

文章编号: 2095-4980(2016)01-0093-03

基于正弦曲线拟合的快速限流预测算法

赵明雲, 楼嘉宇, 马 琪

(杭州电子科技大学 微电子 CAD 研究所, 浙江 杭州 310018)

摘 要: 传统的单纯由硬件电路实现的限流器针对电流突然上升的情况不能及时做出反应, 而基于嵌入式软件实现的限流器能根据采集的电流数据通过算法处理及时做出预测, 使电流峰值还未出现就可以计算出其幅值并及时做出反应。本文介绍了一种基于微控制单元(MCU)实现的快速限流预测算法, 该算法可以把采集到的受噪声等影响的电流数据拟合成接近理想的正弦曲线, 预测求解出电流幅度, 从而快速判断电流的峰值是否达到限流器的限流标准, 当电路中电流突然超过 30 mA 或 5 倍以上时, 在规定时间内实现脱扣。经过多次实验可以验证本算法能够准确预测出电流幅值是否达到脱扣条件。

关键词: 快速限流器; 限流时间; 算法预测; 正弦曲线拟合

中图分类号: TN99

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201601.0093

A quick current-limiting predicted algorithm based on sinusoidal curve fitting

ZHAO Mingyun, LOU Jiayu, MA Qi

(Microelectronics CAD Center, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou Zhejiang 310018, China)

Abstract: The traditional current limiters implemented by hardware can not respond timely when facing the sudden rising of the current, while those based on the software implementation can calculate in advance the amplitude of the current according to acquisition data and respond timely before appearing of the crest and the valley. A fast forecast algorithm for current limit is introduced based on Micro Control Unit(MCU) implementation, which can fit the current acquisition data influenced by noise to the sine curve close to the ideal solution as far as possible. It can predict the current amplitude, and quickly determine whether the current crest reaches the current limit. When the circuit current increases by more than 5 times or 30 mA, it would cut off timely. Through many experiments it is verified that the algorithm can accurately predict whether the current reaches the condition of the releasing or not.

Key words: fast current limiter; current limit time; forecast algorithm; sine curve fitting

随着限流器技术的发展, 限流器的判定精确度越来越高, 速度越来越快, 但是在一些场合仍然不能满足要求, 如电流突然增大时往往 10 ms 内就会造成一定的破坏性。而传统的单纯由硬件电路实现的限流器由于受硬件电路本身的限制, 限制时间最大值很难小于 10 ms, 因为这种限流器必须根据实际达到的电流大小做出判断, 而 50 Hz 的市电每半周波出现一次波峰或波谷, 即最长要 10 ms 才能知道电流的最大值并做出判断^[1-3]。基于 MCU 实现、采用嵌入式软件预测的限流器则不必受到此限制, 可以通过采集的数据, 根据算法提前预测出电流的峰值并做出判断, 防患于未然。本文提出了一种基于正弦曲线拟合的快速限流预测算法, 算法通过正弦回归、梯度下降、误动作减少处理等步骤和方法提高抗干扰能力, 把采集到的受噪声等影响的电流数据拟合成接近理想的正弦曲线, 预测求解出电流幅度, 从而快速判断电流的峰值是否达到限流器的限流标准。在硬件方面, 基于 MCU 实现的限流器包括电流输入、数据采集和动作电路三大部分。

市电电流通过电流互感器接入, 经过数据采集将弱电流进行 A/D 转换, 为了提高限流速度和判断精确度, 采用高速采样, 将采样率设置为 200 千点/秒^[4-5]。将采集的数据用于算法预测, 算法可通过预测判断出电流的峰值是否达到限流器的限流标准, 如果达到脱扣条件, 则输出信号给动作电路处理, 包括输出电压至场效应管(Metal Oxide Semiconductor, MOS)切断回路电流、驱动警示灯和报警喇叭等。

1 理想状态下的正弦电流幅值预测求解

理想状况下采集的市电电流为正弦电流:

$$Y = \lambda \sin \omega t \quad (1)$$

式中: Y 为电流值; ω 为角频率; λ 为幅值。采样率设置为 200 kHz, 那么电流数据每两点时间间隔 Δt 为 5 μs , 将采集电流的两点数据代入式(1), 即可求得市电电流的幅值 λ 。根据幅度 λ , 即可预测判断是否满足标准脱扣要求, 这个计算时间是微秒级的。

但是现实中受噪声等影响, 采集的数据不可能理想, 求得的电流幅度值误差太大, 会导致很多误动作, 所以求幅值过程必须进行优化处理。

2 基于正弦曲线拟合的正弦电流幅值预测求解

2.1 正弦回归

为了解决误动作的问题, 必须通过采集到的非理想的电流数据求得稳定的接近理想的电流幅度。可通过拟合正弦曲线, 把采集的数据拟合成接近理想的正弦曲线。而要将样点回归正弦可利用线性回归的原理解决。

先通过换算把正弦回归变成线性回归问题。令 $X = \sin \omega t$, 将 (t, Y) 数集转化成 (X, Y) 数集。

$$Y + \theta_0 = \theta_1 \sin \omega t \quad (2)$$

得,

$$Y + \theta_0 = \theta_1 X \quad (3)$$

式中: θ_0 为采集电流值与实际电流值偏差, θ_1 为实际电流值的幅度。如将图 1(a)的正弦回归转化为图 1(b)的线性回归。

根据式(3)的线性回归模型, 用 (X, Y) 训练集合训练学习出一个最接近理想的线性函数对应的 (θ_0, θ_1) 值, 并用公式(4)评测函数是否最理想^[6]。

$$J(\theta_0, \theta_1) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (f(X_i) - Y_i)^2 \quad (4)$$

式中: $f(X_i) = \theta_1 X_i - \theta_0$, (X_i, Y_i) 表示第 i 个数集, $f(X_i)$ 为由 (θ_0, θ_1) 值决定的假设函数; m 为训练集合数量。在 (θ_0, θ_1) 不确定的情况下, $J(\theta_0, \theta_1)$ 的函数曲线如图 2 所示; 找到 $J(\theta_0, \theta_1)$ 的最小值为接近最理想状态。

2.2 梯度下降

为了使假设函数更加逼近理想状态, 可采用梯度下降法^[7]。

$$\theta_0 = \theta_0 - \varepsilon \frac{\partial}{\partial \theta_0} J(\theta_0, \theta_1) \quad (5)$$

$$\theta_1 = \theta_1 - \varepsilon \frac{\partial}{\partial \theta_1} J(\theta_0, \theta_1) \quad (6)$$

式中 ε 为调整参数, 经过大量采集数据测得, 当 ε 取 $[0.01, 0.5]$ 时效果较好。

将校正后的 θ_0, θ_1 代入式(4)中的 $f(X_i)$ 更新 $J(\theta_0, \theta_1)$, 按照循环式一: (4→5→6→4)多次循环校正, 可使 $J(\theta_0, \theta_1)$ 越来越小, 如图 3 所示, 最后得出校正后的幅度值。

考虑到训练数集 (t, Y) 中的 t 由式(1)得出, 本身带有误差, 可将求得的幅度值代入式(1), 反求 t , 并再次代入循环式一, 组成循环式二: (1→(4→5→6→4)循环→1), 反复循环校正多次, 幅度误差渐近减小。

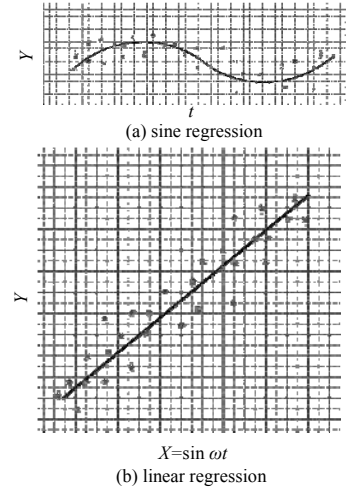


Fig.1 Sine regression and linear regression
图 1 正弦回归和线性回归

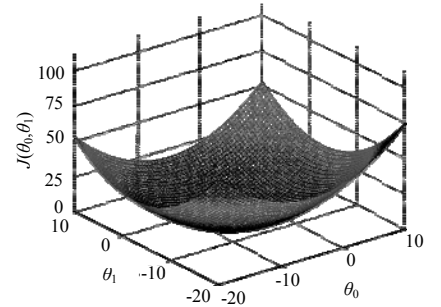


Fig.2 $J(\theta_0, \theta_1)$ function stenographer
图 2 $J(\theta_0, \theta_1)$ 函数二维图

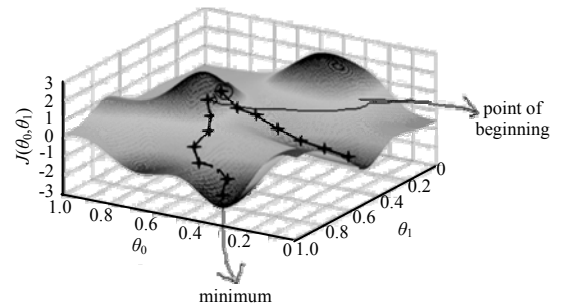


Fig.3 $J(\theta_0, \theta_1)$ gradient descent
图 3 $J(\theta_0, \theta_1)$ 梯度下降图

2.3 误动作减少处理

为了减少误动作, 增加误动作判断条件。在梯度下降调整过程中记录每次调整前后的幅度差, 并求最大幅度差 $\max(\theta_i - \theta_j)$, 在电流没有突然增加的情况下 $\max(\theta_i - \theta_j)$ 很小, 电流突然增加的情况下 $\max(\theta_i - \theta_j)$ 会增大^[8]。经过 50 次测试标准中各种电流突然增大实验和 50 次无脱扣实验得出电流突然增大情况下 $\max(\theta_i - \theta_j)$ 大于 80, 而无脱扣实验中 $\max(\theta_i - \theta_j)$ 处于 0~10 之间, 取 40 为分界点, 增加条件 $\max(\theta_i - \theta_j) > 40$, 从而减少误动作发生。

3 实验结果

在信号拟合的算法中循环次数越多其拟合信号的准确度越高, 相应预测出来的电流的幅值也就越准确, 从而能更准确地判断电路中的电流是否满足脱扣条件。如果准确度低, 则可能出现电路中电流没有满足脱扣条件但限流器执行脱扣动作(误动作)或电路中电流满足了脱扣条件但限流器却不执行脱扣动作的情况。

本文设计的快速限流预测算法随着循环次数的增加, 其判断的准确度会增加, 但算法时间复杂度也会线性增加。经评测, 算法计算过程经过简化处理后, 程序执行循环二的时间为 2.1 ms, 因此可以选择循环 2~3 次, 限流时间在 4 ms~7 ms 之间。在循环校正 3 次, 增加误动作减少处理的情况下, 进行了 130 组脱扣实验和 170 组误动作实验, 其中脱扣测试完全通过, 误动作测试中出现了 3 次脱扣。在电流采集电路中增加滤波器, 再次进行误动作测试, 在 170 组误动作实验中出现 1 次脱扣。

4 结论

综合看来, 本文设计的快速限流预测算法的优点是可通过预测提前得知电流幅度值, 并及时做出判断。但在噪声比较大的小电流实验环境下容易出现误动作, 在电流采集装置中增加滤波功能可有效减少误动作的发生次数。

参考文献:

- [1] 全国低压电器标准化技术委员会. 低压开关设备和控制设备第 2 部分: 断路器: GB 14048.2-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009. (China National Standardization Technical Committee of LVEA. Low voltage switch and control equipment part two: breaker electromechanical control circuit devices: GB 14048.2-2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.)
- [2] 全国低压电器标准化技术委员会. 家用和类似用途的不带和带过电流保护的 B 型剩余电流动作断路器: GB 22794-2008[S]. (China National Standardization Technical Committee of LVEA. Type B residual current operated circuit-breakers with and without integral over-current protection for household and similar uses: GB 22794-2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.)
- [3] Standardization and related activities — general vocabulary: ISO/IEC GUIDE 2-2004[S].
- [4] 卢航, 高峰, 程刚. LabVIEW 现场可编程门阵列模块数据采集系统仿真[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2013, 11(6): 977-980. (LU Hang, GAO Feng, CHENG Gang. Field programmable gate array modules, data acquisition system simulation[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2013, 11(6): 977-980.)
- [5] 汪洋. 断路器数据采集系统的实现研究[D]. 北京: 北方工业大学, 2013: 58. (WANG Yang. The realization and research of the circuit breaker data acquisition system[D]. Beijing: North China University of Technology, 2013: 58.)
- [6] CHEN X, CUI H J. Empirical likelihood inference for partial linear models under martingale difference[J]. Statistics & Probability Letters, 2008, 78(17): 2895-2901.
- [7] 周世健, 鲁铁定. 双变量线性回归解算方法的等价性[J]. 江西科学, 2009, 27(6): 867-870. (ZHOU Shijian, LU Tieding. The equivalence of double variable linear regression calculating method[J]. Jiangxi Science, 2009, 27(6): 867-870.)
- [8] LI G L, LIU L Q. Strong consistency of a class of estimators in partial linear model under martingale difference sequence[J]. Acta Mathematica Scientia, 2007, 27(5): 788-801.

作者简介:



赵明雲(1988-), 男, 郑州市人, 硕士, 主要研究方向为嵌入式系统及滤波算法. email: 1051335853@qq.com.

楼嘉宇(1989-), 男, 浙江省绍兴市人, 硕士, 主要研究方向为嵌入式系统.

马 琪(1968-), 男, 浙江省绍兴市人, 博士, 研究员, 主要研究方向为嵌入式系统及集成电路.