DOI: 10.7500/AEPS20130410001

## PMU 算法动态性能及其测试系统

毕天姝,刘 灏,杨奇逊

(新能源电力系统国家重点实验室,华北电力大学,北京市 102206)

摘要:同步相量测量单元(PMU)的量测性能,特别是动态条件下的量测精度,是其能否更好地服务于电力系统动态过程监测、分析与控制应用的基础。在简述 PMU 离散傅里叶变换(DFT)算法的基础上,重点利用相量因子的概念,分析了相量算法的动态特性,揭示了其在计算动态相量时出现的平均化效应;进一步给出了即使在相量计算平均化效应的情况下,通过改变时标位置减小动态相量计算误差的理论分析。文中采用实际 PMU 实验数据验证了上述理论分析的正确性。此外,为了能够系统、客观地评价 PMU 的动态性能,设计了 PMU 静、动态自动测试系统,可为 PMU 动态性能评估提供支撑。

关键词:同步相量测量单元;离散傅里叶变换;平均化效应;时标;动态性能评估;电力系统

#### 0 引言

20世纪90年代初,同步相量测量单元(phasor measurement unit,PMU)的出现使精确到微秒级的同步相量量测成为可能,而且由于其量测精度高、相量上送主站的速度快,为电力系统动态过程监测提供了条件,在世界电力系统范围内迅速得到应用与推广<sup>[1]</sup>。目前,中国电网已经安装了约2500台PMU,美国亦安装了约1200台PMU,因此,PMU已成为电力系统动态过程监测、分析与控制的基础<sup>[2-6]</sup>,PMU动态行为规律及其性能评估的研究显得尤为重要。

2011 年底,国内外先后正式发布了 PMU 动态标准<sup>[7-8]</sup>。与此前版本的标准<sup>[9-10]</sup>相比,新标准详细规定了 PMU 在动态条件下的测试方法与误差极限。文献[11]重点分析了在静态条件下 PMU 量测误差随频率偏移的变化规律,提出了 PMU 量测质量在线评估方法。文献[12-13]探讨了电力系统典型静、动态过程的信号模型,提出了 PMU 静、动态测试方案。但上述文献对 PMU 算法本身动态特性未进行深入研究。

本文揭示了 PMU 算法在电力系统动态条件 下,计算相量时出现的平均化效应;进一步提出了通 过改变时标位置,减小平均化效应带来的相量计算

收稿日期: 2013-04-10; 修回日期: 2013-08-12。

误差,并通过 PMU 实验数据验证了上述理论分析。 此外,本文设计并实现了 PMU 动态自动测试系统, 为 PMU 动态性能评估提供了支撑。

#### 1 DFT 动态特性分析

#### 1.1 带有时标的相量因子

PMU 普遍采用离散傅里叶变换(discrete Fourier transform,DFT)算法计算相量。传统DFT 算法因其能够在静态条件下消除整数倍次谐波,准 确计算出额定频率的相量而得到广泛应用。

然而,在系统故障、功率振荡、低频振荡等动态 条件下,由于系统中电压、电流的幅值、频率和相角 均随时间变化而变化,导致传统 DFT 算法不能准确 计算得到动态相量。究其原因,主要有 2 个因素: ①动态条件下 DFT 算法的频谱泄露和频率混叠问 题;②DFT 算法的平均化效应问题。文献[14]利用 相量因子,发现并揭示了传统 DFT 算法在计算动态 相量时的频谱泄露及频率混叠现象,并提出了通过 应用数字滤波器来解决上述问题的具体方法。本文 将利用相量因子,揭示在计算动态相量时 DFT 算法 的平均化效应问题,并尝试提出改进方法。

传统 DFT 算法如式(1)所示。

$$\widetilde{\dot{X}} = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{-jk\omega_0 \Delta t}$$
(1)

式中, $\dot{X}$ 为 DFT 相量计算值;N为时间窗内采样点 个数;x(k)为信号 x(t)的第k个采样值; $\omega_0$ 为额定 角频率; $\Delta t$ 为采样间隔。

对上述 DFT 算法计算得到的相量赋予时标后, 就得到 PMU 在该时标时刻的相量测量值。将时标

— 62 —

国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目 (2012CB215206);国家自然科学基金资助项目 (50920105705,51222703);高等学校学科创新引智计划 ("111"计划)资助项目(B08013)。

引入传统 DFT 算法中,可表示为:

$$\widetilde{\dot{X}} = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=n}^{n+N-1} x \left(k-n\right) e^{-jk\omega_0 \Delta t}$$
(2)

式中:n 为计算数据窗k 的初始值,其值一般可取 0, -(N-1)/2,-(N-1)(假设 N 为奇数),分别代 表时标在时间窗首点、中点和末点。

相应地,带有时标的相量因子可表示为:  $\boldsymbol{\gamma} = \{ \boldsymbol{\gamma}_k \mid \boldsymbol{\gamma}_k = x(k-n)e^{jk\omega_0 \Delta t} \}, k-n=0,1,\cdots,N-1$ (3)

并且,

$$\boldsymbol{C}_{x} = \operatorname{Re}(\boldsymbol{\gamma}) = \boldsymbol{X}\boldsymbol{C} \tag{4}$$

$$\boldsymbol{S}_{x} = \mathrm{Im}(\boldsymbol{r}) = \boldsymbol{X}\boldsymbol{S} \tag{5}$$

 $\vec{\mathbf{x}} \oplus : \mathbf{X} = \operatorname{diag}(x(k-n)); k = n, n+1, \cdots, n+N-1; \mathbf{C} = [\cos(\omega_0(n) \Delta t), \cos(\omega_0(n+1) \Delta t), \cdots, \cos(\omega_0(n+N-1)\Delta t)]^{\mathrm{T}}; \mathbf{S} = [\sin(\omega_0(n) \Delta t), \sin(\omega_0(n+1)\Delta t), \cdots, \sin(\omega_0(n+N-1)\Delta t)]^{\mathrm{T}}.$ 

#### 1.2 DFT 平均化效应

为分析并揭示 DFT 在动态条件下的平均化效

应,假设输入信号幅值是时变的,频率为额定值,相 角亦为常数(系统的低频振荡过程主要表现为幅值 调制的信号模型,即输入信号幅值是时变的),则信 号为:

$$x(t) = \sqrt{2} X_{\rm m}(t) \cos(2\pi f_0 t + \varphi_0)$$
 (6)

式中: $X_{m}(t)$ 为信号 x(t)的有效值。

本文采用文献[14]中提出的基于数字滤波器的 动态相量算法,则 DFT 相量计算过程如式(7)所示。

$$\widetilde{\dot{X}} = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=n}^{n+N-1} x (k-n) h (k-n) e^{-jk\omega_0 \Delta t} = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=n}^{n+N-1} C_x (k) + j S_x (k)$$
(7)

式中:h(k-n)为数字滤波器的系数,它的作用是将 相量因子中高频分量滤除,便于后续分析中只对相 量因子中的常数分量及低频分量展开。

为推导方便,后续推导中均略掉 h(k-n)及高频项。因此,将式(6)代入式(7),可得:

$$\tilde{\dot{X}} = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=n}^{n+N-1} \sqrt{2} X_{m} [(k-n)\Delta t] \cos((2\pi f_{0}(k-n)\Delta t) + \varphi_{0}) e^{-jk\omega_{0}\Delta t} = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=n}^{n+N-1} \left\{ \left\{ \frac{\sqrt{2}}{2} X_{m} [(k-n)\Delta t] \cos(-n\omega_{0}\Delta t + \varphi_{0}) \right\} - j \left\{ \frac{\sqrt{2}}{2} X_{m} [(k-n)\Delta t] \sin(-n\omega_{0}\Delta t + \varphi_{0}) \right\} \right\} = \frac{X_{m}(0) + X_{m}(\Delta t) + \dots + X_{m} [(N-1)\Delta t]}{N} \cos(-n\omega_{0}\Delta t + \varphi_{0}) - \frac{j \frac{X_{m}(0) + X_{m}(\Delta t) + \dots + X_{m} [(N-1)\Delta t]}{N} \sin(-n\omega_{0}\Delta t + \varphi_{0})}{N} \sin(-n\omega_{0}\Delta t + \varphi_{0}) = \frac{X_{m}(0) + X_{m}(\Delta t) + \dots + X_{m} [(N-1)\Delta t]}{N} \angle (-n\omega_{0}\Delta t + \varphi_{0}) \qquad (8)$$

式中: / 为相角符号。

可以看出,当信号幅值随时间变化时,DFT 计 算所得相量的幅值为时间窗内信号幅值的平均值, 相角并不受幅值变化的影响。相角中的-nω<sub>0</sub>Δt 是 由于时标位置不同而引入的相角偏移量。

同理,假设输入信号幅值不变,而相角因频率或 相角调制是时变的,由相量因子最后合成的计算相 量的相角为时间窗内信号相角的平均值,此处不再 赘述。

综上所述,当相量幅值或相角时变时,DFT 算法计算所得相量的幅值与相角分别为其在时间窗内的平均值,此即 DFT 的平均化效应。该效应将严重影响 PMU 动态量测精度,影响 PMU 在动态安全控制中的应用。

# 2 时标位置对 DFT 平均化效应产生的量测 误差的影响

电力系统发生故障后功率不再平衡,从而引起

的电力系统节点信号的幅值与相角以及频率发生振 荡。

图 1 和图 2 为 10 机 39 节点系统发生三相短路 故障前后故障点附近 6 个节点的电压幅值与频率偏 移图,故障发生在第 5 个周期,并在第 10 个周期切 除。图中:Δf 为频率偏移。可以明显地看出,电压 幅值与频率发生振荡现象,此过程是电力系统的典 型动态过程。



Fig.1 Voltage magnitude oscillation curves after fault

- 63 -



Fig.2 Frequency oscillation curves after fault

为模拟此类振荡现象,检测 PMU 在此类电力 系统典型的动态过程中的量测精度,中国与 IEEE 的 PMU 标准都规定了类似的幅值调制测试以及频 率调制测试,其数学模型分别见式(9)和式(10)。

$$x(t) = \sqrt{2} X_{\rm m} [1 + k_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$
(9)  
$$x(t) = \sqrt{2} X_{\rm m} \cos\left(\omega_0 t + \frac{f_{\rm d}}{f_1} \sin(\omega_0 t + \varphi_1) + \varphi_0\right)$$
(10)

式中: $k_1$ 为振荡幅度; $\omega_1$ 为振荡角频率; $\varphi_1$ 为振荡 初始相角; $f_a$ 为振荡深度; $f_1$ 为振荡频率。

从式(10)可以看出,调制深度为 $f_{d}$ 、调制频率为 $f_{1}$ 的频率调制亦可以看做是调制深度为 $f_{d}/f_{1}$ 、调制频率为 $f_{1}$ 的相角调制。两者有一定的转换关系。下面分析 PMU 在信号发生调制过程中,DFT 平均化效应所带来的误差规律及时标位置与误差大小的影响。

由于 DFT 算法的计算窗长一般为1个周期,通 常时标可选择打在时间窗首点、中点或末点。当输 入信号 x(t)是幅值、频率和相角均恒定的静态信号 时,输入信号的实际相量与计算相量均为常数,那么 时标位置选在窗首、窗中和窗尾的 PMU 量测值均 与实际值一致。

而当 x(t)是幅值、频率和相角随时间变化而变 化的动态信号时,输入信号的实际相量是时变的,但 利用1个周期采样点,采用 DFT 算法得到的计算相 量对该数据窗长而言是一个数值。因此,对该计算 相量赋予的时标是在窗首、窗中或窗尾时,计算相量 的量测误差就等于该计算相量与时标时刻的实际相 量的差值。由于实际相量是时变的,所以不同时标 位置将导致计算相量的量测误差不同。

具体来说,当实际电力系统信号线性变化或者 近似线性变化(如幅值)时,受 DFT 平均化效应约 束,相量计算值为时间窗内实际相量的平均值。因 为信号为线性变化,故时间窗内相量的平均值(或者 说是 DFT 计算相量)与时间窗中点时刻的实际相量 相等。所以若不计其他误差,当计算相量的时标选 为时间窗中点时,相量的计算值理论上与其时标所 对应的相量真实值一致,误差为零。当电力系统信 号非线性变化时,时间窗内相量的平均值虽然无法 与时间窗中点时刻相量真实值一致,但将计算相量 的时标选在时间窗中点仍可做到在一定程度上减小 误差。信号非线性度越低,误差越小。

电力系统动态过程中,电压及电流信号变化相 对比较慢,除去部分极限情况下,相对于20ms的相 量计算时间窗,大部分变化亦可认为是近似线性的。 因此,相对于其他2个位置,将时标选在时间窗中点 可使 DFT 计算相量最大限度地与信号真值一致,从 而减小 DFT 平均化效应产生的误差。但是若电力 系统发生振荡的频率比较大时,信号变化较快。此 时即使将时标打在时间窗中部亦无法将误差控制在 标准规定范围内,对此第3节将重点分析。

#### 3 实验数据分析

本节将利用实际 PMU 实验数据验证上述理论 分析。图 3 为幅值调制实验中电压输入信号(信号 公式如式(9)所示)的相量幅值波形。其中电压幅值 额定值为 57.73 V,频率为 50 Hz、调制深度为 10% 的额定电压,其调制频率为 0.1~4.5 Hz。可以看 出,幅值波形可分为两部分:一部分为虚线框所围的 近似线性变化部分;另一部分是实线框所围的波谷 及波峰部分,此部分幅值为非线性变化。





下文将对某实际 PMU 进行幅值调制实验,并 对其相量量测结果进行分析,该 PMU 将时标打在 时间窗首。

当信号的幅值调制频率为 4.5 Hz,且幅值近似 为线性变化时,其量测值和理论值如图 4 所示。取 29.48~29.5 s时间段的信号作为 PMU 的一个计算 时间窗。根据 DFT 平均化效应,量测相量的幅值为 信号在时间窗内的平均值。该段信号幅值近似线性 变换,所以其幅值平均值近似为该时间窗中点时刻 (29.49 s)的幅值,理论值为 55.452 V。由于该 PMU将时标打在窗首,故其在 29.49 s时的量测值 是 29.49~29.51 s时间窗内信号的量测结果,为 57.57 V,对比该时刻的理论值(55.452 V),误差为 3.02%,远超出了文献[10]中 0.2%的误差要求。当 时标在时间窗末时,与其在时间窗首时类似,误差为 3.12%,亦远大于文献[10]要求。



图 4 幅值线性变化时的相量幅值波形 Fig.4 Phasor magnitude curves when magnitude linearly changes

将时标移至时间窗中点,该 PMU 的相量幅值 的理论值与量测值如图 5 所示。可以看出,量测误 差得到了大幅度的减小,都能保持在 0.2%以内。







上述实验结果验证了 DFT 的平均化效应,并且 证明了将时标打在时间窗中部可以减少 DFT 平均 化效应带来的误差。

当信号的幅值非线性变化时,该 PMU 的相量 量测值与理论值如图 6 所示。幅值理论值的最大值 为 65.88 V,而量测值的最大值为 65.68 V,相量量 测值相比于理论值有一个明显的去顶现象。这是由 于 DFT 的平均化效应使量测值只能达到此非线性 曲线的平均值,而无法达到最大值。此外,量测值相 比于理论值整体左移了半个周期,这同样是由于时 标位置在窗首造成的。此时,29.78 s处的量测误差 为 0.891%,而在 29.83 s 时刻的误差更是达到了 3.209%,远超出标准要求<sup>[10]</sup>。





将时标移到时间窗中点后,理论值与量测值如 图 7 所示。可以看出, 29.83 s 时刻的误差减小为 0.029%,29.78 s 时刻的误差减小为 0.282%,虽然 仍达不到标准要求,但相比于时标在窗首时已减小 了一个数量级。所以,当信号为非线性变化时,将时 标打在时间窗中点亦可改进 PMU 在动态条件下的 量测精度。



moving time tag to the middle of data window

综上所述,将时标打在时间窗中部可以在一定 程度上改善在动态信号下 DFT 因其平均化效应所 造成的量测误差。但当信号非线性变化时,误差仍 有可能在标准规定范围之外。而且信号非线性程度 越高,DFT 的平均化效应所造成的误差就越大,即 输入信号的调制频率越高,误差越大。

图 8 为幅值调制电压输入信号的调制频率在 30 s 内从 0.1 Hz 递进到 4.5 Hz 时,该 PMU 的电压 幅值量测误差情况。



Fig.8 Contrast of phasor magnitude measurement error

从图 8 可以看出,随着调制频率的提高,DFT 平均化效应引起的误差会越来越大;而将时标打在 时间窗中部可大大减小上述误差,但此方法无法消 除非线性段由于 DFT 平均化效应引起的误差,最大 误差仍在标准要求的 0.2%之外。

#### 4 PMU 动态测试系统

由上述理论分析与实验可知,PMU 在动态条件下的相量量测不可避免地存在误差。这将给基于 PMU 量测相量的动态安全监测、分析与控制带来 影响,因此,PMU 动态量测性能评估至关重要。为 了更好地进行 PMU 动态量测性能评估,本文设计 并搭建了 PMU 静、动态自动测试系统。该系统可 自动完成信号发生、量测相量提取、误差分析及形成 测试报告的功能。

测试系统采用 Omicron 继电保护测试仪作为 测试信号源。同步时间补偿及信号精度校准后,可 发出带有时标的高精度信号,其幅值精度可保证在 0.025%以内,相角典型精度为 0.02°,频率精度为 ±0.5×10<sup>-6</sup>,其精度均比 PMU 要求精度高一个数 量级,完全可以作为标准信号源。图 9 为测试系统 的结构框图,测试系统分为信号发生模块、相量提取 模块、误差分析模块。3 个模块都由计算机控制中 心控制。



图 9 PMU 静动态自动测试系统 Fig.9 PMU static and dynamic automatic test system

在信号发生模块中,根据测试方案建立测试所 需信号波形库,分别由 Omicron 的状态序列及暂态 回放 2 种方式组成。通过计算机可控制 Omicron 测试波形库可发出 PMU 测试所需的所有信号。

在相量提取模块中,采用 PMU 离线召唤方式, 提取规定时段的相量离线数据帧,并按照标准中规 定的数据格式进行分析解读,解析出所需相量、频 率、频率变化率、功率等信息。

误差分析模块中,将测试 PMU 实测相量与理论值进行比较,得到相量、频率、功率等误差。然后

进行误差统计分析,得到最大值、最小值、中位数、平均值、标准差、频率影响因子等统计指标,并自动生成测试报告。

#### 5 结语

本文揭示了 DFT 的平均化效应,即 DFT 在动 态条件下计算所得相量的幅值与相角分别为其在时 间窗内的平均值;总结了电力系统典型动态过程信 号特点,并分析了上述信号条件下,时标位置对相量 量测精度的影响,提出了将时标打在时间窗中点可 最大程度地减小 DFT 平均化效应带来的误差。通 过实际 PMU 实验数据验证了上述理论推导过程。 进一步,为了更好地对 PMU 动态量测性能进行评 估,设计并搭建了 PMU 静、动态自动测试系统。

### 参考文献

- [1] PHADKE A G, THORP J S. Synchronized phasor measurements and their applications [M]. Berlin, Germany, Springer, 2008.
- [2] ZHANG Yingchen, MARKHAM P, XIA Tao, et al. Wide-area frequency monitoring network (FNET) architecture and applications[J]. IEEE Trans on Smart Grid, 2010, 1(2): 159-167.
- [3] CHEN C S, LIU C W, JIANG J A. A new adaptive PMU based protection scheme for transposed/untransposed parallel transmission lines[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17(2): 395-404.
- [4] 徐慧明,毕天妹,黄少锋,等.基于广域同步测量系统的预防连锁 跳闸控制策略[J].中国电机工程学报,2007,27(19):32-38.
  XU Huiming, BI Tianshu, HUANG Shaofeng, et al. Study on wide area measurement system control strategy to prevent cascading trips[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(19): 32-38.
- [5] 杨东俊,丁坚勇,周宏,等.基于 WAMS 量测数据的低频振荡机 理分析[J].电力系统自动化.2009.33(23):24-28. YANG Dongjun, DING Jianyong, ZHOU Hong, et al. Mechanism analysis of low-frequency oscillation based on WAMS measured data [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(23): 24-28.
- [6] 秦晓辉,毕天妹,杨奇逊.计及 PMU 的电力系统非线性状态估计 新方法[J].电力系统自动化,2007,31(4):28-32.
  QIN Xiaohui, BI Tianshu, YANG Qixun. A new method for hybrid non-linear state estimation with PMU[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(4): 28-32.
- [7] IEEE Standard C37.118.1—2011 IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems[S]. 2011.
- [8] WAMS及时间同步工作组.GB/T 26862—2011 电力系统同步 相量测量装置检测规范[S].北京:中国国家标准化管理委员会, 2011.
- [9] IEEE Standard C37.118—2005 IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems[S]. 2006.

- [10] 国家调度电力通信中心.Q/GDW 131-2006 电力系统实时 动态监测系统技术规范[S].北京:国家电网公司,2006.
- [11] 毕天妹,刘灏,吴京涛.PMU电压幅值与频率量测一致性的在 线评估方法[J].电力系统自动化,2010,34(21):1-6.
  BI Tianshu, LIU Hao, WU Jingtao. On-line assessment on voltage consistency and frequency consistency of PMU measurement under steady state[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(21): 1-6.
- [12] HUANG Zhenyu, KASZTENNY B, MADANI V, et al. Performance evaluation of phasor measurement systems[C]// IEEE Power and Energy Society General Meeting—Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, July 20-24, 2008, Pittsburgh, PA, USA: 7p.
- [13] STENBAKKEN G, NELSON T. Static calibration and dynamic characterization of PMUs at NIST [C]// Power Engineering Society General Meeting, June 24-28, 2007, Tampa, FL, USA: 4p.

[14] 刘灏,毕天姝,杨奇逊.数字滤波器对 PMU 动态行为的影响
 [J].中国电机工程学报,2012,32(19):49-57.
 LIU Hao, BI Tianshu, YANG Qixun. The impact of digital

filter on the PMU dynamic performance[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(19): 49-57.

毕天妹(1973—),女,博士,教授,博士生导师,主要研究 方向:电力系统继电保护与控制、广域同步相量测量技术及 其应用、故障诊断。E-mail: tsbi@ncepu.edu.cn

刘 灏(1985—),男,通信作者,博士研究生,主要研究 方向:广域同步相量测量技术。E-mail: liuhaoncepu@gmail. com

杨奇逊(1937—),男,教授,博士生导师,中国工程院院 士,主要研究方向:电力系统保护、控制与自动化等。 E-mail: yangqixun@sf-auto.com

(编辑 孔丽蓓)

#### Dynamic Performance of PMU Algorithm and Its Testing System

BI Tianshu, LIU Hao, YANG Qixun

(State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** The measuring performance of the phasor measurement unit (PMU), especially under the dynamic condition, is the basis of deciding whether it can serve the power system dynamic monitoring, analysis and control. Based on abrief description of discrete fourier transform (DFT), the dynamic performance is analyzed and the averaging effect of DFT is revealed via the proposed phasor factor. Then, it is pointed out that, even in the phasor calculation averaging effect case, it is possible to reduce the dynamic measuring errors caused by the DFT averaging effect by changing the time tag position. The PMU experimental data are used to testify the theoretical analysis. Furthermore, in order to systematically and objectively evaluate the dynamic performance of the PMU, a PMU dynamic automation test system is designed in support of the PMU dynamic performance evaluation.

This work is supported by National Basic Research Program of China (973 Program) (No. 2012CB215206), National Natural Science Foundation of China (No. 50920105705, No. 51222703) and Program of Introducing Talents of Discipline to Universities ("111" Program) (No. B08013).

Key words: phasor measurement unit (PMU); discrete Fourier transform (DFT); averaging effect; time tag; dynamic performance evaluation; power systems

## IEEE 通过低频窄带电力通信和智能电网应用标准

近日,电气与电子工程师协会(IEEE)宣布,IEEE P1901.2<sup>™</sup>《智能电网应用低频(小于 500 kHz)窄带电力线通信(PLC)标 准》获得通过。据悉,该标准由三大内容组成:物理层(PHY)/媒体访问控制层(MAC)、共存和电磁兼容性(EMC)要求。它不 仅为所有类型的低频和窄带设备平衡、高效地使用 PLC 渠道提供支持;还详细定义了在同一频带中运行的各项标准技术的共 存机制。IEEE P1901.2 规定了数据速率高达 500 kbit/s 且传输频率小于 500 kHz 的安全电力通信应用。该标准讨论了在城 市和远距离(数千千米)的农村通信中,低频窄带 PLC 技术在变压器和电表间低于 100 V 的低压电线上运行,通过变压器低压 到中压(从 1 kV 到 72 kV)以及通过变压器中压到低压的问题。

【来源美通社】