

关于故障分量概念的讨论

梁振锋¹, 康小宁², 姚李孝¹, 宁联辉¹

(1.西安理工大学水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2.西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 近年来, 基于故障分量的保护得到了广泛的应用。但大量的文献多是从应用角度讨论故障分量、工频变化量、正序故障分量、负序故障分量、零序故障分量、暂态故障分量、突变量等概念。该文给出了这些概念的严格定义, 并且讨论了它们的特征。概念的定义、特征的讨论, 有助于理解这些概念, 有助于提高基于故障分量保护的研究和运行水平。

关键词: 故障分量; 工频变化量; 突变量; 正序故障分量; 暂态故障分量

Discussion on fault components

LIANG Zhen-feng¹, KANG Xiao-ning², YAO Li-xiao¹, NING Lian-hui¹

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: In recent years, protection relaying based on fault component is used widely. But a large number of literatures on this subject mostly discuss the concept related to fault components from the view of application, like Power-frequency Variation, break variable, positive sequence fault components, fault-generated transients, etc. This paper discusses the characteristics of fault component using the strictly defined concept. The viewpoint of this paper contributes to understanding of these concepts and to improving research and operation level.

Key words: fault components; power-frequency variation; break variable; positive sequence fault components; transients fault component

中图分类号: TM77

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)01-0037-05

0 引言

故障信息的识别、处理和利用是继电保护技术的基础, 而故障分量是故障信息的具体体现。继电保护工作者正是通过不断发掘和利用新的故障信息来促进继电保护技术的发展^[1~2]。

近年来, 随着微机继电保护技术的发展, 故障信息识别、处理、利用的手段和方法得到了极大地发展。反应故障分量的继电保护在电力系统中得到了广泛的应用。继电保护工作者在研究和应用故障分量时相继提出了许多新的保护原理, 如行波保护、工频变化量保护、暂态量保护等。相应地, 也提出了许多与故障分量相关的概念, 如突变量、工频变化量、正序故障分量、负序故障分量、零序故障分量、暂态故障分量等^[1~12]。虽然讨论故障分量的文献有很多, 但在故障分量的概念、提取方法等问题上还存在有待澄清的问题, 而且这些文献大多

是从应用角度提出这些概念, 并没有给出严格的定义。本文作者在阅读大量文献的基础上, 给出了故障分量、工频变化量、负序故障分量、零序故障分量、暂态故障分量等概念的严格定义, 并讨论分析了这些概念的特征。在许多文献中将突变量和故障分量并不加区分, 认为二者是同一个概念。本文提取的角度给出了微机保护中突变量的定义。定义概念、讨论特征, 有助于理解这些概念, 有助于提高基于故障分量保护的研究和运行水平。特别是迄今为止已发表的国内外文献中尚未见将与故障分量有关的这些概念进行全面分析比较的讨论与研究。

1 故障分量的概念

当电力系统发生故障时, 在某一段时间内(如 20 ms, 时间的长短取决于系统是否发生振荡以及振荡的程度), 可假设系统为线性电路。在这一假设前提下, 故障状态网络应用叠加原理可分解为非故障状态网络和故障附加状态网络(如图 1)。非故障状态包括正常运行、系统振荡、两相运行等。凡

是故障附加状态网络中的量都是故障分量^[1~3, 13]。

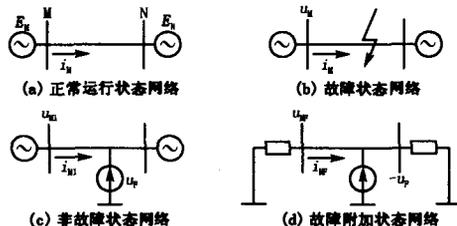


图 1 利用叠加原理分析短路故障

Fig.1 Short-circuit analysis by superposition theorem

根据电工原理,故障附加状态网络本质上是一零状态响应电路(如图 1(d))。故障附加状态网络的外施激励为故障点的电压源(短路故障)或电流源(断线故障),该外施激励表现为阶跃函数,其中 $t=0$ 即为故障发生时刻。

以短路故障为例,故障相故障点的电压源可表达为

$$-u_F(t) = \begin{cases} 0 & t \leq 0_- \\ U_m(t) \cos(\omega(t)t + \varphi_u) & t \geq 0_+ \end{cases} \quad (1)$$

需要强调的是, u_F 是时间的函数。由于电力系统是动态系统,当电力系统发生故障后,即式(1)中 $t > 0_+$ 时,许多因素将导致 u_F 的幅值 U_m 及角频率 ω 都是随时间而变化的。这些因素包括故障后系统的功率分配将发生变化、励磁调节的作用、频率的偏移、负荷电流的变化等^[3, 14]。所以说电压故障分量在故障后实际上是变化的。在分析快速保护时,通常将 u_F 简化为故障前故障点的电压^[15, 16]。对于电流故障分量,以下几个因素使得其变化更为复杂: 1) 故障初期的暂态衰减^[17]; 2) 电压故障分量的变化; 3) 故障初始时刻 ($t=0_+$) 初相角 φ_u 的不确定。

同样的道理,图 1(a) 同 (c) 在故障后短时间内可以认为它们是相同的。但故障后较长时间,它们的网络拓扑虽然是相同的,但节点电压和支路电流并不相同。

故障后非故障状态网络中节点电压、支路电流的变化和故障分量的变化给故障分量的提取增加了困难。

故障分量按性质划分,可分为稳态故障分量和暂态故障分量,前者包括工频变化量和二次、三次

和五次谐波分量等,后者包括行波、电弧暂态和衰减的直流分量电流等;按照频率划分,可分为低频故障分量和高频故障分量,低频故障分量包括衰减直流分量电流、工频变化量和谐波分量,高频故障分量包括行波和电弧暂态中的高频分量^[18]。

2 工频变化量和序分量的关系

工频变化量是指故障分量中的工频分量,包括正序故障分量、负序分量、零序分量及其线性组合。其中,正序故障分量是指工频变化量的正序分量。当电力系统三相不对称时,正常运行过程中就有负序分量和零序分量存在,负序故障分量和零序故障分量是指发生故障后负序和零序分量的增量。

当前反应工频变化量的继电保护已在我国电力系统得到了广泛且成功的应用^[6, 7],因此在许多文献中就将工频变化量称为“故障分量”。基于工频变化量的继电保护将故障产生的高频暂态信号和衰减的非周期分量^[19, 20]作为干扰滤除掉了,其性能稳定、动作可靠,但受故障初期暂态的影响获取工频变化量需要较长的数据窗。

2.1 对称分量法

由于输电线相间存在耦合作用,在分析故障时,广泛采用模量变换技术,常用的模量变换有对称分量变换、clark 变换、karrenbauer 变换和 wedepohl 变换等^[21]。应用最广泛的是对称分量法。

对称分量法是分析对称三相系统不对称断线或短路故障的一种基本方法。对称分量法就是将一组不对称的三相量看成三组不同的对称相量之和。这三组对称相量分别为正序分量、负序分量和零序分量。在三相对称电路中,正序、负序和零序分量之间是相互解耦的^[13]。当电力系统三相参数不对称时,不能实现序分量之间的解耦,利用复合序网的故障分析方法将会出现很大的误差。

对称分量法可以用下式来表示。

$$\begin{cases} F_{abc} = SF_{012} \\ F_{012} = S^{-1}F_{abc} \end{cases} \quad (2)$$

其中: $F_{abc} = [F_a \quad F_b \quad F_c]^T$

$F_{012} = [F_0 \quad F_1 \quad F_2]^T$

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix}$$

$$\alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

在对称分量法中不对称的三相量可以是相电流(电压),也可以是相电流(电压)故障分量。当 F_{abc} 为故障分量时, F_{012} 则为相应的零序分量、正序故障分量、负序分量。

2.2 工频变化量与序分量的关系

电力系统继电保护是利用保护安装处的电流、电压信息来区分正常运行状态和故障状态,进而实现保护功能。下文将分析保护安装处工频变化量和序分量之间的关系。

2.2.1 假定图 1(a) 中两侧电源电势相等 ($E_M = E_N$)

当 $E_M = E_N$ 时,图 1(a) 中的 i_M 将为 0。当发生故障后,图 1(b) 中保护安装处的相电流 I_{Ma} 、 I_{Mb} 、 I_{Mc} 经过式(2)变换后得到 I_{M0} 、 I_{M1} 、 I_{M2} 。而图 1(d) 中保护安装处的相电流故障分量 ΔI_{Ma} 、 ΔI_{Mb} 、 ΔI_{Mc} 经过式(2)变换后得到 ΔI_{M0} 、 ΔI_{M1} 、 ΔI_{M2} 。由于正常运行时 i_M 为 0,所以

$$\begin{cases} I_{M0} = \Delta I_{M0} \\ I_{M1} = \Delta I_{M1} \\ I_{M2} = \Delta I_{M2} \end{cases}$$

2.2.2 假定图 1(a) 中两侧电源电势不相等 ($E_M \neq E_N$)

当 $E_M \neq E_N$ 时,图 1(a) 中的 i_M 将不为 0。在三相对称的前提下,图 1(a) 和 (c) 中的节点电压和支路电流只有正序分量。

当发生故障后,图 1(b) 中保护安装处的相电流 I_{Ma} 、 I_{Mb} 、 I_{Mc} 经过式(2)变换后得到的 I_{M0} 、 I_{M2} 在正常运行时不存在,其本身就是故障分量;而经变换得到的 I_{M1} 中不仅包含有故障分量,而且包含有非故障状态网络中的支路电流(正序分量)。所以

$$\begin{cases} I_{M0} = \Delta I_{M0} \\ I_{M1} = \Delta I_{M1} \\ I_{M2} = \Delta I_{M2} \end{cases}$$

2.2.3 工频变化量与序分量之间的关系

根据分析可以得到工频变化量和序分量之间的联系和区别^[4]:

1) 在三相对称系统中,负序及零序分量同时也是工频变化量。在保护安装处,用相电流(压)全量通过对称分量变换得到的正序分量包含有非故障状态网络中的支路电流(工作电压);而用相电流(压)故障分量通过对称分量变换得到的正序分量为正序故障分量。

2) 负序和零序分量只存在于不对称故障,而正序故障分量存在于各种故障。

3) 只要故障存在,正序故障分量、负序分量和零序分量作为工频变化量就存在。因此,正序故障分量、负序分量和零序分量不仅可以实现快速保护,也可以实现具有延时的后备保护。而故障分量中的暂态分量由于其衰减特性只能实现瞬时动作的主保护。

3 暂态故障分量

暂态故障分量就是指故障暂态过程中产生的除工频以外的其他频率分量,是故障分量中的暂态分量。

目前暂态量保护尚没有严格的定义,已提出的暂态量保护原理都是基于高频暂态信号的。广义的暂态量保护应该是通过检测故障暂态量中除工频以外的其他频率分量来实现保护功能的。行波保护反应暂态故障分量中的行波分量,是暂态量保护的一种,它只利用了行波初始波头及后续两三个反射波所包含的故障信息。

故障暂态过程产生大量信息,贯穿整个频域,从直流、工频到高频,含有丰富的故障信息(如故障类型、故障方向、故障位置等)。且基于暂态量的保护具有响应快、不受工频现象(如过渡电阻、系统振荡、CT 饱和)和分布电容影响的优点。近年来,随着电力系统对继电保护要求的提高,以及小波变换等数学工具的发展和 DSP 技术、快速信号采集器、GPS 技术等的应用,暂态量保护的研究进入了高潮^[8-12,22]。

高压远距离输电线和低压中短距离输电线的故障暂态过程有着显著不同的特点。这是因为高压远距离输电线往往采用分裂导线,且常常装设串联电容和并联电抗器。对于低压中短距离输电线,往往可不考虑线路的分布电容,在故障暂态分量中,只可能出现线路电感电流不能突变引起的基本非周期分量。而高压远距离输电线除了基本非周期分

量外, 分裂导线使线路感抗减小、分布电容增大, 分布电容在故障暂态过程中将引起各种高频自由振荡分量; 串补电容的投入在故障暂态过程中与线路感抗构成振荡回路, 产生了低频分量; 并联电抗器的接入在故障暂态过程中会产生附加非周期分量。高压远距离输电线在故障暂态过程中产生的低频分量、高频分量和非周期分量会使电流和电压的大小和相位发生严重的畸变^[13, 23, 24]。

4 突变量

在继电保护中, 突变量常用于启动判据和选相判据。受提取方法的限制及(超)高速保护保护的判据所需要的数据窗通常小于一周期的影响, 在许多文献中把突变量和故障分量并不加区分^[25, 26]。

在微机保护中, 突变量通常用下式

$$\Delta i_k = i_k - i_{k-N} \quad (3)$$

来获取。式中, i_k 为电流在某一时刻 k 的采样值; N 为一个工频周期的采样点数。

由式(3)得到的突变量本身就是故障分量。突变量包含工频分量和暂态分量。所以, 在文献[27]中提到了突变工频量的概念。突变量除了具有故障分量的特点以外, 还具有以下特点:

- 1) 存在时间短, 只能作为瞬时动作的主保护;
- 2) 能够灵敏反应非全相运行时的再故障;
- 3) 能够反应各种故障, 包括对称故障和不对称故障。

需要注意的是, 空载合闸、跳闸等式(3)都有输出。

5 结论

基于故障分量的继电保护在电力系统中已经得到了广泛的应用。但目前出现的文献多从应用角度讨论故障分量的概念。本文给出了故障分量及其相关的突变量、工频变化量、正序故障分量、负序故障分量、零序故障分量、暂态故障分量的定义, 并且讨论了它们的特征。

本文中故障分量的定义是基于简单故障提出的。实际上电力系统所发生故障往往很复杂, 如在不同地点同时发生短路故障、短路故障与断线故障同时存在、发展性故障、转换性故障等。这些情况下, 故障分量的定义该如何给出仍需要继续探讨。

参考文献

[1] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西

安: 西安交通大学出版社, 1996.

GE Yao-zhong. The Theory and Techniques of New Types of Protective Relaying and Fault Location[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1996.

[2] 葛耀中. 继电保护技术的新进展[J]. 继电器, 1998, 26(1): 1-7.

GE Yao-zhong. New Development of Protective Relaying[J]. Relay, 1998, 26(1): 1-7.

[3] 葛耀中, 王安定, 陶惠良. 论利用故障分量的继电保护检测原理[J]. 中国电机工程学报, 1991, 11(增刊): 50-57.

GE Yao-zhong, WANG An-ding, TAO Hui-liang. The Measuring Principle of Protection Based on Fault Components[J]. Proceedings of the CSEE, 1991, 11(S): 50-57.

[4] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.

ZHU Sheng-shi. The Principle and Technique of High Voltage Network Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.

[5] 董新洲, 葛耀中, 贺家李, 等. 输电线路行波保护的现状与展望[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(5): 56-61.

DONG Xin-zhou, GE Yao-zhong, HE Jia-li, et al. Status Quo and Prospect of Traveling Waves Protection of Transmission Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(5): 56-61.

[6] 沈国荣. 工频变化量方向继电器原理的研究[J]. 电力系统自动化, 1983, 11(1): 28-38.

SHEN Guo-rong. A New Directional Relay Based on the Variation of Power Frequency Components[J]. Automation of Electric Power Systems, 1983, 11(1): 28-38.

[7] 戴学安. 综论工频变化量继电器[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(1): 41-47.

DAI Xue-an. A Brief Discussion on the Protection Relay Based on Power Frequency Variation Principle[J]. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(1): 41-47.

[8] Bo ZQ. Transient Based Protection for Transmission Lines[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1998: 1067-1071.

[9] 哈恒旭, 张保会, 吕志来, 等. 超高压输电线单端暂态量保护的新原理探讨[J]. 电工技术学报, 2001, 16(6): 65-69, 94.

HA Heng-xu, ZHANG Bao-hui, LU Zhi-lai, et al. A Study of Non-unit Transient Protection Principle for EHV Transmission Lines[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2001, 16(6): 65-69, 94

[10] 薄志谦. 新一代电力系统继电保护—暂态保护[J]. 电网技术, 1996, 20(3): 34-36, 40.

BO Zhi-qian. Transient Based Protection—A New Generation of Power System Protection[J]. Power System Technology, 1996, 20(3): 34-36, 40.

[11] 吕延洁, 张保会, 哈恒旭. 基于暂态量超高速线路保护的发展与展望[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(5): 56-61.

Lu Yan-jie, ZHANG Bao-hui, HA Heng-xu. Develop-

- ment And Prospect of Ultra-high Speed Protection for EHV Transmission Systems Based on Fault-generated Transients[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001,25(5):56-61.
- [12] 夏明超, 黄益庄, 王勋. 高压输电线路暂态保护的发展与现状[J]. 电网技术, 2002, 26(11):65-69.
XIA Ming-chao, HUANG Yi-zhuang, WANG Xun. Development and Present Situation of Transient Based Protections for High Voltage Power Transmission Lines[J]. Power System Technology, 2002, 26(11):65-69.
- [13] 刘万顺. 电力系统故障分析[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.
LIU Wan-shun. Power System Fault Analysis [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1986.
- [14] 孔繁鹏. 自适应预测与控制理论在计算机继电保护中的应用研究(博士学位论文)[D]. 西安: 西安交通大学, 1996.
KONG Fan-peng. The Study of Adaptive Computer Relay Protection Based on Adaptive Forecasting and Control Theory, Doctoral Dissertation[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1996.
- [15] 毕见广, 董新洲, 郭永基. 基于故障附加网络的故障分量算法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, 44(1):89-92.
BI Jian-guang, DONG Xin-zhou, GUO Yong-ji. Fault Component Analysis in Super-imposed Networks [J]. Journal of Tsinghua University(Sci&Tech), 2004, 44(1): 89-92.
- [16] 阿德南, 董新洲, 贺家李. 方向高频保护的动作为分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 1998, 10(3): 51-57, 61.
A De-nan, DONG Xin-zhou, HE Jia-li. Performance Analysis of Power Line Carrier Protection for Transmission Lines[J]. Proceedings of the EPSA, 1998, 10(3): 51-57, 61.
- [17] 袁荣湘, 陈德树, 张哲. 高压输电线路新型差动保护的研究[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(4):9-13.
YUAN Rong-xiang, CHEN De-shu, ZHANG Zhe. Study on a New Differential Protection for Transmission line[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(4):9-13.
- [18] 董新洲. 故障信息、小波变换与继电保护[J]. 中国电力, 2001, 34(12):22-26.
DONG Xin-zhou. Fault Information, Wavelet Transforms and Relay Protection[J]. Electric Power, 2001, 34(12): 22-26.
- [19] 丁书文, 张承学, 龚庆武, 等. 半波傅氏算法的改进——一种新的微机保护交流采样快速算法[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(5):18-20.
DING Shu-wen, ZHANG Cheng-xue, GONG Qing-wu, et al. An Improved Half-wave Fourier Algorithm—a New Fast Algorithm for Microprocessor—Based Protection AC Sampling[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(5):18-20.
- [20] 刘毅, 温渤婴. 差分与傅氏变换相结合算法在微机电流保护中的应用[J]. 继电器, 2000, 28(8):36-38.
LIU Yi, WEN Bo-ying. Applying the Algorithm of FFT with Difference Data in Microprocessor Based Current Protection[J]. Relay, 2000, 28(8):36-38.
- [21] 王安定, 葛耀中. 模量变换技术在反应故障分量的微机保护中的应用研究. 电力系统自动化, 1988, 12(3):15-25.
WANG An-ding, GE Yao-zhong. Application Study of Model Transformation Techniques to Microprocessor Protection Based on Fault Components[J]. Automation of Electric Power Systems, 1988, 12(3):15-25.
- [22] 张胜祥, 张保会, 段建东. 暂态量保护开发平台的研究[J]. 继电器, 2004, 32(15):34-38.
ZHANG Sheng-xiang, ZHANG Bao-hui, DUAN Jian-dong. Research on Development Platform for Transient Based Protection[J]. Relay, 2004, 32(15): 34-38.
- [23] 李岩, 陈德树, 张哲, 等. 超高压长线电容电流对差动保护的影响及补偿对策仿真分析[J]. 继电器, 2001, 29(6):6-9.
LI Yan, CHEN De-shu, ZHANG Zhe, et al. The Emulation Analysis for the Influence of Capacitance Current of UHV Transmission Line on Differential Current Protection and Compensating Countermeasure[J]. Relay, 2001, 29(6): 6-9.
- [24] 李园园, 郑玉平, 沈国荣. 串补电容对工频变化量距离保护的影响[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(12): 37-40.
LI Yuan-yuan, ZHENG Yu-ping, SHEN Guo-rong. Influence of Series Capacitor on Incremental Power Frequency Distance Relay[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(12): 37-40.
- [25] 王亚强, 焦彦军, 张延东. (超) 高压输电线路故障选相现状及其发展[J]. 继电器, 2004, 32(24): 72-77, 85.
WANG Ya-qiang, JIAO Yan-jun, ZHANG Yan-dong. Current Status and Development of Fault Phase Selection of (E)HV Transmission Lines[J]. Relay, 2004, 32(24): 72-77, 85.
- [26] 杨奇逊, 黄少锋. 微型机继电保护基础(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
YANG Qi-xun, HUANG Shao-feng. Principle of Relay Protection Based on Microprocessor[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [27] 金乃正, 丁网林, 骆健. 数字式保护新技术的应用[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(12):67-69.
JIN Nai-zheng, DING Wang-lin, LUO Jian. Application of New Technology in Digital Protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(12):67-69.
- [28] 张承学, 丁书文. 对新型正序故障分量方向元件几个特殊问题的探讨[J]. 继电器, 1999, 29(3): 16-19.
ZHANG Cheng-xue, DING Shu-wen. Discussion to A Few Particular Problems to New Directional Relay Based on Positive Sequence Fault Components[J]. Relay, 1999, 29(3): 16-19.

实际值小于人们的预计。

如果在谐波国标中引入同时系数,考虑到电气化铁路西昌段运输密度较小,2001年度的日平均运量仅为27对车/天,选用 F_{HVmin} ,重新计算各牵引变电所谐波电流限值如表8所示。

表8 重新计算的各牵引变电所谐波电流限值

Tab.8 Recalculated harmonic current emission limits of each traction substation

各牵引变电所谐波电流限值/A					
谐波次数	3	5	7	9	11
德昌牵引变	3.31	3.31	2.34	1.10	1.48
黄联关牵引变	2.61	2.61	1.85	0.87	1.17
西昌北牵引变	3.31	3.31	2.34	1.10	1.48
泸沽牵引变	3.70	3.70	2.62	1.23	1.65

对比以上各表可见,引入同时系数,不论在PCC还是在用户侧都能较为一致地反映谐波电流超标程度。在本例中,如果进一步调整各个牵引变电所的 F_{HV} 取值,可得到更为合理的谐波电流配额。这一实例验证了电力用户谐波电流限值计算引入同时系数 F_{HV} 的必要性和合理性,通过计算机对多个随机矢量叠加仿真,同样能够证实这一点。

5 结束语

本文介绍了谐波国标 GB/T 14549-93 和 IEC 61000-3-6 技术文件关于用户谐波电流限值的算法,着重讨论了二者的主要不同之处。参照 IEC 61000-3-6,作者建议谐波国标在高压用户谐波电流限值算法中引入负荷同时系数 F_{HV} ,并就 F_{HV} 取值进行详细讨论,给出了同时系数最小值的计算方法。对于各类非线性负荷,尤其是非稳定的非线性负荷,如电气化铁路牵引负荷,同时系数的确定需要依据大量的电气化铁路干线和支线的牵引负荷测量统计数据,需要对非稳定的谐波源特性有充分

的了解,这是一项长期细致的工作,我国这方面的工作仍较薄弱。在不了解负荷特性的情况下,为便于工程应用,本文给出了负荷同时系数的一个取值建议,并结合我国电气化铁路谐波测量数据,验证了在电力用户谐波电流限值计算中引入同时系数的合理性。

参考文献

- [1] GB/T14549-93, 电能质量公用电网谐波[S]. GB/T14549-93, Quality of Electric Supply Harmonics in Public Supply Network [S].
- [2] IEC 61000-3-6:1996, Electromagnetic Compatibility Limits Assessment of Emission Limits for Distorting Load in MV and HV Power Systems [S].
- [3] 杨洪耕,张瑾,张一中. 电力用户谐波限值的评估方法[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2000, (5):82-85. YANG Hong-geng,ZHANG Jin,ZHANG Yi-zhong. Assessment Approach for Harmonic Emission Limits from Customers in Supply Network [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2000, (5):82-85.
- [4] Kazibwe W E, Ortmeyer T H, Hamman M S A A. Summation of Probabilistic Harmonic vectors [J]. IEEE Trans on PWRD, 1989,4(1):621-628.

收稿日期:2006-03-06; 修回日期:2006-05-30

作者简介:

贺建闽(1955-),男,副教授,硕士,研究方向为电气化铁道供电系统、电网电能质量测控技术,长期从事我国电气化铁道供电系统电能质量监测、评价及谐波治理研究工作;

黄治清(1958-),女,副教授,学士,研究方向为电力系统自动化、电网电能质量测控系统研制及虚拟仪器设计。

(上接第41页 continued from page 41)

- [29] 董新洲,苏斌,施慎行. 二次扰动信息及其在继电保护中的应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(2): 21-25. DONG Xin-zhou, SU Bin, SHI Shen-xing. Secondary Disturbance Information and Its Application in Relay Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(2): 21-25

作者简介:

梁振锋(1974-),男,硕士,讲师,研究方向为电力系统自动化和继电保护技术; E-mail: lzf@xaut.edu.cn

康小宁(1968-),男,副教授,研究方向为电力系统自动化和继电保护技术;

姚李孝(1962-),男,教授,研究方向为电力系统规划等。

收稿日期:2006-02-28; 修回日期:2006-11-02