

(超)高压输电线路故障选相现状及其发展

王亚强, 焦彦军, 张延东

(华北电力大学, 河北 保定 071003)

摘要: 故障选相是(超)高压输电线路继电保护中的一个关键环节,其快速准确地选相对于确保输电线路安全和电力系统稳定有着积极意义。国内外有关学者对此进行了广泛而深入的研究,提出了大量故障选相原理和方法。对不同选相元件的基本原理做了概要介绍,在此基础上分析了目前故障选相尚存在的问题。最后,结合新技术在电力系统中的应用,探讨了故障选相元件进一步的研究方向和发展前景。

关键词: 故障选相; 行波; 神经网络; 继电保护

中图分类号: TM769 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)24-0072-06

0 前言

在我国(超)高压输电系统中,为了提高系统稳定性,广泛采用单相重合闸。由于选相跳闸的需要,选相元件成为(超)高压输电线路保护装置中的重要元件。在传统常规保护装置中,选相元件的作用是单相接地故障时准确选出故障相实现单相重合闸功能,在两相和三相故障时实现三相跳闸。近年来,随着数字式微机保护装置在系统中的广泛应用,要求选相元件不仅要准确判别出单相故障的故障相,还要准确判别相间故障的相别。因为此时选相元件不仅为自动重合闸服务,同时也是保护装置的测量元件(如距离元件)的正确动作和提供打印出故障类型所必需的数据。此外,选相也是精确故障测距的重要一环。

众所周知,线路故障时,故障相电流升高,电压降低,根据此特征,早期的传统保护通常采用相电流选相元件、低电压选相元件和阻抗选相元件。相电流和低电压选相元件虽然实现简单,但前者仅适用于电源侧且灵敏度较低,容易受负荷电流和系统运行方式的影响,因此只作为辅助选相之用。后者仅适用于电源较小的受电侧或线路很短的送电侧,应用场合受到限制。阻抗选相元件受负荷电流和过渡电阻的影响较大,现在也不单独使用,往往作为辅助判据。

在数字式微机保护中,选相元件通常由软件实现,这给选相元件的实现带来了很大的灵活性。目前主要采用工频相电流差突变量选相和序分量相结合的选相元件。在保护启动后第一次利用工频相电流差突变量选相,振荡闭锁期间由于突变量提取困难而采用序分量选相。

随着暂态保护的提出,保护的動作速度得到了很大提升,在利用暂态故障分量的继电保护和故障测距中,为了保证选相速度,有关文献构造了基于暂态故障分量的选相元件。

伴随着人工智能技术在电力系统各个领域日益广泛的应用,将其(特别是神经网络)用于故障选相也引起了人们的重视。

1 突变量选相

在数字式微机保护中,利用其记忆功能,可以很容易的获得电流或电压的突变量(即故障分量)。目前广泛采用的相电流差突变量选相是利用不同故障时两相工频电流差的变化量的幅值特征选相,附加鉴别有无零序分量区分两相短路和两相短路接地^[1]。该元件在故障初期灵敏度高,不受负荷电流和过渡电阻影响。但是当保护位于弱电源侧或发生转换性故障时灵敏度不足甚至会导致误选相^[2]。为了克服这一缺陷,可以考虑采用相间电压突变量选相^[3],该元件具有相电流差突变量选相的特点,又弥补了其不足,但在长线末端故障时存在灵敏度可能不足的问题。补偿电压(相补偿电压和相间补偿电压)突变量选相同时具有相电流差突变量和相间电压突变量选相的优点,其选相性能比较优越,近年来也获得了比较广泛的应用^[3]。文献[4]综合利用了相间电压突变量和补偿相电流差突变量,由二者的组合运算构造了相间标量。通过分析三个相间标量在不同故障下的关系实现选相。

文献[5]提出了一种反应工频相电流突变量与零序电流突变量幅值之比的选相元件。文中推导时假设 $C_{0m} = C_{1m} = C_{2m}$ (分别为零序,正序,负序电流分配系数)成立。但在实际系统中,这一条件往往不

满足,为此采用浮动门槛值。该元件只用于接地故障时选相,其应用受到限制。

文献[1,6]采用 Clark 模变换获得保护装置处各模电流故障分量在不同类型故障下的幅值特征,以此构成选相判据。但由文献[7]可知,该元件进行理论分析时,隐含了 $Z_1 = Z_2$ 的假设。所以,当故障发生使得系统的正负序综合阻抗不等时,该元件达不到理论上的优越性。

2 序分量选相

系统故障时,可分为正常网络和故障附加网络的叠加。对故障附加网络运用对称分量法进行分析,可得到各序电流或电压分量在不同故障下的相位和幅值特征。不同文献基于此构造了选相元件。

文献[8]根据正序和负序电流故障分量的相位关系划分相区。由于单相接地与两相短路接地有重叠区,附加鉴别正、负序电流分量幅值差;是否为接地故障需鉴别有无零序分量。然而,当两相经特大过渡电阻接地时,零序电流很小,在极端情况下,趋于零,此时正负序电流幅值接近相等。这种情况下,将给两个附加判据门槛值的确定带来困难。

文献[9]提出了一种零、负序电流相对相位相区划分方法,辅以相间阻抗排除法实现选相,具有很强的耐过渡电阻的能力。但对于单相接地故障,其相区的裕度较小,可能由于计算误差或较为特殊的扰动而使单相接地时的相位移出相应相区,从而误选为相间接地故障。

文献[10]进一步分析了不同故障时各电流序分量间相位关系和幅值关系。相区的划分有 60° 的裕度,与幅值关系的结合,提高了选相的可靠性。

文献[11]基于不同故障情况下每相正负序电流分量之间的相角差选相。为了区分两相短路和两相短路接地,结合了故障前零负序电流分量分别以正序电流分量为基准的比值和故障后此比值之间的关系。

文献[12]通过对正负序故障分量电流波形进行相关分析,求得相关系数(表征了波形相似度),实现选相判断。为了解决以一相为基准时,另外两相中的一相发生接地故障时,相关系数无法区分的问题,采用多参量判据。由于实际系统中保护安装处的电流相位与故障支路电流有一定偏移,为提高选相可靠性,采用三相相对比较法。该元件理论上可取前半个周波的波形进行相关分析,在动作速度上有一定优势。

以上电流量选相元件具有共同的问题:当保护位于弱电侧,选相灵敏度不足。最严重的情况是单电源受电侧发生接地故障时,受电侧只有零序电流流过,三相电流基本相同,此时无法正确选相^[2];发生正反向两点故障(即转换性故障)时,流经保护的电流已经不再具有一点故障时故障支路的故障特征,此时上述电流量选相元件肯定不能正确选相^[2]。为了解决这一问题,研究了电压序分量选相元件。文献[8]根据比较保护装置处正序电压故障分量和负序电压的相位关系选相,其判据及程序和该文中电流选相元件相同。

文献[13]根据线路故障时保护装置处各电压序分量特点,提出了反应电压序分量相对相位和幅值关系的选相元件,其选相流程和文献[10]相似。

文献[14]首先根据故障后的功率方向自动投入不同判据:送端判据或受端判据,然后由接地故障时负序和零序电压的相位关系实现相区划分。在重叠相区内,由正序电压、零序电压的相位关系区分具体故障。

虽然上述电压序分量选相元件有效解决了电流量选相存在的问题。但是,当长线路的远端发生故障时,其灵敏度可能不足^[2],而此时电流量选相元件表现良好。由于两种选相元件各有优缺点,因此文献[2]利用电压突变量和电流突变量相结合或电压序分量和电流序分量相结合,以电压量选相为主,区分故障类型。当线路远端故障电压量元件灵敏度不足,才改用电流量选相。

文献[15]作了进一步的研究,运用模糊逻辑思想将电流电压序分量选相元件有机融合在一起,创新性的通过故障序分量比相结果所处的故障相区的对比获得更好的选相效果。

3 基于故障暂态量选相

随着电力系统规模的日益扩大,大容量机组和超高压输电线路的增多,为了增大输电线路传输容量和提高系统暂态稳定性,对保护的動作速度提出了更高的要求。传统的单纯依靠工频量的保护原理难以满足为快速切除故障而带来的对系统稳定性的要求。因此,新型的基于故障暂态量的超高速保护得到了人们的青睐。由于暂态保护的動作速度大为提高,从而对作为继电保护重要环节的选相元件的选相速度也提出了更高的要求。为适应发展需要,展开了基于故障暂态量的选相元件研究。

1978年,ASEA公司的 M. Chamia 和 S. Liberman

提出了基于行波原理的保护装置,其中利用行波方向元件兼作故障选相元件^[16]。由于电磁耦合,非故障相的方向检测元件可能误动作造成误判。作为改进,用于平武线 500 kV 线路的行波保护中利用各相行波电流幅值构成选相元件,通过比较故障相电流的故障分量峰值选相^[17]。该元件没有从根本上解决电磁耦合带来的问题。

文献[1]基于电流行波比较原理,通过比较三相行波电流之差的极性选相。当两两之间极性相反时,相邻元件输出正值并判定为故障相。

上述行波选相元件由于直接由瞬时值的计算和比较来进行故障相的选择,难以克服波形畸变和突发性干扰所造成的不良影响,另外瞬时采样值个数也不易确定。文献[18~21]将具有时频局部化性能的小波变换引入行波信号分析中,通过不同尺度下小波变换来判断行波浪涌。为了解决电磁耦合问题采用了凯伦贝尔相模变换,选相判据由不同故障类型下电流行波小波变换模极大值之间的关系构成。该元件的缺陷是在电压过零点发生接地故障时,可能造成漏选相。

文献[22]中母小波采用了一个快速衰减复函数,对各相电流信号中特定频率成分进行检测,分析故障相和非故障相的小波变换在此频率上的不同表现,提取故障特征。为充分利用小波变换结果全面揭示信号特征,所用判据为小波变换的幅度信息与相位信息的复合。该元件具有算法简单、基本不受故障类型、过渡电阻、初相角和故障点位置的影响的优点。

文献[23]提出了基于模量小波变换能量特征的选相原理,根据各暂态电流模量的小波能量,通过比较其大小选择故障相。该元件计算量较大,在单相接地且故障初相角为零时,没有暂态过程而直接过渡到故障后的稳态,判据将失效。

文献[24~26]利用电压故障分量中的高频成分,提取三相电压的以不同相为基准的模变换的频域特征,利用模糊集合理论对该特征进行处理实现故障选相^[24,25]。相模变换采用 Clark 变换。由于解析分析在频域中进行,该选相元件与时间无关,与故障初始角无关,不依赖于对行波波头的准确捕捉,且在转换性故障时也可正确选相。

4 基于人工智能的选相元件

人工神经网络(ANN)是模拟人类神经系统传输、处理信息过程的一种人工智能技术。它具有分

布式存储知识的结构,不仅可以存储大量信息,而且连接权和连接结构都可通过学习和训练得到,具有自适应和自组织能力。不管输电线路发生何种故障,只要利用仿真结果对神经网络进行训练,使其产生所需要的响应,即可将其应用于故障选相。

文献[27]以线路三相电压电流和零序电流的频谱密度为输入,以故障类型为输出,分别比较了多层前馈神经网络和 kohonen 网络在故障选相方面的应用。在此基础上,文献[28]构造了组合神经网络选相元件,特征向量选用电压、电流的基频分量以及反映接地故障的零序电流。Kohonen 模型可以实现输入向量的特征映射,矢量量化及特征的进一步提取。为解决输入模式空间聚簇问题,在 kohonen 网络输出层上增加了一个有单隐层的 BP 网络。

文献[29]采用径向基神经网络(RBF),为了解决随机选取输入向量所带来的一些问题(例如为了达到一定精度,网络过于庞大等),利用正交最小二乘学习方法。故障后三相电流,电压作为输入特征向量,不需滤波,具有收敛速度快,精度高,实时性好等优点。

文献[30]利用具有持续学习能力的最简径向基神经网络(MRBFNN)选相。在训练过程中通过删除策略(pruning strategy)以获得最优隐藏神经元个数,由于具有持续学习能力,在很大程度上减少了训练时间,简化了整个网络的结构。特征向量采用经过推广卡尔曼滤波(EKF)的基频电压电流,并结合了零序电流分量和可能对选相造成影响的系统频率。

文献[31]采用前馈神经网络(FNN),为了获得好的收敛速度,用加动量项的 BP 算法对网络训练。特征向量选取三相电流和电压。为了提高选相可靠性,加了一个后处理单元,只有一个输出值连续三次大于阈值时才确定为相应故障。该元件具有非常快的选相速度,可在 7 ms 内实现选相。但是,为了保证可靠性,必需极大量的训练样本数据。

文献[32]利用故障时产生的高频信号,通过对前馈神经网络的训练实现选相。采用三相电压在 6 个不同频段内能提供更多信息的频谱作为输入特征向量。该元件具有不受过渡初始角,大接地过渡电阻和系统稳态情况下操作产生的谐波影响等特点。

文献[33]以不需滤波的三相电压、电流和零序电压、电流作为有限冲击响应神经网络(FIRANN)的输入向量实现选相。在不同的保护安装位置对网络进行训练,这一方面使应用具有普遍性,但同时也加大了工作量。

神经网络通常输出一个介于 0~1 之间的数字,不利于运行人员理解诊断结果,而模糊理论的结果表示则非常直观,同时模糊理论容易表达人们的控制经验等定性知识,而神经网络在利用系统定量数据方面有较强的学习能力,因此,文献[34]将 BP 神经网络和模糊理论结合在一起,由电流序分量模块(区分是接地故障和不接地故障),相电流模块 1(区分单相接地和两相短路接地),相电流模块 2(选出具体的故障相)3 个主要模块构成选相元件。仿真结果表明在不同系统运行方式下,该元件具有快速、准确选相,鲁棒性强等优点。

5 同杆并架双回线故障选相

随着电压等级的不断升高,为满足大容量输电、节约线路走廊及建设费用的需要,我国架设的(超)高压同杆双回线路越来越多。由于同杆并架双回线路之间距离较近,线间耦合较严重,故障相对于两回线都有较强耦合,因此传统的适于单回线路的选相元件往往不适用于同杆并架双回线路。

文献[35]提出了基于单侧电流、电压量(在比较故障相电压的基础上,判别故障相电流的相位条件)的选相元件。该元件同目前广泛采用的相电流差突变量和电流序分量选相元件结合,较好的解决了同杆并架双回线的选相问题。

文献[36]的选相元件基于 RBF 神经网络,输入特征向量采用了三相电压和六相电流基频频分量。

文献[37]对同杆双回线路的每种故障模式配以一个以电压电流基频频分量的频域量为输入的 BP 网络,通过比较每个 BP 网络输出模糊值(每个模糊值代表在电路上某些固定位置发生故障的可能性)的累加和大小选相。由于每个网络均需完成相应故障模式下的训练,工作量较大。

文献[38,39]将 Kohonen 网络和 BP 网络结合起来,分析了 Kohonen 网络用于同杆双回线故障选相时的问题^[38]。由于 Kohonen 网络可以实现输入向量的自组织特征映射,所需训练样本较少^[38]。其中文献[39]没有给出网络构造和仿真证明。

6 目前存在的问题

在实际应用中,基于工频量选相元件获得了巨大成功,但其动作速度难以很快,并且,目前广泛采用的电流序分量相对相位比较结合阻抗选相的选相元件在振荡过程中存在误选相的问题^[40],不能适应

未来超高速保护的需要。利用故障暂态量可以做到高速选相,但一方面目前广泛采用的电容式电压互感器传变频宽较窄,要准确提取所需要的电压高频分量尚存在一定困难;另一方面,基于电流行波的选相仅仅检测和识别某个时间的小领域内(波头)的波形特征,而波头的形状和极性又与线路两端的波阻抗的变化情况(即母线结构)有关,幅值与故障发生的时刻密切相关,其选相可靠性较差。另外,由于雷电、网络操作、谐波等影响产生的行波干扰,使得抗干扰性能也不好。

神经网络所存在的问题主要在于: 使用前需要大量的有代表性的样本供其学习,但如何获得与实际运行系统相符合的大量训练样本是一个问题; 学习完成之后,如果系统结构发生变化,则需增加新的样本重新学习; ANN 通常给出一个介于 0~1 之间的数字作为输出,对结果缺乏解释能力,不利于运行人员理解诊断结果; 如何选择合理的网络结构还没有充分的理论依据。

7 故障选相研究的展望

随着小波变换算法的不断成熟,当今的一些学者正致力于利用小波分析这一强有力的数学工具对行波的特征进行更有效的提取; DSP 技术,更高速采集芯片, GPS 卫星定位系统等在电力系统中应用日趋成熟;光电互感器的出现及发展,光学电压互感器高频传变能力的提高;人工神经网络、模糊逻辑、粗糙集等人工智能技术在系统中日益广泛的应用;人们对故障过程及可能对选相造成干扰的各种现象认识的更加深入,所有这一切,为解决上述问题提供了美好前景。如何将这些优势更好结合在一起(如小波分析和人工智能的结合,神经网络和模糊逻辑、粗糙集理论的综合运用等),以构造超高速且可靠性的理想选相元件,应引起人们的重视。

参考文献:

- [1] 葛耀中(GE Yao-zhong). 新型继电保护与故障测距原理与技术(New Type of Protective Relaying and Fault Location Theory and Techniques) [M]. 西安:西安交通大学出版社(Xi'an:Xi'an Jiaotong University Press),1996.
- [2] 钱国明,何奔腾(QIAN Guo-ming, HE Ben-teng). 一种改进的高压线路保护选相元件(An Improved Fault Phase Selector for Transmission Line Protective Relay) [J]. 电力自动化设备(Electric Power Automation Equipment),1999,19(4):28-30.
- [3] 许正亚(XU Zheng-ya). 输电线路新型距离保护(New

- Type Distance Protection of Power Line) [M]. 北京:中国水利水电出版社(Beijing: Publishing House of China Water Resources and Hydropower), 2002.
- [4] Benmouyal G, Mahseredjian J. A Combined Directional and Faulted Phase Selection Element Based on Incremental Quantities[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2001, 16(4): 478-484.
- [5] 举(ZHANG Ju). 工频突变量电流比选相元件的研究(The Study of Phase-selection Unit Based on Electrical Power Frequency Sudden Variation Current Ratio) [J]. 继电器(Relay), 1990, 10(4): 15-21.
- [6] 王安定, 葛耀中(WANG An-ding, GE Yao-zhong). 一种新型数字式故障选相方案(A New Method of Phase-select for Faults) [J]. 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE), 1990, 10(3): 67-72.
- [7] 林湘宁, 刘沛, 等(LIN Xiang-ning, LIU Pei, et al). 对模故障分量选相元件的一些探讨(Studies on Phase-selector Based on Modal Transformation and Fault Component) [J]. 电工技术学报(Transactions of China Electrotechnical Society), 2001, 16(6): 70-75.
- [8] 葛耀中, 索南加乐(GE Yao-zhong, SUONAN Jia-le). 相位比较式对称分量选相元件(Phase Comparing Fault Phase Selector Based on Symmetric Components) [J]. 继电器(Relay), 1990, 18(1): 10-17.
- [9] 徐振宇, 杨奇逊, 等(XU Zhen-yu, YANG Qi-xun, et al). 一种序分量高压线路保护选相元件(A Sequence Fault Phase Selector for Transmission Line Protective Relay) [J]. 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE), 1997, 17(3): 214-216.
- [10] 许庆强, 索南加乐, 等(XU Qing-qiang, SUONAN Jia-le, et al). 一种电流故障分量高压线路保护选相元件(A Fault Phase Selector for Transmission Line Protective Relaying Using Current Fault Components) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(7): 50-54.
- [11] Adu T. An Accurate Fault Classification Technique for Power System Monitoring Devices[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17(3): 684-690.
- [12] 林湘宁, 杨春明, 等(LIN Xiang-ning, YANG Chun-ming, et al). 基于相关分析的故障序分量选相元件(A Superimposed Phase Selector Based on Symmetrical Components and Correlation Analysis) [J]. 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE), 2002, 22(5): 16-21.
- [13] 索南加乐, 许庆强, 等(SUONAN Jia-le, XU Qing-qiang, et al). 弱电源侧稳态电压对称分量选相元件(Fault Phase Selector on the Weak Feed Backside of Transmission Line Using Voltage Symmetrical Components) [A]. 电力系统及其自动化专业第十八届学术年会论文集(The Eighteenth Proceeding of CUS - EPSA). 2002. 961-967.
- [14] 杨世骅, 何奔腾(YANG Shi-hua, HE Ben-teng). 一种基于电压序分量的高压线路保护选相元件(A New Scheme of Fault-phase-selection by Voltage-sequence-component) [J]. 中国电力(Electric Power), 1999, 32(7): 25-28.
- [15] 郑涛, 刘万顺(ZHENG Tao, LIU Wan-shun). 一种基于电流电压序分量的模糊选相元件(A New Phase Selector Based on Current and Voltage Sequential Components and Fuzzy Logic) [J]. 中国电力(Electric Power), 2003, 36(2): 37-41.
- [16] Chamia C, Liberman S. Ultra High Speed Relay for EHV/UHV Transmission Lines Development, Design and Application [J]. IEEE Trans on PAS, 1978, 97(6): 2104-2112.
- [17] 湖北省电力试验研究所(Hubei Electric Power Testing and Research Institute). 平武系统继电保护的主要问题和措施(The Main Problems and Measures of Ping Wu System Protective Relay) [Z]. 1982.
- [18] 束洪春, 司大军, 等(SHU Hong-chun, SI Da-jun, et al). 小波变换应用于暂态初始行波分析及故障选线选相(Wavelet Transform Applied in Transient Initial Travelling Wave Analysis and Fault Phase Selection) [J]. 云南水力发电(Yunnan Water Power), 2002, 18(2): 6-9.
- [19] 董新洲, 贺家李, 等(DONG Xin-zhou, HE Jia-li, et al). 基于小波变换的行波故障选线研究: 第一部分理论基础(Research of Fault Phase Selection with Transient Current Travelling Waves and Wavelet Transform, Part One: Theoretical Basis) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1998, 22(12): 24-26.
- [20] 董新洲, 葛耀中(DONG Xin-zhou, GE Yao-zhong). 基于小波变换的行波故障选相研究: 第二部分 仿真试验结果(Research of Fault Phase Selection with Transient Current Travelling Waves and Wavelet Transform, Part Two: Results of Simulation and Test) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(1): 20-22.
- [21] 危韧勇, 刘春芳(WEI Ren-yong, LIU Chun-fang). 基于小波理论的超高压输电线路故障定位与选相方法(Approach of Fault Location and Fault Phase Selection in UHV Power Transmission Line Based on the Wavelet Theory) [J]. 中国电机工程学报(Proceedings of the CSEE), 2000, 20(5): 85-88.
- [22] 董杰, 张举, 等(DONG Jie, ZHANG Ju, et al). 利用小波变换进行故障选相(Selection of Fault Phases Based on Wavelet Transform) [J]. 电力情报(Information on Electric Power), 2002(1): 12-14.
- [23] 张保会, 哈恒旭, 等(ZHANG Bao-hui, HA Heng-xu, et al). 利用单端暂态量实现超高压输电线路全线速动保护新原理的研究(三): 故障选相与尚需研究的问题(Study of Non-unit Transient-based Whole-line High Speed Protection for EHV Transmission Line, Part Three: Fault Phase Selection and Problems to be Studied) [J]. 电力自动

- 化设备 (Electric Power Automation Equipment), 2001, 21 (8):1-4.
- [24] 焦韶华,刘万顺(JIAO Shao-hua, LIU Wan-shun). 基于故障产生的电压暂态高频分量的模糊选相新原理 (Fuzzy Sets Based Novel Technique for Fault Phase Selection Using Fault-generated High Frequency Voltage Transient Component) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(9):15-18.
- [25] 焦韶华,刘万顺(JIAO Shao-hua, LIU Wan-shun). 利用故障暂态高频分量的故障选相新原理研究 (Study on a Novel Principle for Faulted Phase Selection Based on Faulted High Frequency Transient Voltage Components) [J]. 现代电力 (Modern Electric Power), 1998, 15(4):1-7.
- [26] 焦韶华,刘万顺(JIAO Shao-hua, LIU Wan-shun). 电力系统振荡中不对称故障的选相方法 (A New Approach to Select the Fault Phase of Unbalanced Fault During Power Swing) [J]. 华北电力大学学报 (Journal of North China Electric Power University), 1999, 26(2):6-11.
- [27] 王晓茹,伍思淘(WANG Xiao-ru, WU Si-tao). 一种基于神经网络的高压输电线路故障分类器 (A Neural Network Fault Classifier for HV Transmission Line) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 1998, 22(11):28-31.
- [28] 张兆宁,毛鹏,等(ZHANG Zhao-ning, MAO Peng, et al). 基于组合神经网络的输电线路故障类型识别 (The Discrimination of the Fault Type of the Transmission Line Based on Combined Neural Network) [J]. 继电器 (Relay), 2001, 29(4):1-5.
- [29] LIN Wei-min, YANG Chir-der, LIN Tian-hong, et al. A Fault Classification Method by RBF Neural Network with OLS Learning Procedure [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2001, 16(4):473-477.
- [30] Dash P K, Pradhan A K, Panda. Application of Minimal Radial Basis Function Neural Network to Distance Protection [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2001, 16(1):68-74.
- [31] Djuric M B, Terzija V V. Neural Network Approach to Fault Classification for High Speed Protection Relaying [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1995, 10(4):1793-1798.
- [32] Bo Z K, Aggarwal R K, Johns A T. A New Approach to Phase Selection Using Fault Generated High Frequency Noise and Neural Network [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1997, 12(1):106-113.
- [33] Angel L, Fernandez O, Khalil N. A Novel Approach Using a FIRANN for Fault Detection and Direction Estimation for High voltage Transmission Lines [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17(4):894-900.
- [34] Wang Hui-sheng, Keerthipala W W L. Fuzzy-neuro Approach to Fault Classification for Transmission Line Protection [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1998, 13(4):1093-1101.
- [35] 俞波,杨奇逊,等(YU Bo, YANG Qi-xun, et al). 同杆并架双回线保护选相元件研究 (Research on Fault Phase Selector of Protective Relay for Double Circuit Lines on the Same Tower) [J]. 中国电机工程学报 (Proceedings of the CSEE), 2003, 23(4):38-42.
- [36] 钱鑫,张光辉,施围(QIAN Xin, ZHANG Guang-hui, SHI Wei). 基于径向基网络的同杆双回线路故障类型判定 (Fault Identification in Double-circuit on Same Pole Using Neural Network) [J]. 继电器 (Relay), 2002, 30(3):8-12.
- [37] 郭付军,林军(GUO Fu-jun, LIN Jun). 用多个对应的后向神经网络进行同杆双回线故障识别及测距的模式 (Identification and Location of Fault on Double Circuit Tower by Multi-corresponding BP ANN Method) [J]. 电网技术 (Power System Technology), 2002, 26(10):14-17.
- [38] Aggarwal R K, Xuan Q Y. A Novel Fault Classification Technique for Double-circuit Lines Based on a Combined Un-supervised/Supervised Neural Network [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1999, 14(4):1250-1256.
- [39] 郭付军,林军(GUO Fu-jun, LIN Jun). 基于 Kohonen 网络的同杆双回线故障模式识别方法 (A Method of Fault Pattern Recognition on Same-tower Double-circuit Line Using Kohonen Neural Network) [J]. 继电器 (Relay), 2002, 30(4):4-7.
- [40] 索南加乐,许庆强,等(SUONAN Jia-le, XU Qing-qiang, et al). 电力系统振荡过程中序分量选相元件动作行为分析 (Analysis on the Operating Characteristic of the Sequence-component Fault Phase Selector During Power Swings) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(2):52-55.

收稿日期: 2004-04-20; 修回日期: 2004-06-10

作者简介:

王亚强(1978 -)男,硕士研究生,从事超高压输电线路微机继电保护方面的学习研究; E-mail: wyq984@163.com

(下转第 85 页 continued on page 85)

湖北黄石西塞山电厂 2 号机组并网发电

湖北黄石西塞山电厂 2 号机组于 12 月 5 日正式并网发电,比预定工期提前了 8 个月。该电厂投产将在一定程度上缓解湖北用电紧张。

西塞山电厂技改工程规划容量为 4 台 33 万 kW 机组,是中国华电集团在鄂投资的最大火电项目,也是国家三个示范电厂项目之一。一期工程建其中 2 台凝汽式燃煤发电机组,静态投资为 25.95 亿元。并网发电的 2 号机组于去年 9 月开工,安装方为湖北电建二公司。

陕西临潼热电厂斥巨资筹建

总投资近 2.3 亿元的陕西临潼热电厂,日前在临潼区行者乡车李村启动筹建,从而标志着临潼城区近百燃煤供热小锅炉即将走向终途,旅游区的环境大气质量将有望改善。

以“集中供热,热电联产”为发展目的的临潼热电厂,由陕西三联能源投资建设有限公司和美国远东投资集团共同投资兴建。据了解,临潼热电厂设计能力为年产电 1.44 亿 kW/h,每小时供热量达到 120 t/h。电厂计划在 2006 年初建成,除了发电并网、缓解能源压力外,将以集中供热的方式,完全取代临潼城区的近百座分散供热锅炉,特别是位于骊山风景区的燃煤锅炉。每年可减少二氧化硫排放量 1035 t、烟尘排放量 1132 t。

行业动态

许继集团 750 kV 继电保护装置通过部级技术鉴定

11 月 21 日,国家电网公司在许昌组织召开了许继集团 750 kV 继电保护装置技术鉴定会。会上,许继集团公司研制的 WKB-800/750 微机电抗器保护装置、WXH-800/750 微机线路保护装置、WBH-800/750 微机变压器保护装置和 WMH-800/750 微机母线保护装置等四种新产品全部通过部级技术鉴定,主要性能指标达到国际同类产品的先进水平。保护装置先后经过中国电力科学研究院的动模试验、国家继电器质量监督检验中心的数模试验,并经鉴定委员会现场测试,结果符合标准规定,满足电力系统使用要求。鉴定委员会认为,上述四种保护装置设计合理,其主要性能指标全部达到国际同类产品的先进水平,一致同意通过技术鉴定。

培训瞭望

电力培训基地 2005 年度培训计划即将出台

电力培训基地在积极总结一年来经验教训的同时,认真采纳了广大学员的各种反馈意见。在新的一年里,为使培训效果更加深化,我们将对已有的课程进行合理细化分化,使课程覆盖面广的同时更具有针对性。另外培训基地也针对当前瞬息变化的电力市场开发出了一系列新课程,等待着广大学员朋友们的关注和检验。电力培训基地 2005 年度电力技术类培训初步计划业已出台,详情可通过中国电力培训网(www.ceptc.com)或 0374 - 3212155 获取。

(上接第 77 页 continued from page 77)

焦彦军(1963 -),男,博士,硕士,从事微机继电保护方面的教学和科研工作;

张延东(1978 -),男,硕士研究生,从事微机继电保护方面的学习研究。

Current status and development of fault phase selection of (E) HV transmission lines

WANG Ya-qiang, JIAO Yan-jun, ZHANG Yan-dong
(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: Fault phase selection is a key procedure in relay protection of (E) HV transmission lines. The fast and accurate fault phase identification has an important meaning for the safety of transmission lines and stability of power system. Comprehensive and further researches have been conducted at home and abroad, and great principles and methods of fault phase selection have been presented. The principles of different fault phase selectors are introduced briefly, based on which the problems existing in the field are analysed. In the end, combined with new technology applications in power system, the research orientation and further development of fault phase selector are discussed.

Key words: fault phase selection; travelling wave; neural network; relay protection