

基于扰动功率法的短期电能质量扰动源判定

严居斌

(成都电业局, 四川 成都 610021)

摘要:采用扰动功率法对电压骤升、电压骤降、短时停电等短期电能质量扰动进行扰动源的判定,对公共连接点的各个支路,其扰动功率初始峰值极性作为扰动方向判定的依据,极性不同的支路为扰动源所在的支路。仿真结果表明,该方法对判定电压骤升、电压骤降、短时停电等短期电能质量扰动的扰动源有较好的效果。

关键词:短期扰动;扰动功率;扰动源

Abstract: The determination of disturbance source of short-term power quality is put forward by using disturbance power method. Polarity of the initial peak of disturbance power is the basis for the determination of disturbance direction. Disturbance source is located in the branchings whose polarity is different. The simulation results indicate that it is useful to recognize disturbance source of voltage swell, voltage sag and voltage interruption with this method.

Key words: short-term disturbances; disturbance power; disturbance source

中图分类号: TM714 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2011)01-0029-05

0 引言

随着用电设备技术的更新,尤其是数控技术广泛用于工业生产,用户对供电系统的电压质量提出了更高的要求。目前,中国的电力市场已逐步实施,随着电力市场的逐步完善,电力部门不但要解决电力用户对电能质量的投诉,提高电能质量满足用户的需要,还要加强电能质量监督管理,发现电能质量问题后要深入研究,找到电能质量扰动的扰动源,即判定扰动方向,从而明确责任,对扰动源负荷进行惩罚,并督促其提高电能质量;是系统责任的电能质量问题一定要认真分析,找到扰动原因,最终为用户提供安全、可靠、清洁的电力能源。

电力系统短期扰动分析在电能质量分析中占有重要的地位^[1-7]。文献[8]利用扰动能量流对电压骤降、充电暂态进行扰动方向的判定。对于一个电力网络,在一负荷支路发生故障或接入扰动负荷将引起公共连接点的各支路潮流发生变化。扰动发生后的瞬时功率和正常情况下的瞬时功率之差定义为扰动功率。扰动功率在时间上的积分定为扰动能量。扰动能量法通过扰动能量的正负来判断扰动的方向。扰动能量法能够将扰动支路和非扰动支路区别开来,但系统侧的扰动能量表现为不确定性,有正有负。有时

是一负荷支路发生扰动,但系统侧的扰动能量也与其同号,因而不能判定扰动是负荷支路还是系统造成的。对电压骤升、短时停电等短期扰动方向判定很少有文章介绍。

下面将采用扰动功率法对电压骤升、电压骤降、短时停电等短期电能质量扰动进行扰动源的判定。对公共连接点的各个支路,其扰动功率初始峰值极性作为扰动方向判定的依据,极性不同的支路为扰动源所在的支路。

1 短期电能质量扰动方向判定

1.1 短期电能质量扰动

短期电能质量扰动包括电压骤升、电压骤降和短时停电,是指电压或电流有效值发生变化且持续时间为 0.5 个工频周期~1 min 的电磁扰动现象。引起短期电压变化的原因是系统故障、需要高启动电流的大型负荷的接入或电力布线接头处有断续的松动等。如连于公共连接点的一支路中部发生 A 相接地故障,故障持续时间为 10 s 公共连接点 A 相将发生电压骤降扰动, B 相和 C 相发生电压骤升,故障点 A 相发生短时停电。

对于公共连接点 (point of common coupling PCC),若发生短期电能质量扰动,连接到公共连接点

的各个支路的电流都要发生变化。短期扰动对公共连接点各支路电流有重要影响,甚至改变电流流向,从而也影响公共连接点的电压。但从实验及实际情况可知,单从支路电流或公共连接点电压并不能判断电能质量扰动来自哪条支路。公共连接点各支路电流和公共连接点电压的变化必将引起各支路功率的变化。下面从功率的角度研究短期扰动的方向判定。

1.2 短期电能质量扰动方向判定

1.2.1 扰动功率和扰动复功率

扰动功率 (disturbance power DP) 定义为连接于公共连接点的某一支路发生电能质量扰动后各支路扰动时刻瞬时功率与稳态瞬时功率之差,即

$$DP(t) = p(t) - p_s(t) \quad (1)$$

其中, $p(t)$ 为故障时刻瞬时功率; $p_s(t)$ 为稳态瞬时功率。

正弦电路的复功率为

$$\bar{S} = P + jQ = UI \angle \Phi = \dot{U} \dot{I}^* \quad (2)$$

其中, P 为有功功率; Q 为无功功率; Φ 为电压与电流向量的相位夹角值; \dot{U} 为电压向量; \dot{I}^* 为电流向量 \dot{I} 的共轭向量。

扰动复功率定义为正弦电路的结构或负荷发生变化后公共连接点各支路复功率的变化值,即

$$DS = \bar{S}_2 - \bar{S}_1 \quad (3)$$

其中, \bar{S}_2 为变化后的复功率; \bar{S}_1 为变化前的复功率。

对于正弦电路,扰动功率初始峰值极性与扰动复功率的相位有关。

1.2.2 短期扰动的方向判定

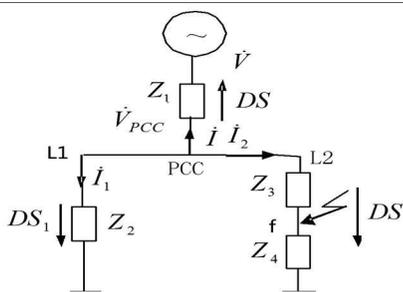


图 1 短期扰动模拟电路图

短期电能质量扰动主要由短路故障引起。短路故障可用图 1 的电路模拟,假设连接到公共连接点的一条支路在线路末端 f 点发生三相接地短路故障。图中 Z_1 为系统阻抗, Z_2 为支路 L_1 的线路和负荷阻抗, Z_3 为支路 L_2 的线路阻抗, Z_4 为支路 L_2 的负荷阻抗, f 为短路点。

f 点短路前,

$$Z = Z_1 + \frac{Z_2(Z_3 + Z_4)}{Z_2 + Z_3 + Z_4} \quad (4)$$

$$\dot{I} = -\frac{\dot{V}}{Z}, \dot{I}_1 = -\dot{I} \cdot \frac{Z_3 + Z_4}{Z_2 + Z_3 + Z_4}$$

$$\dot{I}_2 = -\dot{I} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3 + Z_4} \quad (5)$$

$$\dot{V}_{PCC} = Z_2 \dot{I}_1 \quad (6)$$

$$\bar{S} = \dot{V}_{PCC} \dot{I}^*, \bar{S}_1 = \dot{V}_{PCC} \dot{I}_1^*, \bar{S}_2 = \dot{V}_{PCC} \dot{I}_2^* \quad (7)$$

f 点短路后, $Z_4 = 0$,

$$Z' = Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3} \quad (8)$$

$$\dot{I}' = -\frac{\dot{V}}{Z'}, \dot{I}'_1 = -\dot{I}' \cdot \frac{Z_3}{Z_2 + Z_3}$$

$$\dot{I}'_2 = -\dot{I}' \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad (9)$$

$$\dot{V}'_{PCC} = Z_2 \dot{I}'_1 \quad (10)$$

$$\bar{S}' = \dot{V}'_{PCC} \dot{I}'^*, \bar{S}'_1 = \dot{V}'_{PCC} \dot{I}'_1^*, \bar{S}'_2 = \dot{V}'_{PCC} \dot{I}'_2^* \quad (11)$$

故系统侧和各负荷支路的扰动复功率分别为

$$DS = \bar{S}' - \bar{S} \quad DS_1 = \bar{S}'_1 - \bar{S}_1, DS_2 = \bar{S}'_2 - \bar{S}_2 \quad (12)$$

Z_1 、 Z_2 、 Z_3 和 Z_4 分别取不同的值时,由式 (12) 得出各负荷支路和系统侧扰动复功率幅值及相角见表 1,扰动复功率的参考方向以从公共连接点流出为正, $\dot{V} = \angle 0^\circ$ 。

由表 1 可知,扰动源支路的扰动复功率的相位为负,非扰动源支路和系统侧扰动复功率相位为正,因此可以判断扰动方向。实际系统中并不是纯正弦系统,所以并不能求得扰动复功率。扰动功率初始峰值极性与扰动复功率相位有关,因此可从扰动功率初始峰值极性来判断扰动源的位置。

2 仿真分析

图 2 为一放射性电力系统电路图。 Z_s 、 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 和 Z_4 为系统阻抗和线路阻抗, L_1 、 L_2 和 L_3 为连接于 PCC 的三条负荷支路。 f 为短路点,位于支路 L_1 的线路中部。下面对 PCC 发生电能质量扰动后系统侧和各负荷支路的扰动功率进行分析。扰动功率以流出 PCC 点为正。

如果在 f 点发生 A 相接地短路故障,并在 0.07 s 后故障解除,则 PCC 处将出现短期电能质量扰动,即

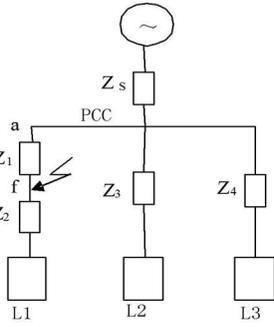


图 2 短路故障仿真电路图

A 相电压骤降、B 相和 C 相电压骤升。系统侧、各负荷支路扰动功率波形见图 3。

由图 3 可知，支路 L₁ 的扰动功率初始峰值为正，

系统侧和支路 L₂、L₃ 的扰动功率初始峰值为负，可判定扰动源在支路 L₁，与实际情况相同。

如果在 f 点发生 A、B 两相接地短路故障，并在 0.07 s 后故障解除，则 PCC 处 A、B 相电压骤降、C 相电压骤升。系统侧、各负荷支路扰动功率波形见图 4。

由图 4 可知，支路 L₁ 的扰动功率初始峰值为正，系统侧和支路 L₂、L₃ 的扰动功率初始峰值为负，可判定扰动源在支路 L₁，与实际情况相同。

如果在 f 点发生三相接地短路故障，并在 0.07 s 后故障解除，则在 PCC 处 A、B 和 C 相电压骤降。系统侧、各负荷支路扰动功率波形见图 5。

表 1 短期扰动模拟结果

名称	数值			
Z ₁	0.3+0.5j	0.3+0.5j	0.2+0.5j	0.2+0.5j
Z ₂	9+4j	9+4j	10+5j	10+5j
Z ₃	0.1+0.4j	0.1+0.4j	0.1+0.5j	0.1+0.5j
Z ₄	11+5j	11-5j	9+4j	9-4j
DS ₁	0.0624+0.0278j	0.0671+0.0298j	0.0504+0.0252j	0.0554+0.0277j
ψ ₁ / (°)	23.9625	23.9625	26.5651	26.5651
DS ₂	-0.0382-0.3683j	-0.0310-0.4266j	-0.0128-0.4066j	-0.0004-0.4782j
ψ ₂ / (°)	-95.9196	-94.1503	-91.8038	-90.0486
DS	-0.0243+0.3406j	-0.0361+0.3968j	-0.0376+0.3814j	-0.0550+0.4505j
ψ / (°)	94.0728	95.2003	95.6311	96.9631

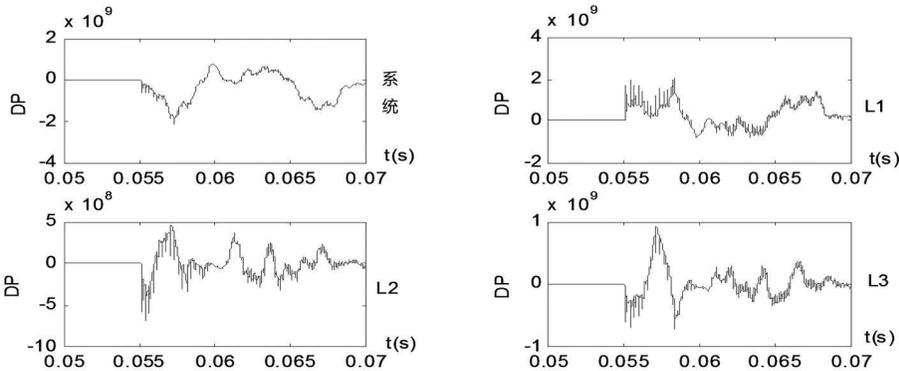


图 3 A 相接地短路系统侧和各负荷支路扰动功率

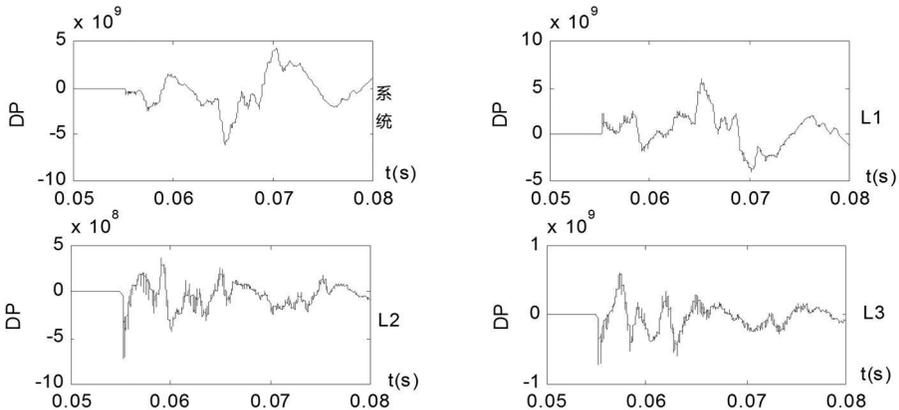


图 4 A、B 两相接地短路系统侧和各负荷支路扰动功率

由图 5 可知,支路 L_1 的扰动功率初始峰值为正,系统侧和支路 L_2 、 L_3 的扰动功率初始峰值为负,可判断扰动源在支路 L_1 ,与实际情况相同。

如果在 L_1 支路出口处 a 点发生 A 相接地短路故障,并在 0.07 s 后故障解除,则在 PCC 处 A 相出现短时停电, B、C 相电压骤升。系统侧、各负荷支路扰动功率波形见图 6。

由图 6 可知,支路 L_1 的扰动功率初始峰值为正,系统侧和支路 L_2 、 L_3 的扰动功率初始峰值为负,可判

断扰动源在支路 L_1 ,与实际情况相同。

如果在 L_1 支路出口处 a 点发生 A、B 两相接地短路故障或三相接地故障,并在 0.07 s 后故障解除,则在 PCC 处出现短时停电。同样可判断扰动源在支路 L_1 。A、B 两相接地短路时系统侧、各负荷支路扰动功率波形见图 7;三相接地短路时系统侧、各负荷支路扰动功率波形分别见图 8。

因此用扰动功率法能够判断电压骤升、电压骤降、短时停电和暂态等电能质量扰动的扰动方向。

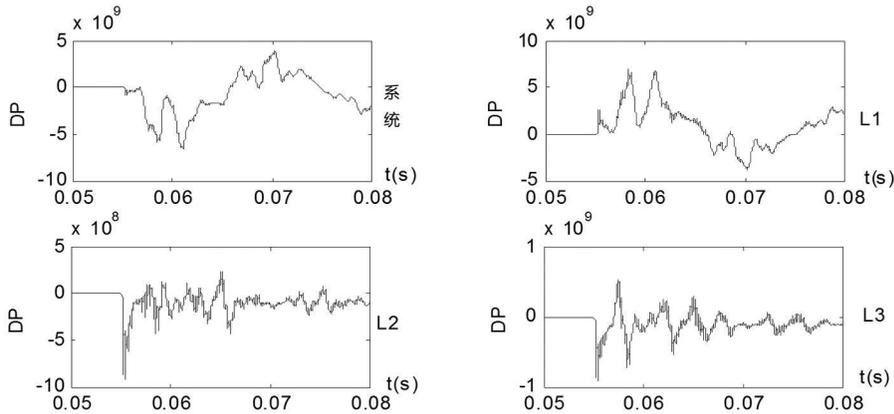


图 5 三相接地短路系统侧和各负荷支路扰动功率

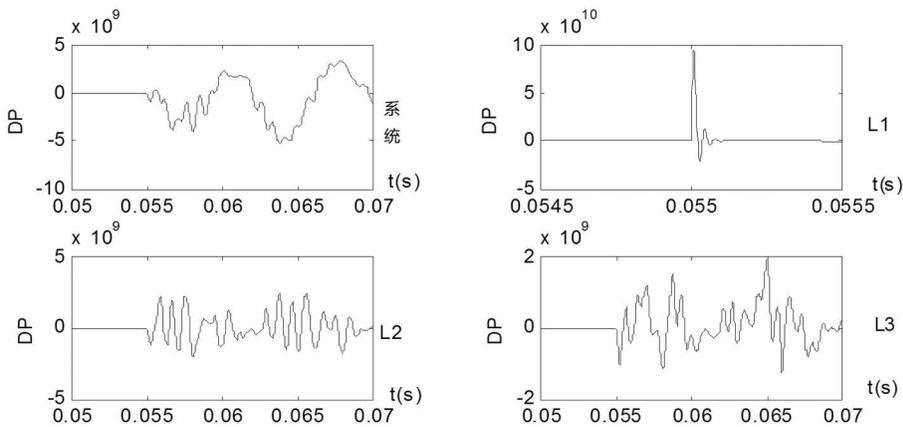


图 6 L_1 支路出口处 A 相接地短路系统侧和各负荷支路扰动功率

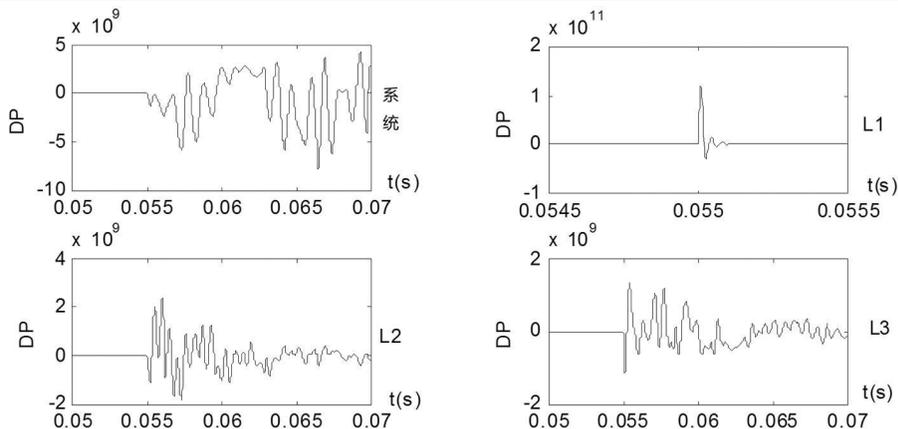


图 7 L_1 支路出口处 A、B 两相接地短路系统侧和各负荷支路扰动功率

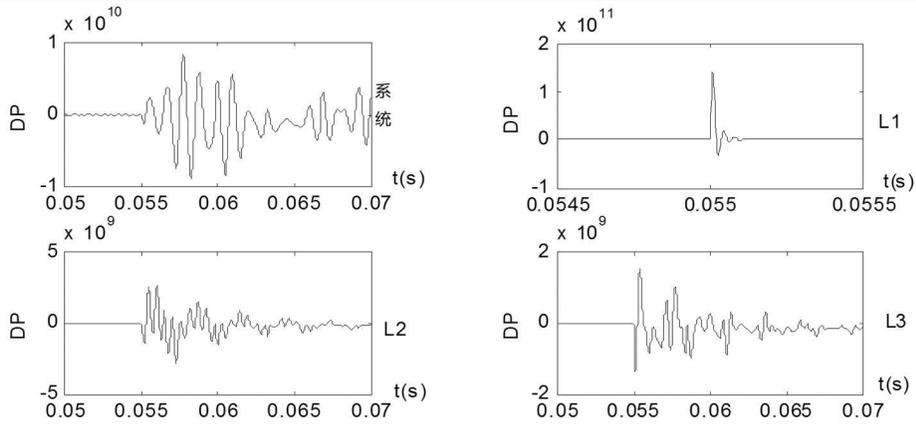


图 8 L₁ 支路出口处三相接地短路系统侧和各负荷支路扰动功率

4 结 语

随着电力市场的不断完善,电力部门不仅要满足用户对电力数量不断增长的需求,还必须满足较高电能质量的要求。深入分析和研究电能质量问题,探询在一定条件下发生电能质量扰动的因果关系,找到扰动源,明确责任和义务,是电力工业适应市场竞争和可持续发展所必须的。采用了扰动功率法对电压骤升、电压骤降、短时停电等短期电能质量扰动进行扰动源的判定。通过仿真分析,取得了较好的效果。

参考文献

[1] Dugan R C, Mcgranaghan M F, Beaty H W. Electrical Power Systems Quality [M]. New York: McGraw-Hill, 1996.
 [2] 严干贵, 姜齐荣, 黄民聪. 未来的用户电力技术 [J]. 电力系统自动化, 2002, 26(1): 62-67.

[3] Nara K, Hasegawa Oyama T, et al. Forwarding to Future Power Delivery System [C]. In: Proceeding of IEEE ICHQP IX. Orlando (USA); 2000, 8-18.
 [4] Mancao R T. Power Quality Monitoring of a Distribution System [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1994, 9(2): 1136-1140.
 [5] 胡铭, 陈珩. 电能质量及分析方法综述 [J]. 电网技术, 2000, 24(2): 36-38.
 [6] 肖湘宁, 徐永海. 电能质量问题剖析 [J]. 电网技术, 2001, 25(3): 66-69.
 [7] 严居斌, 刘晓川, 杨洪耕, 等. 基于小波变换模极大值原理和能量分布曲线的电力系统短期扰动分析 [J]. 电网技术, 2002, 26(4): 16-18, 33.
 [8] Parsons A C, Grady W M, Powers E J, Soward J C. A Direction Finder for Power Quality Disturbances Based Upon Disturbance Power and Energy [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000, 15(3): 1081-1086.

(收稿日期: 2010-11-14)

(上接第 4 页)

[6] 任景. 交直流互联系统送端孤网运行时频率稳定问题研究 [D]. 成都: 四川大学, 2008.
 [7] S Corsi A, Danelli M, Pozzi. Emergency-stability Controls through HVDC Links [C]. Power Engineering Society Summer Meeting Chicago-USA, 2002(2): 774-779.
 [8] Reeve J, Lane-Smith S P. Multi-infeed HVDC Transient Response and Recovery Strategies [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1993, 8(4): 1995-2001.
 [9] Prabha Kundur. Power System Stability and Control [M]. New York: McGraw-Hill, 1993.

[10] 房大中, 杨晓东, 宋文南. 提高交直流电力系统稳定性的 HVDC 模糊逻辑控制器 [J]. 电力系统自动化, 2002, 25(5): 21-27.
 [11] 刘红超, 李兴源, 王路, 等. 多馈入直流系统中直流调制的协调优化 [J]. 电网技术, 2004, 28(1): 5-9.
 [12] 郭小江, 卜广全, 马世英, 等. 西南水电送华东多送出多馈入直流系统稳定控制策略 [J]. 电网技术, 2009, 33(2): 56-61.
 [13] 金小明, 李兴源, 刘红超, 等. 南方电网多馈入与交流并联系统的稳定与控制研究 [R]. 成都: 四川大学, 2002.

(收稿日期: 2010-11-19)