

一种改进的电压凹陷特征量检测方法

邱志, 韩富春, 任婷婷

(太原理工大学电气与动力工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 对于可有效解决电压凹陷问题的动态电压恢复器来说, 准确检测出电压凹陷的三大特征量即凹陷幅值、持续时间和可能出现的相位跃变是其关键所在, 分析了目前常用的单相电压凹陷特征量检测方法, 提出了一种改进的检测算法, 该算法利用求导数法来构造三相虚拟电压, 通过瞬时电压 d-q 变换和低通滤波器得到凹陷特征量。仿真分析证明了这种方法的可用性。

关键词: 电压凹陷; 特征量; 检测; 瞬时电压 d-q 变换

An improved method to detect voltage sag characteristics

QIU Zhi, HAN Fu-chun, REN Ting-ting

(College of Electrical and Power Engineering, TUT, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The correct detection of the voltage sag characteristics, i.e. its magnitude, duration and phase-angle jump appeared at the same time, is of great importance for the dynamic voltage restorer to effectively solve the problem of voltage sag. This paper analyses single-phase voltage sag detection to propose an improved method to detect voltage sag characteristics based on derivative algorithm, low-pass filter and d-q transformation. At last, the availability of this method is verified by the results of computer simulation.

Key words: voltage sag; characteristics; detect; d-q conversion of voltages

中图分类号: TM714.2 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)20-0039-04

0 引言

近几年来, 随着高新技术尤其是信息技术的飞速发展, 基于计算机和微处理器的用电设备和各种电力电子设备等敏感负荷在电力系统负荷中所占比例大幅增加, 它们对电能质量的要求较一般用电设备更加苛刻, 因而, 电压凹陷目前已经成为影响用电设备安全稳定运行的重要电能质量问题之一。

电压凹陷^[1,2] (Voltage Sag) 是指供电电压有效值在短时间内突然下降到 0.1~0.9 pu, 持续时间一般为半个周期到几秒钟之间, 其主要特点为电压有效值的大幅度下降。短路故障、大型敏感电机起动、雷击是导致电压凹陷的三大原因。快速、准确检测电压凹陷是补偿研究重点之一, 现有的凹陷检测方法有缺损电压法、有效值计算方法^[3]、瞬时电压 dq 变换方法^[4-6]等。这些方法有效值、峰值、基波计算法的实时性较差, 且得不到电压相位, 基于 dq 变换的方法虽然能检测单相电压的特征量, 但仍需要 60° 的延时。

本文在前人工作的基础上提出了一种基于瞬时电压 dq 变换的改进检测方法, 对单相电压求导数来构造三相虚拟电压, 通过瞬时电压 d-q 变换和低通

滤波器得到凹陷特征量, 比传统方法计算量小, 且大大减小了检测凹陷特征量的延时。

1 传统检测方法及其局限性

1.1 基于瞬时无功功率理论的 dq0 变换法

该方法是目前 DVR 装置中最常采用的检测算法, 其基本原理是对 abc 坐标系下的三相电量 (电压或电流) 进行 park 变换:

$$F_{dq0} = PF_{abc} \quad (1)$$

式中:

$$P = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \omega t & \cos(\omega t - 120^\circ) & \cos(\omega t + 120^\circ) \\ -\sin \omega t & -\sin(\omega t - 120^\circ) & -\sin(\omega t + 120^\circ) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

将 abc 坐标系下的三相电量转换为 dq0 坐标系下的对应分量。假设待检测的电压为 $u_s(t) = u_1 + u_h$, 其中 $u_1 = U \sin(\omega t + \varphi)$ 为其中的基波分量, u_h 为含有谐波、电压波动、高频震荡等成分的畸变分量, 则在经过 park 变换之后, 在 dq0

坐标系下的直流分量对应的即为 abc 坐标系下的基波分量, 通过低通滤波器得到 dq0 坐标系下的直流分量后, 亦即将待检测电压中的畸变分量给分离出去之后, 再经过 park 反变换:

$$F_{abc} = P^{-1} F_{dq0} \quad (3)$$

式中:

$$P^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \omega t & -\sin \omega t & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\omega t - 120^\circ) & -\sin(\omega t - 120^\circ) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos(\omega t + 120^\circ) & -\sin(\omega t + 120^\circ) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

即可得到所需的电压凹陷特征量。

但上述方法明显只适用于三相电路, 同时也没有针对电压凹陷时可能随之出现的相位跳变的问题进行考虑。

1.2 单相电压延时 60° 构造三相电压的 dq 变换法^[4]

由于实际的电压凹陷多为单相事件, 所以对单相电路, 可以根据三相三线制电路的特点, 以单相电压为参考电压构造出一个虚拟三相系统。

以 a 相为例, 首先将 u_a 延时 60° 得 $-u_c$, 则由 $u_b = -u_a - u_c$ 可求出 u_b 。

构造三相虚拟电压公式如下 (以正常 a 相电压为例):

$$\begin{aligned} u_a &= \sqrt{2} U_a \sin \omega t \\ u_b &= -\sqrt{2} U_a \sin \omega t + \sqrt{2} U_a \sin(\omega t - 60^\circ) \\ u_c &= -\sqrt{2} U_a \sin(\omega t - 60^\circ) \end{aligned} \quad (5)$$

接着进行 park 变换, 求出 d 轴 q 轴分量, 进而求出三相交流电压基波分量有效值和相角。

上述方法利用延时 60° 电压值构造虚拟三相电压, 引入了三分之一周期延时, 且其计算量较大。

1.3 单相电压延时 90° 构造两相电压的 dq 变换法^[5]

根据实测所得到的单相电压来构造 $\alpha\beta$ 静止坐标系中的 u_α , u_β 分量, 即令分量 $u_\beta = u_1 = U \sin(\omega t + \varphi)$, 将超前 90° 的 u_β 作为当前分量 u_α , 然后进行 park 变换, 通过低通滤波器得到 d, q 电压中的直流分量 u_{d0} 和 u_{q0} , 则可得到基波电压的幅值和相位跃变。

上述方法利用延时 90° 电压值构造虚拟三相电压, 同样引入了周期延时, 不利于凹陷特征量的实时检测。

2 改进的单相电压 dq 坐标变换检测方法

通过对上面方法的研究, 本文提出了如下通过将单相瞬时电压从 abc 静止坐标系变换到 dq 旋转坐标系的电压检测方法。

本文方法假设单相电压是标准的正弦基波量, 利用单相电压的导数值间接求出虚拟的另外两相电压量。构造公式如下 (以正常 a 相电压为例):

$$u_a = \sqrt{2} U_a \sin \omega t \quad (6)$$

$$u'_a = \sqrt{2} U_a \omega \cos \omega t \quad (7)$$

$$u_b = -\frac{u_a}{2} - \frac{\sqrt{3} u'_a}{2\omega} \quad (8)$$

$$u_c = -\frac{u_a}{2} + \frac{\sqrt{3} u'_a}{2\omega} \quad (9)$$

进行 park 变换, 如下:

$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} = C_{3s/2r} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} \sin \omega t & \sin(\omega t - 120^\circ) & \sin(\omega t + 120^\circ) \\ -\cos \omega t & -\cos(\omega t - 120^\circ) & -\cos(\omega t + 120^\circ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}$$

通过低通滤波器得到 u_d 和 u_q 中的直流分量 u_{d0} 和 u_{q0} , 则可得到基波电压的幅值和相位跃变为:

$$U = \sqrt{U_{d0}^2 + U_{q0}^2} \quad (11)$$

$$\varphi = \arctan \frac{U_{q0}}{U_{d0}} = \arccos \frac{U_{d0}}{\sqrt{U_{d0}^2 + U_{q0}^2}} \quad (12)$$

对比该方法和前三种方法, 可以看出, 该方法适合对任一单相电压发生凹陷的情况进行电压波形检测, 通过检测可以及时准确地得到凹陷电压的幅值、持续时间等特征量, 以便通过 DVR 进行及时补偿, 其原理和物理意义清晰。而且, 该方法比前面两种从单相构造两相或三相的方法延时小, 可近似认为该方法在构造虚拟三相电压时没有坐标变换的延时, 且构造更为简单。

3 仿真分析

利用 Matlab 对某一单相凹陷电压采用本文所提出的方法和延时 60° 构造三相电压的方法同时进行检测。仿真中设定该单相电压有效值为 220 V, 频率为工频 50 Hz, 在 0.06~0.12 s 之间发生电压凹陷, 凹陷深度为 45%。仿真中设定低通滤波器选用 2 阶、截止频率为 100 Hz 的 Butterworth 滤波器。

3.1 凹陷电压无畸变时

当凹陷电压无畸变时, 凹陷电压波形如图 1 所

示。

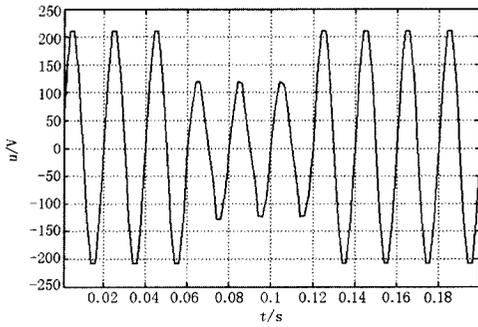


图1 无畸变的凹陷电压波形

Fig.1 Voltage sag waveform without distortion

图2为应用本文提出的改进方法检测到的电压波形,图3为在同一滤波器同一截止频率下,应用延时 60° 构造三相电压办法时检测到的电压波形。由图2可以看出凹陷电压的幅值为120V,表明了发生了凹陷深度为45%的电压凹陷,这与所设定的凹陷是符合的。对比图3和图4可知,在电压凹陷开始、结束时本文提出的改进方法检测到的波形响应更快,更早达到稳定,更能准确地反映电压幅值的变化。仿真时改进方法和延时方法检测到的凹陷开始时间分别为0.0622s、0.0683s,结束时间分别为0.1236s、0.1291s,可见采用本文提出的方法能使DVR更及时地对凹陷进行补偿并在电压恢复后减少不必要的补偿。

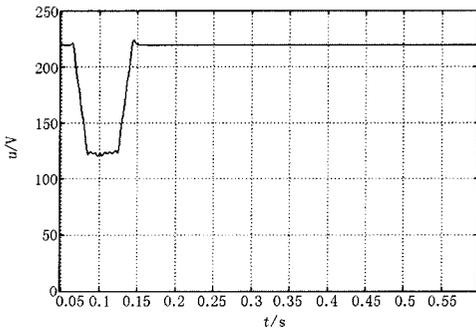


图2 检测到的凹陷电压波形

Fig.2 Detected voltage waveform

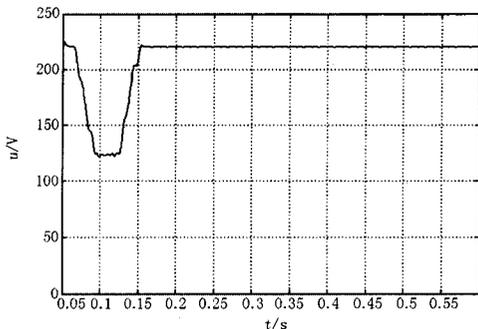


图3 延时 60° 构造三相电压时检测到的凹陷电压波形

Fig.3 Detected voltage waveform of delayed 60° method

图4为采用本文提出的方法检测补偿后的结果。由图可以看出凹陷得到了及时有效的补偿。

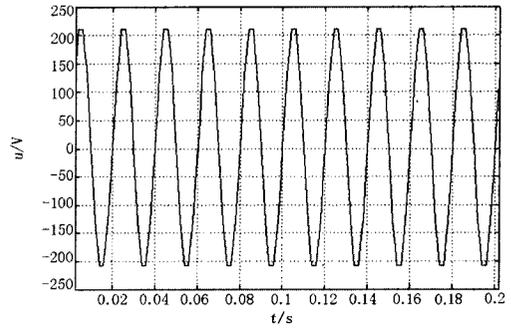


图4 补偿电压波形

Fig.4 Compensated voltage waveform

3.2 凹陷电压有畸变时

凹陷期间电压有畸变时,电压波形如图5所示。

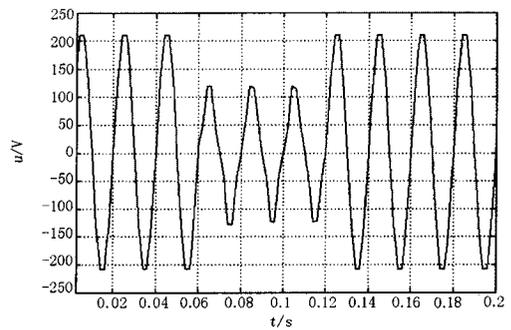


图5 有畸变的凹陷电压波形

Fig.5 Voltage sag waveform with distortion

利用本文提出的方法检测出的凹陷电压波形如图6所示。由图6可以看出,即使在凹陷电压有畸变时,本方法依然可以有效地检测出凹陷波形。

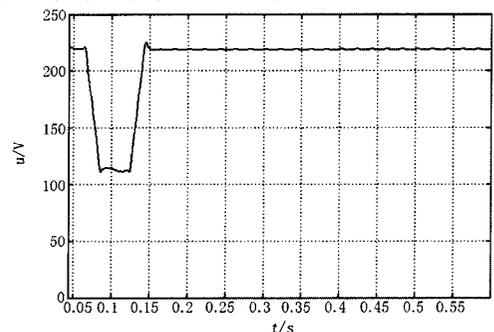


图6 检测到的凹陷电压波形

Fig.6 Detected voltage waveform

4 结论

通过对传统的电压凹陷检测方法的研究,本文提出了一种改进的检测方法,该方法通过对单相电压进行求导来构造虚拟三相电压,减小了构造虚拟三相电压带来的延时,经仿真分析,结果验证了该方法的可用性。

参考文献

- [1] Math H, Bollen J. Understanding Power Quality Problems, Voltage Sags and Interruptions[M]. New York: IEEE Press, 2000.
- [2] 肖湘宁. 电能质量分析与控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
XIAO Xiang-ning. Analysis and Control of Power Quality [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [3] 刘连光, 贾文双, 肖湘宁, 等. 用小波变换和有效值算法实现电压凹陷的准确测量[J]. 电力系统自动化, 2003,27(11):30-33.
LIU Lian-guang, JIA Wen-shuang, XIAO Xiang-ning, et al. Measurement Method of Voltage Sag by Wavelet Transform and RMS Method [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003,27(11):30-33.
- [4] 肖湘宁, 徐永海, 刘连光. 考虑相位跳变的电压凹陷动态补偿控制器研究[J]. 中国电机工程学报, 2002,22(1):64-69.
XIAO Xiang-ning, XU Yong-hai, LIU Lian-guang. Research on Mitigation Methods of Voltage Sag with Phase-angle Jump[J]. Proceedings of the CSEE, 2002,22(1):64-69.
- [5] 杨亚飞, 颜湘武, 娄尧林. 一种新的电压骤降特征值检测方法[J]. 电力系统自动化, 2004,28(1):41-44.
YANG Ya-fei, YAN Xiang-wu, LOU Yao-lin. A New Method to Detect Voltage Sag Characteristics[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004,28(1):41-44.
- [6] 袁川, 杨洪耕. 改进的电压凹陷特征量实时检测方法[J]. 继电器, 2005,33(11):57-60.
YUAN Chuan, YANG Hong-geng. The Advanced Method of Real-time Detection of Voltage Sag Characteristics[J]. Relay, 2005,33(11):57-60.
- [7] 刘兵, 阮江军, 罗湘, 等. 基于曲线拟合法的定制电力设备快速检测算法[J]. 电力自动化设备, 2007,27(9):55-58.
LIU Bing, RUAN Jiang-jun, LUO Xiang, et al. Fast Detection Algorithm Based on Curve Fitting Algorithm for Custom Power Device[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007,27(9):55-58.

收稿日期: 2008-11-05; 修回日期: 2008-12-11

作者简介:

邱志(1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电能质量; E-mail: qiuuzhi713@yahoo.com.cn

韩富春(1954-), 男, 教授, 主要从事电力系统自动控制的研究;

任婷婷(1982-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电能质量。

(上接第 38 页 continued from page 38)

- SU Xiao-hua. A New and Practical Method for Fault Location Based on Single-end Real Time Data in Paralleled Double Circuit line[J]. Relay, 2001,29(5):5-7.
- [12] 束洪春, 高峰, 李卫东. 利用单端工频量的高压输电线路故障测距实用方法研究[J]. 电工技术学报, 1998, 13(5):9-15.
SHU Hong-chun, GAO Feng, LI Wei-dong. A Practical Fault Location Algorithm for HV Transmission Line Using One End Data[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 1998, 13(5):9-15.
- [13] 索南加乐, 吴亚萍, 宋国兵. 基于分布参数的同杆双回线单线故障准确测距原理[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(5):39-43.
SUONAN Jia-le, WU Ya-ping, SONG Guo-bing. New Accurate Fault Location Algorithm for Parallel Lines on the Same Tower Based on Distribute Parameter[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(5):39-43.
- [14] 索南加乐, 王树刚, 张超. 利用单端电流的同杆双回线准确故障定位研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(23):25-30.
SUONAN Jia-le, WANG Shu-gang, ZHANG Chao. An Accurate Fault Location Algorithm for Parallel Transmission Lines Using One-terminal Current[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(23):25-30.
- [15] 陈允平, 吴夙. 输电线路故障定位的最小二乘法实现法[J]. 电力系统自动化, 2004, 25(7):54-56.
CHEN Yun-ping, WU Su. Least Square Realization in Fault Location of Transmission Line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 25(7):54-56.
- [16] 黄彦全, 肖建. 最小二乘法在距离保护中的应用初探[J]. 继电器, 2004, 32(7):17-20.
HUANG Yan-quan, XIAO Jian. Primary Research of Implementing Least Squares in Digital Distance Relaying[J]. Relay, 2004, 32(7):17-20.
- [17] 李响, 刘玲群, 郭志忠. 抗差最小二乘法状态估计[J]. 继电器, 2003, 31(7):50-53.
LI Xiang, LIU Ling-qun, GUO Zhi-zhong. State Estimation with the Least Robustness Square Method[J]. Relay, 2003, 31(7):50-53.
- [18] 龚庆武, 钱峰. 基于抗差估计理论的输电线路故障定位新型算法[J]. 继电器, 2004, 32(20):13-16, 24.
GONG Qing-wu, QIAN Feng. A New Fault Location Algorithm for Transmission Line Based on Robust Estimation Theory[J]. Relay, 2004, 32(20):13-16, 24.

收稿日期: 2008-09-18; 修回日期: 2009-02-02

作者简介:

宋国兵(1972-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 从事电力系统继电保护领域的研究。E-mail: song.gb@163.com