

多支路负荷闪变源识别研究

堵俊, 郭晓丽, 张新松

(南通大学电气工程学院, 江苏 南通 226019)

摘要: 闪变是电能质量的问题之一, 对其进行定位研究, 可以明确供电方、用电方的责任, 为综合治理提供了一定的理论依据。研究了闪变产生的原因及其在变压器间的传递规律。闪变源支路负荷将引起所连接的母线电压波动, 但其通过的电流受负荷本身特性影响, 与母线电压关系不大, 而非闪变源支路负荷通过的电流取决于母线电压。根据这一特点, 通过计算母线电压和支路负荷电流相关度的新方法, 能够实现多个支路负荷的闪变源识别, 该方法简单、易行, 满足准确度的要求。

关键词: 电压波动; 闪变源; 负荷; 电压传递; 相关度

Research on identification of flicker source in power system with several loads

DU Jun, GUO Xiao-li, ZHANG Xin-song

(School of Electric Engineering, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: The flicker is one of the important aspects of the power quality. Identification of the flicker sources is a critical demand of improving power quality. It has great significance on ascertaining the responsibility of customers and utilities. The flicker causation and the passing law between transformers are discussed in this paper. The flicker load can cause the voltage fluctuation in the bus. Its current is affected by the characteristics of the load and not related to the voltage fluctuation. Otherwise, the current fluctuating of other load is related to the fluctuating of the voltage in the bus. Based on calculating the relative degree between the voltage and current of the load, a new method of identification of flicker source is presented in this paper. The example shows the method is effective and simple.

This project is supported by National Natural Science Foundation of the Education Department of Jiangsu Province (No.06KJB470091) and National Natural Science Foundation of Nantong University (No.06Z043).

Key words: voltage fluctuation; flicker source; load; voltage passing; relative degree

中图分类号: TM714 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)24-0058-04

0 引言

随着电力负荷功率的逐渐增大, 尤其是冲击性负荷如电弧炉、轧钢机急剧增加, 电能质量问题受到了越来越多的严重影响。在冲击性负荷作用下, 供电系统的公共连接点(PCC)的电压将会出现不稳定, 产生电压波动问题, 由此造成闪变^[1]。目前对闪变信号的检测采用了不同方法, 如平方检测法、希尔伯特变换法、小波分析法^[2]等, 这些方法均能从电网信号中解调出调幅波, 然后通过求取统计特征值—短(长)时间闪变严重度评判闪变的严重程度。

对电能质量扰动源进行识别对电能质量问题的研究提出了较高的要求。目前开展的研究很多是针对谐波源的识别研究, 已经有基于功率潮流的有功

功率流向法、叠加原理法、戴维南等值回路法等^[3]。对于暂态电能质量主要是暂降源的识别也有一些方法, 如利用小波变换法、基于扰动功率和扰动能量的方法、距离阻抗继电器法^[4,5]。但有关闪变污染源的识别目前研究甚少, 文献[6]将工频电压降(同相位)用每条支路电流和短路阻抗来表示, 用以判断闪变源。

供电系统中PCC一旦发生电压闪变, 必须分析是哪一条负荷支路导致了电压闪变, 否则会导致责任不明, 不利于闪变的综合治理。本文以用电方存在多个支路负荷为研究对象, 以各支路的电压与电流相关度为判别依据, 有效地识别出了供电系统中的闪变污染源。

1 闪变产生的原因

供电系统和负荷可以采用不同的方法来模拟。为分析简便起见, 根据戴维南等效定理, 供电系统

基金项目: 江苏省教育厅自然科学基金(06KJB470091);
南通大学自然科学基金(06Z043)

可以用一个理想的电压源（即电路开路电压）和阻抗串联的形式表示，负荷可以用可变阻抗或可变复功率表示。图 1 给出了供电系统的单相接线图及相量图，电压、电流的参考方向见图示。 \dot{U}_s 和 \dot{U} 分别为无限大电源母线电压相量和供电点母线电压相量， \dot{U}_L 为线路电压降。 jX_L 为线路电抗值（包括系统电抗）。

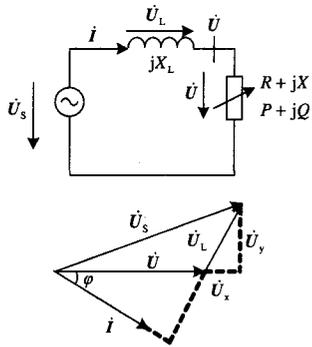


图 1 供电系统示意图

Fig.1 Sketch map of power system

以供电点母线电压 \dot{U} 为参考相量，当负荷变动时引起电流变化，其变动量为 $\Delta \dot{I}$ ，它将引起有功功率、无功功率变化，其变动量分别为

$$\Delta P = U \Delta I \cos \varphi \quad (1)$$

$$\Delta Q = U \Delta I \sin \varphi \quad (2)$$

φ 为负荷的阻抗角。

由式 (1) (2) 可推得线路电压降变动量

$$\Delta \dot{U} = jX_L \Delta \dot{I} = \Delta U_x + j\Delta U_y \quad (3)$$

$$\Delta U_x = X_L \Delta I \sin \varphi = X_L \frac{\Delta Q}{U} \quad (4)$$

$$\Delta U_y = X_L \Delta I \cos \varphi = X_L \frac{\Delta P}{U} \quad (5)$$

由图 1 及式 (4)、(5) 可见，电压变动量的幅值变化主要由无功功率变化量引起，可以近似以 ΔU_x 的大小来衡量。若式 (4) 以标么值的形式来表示，则可以写作：

$$\Delta U \approx \Delta U_x = X_L \frac{\Delta Q}{S_B} \quad (6)$$

S_B 为基准容量，上式是计算电压波动的基本公式。

2 闪变传递

当负荷变动时，负荷功率越大或系统阻抗越

大，则所产生的电压波动越大。图 2 所示电路中 X_S 为系统等效到本电压等级的阻抗， X_B 为变压器阻抗、 X_F 为低压侧线路电抗， $R + jX$ 为负荷侧的阻抗。

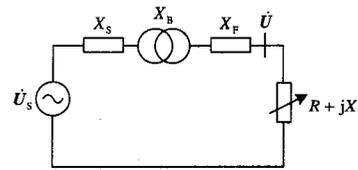


图 2 闪变传递示意图

Fig.2 Sketch map of Flicker Passing

图 2 中含有一个变压器，因此具有两个电压等级，由该图可得出闪变成分在相邻电压等级中的传递规则：

(1) 闪变成份从低压侧等级传递到高压侧等级。图 2 中的变压器为降压变压器，在低压侧出现闪变干扰时，由于高压侧等级电力网的系统阻抗较小，因此传递到高压侧等级的闪变扰动量将有较大衰减，衰减系数取决于 X_S 。

(2) 闪变成份从高压侧等级传递到低压侧等级。在高压侧出现闪变干扰时，对低压系统而言，高压侧的闪变成份相当于闪变电压源，由于高电压等级 X_S 较小，因而分得的闪变电压源的电压值较小，大部分则传递到该供电系统的低电压等级，其传递系数大约 0.8~1。如果忽略负荷电流影响，闪变扰动以幅值 1: 1 (pu) 的比例向低压侧传递。

3 多支路负荷的闪变源辨识

在图 1 所示的供电系统单相示意图中，负荷侧的阻抗为 $Z = R + jX$ ，其上通过的电流值为 I ， U 为公共连接点处的电压，可知：

$$U = I|Z| \quad (7)$$

如果此时等效的电压源 \dot{U}_s 发生了变化，而负荷侧阻抗保持不变， ΔU 、 ΔI 分别表示 U 和 I 的变动量，因此有

$$\Delta U = \Delta I|Z| \quad (8)$$

式 (8) 与式 (7) 之比，可以推出：

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta U}{U} \quad (9)$$

式 (9) 说明当电源侧发生变化时，所引起的负荷电流变化和公共连接点处的电压变化是相同的。

当负荷侧发生了变化， U_S 和 X_L 保持不变，电流 I 发生变化时，由式 (3) 可知 $\Delta U = X_L \Delta I$ ，可以推出

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{X_L \Delta I}{|Z| I} \quad (10)$$

为满足电力系统功率传输效率,要求 $|Z| \gg X_L$,则公式(10)可得到

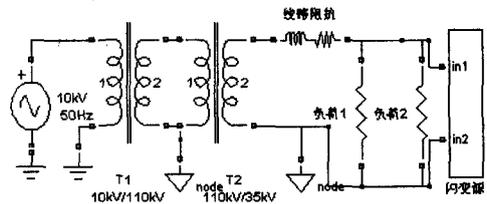
$$\frac{\Delta I}{I} \gg \frac{\Delta U}{U} \quad (11)$$

对比式(11)与式(9)可以发现,负荷本身特性所引起的电流变化要远远大于电源侧所引起的电流变化。

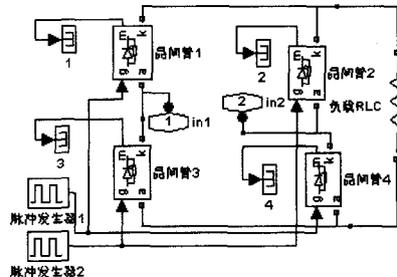
根据上述分析,某一供电系统当存在多条支路负荷时,如果一条支路连接的是闪变源负荷,其他支路连接的非闪变源负荷,当投入运行时,闪变源支路负荷将引起所连接的母线电压波动,其电流受负荷本身特性影响,与母线电压关系不大;非闪变源负荷支路其通过电流取决于母线电压,电流变化规律与母线电压变化规律趋势大致相同。因此通过计算母线电压及各支路电流相关度的方法,可以判断存在多条支路负荷时究竟哪一条支路引起了闪变。相关度是表示两个变量之间线性关系密切程度的指标,其值在-1至+1间。如两者呈正相关,指标为正值,等于1时为完全正相关;如两者呈负相关则呈负值,而其值等于-1时为完全负相关。相关度的绝对值越接近1,相关越密切;越接近于0,相关越不密切;当等于0时,说明两个变量之间无线性关系。Matlab软件中提供了函数 $R = \text{corrcoef}(XY)$,将母线电压和支路电流分别对应 X 、 Y 值,很方便地求得相关度。

4 仿真实验

建立电力系统 Matlab/Simulink 下模型,如图3(a)所示。采用两个电力变压器,变比分别为10 kV/110 kV、110 kV/35 kV。35 kV侧有三条支路负荷,负荷1为电阻性负荷,负荷2为电感性负荷,另一条为闪变源负荷。闪变源负荷可以采用一个单相桥式整流电路表示,如图3(b)所示。晶闸管的触发采用简单的脉冲发生器,脉冲发生器1的控制角为 30° ,脉冲发生器2的控制角为 210° ^[7]。相位延迟时间根据公式 $t = \alpha T / 360^\circ$, $T = 0.02$ s,则延迟时间分别为0.001 67 s、0.011 67 s。测得负荷1电压和电流波形如图4所示,负荷2电压和电流波形如图5所示。由图可以看出,电压与电流的变化规律与正弦波变化规律大致相同,受闪变源支路负荷影响较小。图6为单相桥式整流电路负载RLC电压及电流。



(a) 电力系统模型



(b) 闪变源负荷

图3 仿真模型

Fig.3 Simulink model

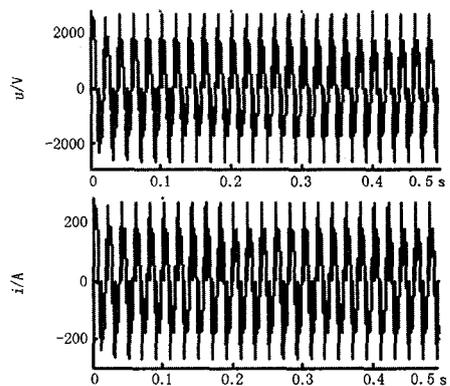


图4 负荷1的电压和电流

Fig.4 Voltage and current of load 1

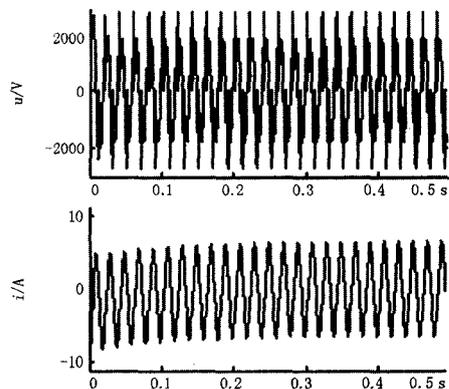


图5 负荷2的电压和电流

Fig.5 Voltage and current of load 2

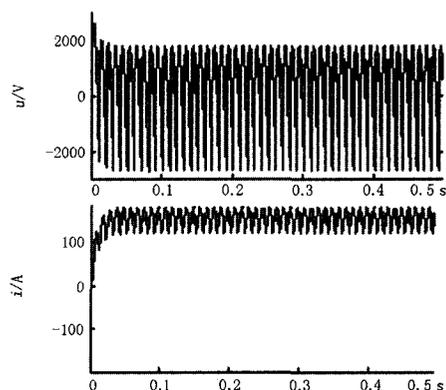


图6 闪变源负荷的电压和电流

Fig.6 Voltage and current of flicker load

将各条支路负荷的电压和电流写入 Workspace, 再利用函数 corrcoef, 方便地求解出负荷 1、2 所在支路相关度为 1.000, 闪变源支路相关度为 0.363 6。由此可以得到, 普通支路负荷的电流与母线电压的线性关系紧密, 闪变源支路负荷的电流与母线电压线性关系不紧密, 且小于普通支路负荷相关度。

5 结语

为了有效解决电能质量问题, 有必要对电能质量问题的扰动源进行定位, 以实现综合治理。本文提出了一种较新的闪变源识别方法即相关度法, 通过建立仿真模型实现了多支路负荷闪变源的识别。模型中负荷均接在 35 kV 母线侧, 如果其他电压等级下也接有负荷包括闪变源负荷时, 可以采用本文 3 中的理论测出不同电压等级下母线电压的波动值, 判断出闪变发生在何种电压等级下。仿真结果表明, 采用相关度法识别闪变源负荷简单、易行, 满足准确度要求。

参考文献

[1] 孙树勤. 电压波动与闪变[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.

- [2] 堵俊, 邵振国, 郭晓丽, 等. 用小波分析提取电压闪变的幅值调制信号[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(3): 34-37.
DU Jun, SHAO Zhen-guo, GUO Xiao-li, et al. Tracking the Envelope of Voltage Flicker Using Wavelet Analysis[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2006, 8(3): 34-37.
- [3] 欧阳森, 任震. 谐波源检测与识别方法综述[J]. 电网技术, 2006, 30: 151-156.
OU Yang-sen, REN Zhen. A Survey on Monitoring and Identifying of Harmonic Sources[J]. Power System Technology, 2006, 30: 151-156.
- [4] 王克星, 宋政湘, 陈德桂, 等. 基于小波变换的配电网电压暂降源的干扰源识别[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(6): 29-34.
WANG Ke-xing, SONG Zheng-xiang, CHEN De-gui, et al. Interference Source Identification of Voltage Sag in Distribution System based on Wavelet Transform [J]. Proceeding of the CSEE. 2003, 23(6): 29-34.
- [5] Tayjasanant T, Li Chun, Xu Wilsun. A Resistance Sign-Based Method for Voltage Sag Source Detection[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2005, 20(4): 2544-2551.
- [6] Dan A. Identification of Flicker Sources[A]. In: Proceedings on 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power[C]. Athens: Greece, 1998.1179-1181.
- [7] 洪乃刚. 电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

收稿日期: 2008-03-31; 修回日期: 2008-05-23

作者简介:

堵俊 (1958-), 男, 副教授, 主要从事信号检测、信号及系统分析方面的研究及教学工作; E-mail: du.j@ntu.edu.cn

郭晓丽 (1971-), 女, 副教授, 从事电气专业教学与研究工

作工作;
张新松 (1980-), 男, 助教, 主要从事电气专业教学与研究工

国网公司在许继召开向上工程控制保护设备监造检查会

12月4日, 国家电网公司特高压建设部、国网直流工程建设公司、国网运行公司、北京网联直流工程技术公司、国网公司电力调度通信中心的专家一行在许继召开向家坝-上海±800 kV特高压直流输电示范工程控制保护设备监造检查会。

会上, 向上工程项目经理黄利军向各位专家具体汇报了工程控制保护设备的生产制造进展情况, 同时质量处汇报了设备制造的质量控制情况, 并就专家提出的疑问进行了认真解答。国家电网公司各位专家对许继在向上直流工程的高效工作及严格周密的质量控制流程给予了充分肯定, 对许继自主开发的运行人员控制系统给予了高度评价。

许继向上工程项目负责人表示, 接下来, 公司将始终按照精益求精, 确保质量的要求, 不断加快工作进度, 高质量完成向上特高压工程设备的各项试验任务, 确保今年12月底设备顺利出厂。