

闪变扰动源机理分析及其识别研究*

堵俊 郭晓丽 张新松

(南通大学 电气工程学院, 江苏 南通 226007)

摘要: 识别电能质量扰动源是对电能质量进行研究的较高要求, 目前开展的研究大多是针对谐波源的识别。与此同时, 对闪变扰动源识别的研究却比较少。本文首先分析了闪变扰动源的闪变机理和闪变分量在电力系统中的传递规律。在此基础上, 本文建立了负荷的暂态模型并提出了闪变扰动源识别算法。该算法可以快速有效地识别出供电系统中的闪变扰动源, 从而可以找出闪变的责任者, 进而为解决电压闪变问题提供有益的参考。最后本文用两个简单的算例验证了算法和模型的有效性。

关键词: 电能质量; 闪变机理; 扰动源识别

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1001-1390(2009)06-0039-04

The Research on Mechanism and Identification of Flicker Disturbance

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

(NanTong University Electric Engineering College, NanTong 226007, JiangSu, China)

Abstract: To identify the power quality disturbance source is difficult for researcher of power quality. Now, the most research in this field is about identification of harmonic source. Meanwhile, the research of flicker disturbance source is few reported in literature. Firstly, the mechanism of flicker disturbance and transfer rule of flicker in power system are discussed in this paper. Then a suit of model and algorithms used to identify the flicker load are presented in this paper. These algorithms can identify the flicker disturbance source of power system fleetly and effectively, accordingly confirm the responsibility of voltage flicker. Lastly, two simple examples are used to prove the efficiency of these algorithms presented in this paper.

Key words: power quality, mechanism of flicker, identification of disturbance source

0 引言

随着电力市场的发展, 供用电双方对电能质量问题越来越重视。在诸如电弧炉、轧钢机等冲击性负荷作用下, 供电系统的公共连接点 (Point of Common Coupling 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]。本文将这些导致闪变的冲击性负荷称为闪变扰动源。目前对电压闪变的研究多是如何检测闪变信号, 即采用傅立叶分析、小波变换^[2, 3]、希尔伯特变换^[4, 5]等各种方法从电压波动信号中提取低频调制波的幅值和频率用以计算闪变参数^[6]。

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。对于暂态电能质量主要是暂降扰动源的识别也有一些方法, 如利用最小二乘法、基于扰动功率和扰动能量的方法、距离阻抗继电器法。但有关闪变扰动源的识别目前研究甚少, 文献[7]提出将每条支路串联一个电抗, 通过短路阻抗计算电压降, 用以判断闪变扰动源, 文献[8]通过负荷电压、电流相关度检测实现了供电系统中的闪变扰动源识别。

本文分析了闪变扰动源的闪变机理和闪变分量在电力系统不同电压等级间的传递规律, 认为负荷参数的波动导致了电压闪变。接着本文建立了负荷暂态模型和供电系统电磁暂态仿真模型, 并提出了一种闪变扰动源识别算法。该识别算法的核心是根据负荷的电压、电流录波数据识别负荷参数, 进而定位闪变扰动源。最后, 本文用两个算例证明了算法的有效性。

*江苏省教育厅自然科学基金资助项目(06KJB470091);
南通市科技局应用基础研究项目(k2008003);
南通大学自然科学基金资助项目(06Z041)

1 闪变扰动机理和闪变传递规律

1.1 闪变扰动机理

冲击性负荷接入供电系统后会导致电压闪变,为了分析闪变扰动机理,本节对供电系统做了简化。相对于供电系统,高电压等级电力系统的容量可以视做无穷大,因此根据诺顿定理,供电系统系统可用一个理想电流源和并联电抗表示(电力系统电阻远小于电抗,故此模型中不予考虑);负荷可以用可变阻抗 $R+jX$ 表示。图1是供电系统的等效示意图,该图中 I_s 是等效理想电流源电流, X_s 为电源内电抗, U_p 为公共连接点(PCC)电压, X_l 为供电线路电抗。

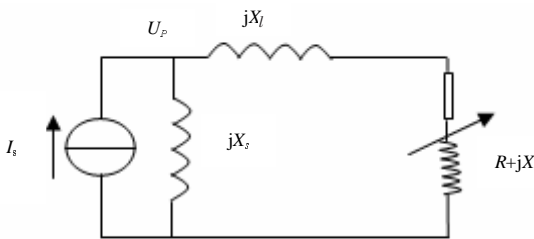


图1 供电系统示意图

Fig.1 Sketch map of power system

显然,此图中有:

$$U_p = I_s (jX_s // (R+jX+jX_l)) \quad (1)$$

从式(1)可以看出,尽管系统中负荷阻抗参数波动不会导致理想电流源电流的变化,但负荷参数的波动却会导致公共连接点(PCC)电压 U_p 的波动,从而导致闪变。

以上分析显示,负荷参数波动导致了电压闪变,这些波动负荷就是供电系统中的闪变扰动源。供电系统中,参数波动的闪变负荷大多是非线性负荷,如电弧炉和频繁启动的电焊机、电动机等。

1.2 闪变分量传递规律

闪变分量在相邻电压等级中的传递规律可总结如下:

(1)闪变分量从高电压等级到相邻低电压等级的传递规律。由于高压系统电抗较小,从低压系统往高压系统看,高压侧闪变分量相当于闪变电压源。因此高压系统中的闪变分量将大部分传递至低压系统,其传递系数为0.8~1。

(2)闪变分量从低电压等级到相邻高电压等级的传递规律。由于高电压等级电网的短路容量较大,当其相应成份由低电压等级传递到高电压等级时,将出的衰减,衰减的系数大小取决于高压系统的系统容量。

2 扰动源识别算法

为了有效解决电压闪变问题,有必要对闪变扰动

源进行识别,以实现综合治理。单纯根据畸变的负荷电流波形并不能判断某一负荷支路就是闪变扰动源。如在背景谐波的作用下,任何负荷的电流波形都是畸变的。实际上,本文上1节的理论分析表明:负荷参数的波动是导致闪变的“罪魁祸首”。在实际系统中,若能根据负荷电压、电流录波数据识别出波动负荷,就可以对闪变扰动源进行定位。因此闪变扰动源识别算法的核心建立负荷模型并对其参数进行识别。

在分析电能质量问题时,必须进行电磁暂态仿真,通过代数微分方程求解负荷的电压、电流瞬时值。因此,此时负荷模型的参数不是以相量形式表征的方均根值,而是随时间变化的瞬时值。考虑到供电系统中的负荷绝大多数为感性负荷,本文建立的负荷暂态模型如图2所示。

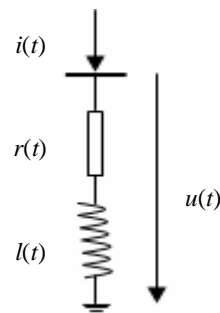


图2 负荷模型

Fig.2 the model of load

该模型中电阻 $r(t)$ 和电感 $l(t)$ 都是时变元件。显然,该负荷模型的电压电流瞬时值满足:

$$u(t) = r(t) \cdot i(t) + l(t) \cdot i'(t) \quad (2)$$

负荷电压和电流录波数据分别为 $\{u(k) \ k=1 \sim N\}$ 和 $\{i(k) \ k=1 \sim N\}$, 采样频率为 F_s 。定义负荷电流的一阶导数如下:

$$i'(k) = \frac{i(k+1) - i(k)}{\Delta t} = [i(k+1) - i(k)] \cdot F_s \quad (3)$$

则离散化后的负荷电压、电流之间的关系式为:

$$u(k) = r(k) \cdot i(k) + l(k) \cdot [i(k+1) - i(k)] \cdot F_s \quad (4)$$

在每个采样点上 $u(k)$ 和 $i(k)$ 为已知量, $r(k)$ 和 $l(k)$ 为待求量,显然无法单独由式(4)求出两个待求量。一般来讲,负荷参数的波动频率远远小于采样频率,故可认为在连续两个采样点上 $r(k)$ 和 $l(k)$ 保持不变。因此有:

$$\begin{cases} u(k) = r(k) \cdot i(k) + l(k) \cdot i'(k) \\ u(k+1) = r(k) \cdot i(k+1) + l(k) \cdot i'(k+1) \end{cases} \quad (5)$$

很显然,式(5)是一个线性方程组,对其进行求解就可以求出出负荷参数 $r(k)$ 和 $l(k)$ 。

值得注意的是,利用该算法进行闪变扰动源识别

之前必须确定扰动源所处的电压等级。根据本文上1节介绍的闪变分量传递规则,通过测量母线上的电压波动并比较相邻电压的电压波动百分比,就能判断扰动源所处的电压等级。

3 系统暂态仿真模型

研究电能质量问题时必须对供电系统和负荷进行电磁暂态仿真。图3给出了供电系统的暂态仿真模型。根据戴维南等效定理,该模型中供电系统用一个理想的电压源和串联电抗表示。负荷采用上一节介绍的暂态模型。

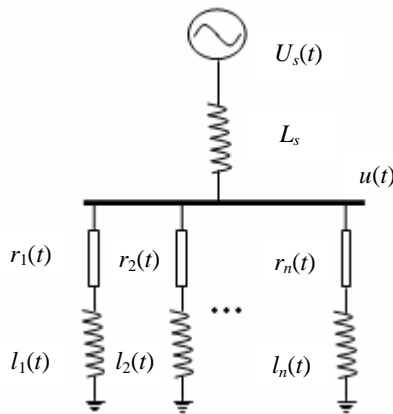


图3 供电系统模型

Fig. 3 Model of power system

该暂态仿真模型中有 n 个负荷, 设其负荷电流分别为 $i_k(t) (k=1 \sim n)$, 母线电压为 $u(t)$, 则有:

$$\begin{cases} u(t) = r_1(t) \cdot i_1(t) + l_1 \cdot i_1'(t) \\ u(t) = r_2(t) \cdot i_2(t) + l_2(t) + i_2'(t) \\ \vdots \\ U_s(t) - u(t) = L_s \cdot \sum_{k=1}^n i_k'(t) \end{cases} \quad (6)$$

这是个一阶微分方程组, 给定初值并设定积分步长就可以采用改进欧拉法进行求解, 从而得出母线电压和各支路负荷电流的波形。

4 算例

本节给出两个简单的算例, 其中算例1对第1节提出的闪变机理进行了验证, 算例2对第2节提出的闪变扰动源识别算法进行了验证。

4.1 算例1

为了验证闪变负荷的参数波动对电压闪变的影响, 假定图3示的供电系统中只接有一路负荷, 其电阻参数为:

$$r(t) = R_1 + R_2 \sin(2\pi\omega_1 t) + R_3 \sin(2\pi\omega_2 t) \quad (7)$$

电源 U_s 为理想电源, 其表达式为:

$$U_s(t) = U_m \sin(100\pi t) \quad (8)$$

该负荷的电阻参数中分别含有频率为 ω_1, ω_2 的低

频波动分量, 经过仿真(积分步长为0.001 s, 仿真时间为2s), 该系统母线电压波形如图4所示。

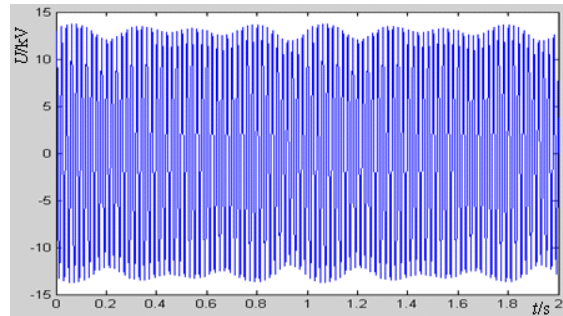


图4 算例1母线电压

Fig. 4 Bus voltage of example 1

由仿真结果可以看出, 负荷电阻参数的波动导致了母线电压闪变。

4.2 算例2

为了验证闪变扰动源识别算法的有效性, 本节建立了如图5所示的模拟供电系统, 该系统母线上接有两个负荷。负荷1是一个恒阻抗负荷, 负荷2是一个电弧炉负荷, 理论和实践分析表明, 电弧炉是各类功率波动负荷中对电压特性影响最大的负荷。该供电系统中, 电弧炉用一个非线性时变电抗模拟。该非线性电阻含有频率为 ω_{β} 的周期分量, 其表达式为:

$$r_2(t) = R_2 [1 + \sin(2\pi\omega_{\beta} t)] \quad (9)$$

电力系统中, 高电压等级系统中的闪变分量大部分都能传递到低电压等级的供电系统。为了使算例更具有说服力, 该供电系统电源 $U_s(t)$ 中含有频率为 ω_{β} 的低频闪变分量, 其表达式为:

$$U_s(t) = (U_m + \Delta U \sin(2\pi\omega_{\beta} t)) \sin(100\pi t) \quad (10)$$

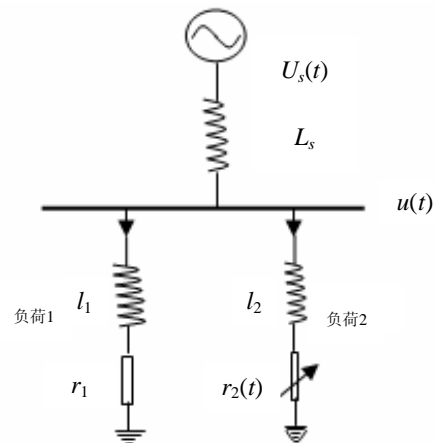


图5 算例系统示意图

Fig.5 Simple power system diagram

经过仿真(积分步长为0.001 s, 仿真时间为2s), 可得该供电系统母线电压 $u(t)$ (图6所示) 和负荷电流 $i_1(t), i_2(t)$ 。很显然, 从仿真结果可以看出, 此模拟系统

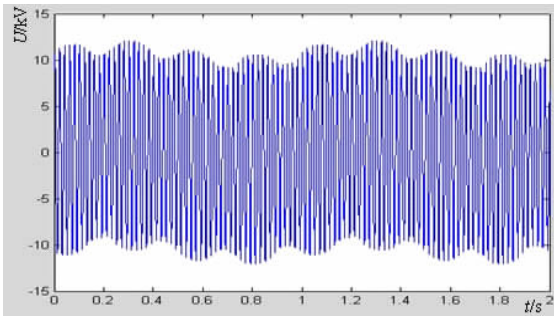


图6算例2母线电压

Fig. 6 Bus Voltage of Example 2

母线上的电压发生了闪变。

为了识别此模拟系统中的闪变扰动源,此处根据仿真所得的负荷1和负荷2的电压、电流的波形数据对负荷参数 $r(t)$ 、 $l(t)$ 进行了计算(实际系统中以电压、电流的录波数据为计算依据),计算结果绘制的曲线如图7~10所示。

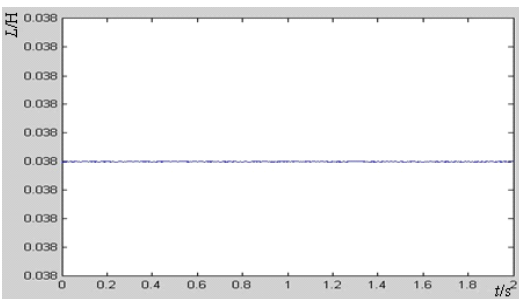


图7 负荷1的电感

Fig. 7 Inductance of load 1

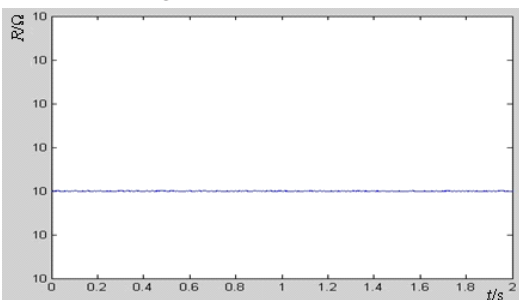


图8 负荷1的电阻

Fig. 8 Resistance of load 1

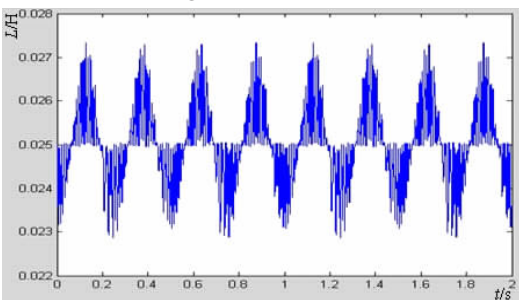


图9 负荷2的电感

Fig. 9 Inductance of load 1

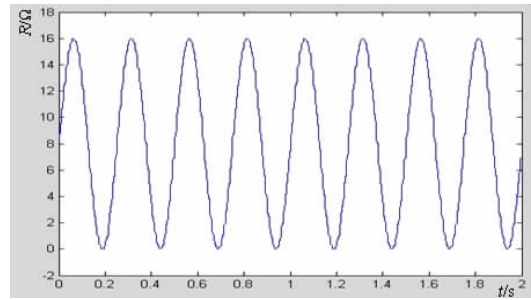


图10负荷2的电阻

Fig. 10 Resistance of load 2

从负荷参数计算结果可以看出:负荷1是一个恒阻抗负荷,其参数不发生波动;负荷2是一个波动性负荷,其参数呈现出低频波动。正是该负荷参数的波动导致了母线电压 $u(t)$ 的波动,从而发生了闪变。负荷2就是闪变扰动源,必须承担闪变责任。算例2表明本文提出的闪变扰动源识别算法可以快速有效地识别出系统中的闪变扰动源,为解决电压闪变问题提供有益的参考。

5 总结与展望

本文首先研究了负荷参数波动和电压闪变之间的关系,认为正是负荷参数的波动导致了电压闪变。接着本文根据负荷的电压、电流录波数据计算负荷参数,进而对供电系统中的闪变扰动源进行识别。最后本文利用算例验证了所研究内容的正确性。但是本文的研究还可以进一步完善:

(1) 负荷参数识别时存在着一定的计算误差,如算例中对负荷2的电感参数进行识别时误差达到了8%,需要进一步改进算法。

(2) 若母线上接有多个闪变负荷,如何在识别的基础上进一步量化闪变责任需要进一步研究。

参考文献

[1]肖湘宇,韩民晓,徐永海,等.电能质量分析与控制[M].北京:中国电力出版社,2004:95-99.

[2]同向前,余健明.电网电压中波动信号检出方法的研究[J].仪器仪表学报,1998,19(3):234-238.

TONG Xiang-qian, YU Jian-ming. Study on the Detection of Voltage Flicker from the Voltage Net[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 1998, 19(3): 234-238.

[3]O. Poisson, P. Rioual, M. Meunier. New Signal Processing Tools Applied to Power Quality Analysis [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1999, 14(2): 561-566.

[4]肖冰,梁军,路平,等. Hilbert变换在电压闪变检测中的应用[J].电力系统保护与控制, 2005, 33(15): 62-65,70.

XIAO Bing, LIANG Jun, LU Ping, YUN Zhi-hao. Application of Hilbert transform in voltage flicker detecting [J]. Power System Protect and Control, 2005, 33(15): 62-65,70.

(下转第 71 页)

计量收费,ADL 系列导轨式电表都可以完成对电能消耗的准确统计和对用电情况的实时监测,可以有效地帮助用户实现节能降耗。

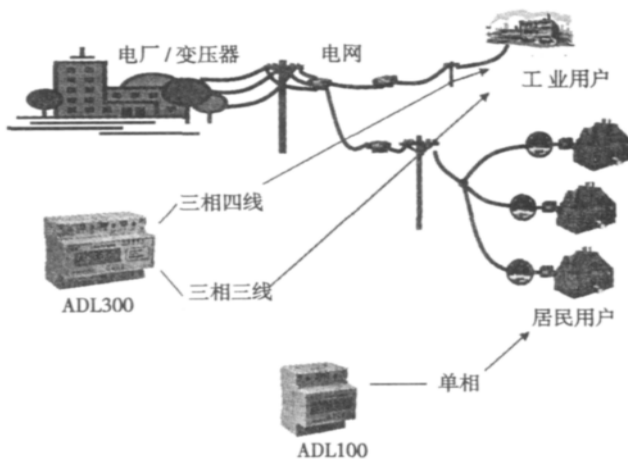


图 10 应用示意图

Fig.10 Application diagram

6 结论

基于 SOC 技术的单相导轨式电表硬件设计简洁、故障率低, SOC 芯片内部集成的丰富的功能模块易于实现产品拓宽和升级。对比传统的壁挂式电度表,其体积小、外型美观、接线方式灵活,35mm 标准导轨式安装方便,为低压配电终端电能计量(尤其是在终端配

电箱内实现电表安装)提供了有效的解决方案。

参考文献

- [1] 任致程,周中. 电力电测数字仪表原理与应用指南[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [2] DDSF 系列电能表的设计方案 [EB/OL]. 广州周立功单片机发展有限公司,2006.
- [3] 刘洪利. 智能型复费率数字电能表的设计 [J]. 上海电力学院学报,2005,21(3).
LIU Hong-li. The design on the intelligent & multi-rate watt-hour meter. [J]. Journal of Shanghai University of Electricity Power, 2005, 21(3).
- [4] ADL 系列导轨式安装电能表安装使用说明书 [Z]. 上海安科瑞电气有限公司,2008.
- [5] 姜龙,张力,陈建锋. 微型导轨式安装电能表在终端配电计量中的应用[J]. 低压电器,2008,16(3).
JIANG Long, ZHANG Li, CHEN Jian-feng. Electricity mounted meter on miniature DIN rail and its application[J]. Low voltage apparatus, 2008, 16(3).

作者简介:

陈建锋(1983-)男,助理工程师,工学学士。从事电能计量仪表开发。
Email justcjl@126.com

孙春光(1958-)男,高级电气工程师。研究领域为工业电气自动化设计。

姜龙(1976-)男,工程师,工程硕士。研究领域为智能网络电力仪表及配电自动化系统。

收稿日期 2008-09-28

(田春雨 编发)

(上接第 42 页)

- [5] T. K. Abdel Galil, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama. Online Tracking of Voltage Flicker Utilizing Energy Operator and Hilbert Transform [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2004, 19(2):861-867.
- [6] 郭晓丽,陈劲操,堵俊,等. 基于混合编程技术开发的电压闪变检测系统[J]. 电力系统保护与控制,2004,32(23):40-43.
GUO Xiao-li, CHEN Jing-cao, DU Jun, WU Xiao. Combining VB with Matlab Programming Technology to Develop Flicker Measurement System[J]. Power System Protect and Control, 2004, 32(23): 40-43.
- [7] M Sakulin, Emission von Spannungsschwankungen bzw. Flicker Direkte Messung mit Hilfe der Differenzmethode [C]// 4 International Workshop Oberschwingungen and Flicker, Graz, Austria: 1995.
- [8] 堵俊,郭晓丽,张新松. 多支路负荷闪变源识别研究[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(24):58-61.

DU Jun, GUO Xiao-li, ZHANG Xin-song. Research on Identification of Flicker Source in Power System with Several Loads[J]. Power System Protect and Control, 2008, 36(24): 58-61.

[9] 程浩忠,艾芊,张志刚,等. 电能质量 [M]. 北京:清华大学出版社,2006. 251-288.

作者简介:

堵俊(1958-)男,副教授,主要从事电力系统方面的教学与科研工作。
Email nantongdujun@163.com

郭晓丽(1971-)女,硕士,副教授,从事电力系统方面的研究和教学。
张新松(1980-)男,硕士,讲师,从事电力系统方面的研究和教学。

收稿日期 2008-10-22

(杨长江 编发)