辅助分析技术，从电力系统模型逻辑关系和历史数据中挖掘出有效信息，在设备建模、信号验收、监控告警和异常分析等监控运行人员日常工作的各个环节中实现自动或半自动的解决方案和辅助决策，并提供数据支撑，从而减少人工工作量，提高电网运行的安全与稳定性。

基于可拓原理的信号分析及辅助决策方法，主要优点是不依赖于具体的数学模型，具有较为丰富、灵活的知识表达和问题求解能力，它可以充分发挥人类专家在诊断中根据知识和经验所进行的推理判断的能力，并可适合于各种场合的故障判别。

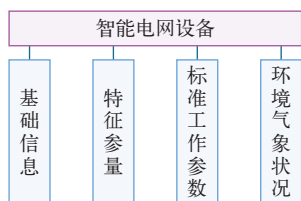
可拓学原理及特点

随着计算机科学技术的发展，人们从单纯的数据处理转向知识的管理和应用，相应的实现方式也由数据库技术转向知识库系统的构建和维护，然而目前多数知识系统或专家系统拥有的知识都是表层知识，无法解决深层次的复杂问题，

而可拓原理利用物元理论和可拓集合理论，为解决复杂问题提供了行之有效的处理各种知识并形成深层知识的规则和手段，为相关知识的整理、集成、变换并形成深层知识提供理论和方法，它为操作票的智能生成提供了理论基础，其物元表达方法，可以非常灵活地将各种电力知识进行组合形成电力调控领域知识库，同时系统采用可拓原理中的菱形思维模型求解操作票的智能生成，从而解决操作票智能生成这个复杂问题。

智能电网中设备模型的建立

在智能电网中，故障是指设备无法根据自身原有功能完成被分配到的规范任务。对设备情况的监控、判别和推断都是排除智能电网故障的有效方法，但这些方法最根本的目标都是将故障信号特征分离开来采集和分析。因此，对智能电网中故障信号特征的分离工作是重中之重，这标志着智能电网中鲁棒性和节能性这两种基础性性能是否能够被实现。建立稳定、节能的智能电网设备模型是实现故障信号特征分离的基础，能够有效加强所提智能电网中故障信号特征分离采集方法的信号清晰度以及峭度，符合设计初衷。因此，所提方法给出了如图1所示的智能电网设备模型，模型中涵盖了智能电网设备的基础信息、特征参量、标准工作参数以及环境气象状况。



基础信息是指智能电网设备的出厂信息，通常包括其自身的型号、制造日期、使用周期、内部结构图样和技术规范等，是设备的专有属性；特征参量是指能够衡量设备运转情况的评估项目，其分为额定和实际两种类型，包括电流、电压、热能和机械能等；标准工作参数是指设备运转最为稳定情况下的特征参量，标准工作参数并不是额定不变的，工作温度、压强、使用周期和操作是否符合标准均会影响到其具体数值；环境气象状况是指智能电网设备所处的工作环境和外界气象，环境气象状况是影响设备使用年限和工作能力的重要因素。

通过将智能电网设备的实际运行情况与上述模型给出的信息进行对比，能够较为容易地获取到智能电网中的故障信号，因此使用支持向量机对故障信号特征进行分离。

基于可拓综合评价的励磁系统故障特征信号分析

励磁系统是同步发电机的重要组成部分，其主要任务是向同步发电机的励磁绕组提供一个可调的直流电流（电压），控制机端电压恒定，满足发电机正常发电的需要。同时控制发电机组间无功功率的合理分配，保证同步发电机并列运行的稳定性，以满足电力系统安全运行的需要，对发电机的运行可靠性、经济性及其他特性有直接的影响。良好的励磁系统不仅可以保证发电机稳定和可靠运行，而且可以有效地提高电力系统及发电机稳定极限水平和运行技术经济指标。

在励磁系统的智能电力模块中，晶闸管开路、串接熔断器熔断和触发脉冲丢失等造成整流桥不导通的故障，又可称之为晶闸管故障。下面用可拓综合评价方法确定晶闸管断相故障的诊断，并将开发的故障诊断软件应用到了重庆西蜀电力设备有限公司的SG-III型励磁设备中。

1. 信号的FFT分析

静止励磁系统的功率输出级多是电压源—三

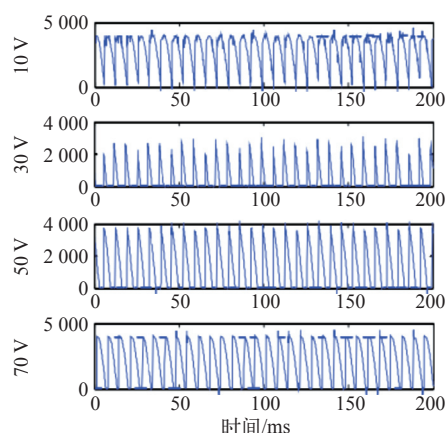
相全控整流桥。在SG-III型励磁设备中，也采用改种整流器。采集在励磁电压30 V的情况下的晶闸管正常情况下的波形与缺相情况下的波形为例进行分析。其波形和频谱如过时限信号在快速傅里叶变换（FFT）的情况下的频谱分析可以区别，正常信号在150 Hz的频率上出现最大幅值，而在断相的情况下的频谱在100 Hz的频率上出现最大值。但是仅采用傅里叶变换，只能判断整流桥是否出现断相的情况，不能判断到底是哪一相出现故障，这会给维护带来很大困难。所以还必须对信号进行进一步的分析和整理。

为了更好地分析不同电压状态下的信号特征，对采集正常情况和A相断相故障情况下不同励磁电压下的信号的波形和频谱进行分析，对于B相断相故障和C相断相故障的情况，可以类似进行分析。图2为正常情况下没有发生断相故障的波形和频谱图，图2表明，在正常情况4种不同电压下的主要频谱集中在150 Hz，以此作为正常信号的主要特征。图3是在A相断相故障情况下的3种不同电压的波形特征和频谱特征，在缺相故障下，通过试验和现场经验可知，该型励磁系统的励磁电压最多只达到46 V左右。图3中显示在缺相故障情况下，故障波形的主要频率主要集中在100 Hz。经过信号分析表明，在B相断相故障或C相断相故障的故障情况下，其主要频率也还是集中在100 Hz。通过图2和图3的分析表明，对信号进行FFT分析，仅能智能判断系统是否发生断相故障，但是对于整流桥到底发生哪一相故障，还需要对断相信号进行进一步分析。

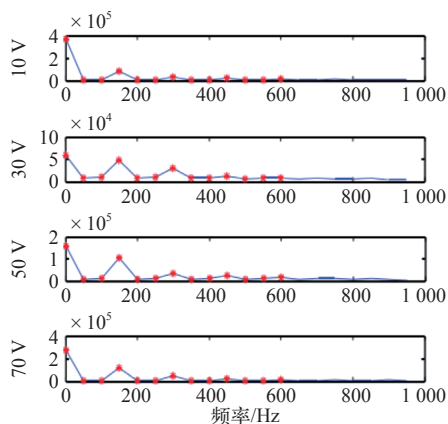
2. 信号的小波分析

从上述分析可知，如果用傅里叶变换，仅能区分整流桥是正常状态还是断相状态，不能判断系统哪一相出现故障。为了更好地判断哪一相出现故障，对3种信号进行小波分析，提取相应故障的不同频带信息。小波变换是一种信号的时间—尺度分析方法，具有多分辨率分析的特点，而且在时域和频域都具有表征信号局部特征的能力，是一种窗口面积固定不变，时间窗和频率窗都可以改变的时频局部化分析方法。

在小波变换中仅是对近似信号进行分解，而对于细节信号的进一步分解，则需要引入小波包变换（Wavelet Packet Transform, WPT）的思想。小波包对于信号高频部分的分解，解决了小波变换的高频低分辨率问题。图4为3层小波包分

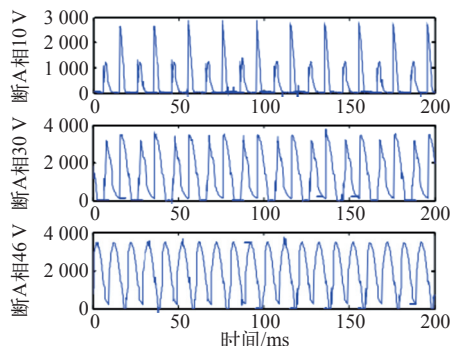


(a) 正常情况下不同电压的波形

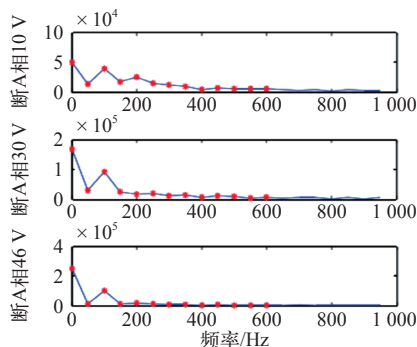


(b) 正常情况下不同电压的频谱

图2 不同电压的正常波形和频谱



(a) 断A相情况下不同电压的波形



(b) 断A相情况下不同电压的频谱

图3 不同电压的A相断相故障的波形和频谱

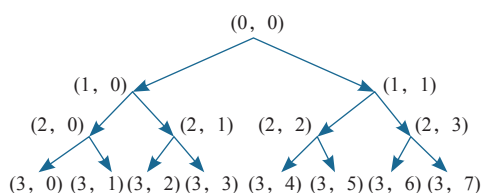


图4 小波包的3层分解树结构

解树。

在图4中,每层节点表示第*i*层的第*j*个分解,其中, $i=0,1,2,3$; $j=0,1,\dots,7$ 。每个节点代表一定的信号特征。(0, 0)代表原始信号*S*,节点(1, 0)代表小波包分解的第一层低频信号*X*₁₀,节点(1, 1)代表信号分解的第一层高频系数*X*₁₁,其他依次类推。

图5和图6分别为A相断相、B相断相、C相断相和正常情况下的波包分解后的重构信号,从图5、图6可以看出,在对信号进行小波包3层分解之后,共产生8个频带,并且每一个故障在不同频带下的能量都不一样,因此重构后信号的能量可以作为判断是否断相和哪相断相故障的特征。

仿真结果分析

按照上述算法,取励磁系统的晶闸管在不同状态下的信号进行分析,分别取晶闸管整流器在缺A相、缺B相、缺C相和正常状态下的励磁电压信号,进行小波包分析,提取不同频带的能量特征和阈值。首先给出正常状态下传感器采集的数据波形,建立正常状态下知识库,采取db1小波3层分解,分解所选取的嫡值,分别提取第三层从低频到高频的8个频率带的信号特征。

分别建立故障物元BAF、BBF和BCF,分别表示在故障励磁电压缺A相、缺B相和缺C相的故障物元。实时采集信号,确定不同频带的能量大小 $E_i=[0.919\ 7, 0.373\ 1, 0.088\ 0, 0.051\ 4, 0.048\ 6, 0.034\ 1, 0.023\ 0, 0.021\ 6]$ 。

建立评价物元,确定关联函数,关联函数选为

$$k_i(S_{i3j}) = \frac{\rho(E_{i3j}, E'_{i3j} \pm \Delta E_{i3j})}{D(E_{i3j}, E'_{i3j} \pm \Delta E_{i3j} R_0)} \quad (1)$$

$$\alpha(M_i) = \sum_{j=1}^7 W_{ij} k_i(S_{i3j}) \quad (2)$$

确定各故障信号各频带的权值,这里权值大小取为1/8。最后根据式(2)计算得到关联度为

$$K = -0.515\ 7$$

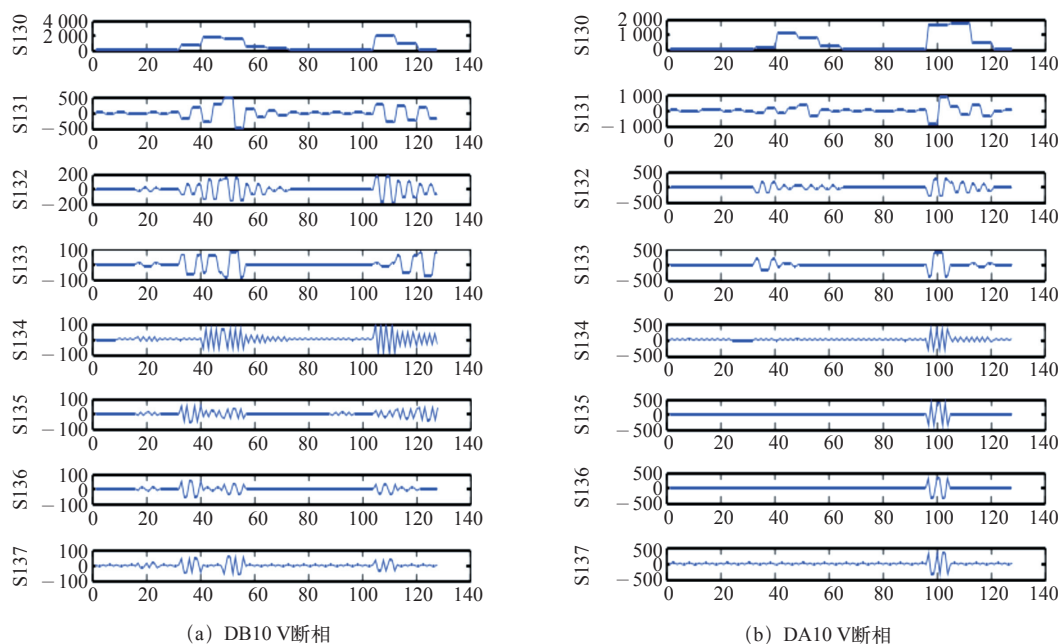


图5 A相断相与B相断相故障信号小波包分解

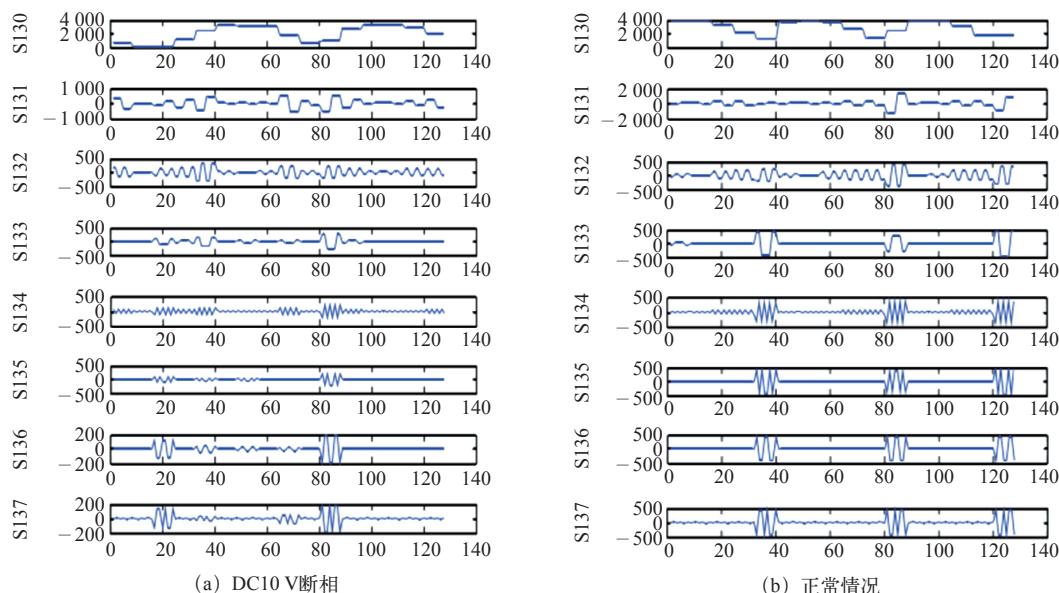


图6 C相断相故障与正常信号小波包分解

$$KBAF = -0.5036$$

$$KBBF = 0.3329$$

$$KBCF = -0.4917$$

可知 $KBBF > KBCF > KBAF > K$, 综上所述, 系统此刻最易发生的故障为晶闸管缺B相故障。这与实际情况吻合, 然后依次检查其他关联度。图7为励磁系统出现故障的诊断界面。在图7中首先判断系统是否发生断相故障, 如果没有发生断相故障。因为在判断是否发生断相只需要对信号的频谱进行FFT变换, 图8是发生断相故障后的诊

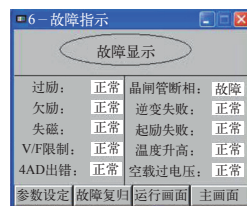


图7 发生断相诊断界面



图8 发生断B相诊断界面

断界面, 根据小波可拓算法诊断出来的结果为系统发生B相断相。**EA**

(收稿日期: 2017.12.12)

(编辑: 刘群彦)