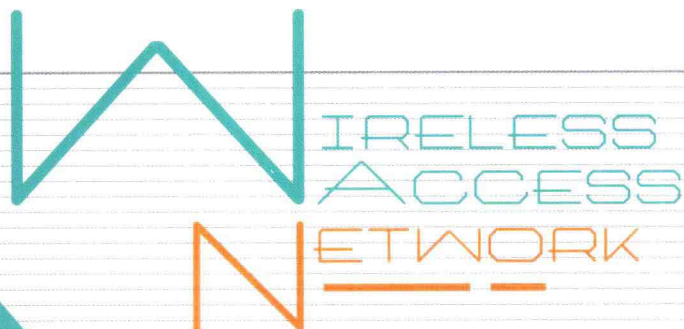


# 无线接入网

## 同步性能测试技术

■ 于佳亮 程华 于天泽 编著



# 无线接入网

## 同步性能测试技术

■ 于佳亮 程华 于天泽 编著



人民邮电出版社  
北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

无线接入网同步性能测试技术 / 于佳亮, 程华, 于天泽编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2013.6  
ISBN 978-7-115-30986-0

I. ①无… II. ①于… ②程… ③于… III. ①码分多址—宽带通信系统—测试 IV. ①TN929.533

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第023198号

## 内 容 提 要

针对当代主流无线通信接入网的同步性能测试技术,在简要介绍相关的频率同步和时间同步的技术标准,具体介绍适用的测试仪器的基础上,针对如何考核评价无线接入网的同步性能,系统阐述了具体的测试项目、测试方法和测试步骤;并分别介绍在实验室和现网环境下,针对 2G、3G 和 4G 基站子系统同步性能的测试用例,特别是结合有关的课题研究、设备检测、工程验收和网络运行维护实践,列举了大量的典型测试图表,结合关键技术指标进行了具体深入的分析及阐述。

本书适合从事无线接入网及相关设备研制开发、规划设计、施工建设和运行维护的工程技术人员和管理人员阅读,可作为通信测试专业的培训教材,也可作为通信院校的专业参考书。

---

◆ 编 著 于佳亮 程 华 于天泽

责任编辑 李 静

责任印制 杨林杰

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京艺辉印刷有限公司印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 18

2013 年 6 月第 1 版

字数: 427 千字

2013 年 6 月北京第 1 次印刷

---

定价: 68.00 元

读者服务热线: (010)67119329 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

# 序

移动通信技术的支撑，需要健全的同步定时技术；网络和设备同步技术的运用，需要先进的技术标准；无线接入网同步性能的保证，需要有效的测试手段和方法。因此，同步技术、测试技术和相关的技术标准是无线接入网研发、规划、设计、制造、运用、维护等必须高度重视的。

## 1. 移动通信技术的发展，需要同步技术的支撑

在通信领域，“同步”一般包含频率同步和时间同步两层含义。随着通信技术的不断发展，无线接入系统（2G、3G、4G 等）对于时钟参考源及同步定时性能提出了越来越高的要求，只有保证较高的同步定时性能，才能保证无线通信系统的技术要求，并实现应有的通信功能。由于无线通信网络规模越来越大，在网络运用方面时常出现系统同步异常的技术问题，从而导致不同程度的影响。虽然类似问题通常体现在无线接入网络的异常，但是其问题原因却涉及光传输、同步支撑等专业。由于不是显性的简单问题，因此需要高水平的技术人员，需要依靠高精度的测量仪表来分析研究；且该问题属于跨专业、跨系统的深层次技术问题，涉及到无线、传输、同步通信领域的技术标准，需要业务、承载、支撑三大系统相互协调、统一规划；关联到设备制造、工程设计、系统集成、工程施工、运用维护等多个单位，需要统筹兼顾，分工协作。如果处理欠妥，不仅严重影响网络的运用，且时有不和谐的情况发生。因此可以说，不仅通信网络需要严格“同步”，而且与网络相关的人文社会更需要高度“同步”。

## 2. 网络和设备同步技术的运用，需要先进的技术标准

通信网的时钟是指具有规定频率准确度和稳定度的信号振荡源，它可以提供时间或频率的基准或参考基准，是数字通信网的核心；时钟基准或参考基准需要通过同步定时链路传送（或分配）到时钟节点及终端，并形成数字同步网。为了保证数字同步网的稳定运行，必须依赖于科学有效的技术标准。

同步技术在电信网络中有着重要的地位，同步的质量直接影响电信网络的质量。所以如何对同步质量进行衡量和测试是电信标准的重要部分。ITU 等国际组织作为国际电信标准的制定者，对同步网有具体规范，ITU 在标准中对其定义、架构、表现、功能、时钟和测试有相关的说明。

在分组网络同步技术中，主要是规范同步以太网和高精度时间同步（类似于 IEEE1588v2）。ITU-T 规划和定义了两个系列标准，即 G.826x 和 G.827x 标准，分别针对频率同步和时间同步。其中频率同步部分包含 1588 和同步以太网两种技术，时间同步则主要是 1588。

## 3. 无线接入网同步性能的保证，需要有效的测试手段和方法

现有的国际和国内有关技术标准中，虽然全面规范了无线接入系统较多的技术指标和相应的测试方法，并可以利用通用的仪表（如无线综合分析仪等）进行有关的测试，但是对于无线子系统的同步技术性能，目前还缺少全面、系统的测试标准或规范，更缺

少专用或方便适用的仪表。对于无线设备，业内一般比较重视无线射频的技术指标测试，而对于无线接入系统的基带传输侧，无论是时钟输入还是时钟输出，无论是频率同步还是时间同步，以及基带输入参考时钟与无线接入系统的业务指标和技术性能指标的关系，都迫切需要引起重视，深入研究，以尽快改进提高。

在实际应用中，对于参考时钟与系统时钟和网络质量性能之间的关系，如何能进行客观有效的评价，采用何种方法来考核评价无线接入系统的同步质量性能和同步质量，目前还缺少系统的测试规范，无论设备制造厂家和运营单位均缺少系统有效的方法，也缺少设备同步质量和网络实际运用质量的测试验证手段。

值得庆幸的是，我们看到本书的作者在这方面贡献的成果，他们的研究和探索，是值得肯定和推广的。尤其难能可贵的是，他们对于跨越几个专业技术领域，对于深层次的隐性支撑技术进行了具有开创性的研究和实验，在技术标准、检测仪表和测试方法等方面取得了一系列的成果，他们完成的多份建议报告、研究报告、发明专利申请和本书等，必将会对无线接入网同步技术带来深远的影响。

刘建国  
2012.12.5.

# 前 言

在本书出版之时，我要向读者说明三点：一是编写本书的背景；二是书中的主要内容；三是感言及期待。

## 1. 编写本书的背景

目前的无线接入网可以包括 GSM、CDMA、TD-CDMA、WCDMA、cdma2000、LTE、WLAN 等多种技术制式，涵盖 2G、3G 和 4G 无线系统。在无线接入系统内，大量采用了各种复杂的复用技术（时分、码分、频分及其组合等）和先进的调制解调技术等，使无线接入网的同步技术及其影响日益凸显。但是，业内目前对无线接入网同步的技术标准、网络规划设计、同步质量验收以及运行维护等方面，相对有些滞后和薄弱，有必要进行专项研究和改进提高。

例如，无线基站收发系统 BTS 的系统时钟精度直接决定其空口的射频频率偏差，3GPP (TS45.010-5.1) 规定必须“使用单一的绝对精度优于 $\pm 0.05 \times 10^{-6}$  的频率源，对于射频产生和时钟基准都适用”。据此，要求 BTS 的时钟参考源也要绝对精度优于 $\pm 0.05 \times 10^{-6}$ 。然而，实际在用的设备和网络却难以保证该指标，频繁出现同步时钟性能劣化现象。对于现行标准是否需要修改以及如何修改、设备实际运用质量如何等问题，目前业内的认识并不完全一致。特别是以下 6 个问题争议较大或不够明确：

(1) 我国通信行业标准将基站和基站控制器的时钟等级确定为 3 级，是否合理、能否保证网络可靠运用；

(2) 利用 SDH 的 E1 传送同步定时，是否能满足无线基站的要求，如何经济有效地解决目前无线接入网的同步定时传送方式问题；

(3) 外时钟参考中断以后，基站可以保持稳定工作的时间值如何确定；

(4) 时钟质量对于无线接入网运用质量影响的定量分析，基站参考时钟输入与空口指标是否存在函数关系，可否建立数学模型分析研究；

(5) 基站可以忍受线路参考时钟性能降低的指标，如何确定牵引范围的标准以及锁定和解锁时间的统一标准等；

(6) 不同通信设备厂商设备网管的同步性能监测及异常告警功能是否需要统一标准。

为了能客观地定量分析或回答这些问题，同时也为了考核验证设备的实际技术指标和功能，我们用了数年的时间，针对如何考核评价无线接入网的同步性能进行了专题研究，策划并进行了系统的测试和多项实验。其中包括对 5 个国际主流设备制造商提供的 GSM/LTE 双模基站设备和 BSC 设备进行测试。测试项目设计为功能测试、性能测试、耐受异常测试和现网运用测试四大类。在有关厂商和中国移动研究院的配合下，分别在实验室和现网内进行了大量的测试及深入研究，不仅初步完成了预定的课题研究目标，同时也积累了较多的资料，为编写本书奠定了基础。

在以上研究过程中，我们深切地感受到：现有的国际和国内有关技术标准，虽然规范了无线接入系统较多的技术指标和相应的测试方法，并可以利用通用的仪表（如无线

综合分析仪等)进行有关的测试,但是,对于无线子系统的同步技术性能,目前还缺少全面系统的测试标准,业内一般比较重视无线射频的频率偏差等测试,而对于无线接入系统的基带传输侧,无论是时钟输入还是时钟输出,以及基带输入参考时钟与无线接入系统的业务指标和技术性能指标的关系,均未引起足够的重视,甚至在时钟精度标准值方面存在较大的差异。而大量的运用实践证明,这方面对于无线系统的运用质量会产生较大的影响。

例如,对于基站(包括一体化基站 BTS 和 BBU、RRU 分布系统)基带传输侧接口需要的参考时钟质量,虽然国际标准规定了其频率准确度指标(电路仿真业务  $0.05 \times 10^{-6}$ ),但是在实际运用中,对于参考时钟与系统时钟和网络质量性能之间的关系,该指标定为多少才合适(有的标准与国际标准相差近 100 倍),各主流设备制造商的内控标准之间差距也达数十倍,是否还需要测试其他指标,采用何种方法来考核评价无线接入系统的同步质量性能,目前缺少系统的测试规范,无论通信设备制造厂商和运营单位均缺少全面有效的做法,也缺少设备同步质量和网络实际运用质量的测试验证手段。

ITU-T 曾将同步网时钟划分为 4 类:基准主时钟,由建议 G.811 规范;转接局从时钟,由建议 G.812 规范;端局从时钟,也由建议 G.812 规范;SDH 网元时钟;由建议 G.813 规范。ITU-T 已先后修订了 G.811、G.812 和 G.813 建议;这些建议有关同步接口的漂移指标部分都已被引用到 G.823 建议中。新的 G.823 建议特别指出;规定的所有指标普遍适用于传送网的各种接口;与传送技术(如 PDH、SDH 或 ATM)无关。另外,G.783 对 STM-N 和 G.703 (PDH)两种接口处的 SDH 设备的抖动和漂移也作了规定。而这些规范并不完全适用于无线接入系统。

ITU-T Rec. O.172 对于漂移进行了具体规范,如果仅采用光传输专业的 SDH/PDH 综合分析仪(如 HP37718、ANT-20 等),参照 ITU 标准进行无线接入系统时钟接口的测试,则问题主要有 5 点:一是测试精度为 E-7 不能满足 E-9 的精度要求;二是测试模板不全部适应;三是不能完成射频指标的分析;四是不能提供高精度的瞬断等信号;五是不具备同步以太网的测试能力。

如果仅采用射频综合分析仪(如 CMU300、FRS007 等),目前难以满足基带传输侧的时钟分析和测试,如 E1 和 FE 接口的抖动、漂移等。

目前通常可以分别单独进行上述的测试,但是由于时钟同步系统具有高精度、连续性、多点相关等特点,现有的测试方法不能全面、有效地评价该系统的同步技术性能。

在上述问题的研究过程中,我们逐渐找到了初步的答案,也基本形成了本书的基础资料。尤其是深切体会到,有必要编写一本无线接入网同步性能测试的专著,以填补业内目前的空缺,满足科研设计、出厂检验、工程验收、运行维护和故障处理等需求。

## 2. 本书主要内容简介

本书正文共设了 9 章,主要内容可以划分为四大部分:一是基础部分;二是相关技术标准部分;三是测试仪表介绍部分;四是测试方法部分。

第 1 章简要介绍目前主流的无线通信接入技术制式、组网特点、同步方式和技术性能要求,重点介绍了 LTE 技术,以便于读者更系统地理解本书后续章节内容。

第 2 章首先介绍同步的基础知识和基本概念,然后介绍与同步技术密切相关的重要指标及其计算方法,其中包括误码、抖动、漂移、时间间隔误差、时间偏差、频率偏移

和多普勒效应等。

第3章针对通信网频率同步和时间同步,具体介绍国际和国内的有关标准,特别是在本章的后半部分,以国际电信联盟发布的同步技术标准为重点,介绍了时间同步标准研究的进展情况。

第4章重点介绍常规测试所需的经典仪表及其测试方法,强调进行无线接入网同步性能测试,必须依靠高精度的测试仪表,并正确掌握有效的测试方法。

第5章针对如何考核评价无线接入网的频率同步性能,提出具体的测试项目、介绍了依据标准、测试方法和主要步骤,并分别列出在实验室和现网实际测试LTE/GSM双模基站系统、GSM基站子系统的测试用例。通过相关的测试方案设计,可以获得客观可信的测试数据,便于进一步分析数据,为修改完善有关技术标准,提高设备质量和网络运用质量,提供必要的依据和结论。

第6章系统地介绍了无线接入网频率同步性能的测试技术和方法,并重点以GSM/LTE双模基站、BSC系统为具体测试对象,详细介绍了与频率同步相关的技术性能和基本功能的测试方法,并提供了部分实际测试结果。

第7章介绍SDH链路(E1)传送时钟的同步性能测试方法。ITU-T不建议从SDH网络2Mbit/s支路信号中传送或提取时钟,而目前2G无线接入网络的设计和运用现实是:几乎全部采用这种时钟传送方式。业内对此已经习以为常,普遍接受。于是,自然会出现这样的疑问:在SDH网络2Mbit/s支路信号中传送时钟,同步质量能否达到无线接入网的同步定时标准?能否保证基站定时性能的要求?本章以测试实例介绍的形式提供了部分测试结果及分析结论。

第8章介绍适用于同步以太网测试的仪表及其使用方法。随着IP技术的广泛运用,IP RAN、PTN、OTN等网络成为无线接入网的主流承载网络,催生了利用以太网实现无线接入网同步定时传送这门新兴技术。本章重点介绍相关的测试仪表和测试方法。

第9章介绍网络时间同步测试仪表及其测试方法。时间同步测试既是传统技术,又是现代网络条件下的新问题。本章介绍了几款目前实用(满足电信网络测试)的时间测试仪表,并具体列出测试用例和使用方法。

通过以上章节设计和内容呈现,试图将本书的主题从多个维度展现给读者。

### 3. 感言和期待

在这本书即将出版之时,在此感谢为此做出努力和贡献的各方领导、专家和朋友。

首先要感谢中国移动集团、中国移动研究院各位领导和专家。特别是要感谢阎江总经理、王晓云总经理、程卫东总经理、魏晨光处长,王军、程广辉、李晗、韩柳燕、徐荣等5位博士,以及张俪、禹利萌等。在大家的支持、帮助或共同多次讨论下,使我们的研究工作得以逐步深入。特别感谢黄晓庆院长审核了本书稿,并提出修改意见。

其次,要感谢华为、诺西、中兴等多家设备制造企业的领导和专家们。这些厂商不仅提供了测试设备和配合人员,而且有多位顶级的同步和无线系统设计师与我们共同研究讨论、分析问题,使得研究成果的技术层次能够达到业内领先的水准。

更要感谢为本书问世做出直接贡献的测试仪表厂商。特别是JDSU、Calnex、深圳夏光电子等公司的王玉明、梁晓波、艾凤明、蒯宏丽、白岩等多位专家和朋友,在实验室和现场协助我们完成大量的有关测试,还提出很好的建议和意见,使得本书能够在较短

时间内成形。

在最后，我们有 3 点“期待”：一是期待各位读者对本书内容提出批评和建议（电子邮箱：yujial@139.com），以便于我们改进提高；二是期待对本书研究内容感兴趣的同行们能深入进行研究，并欢迎以各种方式进行合作，我们也愿意奉献更多的研究成果；三是期待大家共同努力，不断提高无线接入网的同步技术性能，更好地为亿万用户服务。

感谢读者，请批评斧正，再次感谢各位！

作者

2012 年 10 月 于北京

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第1章 无线通信接入网及同步技术要求 .....      | 1  |
| 1.1 2G 无线接入网技术 .....          | 1  |
| 1.1.1 GSM 技术简介 .....          | 1  |
| 1.1.2 GSM 技术发展历史 .....        | 2  |
| 1.1.3 GSM 移动通信技术 .....        | 2  |
| 1.2 3G 无线接入网技术 .....          | 4  |
| 1.2.1 WCDMA .....             | 4  |
| 1.2.2 cdma2000 .....          | 5  |
| 1.2.3 TD-SCDMA .....          | 5  |
| 1.2.4 WiMax .....             | 5  |
| 1.3 4G 无线接入网技术 .....          | 6  |
| 1.3.1 LTE 性能概述 .....          | 6  |
| 1.3.2 LTE 传输及调制方案 .....       | 7  |
| 1.3.3 LTE 物理层技术 .....         | 8  |
| 1.3.4 LTE 的网络结构和核心技术 .....    | 9  |
| 1.3.5 TD-LTE 的技术特点 .....      | 9  |
| 1.3.6 GSM 向 FDD LTE 的演进 ..... | 10 |
| 1.3.7 LTE/LTEA 业务 .....       | 11 |
| 1.3.8 分布式基站和 BBU 集中化需求 .....  | 12 |
| 1.3.9 移动承载网功能需求 .....         | 13 |
| 1.4 WLAN .....                | 14 |
| 1.4.1 IEEE 802.11 系列标准 .....  | 14 |
| 1.4.2 无线局域网拓扑结构概述 .....       | 14 |
| 1.4.3 无线局域网的特点 .....          | 15 |
| 1.4.4 主要技术要求 .....            | 16 |
| 1.5 典型无线接入设备的时钟处理单元 .....     | 16 |
| 1.5.1 同步设备定时发生器 .....         | 16 |
| 1.5.2 模拟锁相环的基本结构 .....        | 17 |
| 1.5.3 全数字锁相环 .....            | 18 |
| 1.5.4 基站时钟单元实例 .....          | 19 |
| 第2章 同步技术及主要指标 .....           | 22 |
| 2.1 同步基础知识 .....              | 22 |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 2.1.1 基本术语和概念 .....              | 22 |
| 2.1.2 同步方式简介 .....               | 23 |
| 2.1.3 频率同步时钟等级 .....             | 24 |
| 2.2 时间同步 .....                   | 25 |
| 2.2.1 时间同步常用术语 .....             | 25 |
| 2.2.2 时间同步方法 .....               | 25 |
| 2.2.3 秒、闰秒的定义 .....              | 26 |
| 2.2.4 时间同步原理 .....               | 27 |
| 2.2.5 时间同步网 .....                | 28 |
| 2.2.6 时间同步主要指标 .....             | 28 |
| 2.2.7 时间同步设备和其他业务网的关系 .....      | 28 |
| 2.3 频率同步主要术语 .....               | 28 |
| 2.3.1 频率准确度 .....                | 28 |
| 2.3.2 频率稳定度 .....                | 29 |
| 2.3.3 抖动 .....                   | 29 |
| 2.3.4 漂移 .....                   | 30 |
| 2.3.5 时间间隔误差 .....               | 30 |
| 2.3.6 最大时间间隔误差 .....             | 31 |
| 2.3.7 抖动的描述方法 .....              | 31 |
| 2.3.8 相位噪声 .....                 | 31 |
| 2.4 主从同步网中从时钟的工作模式 .....         | 31 |
| 2.4.1 正常工作模式——跟踪锁定上级时钟模式 .....   | 31 |
| 2.4.2 保持模式 .....                 | 31 |
| 2.4.3 自由运行模式——自由振荡模式 .....       | 32 |
| 2.5 常用的误码性能指标 .....              | 32 |
| 2.5.1 64kbit/s 数字连接的误码性能参数 ..... | 32 |
| 2.5.2 高比特率通道误码性能参数 .....         | 32 |
| 2.5.3 可用时间和不可用时间 .....           | 33 |
| 2.5.4 误码性能指标 .....               | 33 |
| 2.6 数字连接滑动性能指标及其分配 .....         | 34 |
| 2.6.1 滑动 .....                   | 34 |
| 2.6.2 国际数字连接滑动性能指标及其分配 .....     | 34 |
| 2.6.3 电信运营商同步网滑动性能指标及其分配 .....   | 35 |
| 2.7 漂移指标 .....                   | 36 |
| 2.7.1 漂移和抖动 .....                | 36 |
| 2.7.2 漂移产生 .....                 | 36 |
| 2.7.3 漂移指标要求 .....               | 37 |
| 2.7.4 同步网极长定时基准参考链模型 .....       | 37 |
| 2.7.5 电信运营商同步网漂移性能指标及其分配 .....   | 37 |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| 2.8 抖动指标 .....              | 38        |
| 2.8.1 无输入抖动时输出抖动 .....      | 38        |
| 2.8.2 容许的最大输入抖动 .....       | 38        |
| 2.8.3 抖动转移特性 .....          | 39        |
| 2.8.4 抖动的定量评估方法 .....       | 40        |
| 2.8.5 映射抖动 .....            | 40        |
| 2.8.6 结合抖动 .....            | 41        |
| 2.8.7 相位噪声 .....            | 42        |
| 2.9 时间间隔误差 .....            | 42        |
| 2.9.1 时间间隔误差 .....          | 42        |
| 2.9.2 时间间隔测量 .....          | 42        |
| 2.9.3 时间间隔测量的扩展应用 .....     | 43        |
| 2.9.4 最大时间间隔误差 .....        | 43        |
| 2.10 时间偏差 TDEV .....        | 44        |
| 2.10.1 时间偏差 .....           | 44        |
| 2.10.2 时间偏差 TDEV 的计算 .....  | 44        |
| 2.11 固有频偏计算 .....           | 44        |
| 2.11.1 振荡器噪声模型 .....        | 44        |
| 2.11.2 对 PRC 的测量结果的处理 ..... | 45        |
| 2.11.3 对 LPR 测量结果的处理 .....  | 45        |
| 2.12 多普勒效应 .....            | 46        |
| <b>第 3 章 同步技术标准 .....</b>   | <b>47</b> |
| 3.1 时钟等级规定 .....            | 47        |
| 3.1.1 一级基准时钟 .....          | 48        |
| 3.1.2 二级节点时钟 .....          | 49        |
| 3.1.3 三级节点时钟 .....          | 49        |
| 3.1.4 网元内时钟 .....           | 49        |
| 3.2 同步时钟设备的主要性能指标 .....     | 50        |
| 3.2.1 一级基准时钟性能指标 .....      | 50        |
| 3.2.2 二级节点时钟性能指标 .....      | 51        |
| 3.2.3 三级节点时钟性能指标 .....      | 56        |
| 3.3 通信楼综合定时供给系统 .....       | 57        |
| 3.3.1 产品适应场合 .....          | 57        |
| 3.3.2 设备结构、功能及配置 .....      | 57        |
| 3.3.3 系统逻辑结构 .....          | 58        |
| 3.4 时间同步 .....              | 59        |
| 3.4.1 时间同步设备组网方式 .....      | 59        |
| 3.4.2 时间同步设备的构成 .....       | 60        |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 3.4.3 卫星接收机 .....           | 60 |
| 3.5 时间同步设备时间输入功能 .....      | 61 |
| 3.5.1 时间输入信号的类型 .....       | 61 |
| 3.5.2 时钟功能 .....            | 61 |
| 3.6 时间同步设备时间输出功能 .....      | 61 |
| 3.6.1 时间输出信号的类型 .....       | 61 |
| 3.6.2 时间调控功能 .....          | 61 |
| 3.7 时间同步设备监控管理功能 .....      | 62 |
| 3.7.1 通信功能 .....            | 62 |
| 3.7.2 输入监测功能 .....          | 62 |
| 3.7.3 安全管理 .....            | 62 |
| 3.7.4 告警分类 .....            | 62 |
| 3.8 时间同步设备的性能要求 .....       | 63 |
| 3.9 时间同步设备组网 .....          | 64 |
| 3.9.1 时间同步设备组网原则 .....      | 64 |
| 3.9.2 节点时间同步设备设置原则 .....    | 64 |
| 3.9.3 时间传送方法 .....          | 65 |
| 3.9.4 各种业务网元的时间同步解决原则 ..... | 66 |
| 3.10 时间基准的局内分配 .....        | 66 |
| 3.10.1 分配方式 .....           | 66 |
| 3.10.2 时间同步服务的接入 .....      | 67 |
| 3.11 时间传递的几种方法 .....        | 68 |
| 3.11.1 IRIG-B .....         | 68 |
| 3.11.2 DCLS .....           | 68 |
| 3.11.3 NTP .....            | 69 |
| 3.11.4 ACTS .....           | 70 |
| 3.11.5 1PPS .....           | 70 |
| 3.11.6 串行口 ASCII 字符串 .....  | 70 |
| 3.12 通信业务对时间同步的要求 .....     | 70 |
| 3.13 SSM 功能简介 .....         | 71 |
| 3.13.1 标示时钟质量等级 .....       | 72 |
| 3.13.2 避免形成定时环路 .....       | 73 |
| 3.13.3 实现时钟自动倒换 .....       | 73 |
| 3.13.4 我国通信行业标准的相应规定 .....  | 73 |
| 3.14 相关国际标准简介 .....         | 74 |
| 3.14.1 标准体系 .....           | 74 |
| 3.14.2 频率和时间同步标准进展 .....    | 74 |
| 3.14.3 常用标准 .....           | 75 |
| 3.15 同步以太网标准 .....          | 76 |

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| 3.15.1 频率准确度 .....                         | 76         |
| 3.15.2 牵引入/牵引出范围 .....                     | 77         |
| 3.15.3 抖动和漂移 .....                         | 77         |
| 3.15.4 抖动测试 .....                          | 80         |
| 3.15.5 漂移测试 .....                          | 82         |
| 3.15.6 相位瞬变 .....                          | 83         |
| 3.16 1588 .....                            | 84         |
| 3.16.1 G8261 .....                         | 85         |
| 3.16.2 G8261.1 .....                       | 87         |
| 3.16.3 G8263 .....                         | 89         |
| 3.16.4 G8265 和 G8265.1 .....               | 90         |
| 3.17 电路仿真业务 CES .....                      | 90         |
| 3.17.1 自适应时钟模式 .....                       | 91         |
| 3.17.2 差分时钟模式 .....                        | 92         |
| 3.18 时间同步 .....                            | 94         |
| 3.18.1 G8271 .....                         | 94         |
| 3.18.2 边界时钟 (T-BC) 和透明时钟 (T-TC) .....      | 97         |
| <b>第 4 章 常用仪表及其使用方法 .....</b>              | <b>100</b> |
| 4.1 设备输入口允许频偏测试 .....                      | 100        |
| 4.1.1 SDH 设备时钟输入口允许频偏指标定义 .....            | 100        |
| 4.1.2 技术标准 .....                           | 100        |
| 4.1.3 测试要求 .....                           | 101        |
| 4.1.4 测试仪表 .....                           | 101        |
| 4.1.5 测试装置 .....                           | 101        |
| 4.1.6 MP1590B 测试方法 .....                   | 101        |
| 4.1.7 MP1570A 测试方法 .....                   | 102        |
| 4.1.8 Agilent 37718A/B/C 测试方法 .....        | 103        |
| 4.1.9 ANT-20/20E/20SE 测试方法 .....           | 104        |
| 4.2 输出抖动测试 .....                           | 104        |
| 4.2.1 指标定义 .....                           | 104        |
| 4.2.2 业务接口的网络抖动指标 .....                    | 105        |
| 4.2.3 测试方法 .....                           | 105        |
| 4.2.4 测试仪表 .....                           | 106        |
| 4.2.5 测试连接 .....                           | 106        |
| 4.2.6 MP1550A/1552B 测试步骤 .....             | 106        |
| 4.2.7 Agilent 37717C/37718A/B/C 测试步骤 ..... | 107        |
| 4.2.8 ANT-20/20E/20SE 测试步骤 .....           | 107        |
| 4.3 输出漂移测试 .....                           | 108        |

|                                                |            |
|------------------------------------------------|------------|
| 4.3.1 技术指标要求 .....                             | 108        |
| 4.3.2 测试标准 .....                               | 110        |
| 4.3.3 测试仪表及测试步骤 .....                          | 112        |
| 4.3.4 测试步骤 .....                               | 113        |
| 4.4 抖动容限 .....                                 | 115        |
| 4.4.1 ONT500 抖动容限测试 (Jitter Mode 选择 MTJ) ..... | 116        |
| 4.4.2 快速抖动容限测试 (Jitter Mode 选择 Fast MTJ) ..... | 117        |
| 4.5 漂移容限 .....                                 | 117        |
| 4.5.1 漂移容限测试连接 .....                           | 118        |
| 4.5.2 测试设置 .....                               | 118        |
| 4.6 BTS 空口频偏 .....                             | 120        |
| 4.7 BTS 空口相位偏差 .....                           | 120        |
| 4.8 误码检测 (传输、空口) .....                         | 120        |
| 4.9 利用漂移测试间接测试频率偏差 .....                       | 120        |
| 4.10 时间测试 .....                                | 121        |
| 4.11 ONT-5xx 抖动漂移测试指南 .....                    | 121        |
| 4.11.1 ONT-5xx 抖动和漂移测试特点 .....                 | 121        |
| 4.11.2 ONT-5xx Jitter 抖动和漂移测试项目 .....          | 121        |
| 4.11.3 抖动测试步骤 .....                            | 122        |
| 4.11.4 输出抖动测试步骤 (Jitter Mode 选择 Manual) .....  | 124        |
| 4.11.5 SDH/OTN 漂移测试步骤 .....                    | 126        |
| 4.11.6 基站同步测试时钟端口 E1 漂移测试 (举例) .....           | 129        |
| <b>第 5 章 无线接入网频率同步性能综合测试方案 .....</b>           | <b>132</b> |
| 5.1 概述 .....                                   | 132        |
| 5.2 测试目的 .....                                 | 132        |
| 5.3 测试项目 .....                                 | 133        |
| 5.4 主要测试技术要求 .....                             | 134        |
| 5.5 实验室测试环境 .....                              | 135        |
| 5.6 现网测试环境 .....                               | 136        |
| 5.7 实验室内的主要测试项目和方法 .....                       | 136        |
| 5.7.1 跟踪外时钟的频率特性 .....                         | 136        |
| 5.7.2 基站时钟牵引范围 .....                           | 136        |
| 5.7.3 基站时钟加扰性能 .....                           | 137        |
| 5.7.4 时钟质量检测阈值测定 .....                         | 137        |
| 5.7.5 与同步有关的告警功能测定 .....                       | 137        |
| 5.7.6 再跟踪功能测定 .....                            | 137        |
| 5.7.7 参考时钟选择机制测定 .....                         | 137        |
| 5.7.8 基站时钟 (保持) 性能 .....                       | 137        |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 5.7.9 主要测试内容列表 .....                | 137        |
| 5.8 在实验室内的主要测试步骤 .....              | 139        |
| 5.9 被测设备及型号 .....                   | 139        |
| 5.10 同步定时传送链路 .....                 | 140        |
| 5.10.1 SDH 低速率支路 E1 .....           | 140        |
| 5.10.2 FE 网络 .....                  | 141        |
| 5.11 基站同步性能测试用例 .....               | 141        |
| 5.11.1 频率准确度测试 .....                | 141        |
| 5.11.2 基站时钟保持性能测试 .....             | 141        |
| 5.11.3 保持切换功能测试 .....               | 142        |
| 5.11.4 漂移产生 .....                   | 143        |
| 5.11.5 抖动产生 .....                   | 143        |
| 5.11.6 牵引入范围 .....                  | 144        |
| 5.11.7 频率牵引出范围 .....                | 144        |
| 5.11.8 基站空口频率测试 .....               | 145        |
| <b>第 6 章 无线基站子系统频率同步性能测试 .....</b>  | <b>146</b> |
| 6.1 无线同步系统的主要技术要求 .....             | 146        |
| 6.1.1 无线接入系统对同步定时的要求 .....          | 146        |
| 6.1.2 GSM 无线接入系统射频的主要技术指标 .....     | 147        |
| 6.2 BTS 时钟状态及其转换 .....              | 147        |
| 6.3 参考时钟质量与 GSM 射频指标的函数关系 .....     | 148        |
| 6.4 时钟频偏对于基站射频指标影响的测试 .....         | 151        |
| 6.4.1 时钟频偏对于基站射频频偏影响测试 .....        | 151        |
| 6.4.2 时钟频偏对基站射频相位偏差影响的测试 .....      | 152        |
| 6.4.3 时钟频偏对于基站射频邻信道干扰的测试 .....      | 152        |
| 6.4.4 时钟频偏对于基站射频 EDV 指标的影响的测试 ..... | 152        |
| 6.4.5 时钟频偏对于越区切换等性能影响的测试 .....      | 152        |
| 6.5 BTS E1 时钟输入抖动容限性能测试 .....       | 153        |
| 6.6 基站时钟保持时间测定 .....                | 155        |
| 6.6.1 实验室测定 .....                   | 155        |
| 6.6.2 现网实测 .....                    | 157        |
| 6.7 时钟牵引范围测试 .....                  | 157        |
| 6.7.1 基站控制器时钟牵引范围测试测试结果 .....       | 157        |
| 6.7.2 基站时钟牵引范围测试测试 .....            | 158        |
| 6.7.3 不同厂商设备的牵引范围对比 .....           | 161        |
| 6.7.4 关于时钟参考源频偏锁定门限值 .....          | 163        |
| 6.7.5 结论 .....                      | 164        |
| 6.8 基站其他功能和性能测试 .....               | 164        |

|        |                          |     |
|--------|--------------------------|-----|
| 6.8.1  | 告警门限可设置功能测试              | 164 |
| 6.8.2  | 自由振荡态 1h 频率准确度测试         | 165 |
| 6.8.3  | 锁定态 24h 性能监控测试           | 165 |
| 6.9    | 异常测试                     | 168 |
| 6.9.1  | 抖动漂移容限测试                 | 168 |
| 6.9.2  | 加入抖动和频偏异常测试              | 170 |
| 6.9.3  | 瞬断测试                     | 170 |
| 6.9.4  | 频偏、加抖动、瞬断测试              | 172 |
| 6.10   | 测试中发现的其他问题               | 172 |
| 6.10.1 | 功能方面                     | 172 |
| 6.10.2 | 性能方面                     | 172 |
| 6.11   | 测试结果及分析                  | 173 |
| 6.12   | 典型无线基站系统时钟同步机制           | 175 |
| 6.12.1 | 时钟锁相单元的 DA 值             | 175 |
| 6.12.2 | 参考源异常告警触发条件              | 176 |
| 6.12.3 | 时钟锁定检测确认时间               | 177 |
| 6.12.4 | 保持到锁定性能                  | 177 |
| 6.12.5 | 相位重建                     | 178 |
| 6.12.6 | 结语                       | 179 |
| 第 7 章  | SDH 业务码流传送同步定时性能测试       | 180 |
| 7.1    | 测试环境                     | 180 |
| 7.2    | 测试项目                     | 180 |
| 7.3    | 测试方法                     | 180 |
| 7.4    | 测试结果                     | 181 |
| 7.5    | SDH 的 E1 对无线接入网时钟频偏的影响测试 | 186 |
| 7.6    | 结论                       | 186 |
| 7.7    | SDH 网络正常时的时钟传送测试实例       | 187 |
| 7.7.1  | 传送质量合格                   | 187 |
| 7.7.2  | 时钟传送质量很高                 | 187 |
| 7.8    | SDH 传输系统异常对于无线基站同步定时的影响  | 188 |
| 7.8.1  | 网元设备时钟处于自由振荡状态时          | 188 |
| 7.8.2  | 时钟降质对于业务的影响              | 189 |
| 7.9    | SDH 正常保护倒换时的影响           | 190 |
| 7.10   | 同步定时链路对 BTS 业务的影响        | 191 |
| 7.11   | GSM 组网及同步定时链路            | 192 |
| 7.11.1 | 核心网                      | 192 |
| 7.11.2 | 某系统设备组网图                 | 192 |
| 7.11.3 | 无线设备时钟同步拓扑               | 193 |