

智能电能表动态误差的 OOK 激励测试方法

王学伟¹, 温丽丽¹, 贾晓璐¹, 王琳¹, 王秋月¹, 袁瑞铭², 周丽霞²

(1. 北京化工大学 信息科学与技术学院, 北京 100029;

2. 华北电力科学研究院有限责任公司, 北京 100045)

摘要: 首先建立了一种 OOK 动态负荷电流信号的数学模型, 提出了动态负荷电能序列的数学模型, 并定义了动态负荷功率模式, 即暂态动态负荷模式、短时动态负荷模式和长时动态负荷模式, 基于此推导得出了一种电能表动态误差测量的算法。最后建立了智能电能表动态误差测试系统, 对 3 种电能表进行了测试, 结果表明电能表的动态误差与激励的动态负荷功率模式紧密相关, 不同电能表的动态误差特性差异较大。

关键词: 智能电能表; 误差; 测试; OOK; 动态负荷功率模式; 信号模型; 测量

中图分类号: TM 933

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.09.024

0 引言

随着我国智能电网建设的快速发展, 电能表的动态误差特性测试已经成为急需解决的新问题。一方面太阳能、风能、潮汐能、生物质能等分布式能源的引入, 使电网中产生了呈现动态特性的电能; 另一方面电力电子技术的普及, 使电网中动态用电负荷越来越多, 如电气化铁路、交流电弧炉、中频感应加热炉、交流逆变器装置、建筑塔吊与焊接设备等^[1-3]。这些负荷工作时瞬时电流剧烈的大范围波动, 导致用户的电能计量值明显小于电力系统变电站出口的电能计量值, 引起电能计量的误差, 不能实现公正合理的计费, 严重影响供电方的经济利益^[4-5]。因此, 本文主要针对智能电能表(以下简称电能表), 研究电能表动态误差的测试方法和误差特性。

目前, 国内外对于电能表动态误差特性的研究处于起步阶段。文献[6]试验证明了不同原理的电能表对冲击负荷电能的计量具有较大的差异。文献[7]认为闪变的随机性和冲击性是造成电弧炉动态负荷电能计量异常的主要原因。文献[8-10]提出了电能表动态测量功能的试验方法和典型动态电流波形, 以正弦包络、梯形包络工频电流作为动态负荷试验信号, 进行了电能表动态特性试验。文献[11]提出了一种基于 DDS 信号发生器的智能电能表动态测量功能评价方法, 并对测试电流信号进行了仿真。威胜集团研制了一种高精度冲击性负荷专用电子式电能表^[12-13], 申请了一种电能表动态性能测试仪的发明专利^[14]。

从电力系统动态模型来看, 国内外专家学者研究建立了多种动态负荷模型结构, 取得了很多研究成果。如文献[15]建立了电力负荷特性模型, 用于提高电力系统仿真准确度。但是, 该类模型主要目的是提高电力系统仿真准确度, 不适用于电能表动态误差测试试验, 因为评估电能表动态误差的测试激励

动态负荷模型需具备以下特点: 能够充分反映动态负荷的变化范围和变化模式; 便于控制产生; 呈现周期特性; 能够实现动态电能量值的溯源。

从国内外公开发表的文献来看, 电能表动态误差测试的研究已经成为电工测量界的热点问题, 目前已经提出的动态负荷电流模型用于电能表动态误差测试取得了有益的结论, 但是, 对于测试激励的动态负荷电能信号数学模型和动态负荷功率模式的研究还未见公开的报道, 对于电能表动态误差测试还缺少动态电能量值溯源方法。

本文建立了动态负荷电能序列的数学模型, 提出了一种从动态电能量值到静态电能量值的溯源方法, 在此基础上提出了一种电能表动态误差的测量方法; 针对国内外不同厂家的电能表进行了动态误差测试, 给出了测试结果。

1 动态负荷电能信号数学模型的建立

1.1 动态负荷电压、电流信号的数学模型

在动态负荷条件下, 电能表测试激励的瞬时交流电压和电流信号分别表示为:

$$u(t) = \sqrt{2} U_{\text{rms}} [1 + v_1(t)] \sin \omega t \quad (1)$$

$$i(t) = \sqrt{2} I_{\text{rms}} [1 + v_2(t)] \sin[\omega t - \varphi(t)] \quad (2)$$

其中, U_{rms} 、 I_{rms} 分别为交流电压和电流信号的有效值; $\|v_1(t)\|_{\infty} \leq 1$; $\|v_2(t)\|_{\infty} \leq 1$; $\omega = 2\pi f$, $f \approx 50 \text{ Hz}$; $\varphi(t)$ 为测试激励电流信号在 t 时刻的瞬时相位。

在实际电网中, 动态负荷工作情况下, 电力用户端口交流电压幅度变化范围小、形态变化种类少, 而动态负荷电流幅度变化范围大、形态变化种类多, 且每个周期内电流的频率和相位变化小。为了反映负荷变化和便于控制产生测试激励信号, 选取式(1)和式(2)中的 $v_1(t)=0$ 、 $v_2(t)$ 为确定函数, 且第 n 个周期 T 内的 $\varphi(t)$ 为常数 φ_n 。然后, 对时域瞬时电压、电流信号在每个整数周期上进行截短, 将其分解为各个

周期 $\{nT \leq t \leq (n+1)T | n \in \mathbf{N}\}$ 上的瞬时电压 $u_n(t)$ 和瞬时电流 $i_n(t)$:

$$u_n(t) = \sqrt{2} U_{\text{rms}} \sin(\omega t) g(t-nT) \quad (3)$$

$$i_n(t) = \sqrt{2} I_{\text{rms}} [1 + v_2(t)] \sin(\omega t - \varphi_n) g(t-nT) = [1 + v_2(t)] i'(t) g(t-nT) \quad (4)$$

$$g(t-nT) = \begin{cases} 1 & nT \leq t \leq (n+1)T, n \in \mathbf{N} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$i'(t) = \sqrt{2} I_{\text{rms}} \sin(\omega t - \varphi_n)$$

其中, $g(t-nT)$ 为窗函数; $i'(t)$ 为 50 Hz 稳态正弦电流信号。则测试激励的瞬时电压和电流信号可分别用函数序列 $\{u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t)\}$ 和 $\{i_1(t), i_2(t), \dots, i_n(t)\}$ 表示。令 $1 + v_2(t) = a_n$, 在 $\{nT \leq t \leq (n+1)T | n \in \mathbf{N}\}$ 上有:

$$a_n = \begin{cases} 1 & \text{电流信号通} \\ 0 & \text{电流信号断} \end{cases}$$

则动态负荷测试激励电流信号可表示为:

$$i(t) = \sum_{n \in \mathbf{N}} i_n(t) = \sum_{n \in \mathbf{N}} a_n i'(t) g(t-nT) = \sum_{n \in \mathbf{N}} \sqrt{2} I_{\text{rms}} a_n \sin(\omega t - \varphi_n) g(t-nT) \quad (5)$$

式(5)表明,通过二进制序列 a_n 对稳态电流信号 $i'(t)$ 进行二进制通断键控 OOK (On-Off-Key), 得出了一种新型的 OOK 动态负荷电流信号模型。该电流信号能够产生多种动态负荷模式,有效地测试电能表的动态误差。图 1 给出了 OOK 动态负荷电流信号的波形图。图中, N_A, N_B 分别为 1 个 OOK 周期内导通与关断期间所包含的 50 Hz 正弦电流信号的整周期个数,分别记为通周期数和断周期数, $N_A=3, N_B=1$; $u(t) = \sum_{n \in \mathbf{N}} u_n(t)$, 为 50 Hz 稳态正弦电压信号。

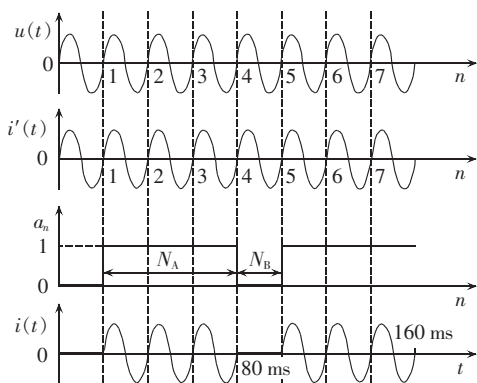


图 1 OOK 方式产生的动态负荷电流信号

Fig.1 Dynamic load current signal generated in OOK mode

1.2 动态负荷电能序列的数学模型

电能表测量的输入是瞬时电压和瞬时电流,输出的电能计量值与 2 个输入的乘积和时间相关。本文将输入电能表的函数序列 $\{u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t)\}$ 和 $\{i_1(t), i_2(t), \dots, i_n(t)\}$ 相乘积分转换为电能序列 $\{E_1(1), E_1(2), \dots, E_1(n)\}$ 作为电能表的测试输入激

励,具体方法如下。

OOK 方式下,输入至电能表的任意 1 个周期 T 内的动态负荷瞬时功率 $P_n(t)$ 为:

$$P_n(t) = u_n(t) i_n(t) \quad (6)$$

将式(3)、式(4)代入式(6)中整理简化得:

$$P_n(t) = U_{\text{rms}} I_{\text{rms}} a_n [\cos \varphi_n - \cos(2\omega t - \varphi_n)] \quad (7)$$

则在 OOK 测试激励方式下,电能表在任意 1 个周期 T 内计量的电能为:

$$E_1(n) = \int_{nT}^{(n+1)T} P_n(t) dt = U_{\text{rms}} I_{\text{rms}} a_n T \cos \varphi_n \quad (8)$$

图 2 给出了三相四线接线方式下,功率因数 $\cos \varphi_n = 1.0, N_A=1, N_B=2$ 时,输入至电能表的三相瞬时电压、三相动态负荷瞬时电流、三相动态负荷瞬时功率和三相动态负荷瞬时总功率的波形图。

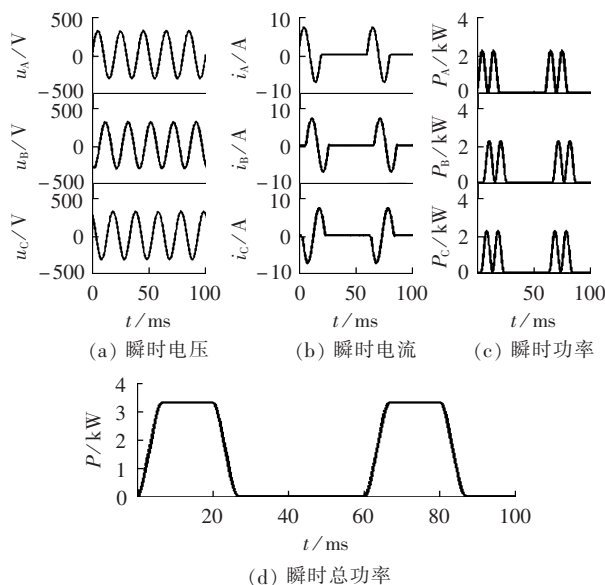


图 2 输入的三相动态负荷电流和功率波形图

Fig.2 Waveforms of input three-phase dynamic load current and power

在电能表动态误差测试中,取激励电压 U_{rms} 和电流 I_{rms} 为电能表的额定量程值,即 $U_{\text{rms}} = U_N, I_{\text{rms}} = I_N$ 。当功率因数 $\cos \varphi_n = 1.0, a_n = 1$ 时,1 个周期 T 内的动态负荷激励电能为:

$$E_1(n) = U_N I_N T = E_{\text{std}} \quad (9)$$

其中, U_N, I_N 分别为电能表的额定量程值; E_{std} 定义为电能表的周期额定电能当量(简称额定当量)。

当 $U_{\text{rms}}, I_{\text{rms}}, \varphi_n$ 分别为测试输入的某特定值时,取 $U_{\text{rms}} = \alpha U_N, I_{\text{rms}} = \beta I_N, \cos \varphi_n = \gamma_n$, 其中 $\alpha = 0.8 \sim 1.2, \beta = 0.2 \sim H$ (H 为过载系数), $\gamma_n = 0.5 \sim 1.0$ 。若 $a_n = 0$ 或 1, 则任意 1 个周期 T 内的动态负荷激励电能为:

$$E_1(n) = a_n \alpha \beta U_N I_N T \gamma_n = a_n E_q \quad (10)$$

其中, $E_q = \alpha \beta U_N I_N T \gamma_n = \alpha \beta \gamma_n E_{\text{std}}$ 定义为某一输入的测试电能当量(简称测试电能当量),它反映了校验输入的条件。此时,电能表的动态负荷激励电能可用输

入的离散电能序列表示为:

$$\{E_1(1), E_1(2), \dots, E_1(n); E_1(n) = a_n E_q\} \quad (11)$$

式(9)—(11)称作OOK动态负荷电能序列的数学模型。

在OOK测试激励方式下,电能表以时间间隔 t_s 对 $u_n(t)$ 和 $i_n(t)$ 采样,则在 $nT \leq t \leq (n+1)T$ 内电压和电流瞬时采样值分别为 $u_n(t_i)$ 和 $i_n(t_i)$,其中 $t_i = it_s$ ($i = 0, 1, \dots, L_s$; L_s 为各周期 T 内的采样点数)。那么动态负荷条件下,第 n 个周期内电能表计算输出的动态负荷电能 $E_0(n)$ 可用内积表示为:

$$\begin{aligned} E_0(n) &= \langle u_n(t_i), i_n(t_i) \rangle = \left(T / \sum_{i=0}^{L_s} \rho_{di} \right) \sum_{i=0}^{L_s} \rho_{di} u_n(t_i) i_n(t_i) = \\ &= \left(1 / \sum_{i=0}^{L_s} \rho_{di} \right) \sum_{i=0}^{L_s} \rho_{di} T P_n(t_i) = \\ &= \left(1 / \sum_{i=0}^{L_s} \rho_{di} \right) E_1(n) \quad n=0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (12)$$

其中, ρ_{di} 取不同的值对应电能表不同的功率电能测量算法。式(12)表明选取离散电能序列作为电能表测试输入,以电能表计量电能 $E_0(n)$ 作为输出,则 $E_0(n)$ 与输入电能 $E_1(n)$ 之间的关系为离散线性系统关系,进而可以采用线性系统的分析理论,研究测试激励的动态负荷模式与电能表动态误差特性。

1.3 电能序列激励与动态负荷模式

为了能够较全面地测试电能表的动态误差特性,根据线性系统对输出动态响应的激励方法,本文的测试输入序列 $\{E_1(1), E_1(2), \dots, E_1(n)\}$ 采用了2种确定型电能序列的激励方式,即单位抽样电能序列激励和离散矩形电能序列激励。

1.3.1 单位抽样电能序列激励

电能表输入的单位抽样电能序列激励的强度为测试电能当量 E_q ,其输出响应可以反映电能表的动态误差。图3给出单位抽样电能序列激励,序列的表达式见式(11),其中 a_n 满足:

$$a_n = \begin{cases} 1 & n = LM, L \in \mathbf{N}, M \in \mathbf{Z}^+ \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中, M 为序列周期。

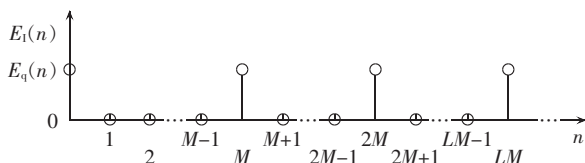


图3 单位抽样电能序列激励

Fig.3 Driven by unit sample energy sequence

1.3.2 离散矩形电能序列激励

离散矩形电能序列激励可以看作是单位抽样序列激励的叠加,因此也可用离散矩形电能序列激励来确定动态负荷下电能表对任意输入的输出特性。图4给出了离散矩形电能序列激励,序列表达式见

式(11),其中 a_n 满足:

$$a_n = \begin{cases} 1 & L(M_2+1) \leq n \leq M_1 + L(M_2+1) - 1 \\ 0 & M_1 + L(M_2+1) \leq n \leq (L+1)M_2 + L \end{cases}$$

其中, $n \in \mathbf{N}^+$; $M_1, M_2 - M_1 + 1$ 分别为激励序列通、断长度, M_1, M_2 均为正整数, $M = M_2 + 1$ 为激励序列周期。

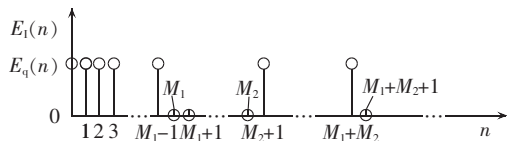


图4 离散矩形电能序列激励

Fig.4 Driven by discrete rectangular energy sequence

根据图4中激励序列通($a_n = 1$)的长度 M_1 和激励序列断($a_n = 0$)的长度 $M_2 - M_1 + 1$ 的取值范围,可以给出暂态、短时、长时3种不同的动态负荷功率模式。当 $M_2 - M_1 + 1 > M_1$ 时,可由1个OOK周期内动态负荷电流信号导通周期个数 M_1 定义动态负荷功率模式:

- 若 $1 \leq M_1 \leq 5$,则定义为暂态动态负荷功率模式;
- 若 $5 < M_1 \leq 50$,则定义为短时动态负荷功率模式;
- 若 $50 < M_1 \leq 500$,则定义为长时动态负荷功率模式。

当OOK控制信号 a_n 的断周期长度 $M_2 - M_1 + 1$ 设为0时,可产生稳态的电能信号。本研究采用上述电能序列数学模型与激励方式研发了动态负荷电能控制与动态误差测试装置,所产生的动态负荷电能信号呈周期性变化,可以充分反映动态负荷的变化范围和功率模式,周期变化的动态负荷测试激励可实现重复测试对比电能表的动态误差。

2 电能表动态误差的测量算法

设动态负荷电能序列为 $\{E_1(n) = E_q a_n; n = 0, 1, \dots, N\}$, N 为序列总长度,且 $N = LM$ (L 为OOK周期数, $L \in \mathbf{N}^+$)。对于标准表,取 $\{a_n = 1; n = 0, 1, \dots, N\}$,则标准表测量的总电能为:

$$E_{s0}(N) = \sum_{n=0}^N a_n E_q = N E_q = L M E_q \quad (13)$$

输入到被测电能表的动态负荷电能理论值为:

$$E_{x0}(N) = \sum_{n=0}^N E_1(n) = \sum_{n=0}^N E_q a_n = L M_1 E_q \quad (14)$$

则被测电能表测量的动态负荷电能理论值可由标准表电能测量值表示为:

$$E_{x0}(N) = \frac{M_1}{M} E_{s0}(N) = L M_1 E_q \quad (15)$$

设被测电能表实际测量的电能值为 E_x ,被测电能表动态误差可由下式计算得到:

$$\varepsilon = [E_x - E_{x0}(N)] / E_{x0}(N) \times 100\% \quad (16)$$

对于电能表的每次动态误差测试,实际观察到的 OOK 周期个数不一定是整数,因此根据式(13)—(16)计算动态误差 ε 时,最大可产生 1 个 OOK 周期的误差。若 OOK 测量周期数为 L ,则该算法产生的理论附加误差小于 $\frac{1}{L} \times 100\%$ 。

因此,当 OOK 测量周期在 300 个以上时,考虑到标准表的误差小于 10^{-4} ,本文动态误差测量方法的不确定度小于 0.4%。同时,本文动态误差测量算法实现了从动态电能量值到静态电能量值的溯源。

3 电能表动态误差的测试系统

电能表动态误差测试系统由标准电能表、计算机、程控电源、动态负荷电能控制与动态误差测试装置和 2 块被测电能表组成,系统结构如图 5 所示。

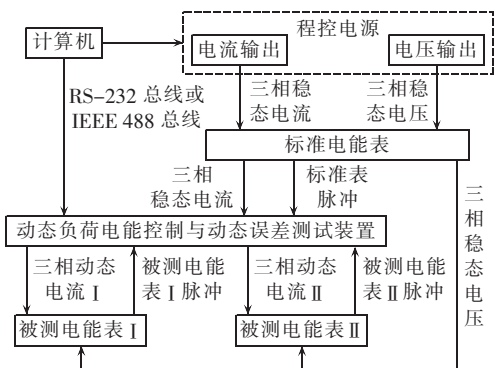


图 5 电能表动态误差测试系统结构

Fig.5 Structure of test system for smart energy meter

误差测试中,首先通过计算机来控制程控电源产生稳态的三相交流电压和电流,将稳态的三相电流输入至动态负荷电能控制与动态误差测试装置(简称动态装置)。然后,动态装置控制产生三相动态电流分别输出至 2 块被测电能表,使被测电能表对动态负荷电能进行计量;最后由动态装置在设定的被测电能表输出脉冲数期间,采集标准电能表的输出脉冲,根据本文第 2 节提出的电能表动态误差的测量算法,完成被测电能表动态误差的计算与显示。

4 实验结果分析

本文采用图 5 所示的电能表动态误差测试系统,对国内外 3 个厂家的三相四线电能表进行了动态误差测试,每一次动态误差测试都选取了 300 个以上的 OOK 测量周期。3 种电能表在暂态、短时、长时 3 种动态负荷功率模式共 6 种通断周期比($N_A:N_B$)状态下的动态误差如表 1 所示。表 1 中,动态误差均为 5 次测量最大误差值;厂家 A 电能表为 1.0 级智能电能表,厂家 B 电能表为 1.0 级电子式载波电能表,厂家 C 电能表为 0.5S 级国外关口电能表。

表 1 3 种被测电能表的动态误差

Tab.1 Dynamic errors of three tested kinds of energy meter

被测 电能表	暂态动态负荷 模式动态误差/%		短时动态负荷 模式动态误差/%		长时动态负荷 模式动态误差/%	
	$k=1:20$	$k=1:40$	$k=30:50$	$k=40:40$	$k=80:200$	$k=300:300$
厂家 A	-0.04	-37.77	-0.01	-0.01	0.01	-0.24
厂家 B	无输出 脉冲	无输出 脉冲	无输出 脉冲	25.87	26.68	6.56
厂家 C	0.29	0.42	0.21	0.28	0.07	0.11

注: $k=N_A:N_B$ 。

由表 1 可见:厂家 A 智能电能表的动态误差(除 1:40 模式外)明显优于其他电子式电能表;在暂态动态负荷 1:40 模式下,厂家 C 电能表动态误差最小;厂家 B 电能表没有脉冲输出,出现了不能计量暂态动态负荷电能的情况;在长时动态负荷功率模式下,厂家 A 和 C 电能表动态误差均明显小于其误差等级。上述测试结果表明电能表的动态误差与测试激励动态负荷的功率模式紧密相关,不同电能表的动态误差特性差异较大。

5 结论

本文首先建立了一种 OOK 动态负荷电流信号的数学模型,在此基础上提出了一种动态负荷电能序列的数学模型,并定义了 3 种动态负荷功率模式。其次,提出了一种从动态电能量值到静态电能量值的溯源方法,推导得出一种电能表动态误差测量的算法。最后,建立了电能表动态误差测试系统,采用该系统分别对国内外不同厂家生产的电能表进行了动态误差测试,结果表明电能表的动态误差与测试激励动态负荷的功率模式紧密相关,不同电能表的动态误差特性差异较大,有些被测电能表的动态误差甚至超过了其准确度等级的 20 倍,不适合计量动态负荷电能。本文研究结果可为开展电能表动态误差测试提供理论和技术依据。

参考文献:

[1] 粟时平,王长城,金维宇. 冲击负荷电能计量理论与算法研究[J]. 电测与仪表,2004,41(10):1-4.
SU Shiping,WANG Changcheng,JIN Weiyu. Study on theory and arithmetic of electric energy measurement for impact load[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2004,41(10):1-4.
[2] 王建学,高卫恒,别朝红. 冲击负荷对电力系统可靠性影响的分析[J]. 中国电机工程学报,2011,31(10):59-65.
WANG Jianxue,GAO Weiheng,BIE Zhaohong. Influence of shock loads on power system reliability[J]. Proceedings of the CSEE, 2011,31(10):59-65.
[3] 翁利民,陈允平,舒立平. 大型炼钢电弧炉对电网及自身的影响和抑制方案[J]. 电网技术,2004,28(2):64-67.
WENG Limin,CHEN Yunping,SHU Liping. Influence of electric arc steel furnace on the power system[J]. Power System Technology,2004,28(2):64-67.

- [4] 周莉,刘开培. 电能计量误差分析与电能计费问题的讨论[J]. 电工技术学报,2005,20(2):63-68.
ZHOU Li,LIU Kaipei. Error analyzing for electric metering and discussion about pricing of electric energy[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2005,20(2):63-68.
- [5] 陈振华,叶慧萍. 治理谐波源的技术手段和管理措施探讨[J]. 电力需求侧管理,2006,8(1):54-55.
CHEN Zhenhua,YE Huiping. Discussion about technology and management measure of harmonic source harnessing[J]. Power Demand Side Management,2006,8(1):54-55.
- [6] 谭志强,彭楚宁. 冲击负荷对电能计量的影响[J]. 电测与仪表,2003,40(1):41-43.
TAN Zhiqiang,PENG Chuning. The influence on electric energy measurement under the condition of impulse load[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2003,40(1):41-43.
- [7] 李峰. 电弧炉的运行工况对电能计量的影响[J]. 工业计量,2007,17(5):15-17.
LI Feng. Influence of EAF operating condition on electric energy metering[J]. Industrial Measurement,2007,17(5):15-17.
- [8] 郑荐中,陆祖良,李敏. 电能表动态特性实验研究[J]. 电测与仪表,2011,48(3):1-7.
ZHENG Jianzhong,LU Zuliang,LI Min. Experimental research for dynamic characteristic of electrical energy meter[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2011,48(3):1-7.
- [9] 陆祖良,王磊,李敏. 对电能表动态测量功能评价的讨论[J]. 电测与仪表,2010,47(4):1-4.
LU Zuliang,WANG Lei,LI Min. Discussion for evaluation of dynamic measurement function of electrical energy meter[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2010,47(4):1-4.
- [10] LU Zuliang,SO E. A proposal for verifying the performance specifications of certain functions of smart meters in distribution power line networks[C]//CPEM 2010. Daejeon,Korea:[s.n.], 2010:271-272.
- [11] 李世松,赵伟. 基于DDS信号发生器的智能电表动态测量功能评估方法初探[J]. 电测与仪表,2010,47(10):1-5.
LI Shisong,ZHAO Wei. A method for dynamic measurement capabilities evaluation of smart meter based on DDS signal generator[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2010,47(10):1-5.
- [12] 陈金玲,罗孝龙,吴先强,等. 冲击性负荷电能表的研制及校验方法探讨[C]//2010中国·北京全国电工仪器仪表标准化技术委员会第四届三次全体委员会议暨2010第二十一届“电磁测量技术、标准、产品国际研讨及展会”论文集. 北京:中国仪器仪表学会,2010:17-22.
- [13] 岳靓婧,徐勇,熊文清,等. 基于提升小波变换的冲击性负荷电能表设计[J]. 传感器与微系统,2012,31(5):110-114.
YUE Liangjing,XU Yong,XIONG Wenqing,et al. Design on electric energy meter of impact load based on lifting wavelet transforms[J]. Transducer and Microsystem Technologies,2012,31(5):110-114.
- [14] 陈金玲,金维宇,罗孝勇,等. 电能表动态性能测试仪:中国,101907697A[P]. 2010-12-08.
- [15] 贺仁睦,王卫国,蒋德斌,等. 广东电网动态负荷实测建模及模型有效性的研究[J]. 中国电机工程学报,2002,22(3):78-82.
HE Renmu,WANG Weiguo,JIANG Debin,et al. Measurement-based dynamic load modeling and model validation on Guangdong Grid[J]. Proceedings of the CSEE,2002,22(3):78-82.

作者简介:



王学伟

王学伟(1958-),男,黑龙江哈尔滨人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向为功率电能测量理论、现代信号处理、电能质量分析、电力线载波通信(E-mail:wangxw@mail.buct.edu.cn);

温丽丽(1987-),女,黑龙江肇东人,硕士研究生,研究方向为现代信号处理与嵌入式系统。

OOK-driven dynamic error measurement of smart energy meter

WANG Xuewei¹, WEN Lili¹, JIA Xiaolu¹, WANG Lin¹, WANG Qiuyue¹, YUAN Ruiming², ZHOU Lixia²

(1. College of Information Science & Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China;

2. North China Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100045, China)

Abstract: A mathematical model of OOK(On-Off-Key) dynamic load current is built, a mathematical model of dynamic load energy sequence is proposed and three dynamic load power modes are defined; transient, short-term and long-term, based on which, an algorithm for measuring the dynamic error of smart energy meter is proposed. A lab system is set and three kinds of smart energy meter are tested. Results indicate that, the dynamic error of energy meter is closely related to the dynamic load power mode of driving and the characteristics of dynamic error are quite different among different energy meter kinds.

Key words: smart energy meter; errors; testing; on-off-key; dynamic load power mode; signal model; measurements