

Research on Single-Phase Grounding Fault Diagnosis Method Base on Vector Fusion

WU Xinkai, WANG Qing

Information and electrical engineering institute, Hunan university of science and technology, Xiangtan, China

Abstract: this paper introduces the basic concept of vector analysis, the paper analyses fault vector of the single-phase direct grounding and the transition grounding in the neutral-point non-effective earthing system, explore the fault diagnosis method and advantages base on vector fusion of single-phase grounding fault in the neutral-point non-effective earthing system, proved that the method is effective of for single-phase grounding fault diagnosis and analysis in the neutral non-effective grounding systems.

Keywords: vector analysis; information fusion; single-phase grounding fault; neutral non-effective grounding system

单相接地故障的矢量融合诊断方法研究

吴新开, 王 青

湖南科技大学信息与电气工程学院, 湘潭, 中国, 411201

摘 要: 介绍了矢量分析的基本概念, 重点分析了中性点非有效接地系统单相直接接地和经过渡电阻接地故障时的矢量特征, 探索了中性点非有效接地系统单相接地故障的矢量融合诊断方法和该方法所具有的优点, 证明了该方法对中性点非有效接地系统单相接地故障分析与诊断的有效性。

关键词: 矢量分析; 信息融合; 单相接地故障; 中性点非有效接地系统

1 引言

随着电力系统规模的不断扩大, 低压配电网和高压传输网都得到了迅猛的发展。低压配电网的扩大意味着用户对供电质量的要求越来越高, 为了保证电能持续稳定的送到用户, 快速诊断故障线路和确定故障位置成为低压保护的首要任务, 也是提高配电网综合自动化整体水平的一个重要的关键性问题。目前的选线理论主要包括扰动选线法^[1]、基于暂态分量特征选线法^[2]、基于基波电流电压群体比幅法^[3]、基于谐波电流法^[4]、基于零序有功及无功功率分量法^[5]、能量法^[6]、负序分量特征法^[7]及利用小波分析^[8]、模糊神经网络理论进行选线^[9]等, 以上各个方案均具有一定的可行性, 但是它们都存在着各自的使用局限性和动作死区^[10]。因此选线装置的研究都趋向于综合选线方法^[11], 即利用各种选线方法的优点, 来提高选线精度。尽管微机选线装置自问世以来, 在小电流接地保护中起到了非常重要的作用, 装置也正在不断完善, 但也在多年的现场运行中暴露出许多原理和技术上的不足^[12]。

本文将矢量分析方法和融合聚类分析方法引入中性点非有效接地系统的单相接地故障的诊断, 重点分析中性点非有效接地电力系统单相接地故障情况下的

矢量特征和矢量信息的融合聚类分析方法, 为矢量分析方法和矢量信息的融合聚类分析方法在电力系统单相故障诊断的应用推广提供理论依据。

2 矢量分析的基本概念

2.1 定义空间矢量脉宽调制 (Space Vector Pulse Width Modulation, 简称: SVPWM)

若定义如下开关函数

$$SW = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad i = a, b, c \quad (1)$$

其中“1”表示矢量发生器的输出, 则对于三相交流信号在与三角载波调制时, 有 8 种基本开关状态, 可表示为:

$$S_i = (SW_a, SW_b, SW_c), \quad i = 0, 1, 2, \dots, 7$$

定义 8 个电压矢量

$$V_0 = [000], \quad V_1 = [001], \quad V_2 = [010], \quad \dots, \quad V_7 = [111]$$

分别对应 8 个开关状态 $S_0, S_1, \dots, S_7$

并定义 $S_0 = [000], S_1 = [111]$ 为零电压矢量;

$S_1, \dots, S_6$ 为非零电压矢量。

则这 8 个空间电压矢量形成如图 1 所示的分为 6 个扇区的电压矢量空间^[13]。

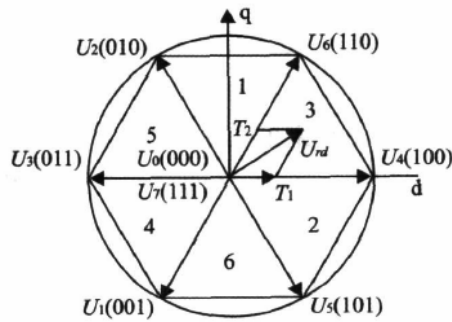


图1 基本空间矢量模式

2.2 供电电压正常时的矢量特征^[14]

定理 1: 设在正弦交流电一周期内采用六倍频三角波进行调制, 并设三角波的幅值为 U_s , 正弦电压波的幅值 (峰值) 为 U_m , 且规定:

$$U_s = \sqrt{3}U_m \quad (2)$$

则有电网电压正常时空电压矢量为:

$$S_1 = [001], S_2 = [010], \dots, S_6 = [110]$$

证: 设三相正弦波为

$$u_a(t) = U_m \sin \omega t$$

$$u_b(t) = U_m \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (3)$$

$$u_c(t) = U_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

设三角波为

$$u_s(t) = \begin{cases} U_s \cdot 12t / \omega & (0 \leq t \leq \omega / 12) \\ U_s \cdot (1 - 12t / \omega) & (\omega / 12 \leq t \leq \omega / 6) \end{cases} \quad (4)$$

并设 $U_s = \sqrt{3}U_m$

则电压空间矢量为:

$$S_0 = [000], S_1 = [001],$$

$$S_2 = [010], \dots, S_7 = [111]$$

其中: $S_0 = [000]$, $S_7 = [111]$ 为零电压矢量, 且出现零电压矢量的时间 $t_0 = t_7 = 0$ 。

$S_1, \dots, S_6$ 为非零电压矢量。

由于采用六倍频三角波进行调制, 则:

零电压矢量 $S_0 = [000]$, $S_7 = [111]$ 项为零。

所以: 按调制规则则得电网正常时空电压矢量为:

$$S_1 = [001], S_2 = [010], \dots, S_6 = [110]$$

(证毕)

3 中性点非有效接地系统单相接地故障时的矢量特征

3.1 定理 2

中性点非有效接地系统出现单相直接接地故障时, 其电压矢量将只有三个非零分量, 且其矢量构成

的图形为一个平行四边形, 其中有一个零电压矢量。

证: $\because$ 一相直接接地

$\therefore$ 接地相电压分量恒为零

$\therefore$ 具有的电压矢量数目为: 2^2

又 $\because$ 单相接地故障

系统只有一个零电压向量 S_0 或 S_7 ,

$\therefore$ 系统具有非零电压向量数为: $M=2^2-1=3$ (5)

(证毕)

3.2 定理 3

中性点非有效接地系统出现单相直接接地故障时, 直接接地相的电压恒为电压矢量中的零电压分量相。

证: $\because$ 三相系统中的一相直接接地, 不妨设 A 相直接接地

$\therefore$ 除 A 相外的 B、C 相电压分量仍按 PWM 调制

$\therefore$ 电压向量为:

$$S_1[001], S_2[010], S_3[011]$$

$\therefore$ 电压矢量中 A 相电压分量常为零

同理: 可根据 B 相或 C 相电压分量常为零判断出 B 相或 C 相直接接地。

(证毕)

3.3 定理 4

中性点非有效接地系统出现单相经过渡电阻接地故障时, 其零电压矢量出现的时间 $t_0 \neq t_7 \neq 0$ 。

证: $\forall$ 中性点非有效接地系统出现经过渡电阻单相接地故障

$\because$ 接地相线路阻抗 $Z_{\text{线路}} \neq 0$

$\therefore$ 接地点处的该相电压 $U_{\text{接地}} \neq 0 < U_{\text{相}}$

$\therefore$ 在与三角波调制时, 将会使该相调制脉冲变窄

又 $\because$ 其它相电压 $\bar{U}_{\text{地}} = \bar{U}_{\text{线}} - \bar{U}_{\text{接地}} > U_{\text{相}}$

$\therefore$ 其它相经调制后将使调制脉冲变宽

$\therefore$ 零电压矢量 $S_0 = [000]$, $S_7 = [111]$ 将会出现

$\therefore$ 零电压矢量出现的时间 $t_0 \neq t_7 \neq 0$ 。

(证毕)

3.4 定理 5

根据电压矢量中每相调制脉冲宽度的变窄, 就可判断该相出现单相经过渡电阻接地故障。

证: $\forall$ 中性点非有效接地系统出现经过渡电阻单相接地故障

$\because$ 接地相线路阻抗 $Z_{\text{线路}} \neq 0$

且过渡电阻 $R_{\text{过渡}} \neq 0$

$\therefore$ 接地点处的该相电压 $U_{\text{接地}} \neq 0 < U_{\text{相}}$

∴在与三角波调制时,将会使该相调制脉冲变窄
∴零电压矢量 $S_0 = [000]$ 将会出现
即: $t_0 \neq 0$
∴系统出现了经过渡电阻接地现象
(证毕)

4 中性点非有效接地系统单相接地故障的矢量融合分析诊断方法

4.1 定理 6

采用矢量融合分析方法进行中性点非有效接地系统的单相接地故障诊断时,正常运行时的三相电压幅值与三角波幅值之比为 $1/\sqrt{3}$ 。

证: $\forall$ 中性点非有效接地系统出现单相接地故障会出现非接地相电压升至线电压值

即: $U_{\text{线}} = \sqrt{3}U_{\text{相}}$

为了使单相接地时不出现过调制现象

∴在正常运行时,应使三相正弦电压的峰值小于或等于三角波电压峰值的 $1/\sqrt{3}$ 。

(证毕)

4.2 定理 7

采用矢量融合分析方法进行中性点非有效接地系统的单相接地故障诊断时,应当采用六倍频三角波进行调制,且应当覆盖 $1/2$ 个三角波周期进行采样。

证: $\forall$ 在采用时间序列信息的融合过程中

通常从模式窗口取出数据进行融合

∴模式窗口口的数据不能反映信号的变化趋势

∴采用滑动窗口来获取信号的变化趋势信息

即:滑动窗口应当覆盖 $1/2$ 个三角波周期进行采样。

(证毕)

5 中性点非有效接地系统单相接地故障的矢量融合分析诊断的优点

中性点非有效接地系统单相接地故障的矢量融合分析方法比其客观存在方法具有如下优点:

5.1 误报率将明显降低

由于采用了三角波进行正弦信号的 PWM 调制,经调制后数据是二值数据,且整个数据处理过程都采用二值数据进行处理,不需要反映模拟信号的真值,因而,使故障检测系统的抗干扰能力得到了显著加强,从而使误报率明显降低。

5.2 故障特征反映全面

采用矢量融合分析方法的信息,既反映了三相电压的稳态状态,又通过滑动窗口检测到了三相电压信号的变化趋势,即反映了信号的暂态过程。这比传统的只检测稳态信号进行分析判断要全面得多。

5.3 漏报率将明显降低

通过矢量融合分析方法进行中性点非有效接地系统单相接地故障诊断时,一方面通过对调制矢量的融合分析,以反映直接接地故障,另一方面,通过对脉冲宽度的变化检测与分析,以反映经过渡电阻接地的故障,因此,系统的诊断可靠性得到了提高,漏报率将明显降低。

5.4 抗干扰能力强

由于系统采用数字信号进行分析处理,使系统的抗干扰性能得到了提高。特别是通过对三相电压信号进行滤波后,将使系统的抗干扰性能进一步得到提高。

6 结论

中性点非有效接地系统单相接地故障的矢量融合诊断方法具有抗干扰性强、错报、漏报率明显降低,三相电压信息全面等优点,且故障特征信息明显,故障识别与诊断能力强,是一种值得推广应用的单相接地故障诊断方法。

References (参考资料)

- [1] 王晓冬,李大勇,张自雨等.配电网单相接地补偿与选线系统的研究和应用[J].电力系统保护与控制,2008,36(19): 67-70
Wang Xiao-dong,Li Da-yong,Zhang Zi-yu etc." Compensation of connecting ground of distribution network sheet and the research of the system that choose a route and application," Protection and Control of Power System, 2008,36(19): 67-70.
- [2] 李新,李景丽,张从力等.多频带分析的配电网单相接地故障选线[J].重庆大学学报,2008,31(10):1143-1148.
Li Xin,Li Jing-li,Zhang Cong-li etc Detecting a fault line under a single -phase to ground of distribution network based on analysis of multi-frequency bands"Journal of Chongqing University, 2008,31(10):1143-1148.
- [3] 郝玉山,杨以涵等.小电流接地选线的群体比幅比相原理[J].电力情报,1994,2(2):51-53.
Hao Yu-shan,Yang Yi-han etc."Comparison of Magnitude and Phasor for all the Fault Line in Nonsolidly Earthed Network[J] "Information on Electric, 1994,2(2):51-53.
- [4] 张章亮.小电流接地系统单相接地机理分析[J].广东电力.1998,11(3): 20-23.
Zhang Zhang-liang." Analysis of single-phase grounding mechanism in small current grounding system," Guangdong Electric Power, 1998,11(3): 20-23.
- [5] 牟龙华.零序电流有功分量方向接地选线保护原理[J].电网技术,1999,23(9):60-62.
Mu Long-hua,"Principle of selective grounding fault protection based on active component direction of zero-sequence current,"Power System Technology, 1999,23(9):60-62.

- [6] 何奔腾,胡为进.能量法小电流系统选线原理[J].浙江大学学报, 1998,32(7): 352-357.
Hou Beng-teng,Hu Wei-jing.Fault detection principle by energy function in ineffective grounding systems,"Journal of Zhejiang University),1998,32(7):351-357.
- [7] 曾祥君,尹项根,张哲等.配电网接地故障负序电流分布及接地保护原理研究 IJ].中国电机工程学报, 2001, 21(6): 84-89
Zeng Xiang-jun, Yin Xiang-gen etc. "Study for negative sequence current distributing and ground fault protection in middle voltage Power systems," , Proceedings of the Csee, 2001, 21(6): 84-8.
- [8] 李晶.基于二维小波分析的配电网单相接地故障选线新方法[J].广东输电与变电技术,2008,(6):13-16.
Li Jing.A new single-phase earth fault detection method based on two-dimensional wavelet transform in distribution automation system[J]," Guangdong Power Transmission Technology, 2008,(6):13-16.
- [9] 陈炯聪,齐郑,杨奇逊.基于模糊理论的小电流单相接地选线装置[J].电力系统自动化, 2004,28(8): 88-91.
Chen Jiong-cong; Qi Zheng; Yang Qixun."A fault line detection device for the non-solidly grounded system based on fuzzy sets theory[J]," Automation of Electric Power Systems, 2004,28(8): 88-91.
- [10] 任建文,孙文武,周明.基于数学形态学的配电网单相接地故障暂态选线算法[J].电力系统自动化,2008,32(1):70-75.
Ren Jian-wen, SUN Wen-wu-, ZhouMing."Transient Algorithm for Single-line to Ground Fault Selection in Distribution Networks Based on Mathematical Morphology[J]," Automation of Electric Power Systems, 2008,32(1):70-75.
- [11] 张慧芬,潘贞存,张帆.一种配电网单相接地故障综合选线方法[J].高电压技术,2008,34(4):788-793.
Zhang Hui-fen,Pan Zhen-cun,Zhang Fan."Earth Fault Line Selection in Distribution System by the Rough Set Theory[J],"High Voltage Engineering, 2008,34(4):788-793.
- [12] 张慧芬,潘贞存,田质广.基于可辨识矩阵的单相接地故障选线新方法[J].中国电力, 2006,39(11):33-36.
Zhang Hui-fen,Pan Zhen-cun,Tian Zhi-guang. "Discernable matrix method based method for detecting single phase grounding feeder[J]," POWER SYSTEM TECHNOLOGY, 2006,39(11):33-36.
- [13] 邹知斌,张炳达.空间矢量调制方法的优化策略及应用研究[D].天津大学硕士学位论文, 2007.1.
Zou Zhi-bin,Zhang Bing-da."Optimization strategy and application research of space vector modulation[D]," Master thesis of Tianjin University, 2007.1.
- [14] 张新慧,徐丙垠,潘贞存.小电流接地系统单相接地故障选线原理[J].山东理工大学学报,2008,22(3):78-83
Zhang Hui-fen,Xu Bing-yin,Pan Zhen-cun. Theory on Integrated Fault Line Detection in Non-Effectively Grounded Neutral System[J]," Journal of Shandong University of Technology, 2008,22(3):78-83.