

# GPS 及其在电力系统中的应用\*

高厚磊 厉吉文 文 锋 江世芳

徐丙垠

(山东工业大学电力系·250014·济南)

(科汇电气有限公司·255031·淄博)

**【摘 要】** 全球定位系统 (GPS) 是目前世界上精度最高的全球性导航、定位和授时系统。利用它的精确时间传递, 不仅能解决电力系统长期以来难以解决的时间统一问题, 而且能在稳定判别与控制、继电保护、故障测距等领域获得重要应用。本文简要介绍 GPS 组成情况, 探讨它在电力系统不同领域的应用前景。

**【关键词】** 全球定位系统 时间统一 同步采样 相量测量 故障测距 保护试验

## 1 引言

电网时间统一对现代电力系统的重要性和必要性早已为人们所认识<sup>[5]</sup>。随着各种微机型自动装置在电力系统中的大量应用和电网调度自动化水平的不断提高, 电力网对时间统一的要求越来越迫切。然而, 就我国目前运行的时间统一系统而言, 无论是从国外引进, 还是国内自行研制, 在精度和覆盖范围上还不能满足现代电力系统的要求。因此, 尽快建立一种完善的时间统一系统已成为当务之急。随着美国全球卫星定位系统 (GPS) 的全面建成和运行, 这一问题可望得到圆满解决。本文将就如何利用 GPS 实现电网时间统一以及这种时间统一在电力系统不同领域的应用进行探讨。

## 2 GPS 概况

全球定位系统 (Global Positioning System——GPS) 是美国于 1993 年全面建成并运行的新一代卫星导航、定位和授时系统。它由空间卫星、地面测控站和用户设备三大部分组成。空间卫星共计 24 颗, 分布在 6 条近似圆形轨道上, 在距地球大约一万英里的高度上每 12 h 绕地球运行一周。GPS 的工作频率大约 1.5 GHz, 以载码的形式向地面发射信号。它能全球覆盖, 全天候工作, 全天 24 h 连续实时地向用户提供高精度位置、速度和时间信息。GPS 传递的时间在地面测控站的监控下能与国际标准时间 (Universal Co-ordinated Time——UTC) 保持高度同步, 最高精度可达 10~1 ns。这一特点使它成为目前世界上传播范围最广、精度最高的时间发布系统。GPS 的设计目的是为美国三军建立一个战略性的高精度全球导航系统, 具有极高的可靠性, 同时它以较低的导航定位精度兼供民用。由于美国政府已同意将 GPS 无条件用于全世界民用领域, 因此, GPS 实际上已成为一项全球共享高技术资源。

\* 1995-03-20 收稿, 1995-06-01 改回。

高厚磊, 男, 1963 年生, 博士研究生。

厉吉文, 男, 1962 年生, 讲师, 从事电力系统继电保护和无功补偿方面的研究。

文 锋, 男, 1948 年生, 副教授, 从事电力系统动态模拟和自动控制方面的研究。

江世芳, 男, 1936 年生, 教授, 系主任, 长期从事电力系统继电保护和系统仿真方面的研究。

徐丙垠, 男, 1961 年生, 博士, 山东工程学院教授, 科汇电气有限公司总经理。

### 3 GPS 时间信息的接收

与其它应用领域不同,电力系统不是利用GPS的精密定位技术,而是利用它的精确时间传递。为此,首先必须选择合适的接收设备来获取GPS传递的时间信息。在众多种类的接收设备中,电力系统用户可选择民用定时型GPS接收器。这种接收器由接收模块和天线构成,先进技术的采用使接收模块和天线的体积都很小且极易安装。该接收器目前的市场价格只有几千元人民币,已具备实用化条件。

接收器在任意时刻能同时接收其视野范围里4~8颗卫星的信号,其内部硬件电路和处理软件通过对接收到的信号进行解码和处理,能从中提取并输出两种时间信号:一是间隔为1s的脉冲信号1 PPS,其脉冲前沿与国际标准时间(即格林威治时间)的同步误差不超过 $1\mu\text{s}$ ;二是经RS-232串行口输出的与1 PPS脉冲前沿对应的国际标准时间和日期代码(时、分、秒、年、月、日)。图1给出这种接收器的接收和输出示意图。

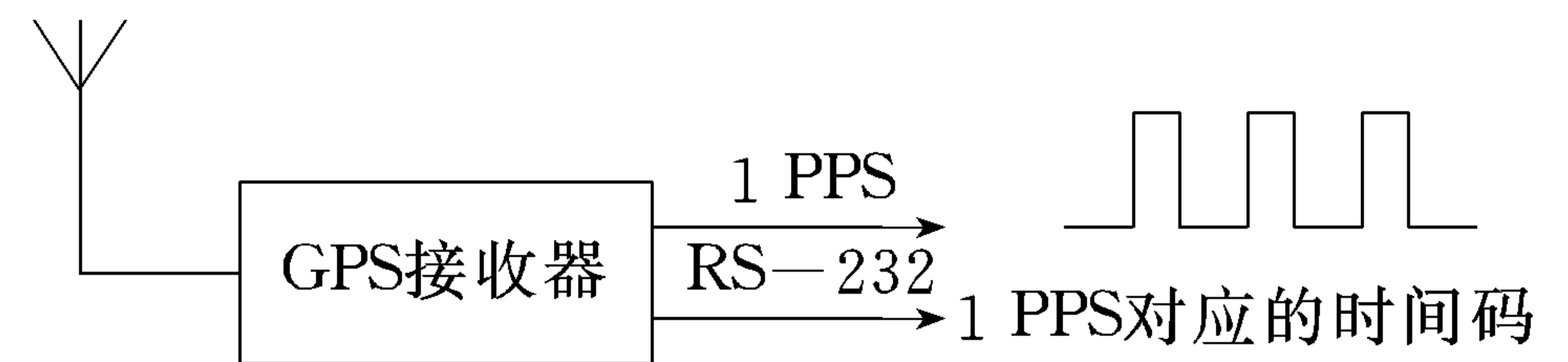


图1 GPS时间信息的接收和输出示意图  
Fig. 1 GPS time message receiving and delivering

### 4 GPS 时间信息在电力系统中的应用

#### 4.1 电网高精度时间统一

GPS接收器提供的1 PPS信号实际上是以秒为计时单位、精度为 $1\mu\text{s}$ 的国际标准时间信号,这种信号在地球上任何地方都能可靠地接收到。因此,若以该信号作为标准时钟源去同步电网内运行的各时钟,则能保证各厂站时钟的高精度同步运行。这样不仅解决了一个电网的时间统一问题,而且能实现全国范围内真正的时间统一。与传统方法相比,这种全新的时钟同步方式具有精度高(微秒级)、范围大、不需通道联络、不受地理和气候条件限制等众多优点,是电网时间统一的理想方法。

在具体应用时,由于GPS接收器提供的同步脉冲和串行接口标准不一定适合各种微机装置在对时上的接口需要,串行口输出的国际标准时间也不同于人们已经习惯的当地时间(如北京时间),因此,应设计出一种通用型同步时钟以满足不同场合的需要。图2给出了这种同步时钟的原理框图。该同步钟以GPS接收器为核心,借助于微处理器将国际标准时间转换为当地时间并予以显示,同时向用户提供不同规格的同步脉冲和经不同标准串行口输出的不同格式的时间代码。

#### 4.2 同步采样

对于SCADA系统和某些种类的数字式保护而言,若能做到对电网内各厂站的电压电流进行同步采样,将是非常有意义的。所谓同步采样,是指分布在不同厂站的数据采集装置,其采样时钟被同步到同一个时间基准,采样脉冲是同时同步给出的。若以GPS传递的1 PPS为同步信号源去同步各采样时钟,则能容易地实现这种大范围同步采样。该方案能保证不同厂站的采样误差在几个微秒以内,并能给所有采样数据置以“时间标签”,有利于数据传输和处理。

#### 4.3 同步相量测量

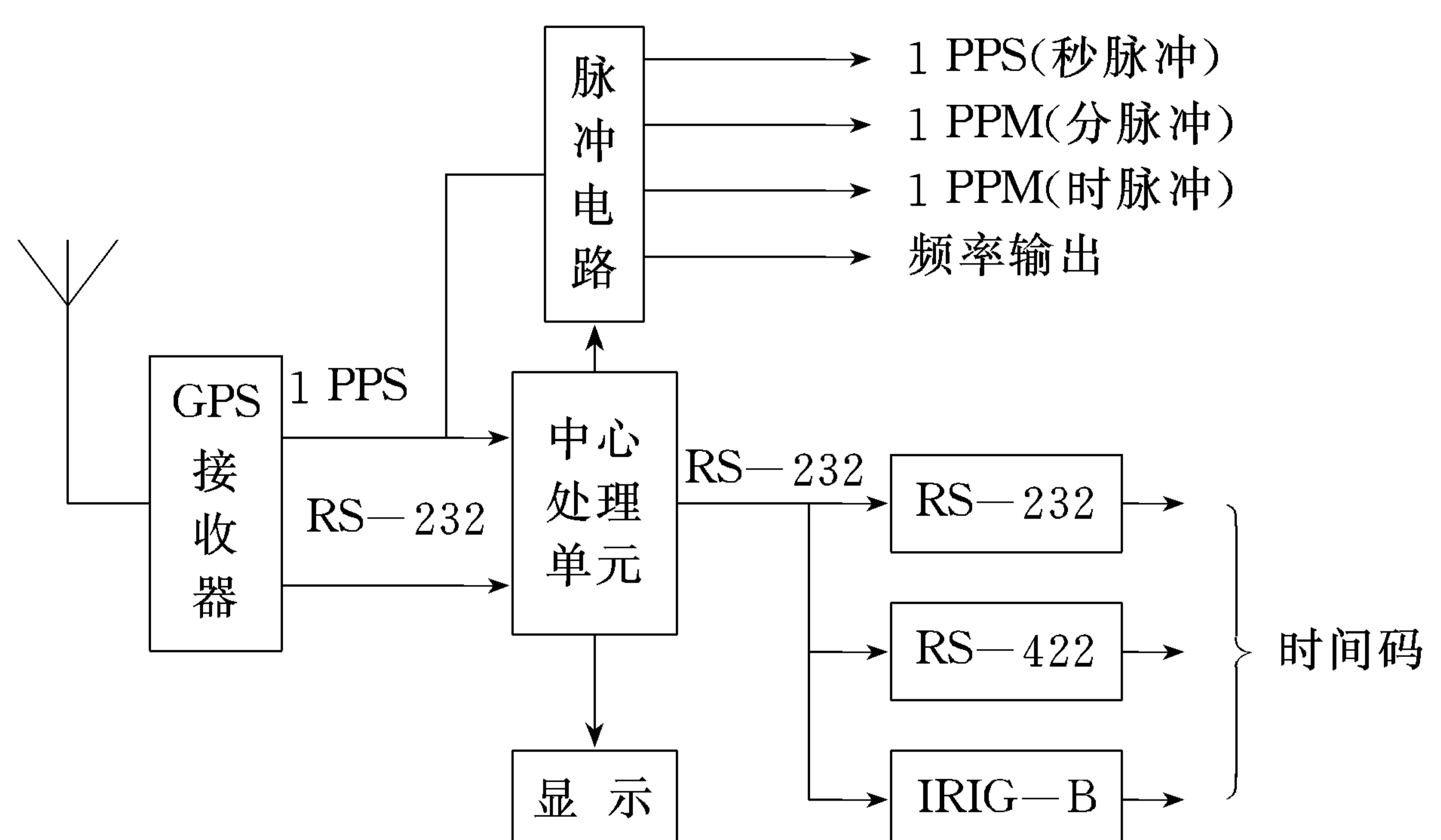


图2 接收GPS卫星信号的同步时钟原理框图  
Fig. 2 Functional block diagram of synchronous clock by receiving GPS satellites signal

系统内各枢纽点母线电压是电力系统的状态向量,它们的大小和相位能反映系统的实际运行状态,是进行稳定判别的重要依据。因此,实时测量各电站母线电压相量特别是它们的相位关系,对于系统的实时监控有着非常重要的作用。为获得相位关系,传统做法是:能量管理系统(EMS)首先获得各电站母线电压幅值和有关线路上的功率分布,然后根据网络阻抗和结构计算出各电压相角及相位关系。这一过程(称之为状态估计)需要较长时间,达不到实

时的要求,而且精度难以保证。要达到实时精确测量之目的,一是要在统一时间基准下进行同步测量,二是要有足够的精度。对于 50 Hz 的工频量而言,1 ms 的同步误差即可产生  $18^\circ$  的相位误差;要保证相位误差为  $1^\circ$ ,就必须要求同步精度不超过  $55 \mu\text{s}$ 。由此可见,若以 GPS 时间为基准对各电站母线电压进行同步测量,则能完全满足要求。这一同步测量过程可通过基于 GPS 的同步采样技术和离散傅氏变换(DFT)算法来完成。图 3 给出了这种同步测量方案示意图。

图中,微处理器根据 DFT 算法每隔一个采样点计算一次电压的幅值和相位,然后经通信网络送往中心调度所进行存储和显示。由于各端测量值具有统一的参考基准,其相位关系自然是一目了然。值班人员根据这些结果能迅速准确地对系统稳定情况作出判断,及时果断地采取针对性稳定措施,从而为维护系统安全稳定运行奠定了基础。

#### 4.4 数字式电流纵差保护

电流纵差保护是一种原理简单、选择性强和工作可靠的保护方式。就数字式电流纵差保护而言,其实现上的难点,一是通信问题,二是两端电流的同步采样问题。前者随数字微波和数字光纤通信技术的发展而得到解决,后者虽有几种解决方法但都不能令人满意。现在,若利用基于 GPS 的同步采样技术对两侧电流进行采样,则能很好地解决这一问题。文献 [4] 对此进行了详细描述,在此不再赘述。

#### 4.5 故障定位

输电线发生故障时,故障点将产生向线路两端以光速运行的行波。若能在同一时间基准下记录两端首次接收到行波浪涌的时刻,则能容易地确定出故障点的位置,这就是行波测距原理。由于行波的传播速度为每秒 30 万 km/s,因而行波测距对两端记录时间的精度要求甚高( $1 \mu\text{s}$  的时间误差即可产生 150 m 的测距误差)。若利用 GPS 提供的精度为  $1 \mu\text{s}$  的时间基准记录行波到达两端的时刻,则能实现高精度行波测距。图 4 给出这种双端行波测距示意图。图中的“时间信息通道”用来交换两侧记录下的时间信息,以便于计算故障点的距离。

#### 4.6 继电保护装置试验

在进行继电保护装置性能测试时,使试验条件尽可能接近于实际情况是继电保护工作者努力的目标。对于用来保护超高压输电线路的纵联保护(如相差高频),为考察其动作性能,有时需在现场进行投运前端对端仿真试验。在分析保护误动作原因时,有时需要利用故障记录仪记录下的原始数据对全套保护(包括通道)进行再试验。在上面两种情况下,不管是利用暂态仿真数据还是利用记录数据进行试验,都必须按事先约定好的时间使试验系统再生的电流电压模拟信号同步注入各被试保护设备,以保证试验的可信度。这种同步精度应维持在  $10 \mu\text{s}$  以内<sup>[1]</sup>。由于被试保护安

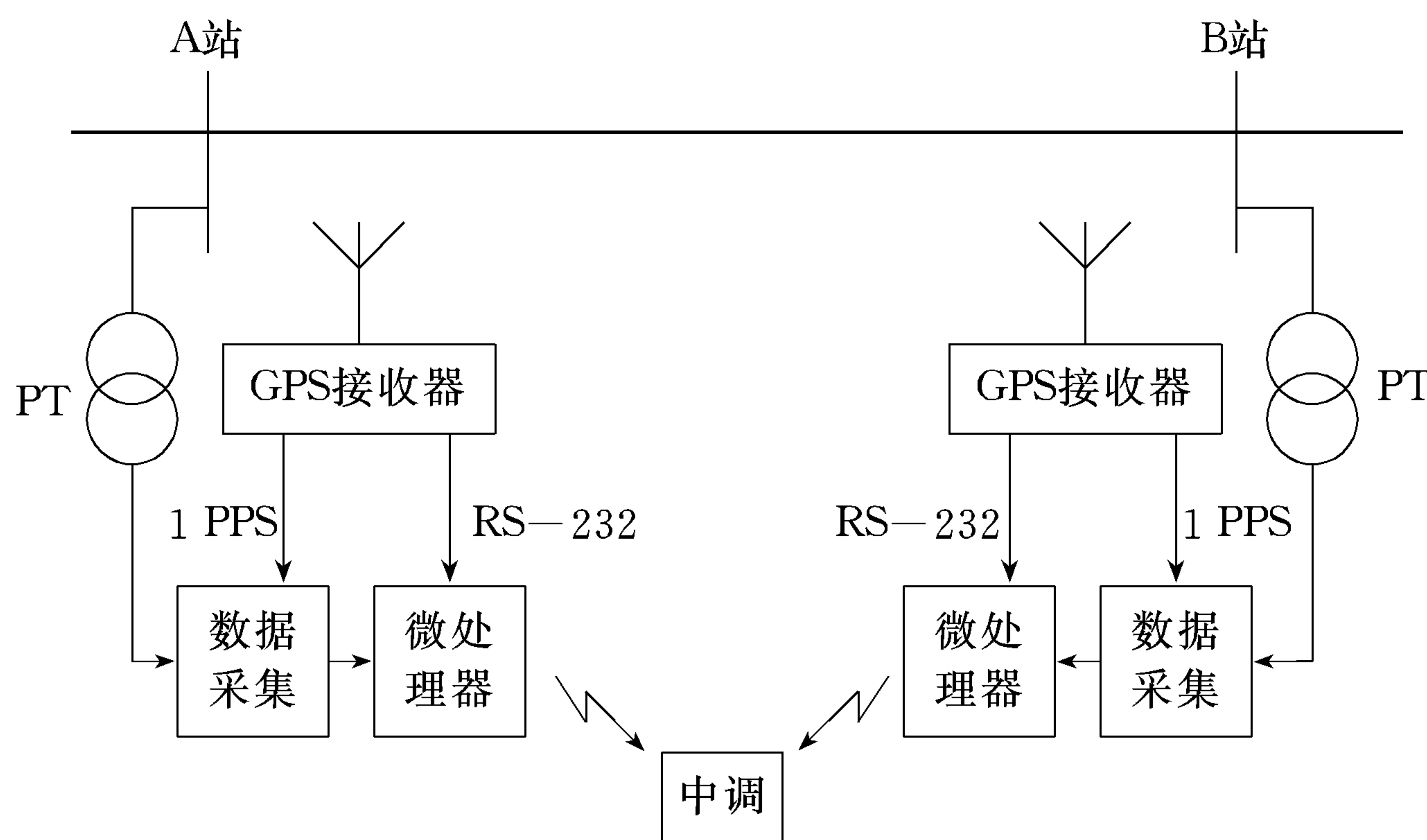


图3 基于GPS时间基准的同步电压相量测量

Fig. 3 GPS time based synchronous voltage phasor measurement

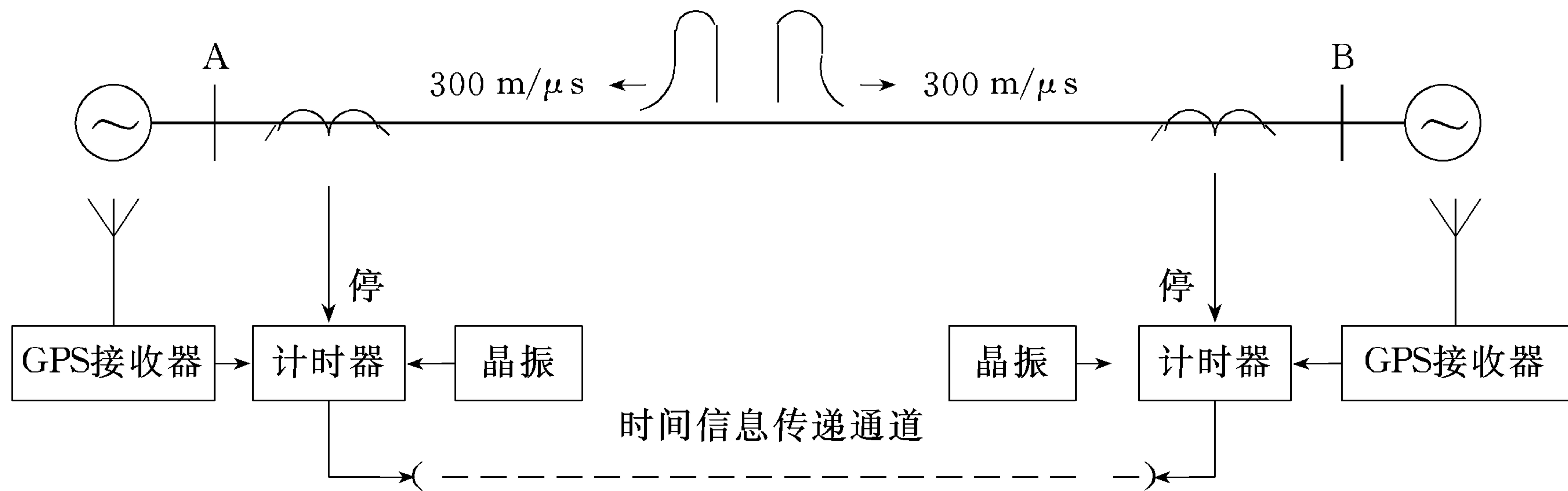


图4 基于GPS时间基准的双端行波测距示意图

Fig. 4 GPS time based travelling wave fault location

装在不同的电站，因此需要一种时间同步装置来完成试验信号的同步注入。显然，利用GPS提供的1 PPS信号及其时间代码可完全解决上述时间同步问题。

## 5 结论

拥有24颗卫星的全球定位系统，能在全球范围内进行极为精确的时间信息传递。通过在电力系统各厂站安装价格低廉的GPS接收器，能方便地获得精度为 $1\ \mu\text{s}$ （相对于UTC）的1 PPS脉冲信号及其时间代码，由此可实现电网的高精度、高可靠性时间统一。这一全新时间统一系统的建立，将大大促进与带动电力系统自动化技术的发展，有望给事故分析、继电保护、故障测距、稳定判断与控制等领域带来技术上的重大突破。

## 参 考 文 献

- 1 Wilson R E. Methods and Uses of Precise Time in Power System. IEEE Trans. on Power Delivery, 1992, 7(1):126 ~ 132
- 2 Phadke A G. Synchronized Phasor Measurements in Power System. IEEE Computer Application in Power, 1993. 4: 10~15
- 3 Jodice J A. EndA-to-End Transient Simulation for Protection System Performance Testing. International Conference on Electrical Power System Protection and Local Control, Beijing; 1994: 359~362
- 4 高厚磊等. 应用GPS的数字式电流差动保护. 电力系统及其自动化学报, 1994, (4)
- 5 傅鸿志等, 朱祖仪. 关于电网时间统一系统的探讨. 电力系统自动化, 1994, 18(10)
- 6 言中等. 卫星无线电导航. 北京: 国防工业出版社, 1989

## GPS AND ITS POTENTIAL APPLICATIONS TO POWER SYSTEM

Gao Houlei, Li Jiwen, Wen Feng, Jiang Shifang (Shandong Polytechnic University, Ji'nan)

Xu Bingyin (Ke Hui Electrical Ltd., Zibo)

**Abstract** Global Positioning System (GPS) is now the most precise global navigating, positioning and time broadcasting system around the world. By using its precise time transfer, the problem of power system time synchronization, which has last for long time, can be solved. Its precise time transfer also plays an important role in stability judgement and control, relaying protection, fault location and so on. This paper briefly introduces the constitution of GPS, extensively investigates its potential applications in different areas of power system.

**Keywords** GPS time synchronization synchronized sampling phasor measurement fault location relay testing