

电网中基于整流电压算法的电压凹陷检测

李文江¹, 范祖台¹, 李墨成², 丁冠西³

(1. 辽宁工程技术大学电气与控制工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105; 2. 渤海装备辽河重工有限公司, 辽宁 盘锦 124000; 3. 国网辽宁省电力有限公司辽阳供电公司, 辽宁 辽阳 111000)

摘要: 针对电气系统中经常出现电压凹陷的现象, 为了能够及时诊断出电压凹陷的情况, 应用了新的检测算法—整流电压(RV)算法。利用 TMS320C40 板、滤波器和一些自动化软件等, 对正常电压和由不同原因引起的凹陷电压信号进行采集, 并根据电压波形以及相应的参数利用整流电压(RV)算法对各种电压信号进行计算、仿真等处理。大量实验结果表明, 该算法不仅可以在极短的时间内有效地检测出电压凹陷情况, 而且可以节省很大的存储空间和计算量。

关键词: 电压凹陷; 整流电压; 仿真; 快速准确; 检测

Detection of voltage sag based on rectified voltage algorithm in grid

LI Wen-jiang¹, FAN Zu-tai¹, LI Zhao-cheng², DING Guan-xi³

(1. Faculty of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China; 2. Liaohe Petroleum Equipment Company, CNPC, Panjin 124000, China; 3. Liaoyang Electric Power Company, State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd., Liaoyang 111000, China)

Abstract: For the voltage sag phenomenon of electrical system, and to be able to diagnose the situation promptly voltage sag, we propose a new detection algorithm: RV algorithm. In this study, TMS320C40 board, filter and some other softwares are used to collect some voltage signals which include normal voltage and voltage sag caused by different reasons, and the rectified voltage (RV) algorithm is applied to calculate, simulate and do some other treatment for a variety of voltage signals according to the voltage waveform and the corresponding parameters. Experimental results show that this algorithm can not only effectively detect the voltage sag conditions within a very short period of time, but also can save a lot of storage space and calculation.

Key words: voltage sag; RV; simulation; fast and accurate; detection

中图分类号: TM937.2 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)24-0099-04

0 引言

随着科技的迅猛发展, 电力工业用户生产工艺水平的飞速提高, 各种新的仪器设备不断涌现, 尤其是电力敏感性设备的大量使用, 对电力系统电能质量的要求日益提高。同时, 由于大量非线性负载的增加, 给电网带来的谐波扰动等恶化了电能质量。

直到 20 世纪 70 年代, 由于电压凹陷给各行业带来的损失难以忽略, 针对电压凹陷的研究工作才逐步展开。尤其是 20 世纪 80 年代以后, 数字式自动控制技术在工业生产中大规模应用, 大批敏感设备如变频器、可编程逻辑控制器、计算机系统等电压敏感性设备的大量使用, 对供电电压的稳定性提出了更高的要求, 电压凹陷问题才引起人们的广泛关注。

电压凹陷是指供电电压有效值在短时间内突然下降, 持续时间为 0.5 个电压周期, 甚至能达到 1 min^[1]。当供电系统中发生短路故障、大容量电动机启动、投切变压器或投切电容器组等都可能引起电压凹陷。电压凹陷会导致敏感用电设备损坏或误动作, 电压凹陷通常不会毁坏电气设备, 但很容易阻碍敏感性电气负载的运行, 比如可调驱动器、电流变换器等, 从而造成严重经济损失^[2-4]。

本文针对电压凹陷的特点^[5-7], 用 DSP 板对其进行信号处理, 用 RV 算法对信号进行计算并判断是否发生凹陷行为, 通过大量实验, 结果表明该算法能快速准确地检测出电压凹陷。

1 整流电压算法

整流电压(RV)算法是通过使用有限长单位冲激

响应滤波器，对瞬时整流电压 $r(n)$ 和参考整流电压 $rr(n)$ 进行相比而提出的算法，其中 $r(n)$ 可以通过低功率二极管整流电路得到。比值 $r(n)/rr(n)$ 用一个阈值 α 表示，即

$$\alpha = r(n)/rr(n) \quad (1)$$

该算法的计算只用某一相整流电压，因此既减少了运算量又节省了存储空间。当参考信号 $rr(n)$ 是额定空载整流电压时，表达式为

$$rr(n) = 1.35V_{\text{ums}} \quad (2)$$

算法的结构如图 1 所示。

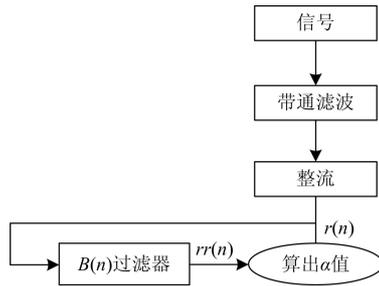


图 1 RV 算法的流程图

Fig. 1 Flow chart of RV algorithm

图中， $B(n)$ 过滤器用来获取参考信号 $rr(n)$ ，它等于平均整流电压值，可以实时更新。经过带通滤波 $BP(n)$ 后的信号经过整流器，得到 $r(n)$ ，计算得到阈值 α 。其中，过滤器被看作有 $P-1$ 个零的非零序列的重复序列 (M 次)，因此该过滤器过滤的样本有 $M(P-1)$ 个。 $B(n)$ 过滤器是一个具有以下结构的 FIR 过滤器。

$$B(n) = 0, n \neq Pk \quad k \text{ 为整数} \quad (3)$$

$$B(n) = 1, n = Pk \quad k \text{ 为整数} \quad (4)$$

式中： P 是样本的长度； M 则是样本中滤波器脉冲响应的长度。对于普通过滤器，要考虑老化系数 $1/\beta$ ，即

$$B(n) = 0, n \neq Pk, k \text{ 为整数} \quad (5)$$

$$B(n) = 1/\beta, n = Pk, k \text{ 为整数} \quad (6)$$

本文的实验中，实施 RV 算法过程中的采样频率为 5 kHz，在 TI 公司 TMS320F2812 的 DSP 电路板中通过用 C 语言编程进行各种算法的实现。

2 实验及结果分析

在设计阶段，首先要考虑到 FIR 滤波器的型号 (设计到的存储容量和计算性能)；其次要尽可能降低采样频率，以避免不必要的扰动。对于相的选择，无论哪一相，只要能提供谐波和失真谐波，就可以充分利用其进行实验。因此，在合适的相中选择 5 kHz 为采样频率，参数 $M=5P$ ， P 分别取值 3 ms, 10 ms,

30 ms，则 M 值分别为 15, 50, 150，如表 1 所示。

表 1 测试中使用的参数
Table 1 Parameters used in the tests

参数	数值
M	$5P$
P	3, 10, 30

在三种 P 值不同的回路中，当电压出现凹陷时，分别用 RV 算法进行实验，当不考虑老化系数，且每种情况发生 90% 的电压凹陷时，电压曲线如图 2 所示。

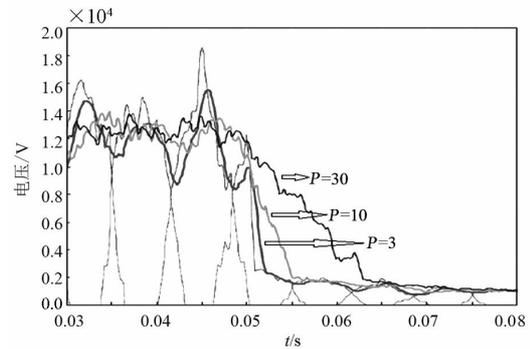


图 2 没有老化系数的参考凹陷电压曲线: $M=5P$

Fig. 2 Curve of reference voltage sag (no aging factor): $M=5P$

在图 2 中，可以看出瞬时电压和正常电压的很大差异。该 RV 算法中的阈值 $\alpha = r(n)/rr(n)$ 的结果曲线绘制于图 3 中。

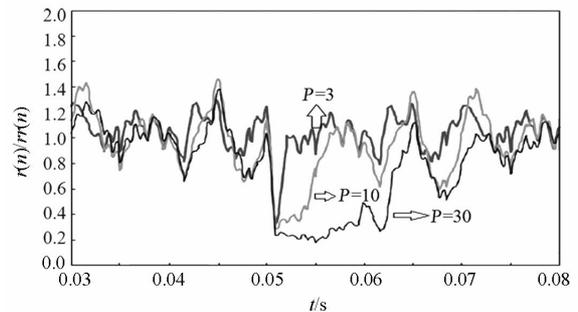


图 3 阈值 α 瞬时值曲线: $M=5P$

Fig. 3 Curves of instantaneous value of α : $M=5P$

针对表 1 中的不同 P 值做了大量的实验。实验结果表明， P 值比较小的时候，该算法计算速度非常快，该算法的结果受电压凹陷的影响较大。当 P 值较大的时候，对于脉冲的干扰，算法的鲁棒性更好。

选择 $P=10$ ，令 $M=5P$ ， $M=10P$ ， $M=20P$ ，再引入老化系数 $1/\beta=0.33$ 重复做上述试验，其中，电压凹陷曲线如图 4 所示，阈值 α 的曲线如图 5 所示。图 3 和图 5 中 α 选择范围是 0.5~0.6，大于该范围凹陷检测的误检率大大增加。

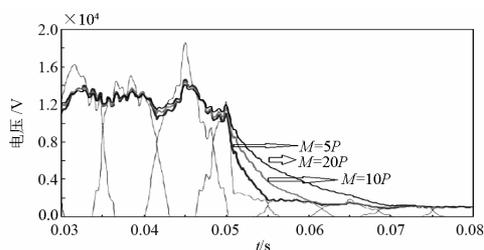
图4 有老化系数的参考凹陷电压曲线: $M=5P$, $1/\beta=0.33$

Fig. 4 Curve of reference voltage sag with aging factor:
 $M=5P$, $1/\beta=0.33$

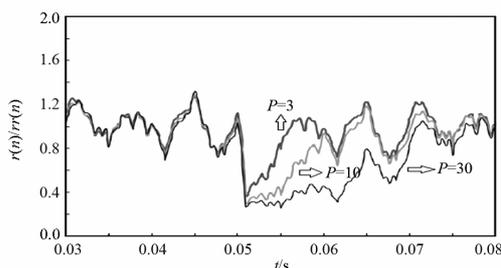
图5 阈值 α 瞬时值曲线: $M=5P$, $1/\beta=0.33$

Fig. 5 Curves of instantaneous value of α : $M=5P$, $1/\beta=0.33$

从图5可以看出, 老化系数的引入, 改变了阈值 α 曲线的形状。从计算量角度来讲, 计算量增加了。

此外, 对以下三种电压进行测试:

1) 对专门设定的三相失真谐波(失真程度为2%~8%)。谐波分量的幅值与 EN50160 标准中所示的幅值成正比, 电压凹陷的幅值随机变化。

2) 电压凹陷时记录下来的三相电压。

3) 实验室的电气系统中因故障产生的电压凹陷。

(1) 使用设定的电压凹陷波形进行测试

电压凹陷测试的波形如图6所示, 图中显示了线电压的归一化均方根(rms)值和RV算法的结果, 其中残留电压为额定电压的10%, 瞬时电压凹陷时间为1ms。利用该算法, 在选择完所有RV算法参数后不到1ms, 电压凹陷就能通过该算法检测出来。本文针对不同的凹陷深度(80%, 70%, 50%, 30%和10%)分别进行了多次试验, 产生电压谐波相的分布和发生电压凹陷的时刻都是随机的, 阈值 $\alpha=0.54$, 计算结果列于表2中。

表2 静态计算结果

Table 2 Results of the statistical evaluation

电压凹陷程度	10%	30%	50%	70%	80%
检测平均时间/ms	1.5	1.1	2.3	3.3	4.0
检测时间标准/ms	1.2	0.84	2.0	1.6	1.5

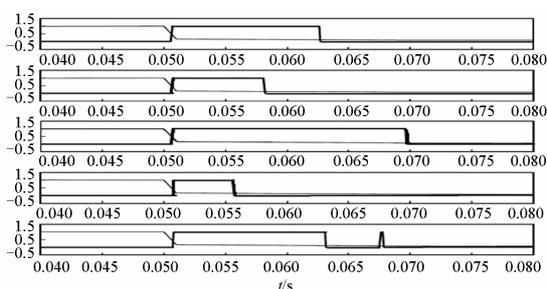


图6 线对线电压和RV算法的结果(从上到下): $M=5P$ 且 $P=30$, $M=10P$ 且 $P=10$, $M=20P$ 且 $P=10$, $M=10P(1/\beta=0.33)$ 且 $P=10$, $M=20P$ 且 $P=10(1/\beta=0.33)$

Fig. 6 Normalized rms value of the line-line voltage and RV algorithm output (top to bottom): $P=30$ and $M=5P$; $P=10$ and $M=10P$; $P=10$ and $M=20P$; $P=10$ and $M=10(1=0.33)$; $P=10$ and $M=20P(l=0.33)$

(2) 使用记录的波形测试

中低压变压器次级绕组的电压凹陷结果显示在图7和图8, 这些波形以低采样频率(500Hz)进行采样。测试中, 由式(2)所示的参考信号 $rr(n)$ 没有任何过滤器, 因此 $rr(n)$ 是恒定的, 该种情况下, 在电压凹陷发生550 μ s内, RV算法就可将其检测出来。

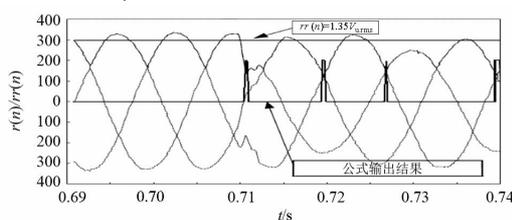


图7 短时电压凹陷的算法的结果

Fig. 7 Results of RV algorithm of sags of short duration

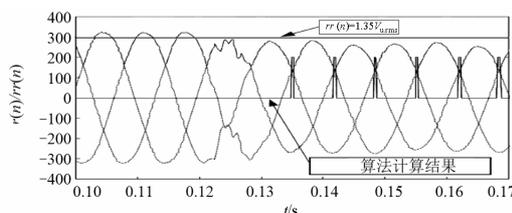


图8 长时间且凹陷程度为80%的情况下RV算法的结果
Fig. 8 Results of RV algorithm of 80% sag of short duration

(3) 因故障引起的电压凹陷波形的测试

实验中, 在单相和三相情况下对低负载的电气回路中的开关进行快速切换, 从而引起电压凹陷(测试1); 此外, 在同样情况下对电路中的电闸进行快速合闸引起电压凹陷(测试2)。用DSP板对RV算法对以上两种情况进行测试, 参考电压 $rr(n)$ 根据公式(2)保持恒定。图9和图10中显示了以上两个实验中两个线电压曲线以及RV算法结果的曲线(较

低的曲线)。图中电压凹陷检测的延时值分别为 0.6 ms 和 0.8 ms。大量实验发现, 利用该算法, 电压凹陷检测出来的时间大多在 1 ms 以内, 只有少数在 1~1.5 ms。

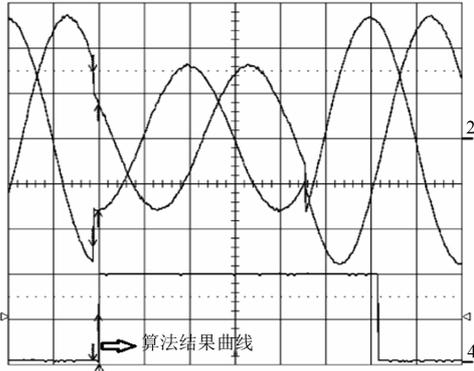


图 9 测试1的RV算法结果

Fig. 9 Response of the RV algorithm for test 1

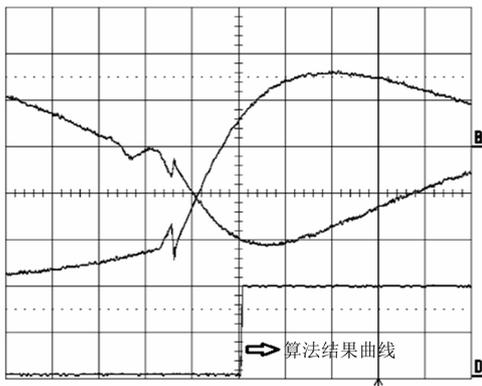


图 10 测试2的RV算法结果

Fig. 10 Response of the RV algorithm for test 2

3 结论

针对电网中频繁发生的电压凹陷现象, 本文做了大量实验, 结果表明, 计算结果收到电压凹陷的影响很大, P 值小则计算速度快; P 值大则算法鲁棒性好。老化系数的引入会增加计算量。此外, 利用整流电压(RV)算法可以快速有效检测电压凹陷(检测时间低于 1 ms), 而且计算量(计算操作次数和存储空间需求)可以达到最小。

该算法的应用, 不仅能够对工业生产生活中电

气系统以及电网的电压凹陷提供可靠的检测方法, 也为广大的工业生产减少了大量的经济损失, 大大提高了电网的电能质量。

参考文献

- [1] ANS/IEEE Standard 1159 IEEE recommended practice for monitoring electric power quality[S]. 1995.
- [2] SUBRAMANIAN S, MISHRA M K. Interphase AC-AC topology for voltage sag supporter[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2010, 25(2): 514-518.
- [3] CASTILLA M, MIRET J. Voltage support control strategies for static synchronous compensators under unbalanced voltage sags[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 2014, 61(2): 808-820.
- [4] MOON J F, KIM J S. Voltage sag analysis in loop power distribution system with SFCL[J]. IEEE Trans on Applied Superconductivity, 2013, 23(3).
- [5] 郭邱志, 韩富春, 任婷婷. 一种改进的电压凹陷特征量检测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(20): 39-42.
GUO Qiu-zhi, HAN Fu-chun, REN Ting-ting. An improved method to detect voltage sag characteristics[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(20): 39-42.
- [6] 陈平, 杨洪耕, 肖先勇. 基于模糊失效准则的敏感设备电压凹陷敏感度评[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(6): 8-11.
CHEN Ping, YANG Hong-geng, XIAO Xian-yong. Sensitivity evaluation of sensitive equipment based on fuzzy failure criterion due to voltage sags[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(6): 8-11.
- [7] 王球保, 杨仁刚, 谈萌, 等. 基于 DSP 的电压凹陷检测装置的研究[J]. 继电器, 2006, 34(4): 53-56.
WANG Qiu-bao, YANG Ren-gang, TAN Meng, et al. Fast detection of voltage sags based on DSP[J]. Relay, 2006, 34(4): 53-56.

收稿日期: 2014-03-02; 修回日期: 2014-05-13

作者简介:

李文江(1951-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力电子变流技术, 工业自动化控制, 电机与电器检测技术。