

ДЕЯКІ ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У ЦИФРОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ Й СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

С. Славінський, кандидат технічних наук, начальник лабораторії,
ННЦ «Інститут метрології», м. Харків

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЦИФРОВЫХ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЯХ И СИСТЕМАХ СВЯЗИ

С. Славинский, кандидат технических наук, начальник лаборатории,
ННЦ «Институт метрологии», г. Харьков

SOME QUESTIONS OF METROLOGICAL ASSURANCE IN DIGITAL TELECOMMUNICATIONS AND COMMUNICATION SYSTEMS

S. Slavin'skiy, Candidate of Technical Science, Chief of Laboratory,
National Scientific Center «Institute of metrology», Kharkiv



Прискорений розвиток сучасних технологій цифрових телекомунікацій та зв'язку, обумовлений потребами ринку послуг, вимагає проведення постійних досліджень якості цих послуг, постійного удосконалення та відповідного розвитку метрологічного забезпечення даної галузі.

Оскільки параметри і характеристики систем телекомунікацій та зв'язку в основному визначаються числовими значеннями фізичних величин, роль ЗВТ надзвичайно висока. На сьогодні для їхнього визначення використовується велика кількість як методів вимірювання, так і ЗВТ. Забезпечення необхідної точності та єдності вимірювань є основним завданням метрологічного забезпечення на всіх рівнях державного регулювання.

Однією з найважливіших характеристик цифрових телекомунікацій та систем зв'язку є якість по-

У статті наведено аналіз розвитку метрологічного забезпечення в галузі цифрових телекомунікацій та зв'язку. Розглянуто ряд методологічних та апаратурних питань, що відображають простежуваність під час передачі розмірності вимірюваних фізичних величин від первинних еталонів до засобів вимірювальної техніки (ЗВТ).

слуг, надаваних користувачам, регламентованих міжнародними та вітчизняними стандартами та іншими нормативними документами та охарактеризованих рядом кількісних параметрів, які можуть бути визначені та зіставлені зі значеннями, що прийнято за норму. Сьогодні управління мережами зв'язку підійшло до межі, коли виробники продукції або послуг намагаються замінити в системах управління функції пасивного спостерігача за станом мережі на функції забезпечення гарантованої якості обслуговування (QoS — Quality of Service). Уведення характеристики QoS є складним процесом, особливо для високошвидкісних мереж. Для забезпечення високої якості обслуговування споживачів необхідно гарантувати ряд технічних параметрів мережі (наприклад: смугу пропускання, низький рівень затримок тощо) та забезпечити достатній рівень вірогідності

- фазово-частотні;
- вимірювання шумів, різних видів завад та інтерференційних перешкод.

Вимірювання амплітудно-частотних характеристик значною мірою передбачає широкополосний аналіз спектра, в ряді випадків за допомогою слідкуючого генератора сигналів, що входить до складу аналізатора спектра або вимірювального приймача.

Визначення характеристик підсилення та фазово-частотних характеристик елементів радіочастотного тракту (включаючи і ретранслятори) переважно проводиться з використанням слідкуючого генератора надвисокочастотного (НВЧ) моста та відгалужувачів потужності, що включаються в комплект аналізатора спектра або вимірювального приймача.

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Враховуючи основні фактори, що впливають на характеристики радіочастотного тракту, всі вимірювання можна згрупувати у такий спосіб:

- вимірювання параметрів модуляції, пов'язаних з можливими порушеннями режимів модуляції-демодуляції;
- визначення параметрів лінійності тракту передачі та їх динамічного діапазону;
- визначення можливості міжсимвольної інтерференції, що потребує аналізу смуг пропускання тракту та характеристик стабільності;
- визначення впливу фазових та теплових шумів елементів тракту для встановлення можливого рівня деградації якості зв'язку;
- визначення параметрів джиттера у системі передачі, що проводиться вимірюванням параметрів задаючих генераторів;
- визначення параметрів антен та антенно-фідерних пристроїв.

Після проведення вимірювань за окремими ланками радіотракту більш повними є комплексні вимірювання радіочастотних тракту, пов'язані з питаннями поширення сигналів по тракту залежно від зовнішніх умов, що включають вимірювання як місцевих характеристик тракту, так і параметрів стійкості його роботи до умов поширення сигналів.

Першою важливою групою комплексних вимірювань характеристик радіочастотних систем є спектральний аналіз тракту. Порушення у роботі будь-яких пристроїв зі складу радіочастотного тракту звичайно відбиваються на результатах спектрального аналізу тракту і виявляються в появі субгармонік, паразитних сигналів, порушенні спектрального складу сигналу. У результаті, спектральний аналіз дозволяє відразу зробити висновок стосовно працездатності системи і, за необхідності, виявити причину порушень, наприклад, інтерференції між сусідніми каналами (взаємні перешкоди). У даному

випадку контроль спектра робочого сигналу в заданому каналі системи повинен бути у межах визначеної маски допустимих значень. Для даних вимірювань використовуються аналізатори спектра з можливістю установки необхідних масок на допустимий спектр робочого сигналу. При вимірюваннях використовуються стандартні маски або маски, що задаються оператором, і в результаті виводяться дані щодо відповідності чи невідповідності сигналу встановленій масці.

Більшість експлуатаційних вимірювань у радіочастотних трактах пов'язані з необхідністю вимірювання частоти та потужності сигналів. Такі вимірювання виконуються у різних місцях ланок і складових вузлів тракту системи передачі. Найуніверсальнішим засобом є аналізатор спектра або панорамний вимірювальний приймач. Наявність високостабільних гетеродинів та опорних генераторів, реалізація функцій маркерних вимірювань та вибір окремих обмежених діапазонів частот та їх аналіз у режимі «реального часу» (за допомогою швидкого перетворення Фур'є) дозволяють виконувати практично всі необхідні вимірювання частоти та потужності сигналів у телекомунікаційних (включаючи і мобільні) цифрових технологіях.

Одним з основних видів вимірювань у системах цифрового зв'язку є вимірювання залежності параметра похибки від відношення сигнал/шум, оскільки дана характеристика параметр похибки по бітах — Bit Error Rate (BER) одна з найбільш інформативних. Розгляд теоретичної та практичної залежності $BER = f(C/N)$ показує, що практичні результати відрізняються від теоретичних тим, що на практиці для заданого значення BER необхідно більше відношення сигнал/шум (C/N). Це пов'язано з різними факторами погіршення даної характеристики у трактах ПЧ (проміжні частоти) та РЧ (радіочастоти). Характерно, що для практичних вимірювань існує апроксимована залежність $BER = f(C/N)$, що приймається за залишковий BER і пов'язана з неідеальністю пристроїв зі складу радіотракту. Методи визначення даної характеристики пов'язані з вимірюваннями рівня (потужності) сигналу та шуму в радіотракті, а також з регулюванням цих сигналів у тракту за допомогою відповідних пристроїв для внесення додаткових згасань і обчисленням стабільності прийому сигналів протягом певного часу вимірювання. Даний вид вимірювань проводиться за допомогою спеціалізованого пристрою — аналізатора та імітатора параметра C/N , що вимірює рівень потужності сигналу, який приймається при внесенні заданого рівня шумів та забезпеченні точного значення параметра C/N . Такі вимірювання виконуються за допомогою аналізатора спектра або панорамного вимірювального приймача, якщо їх закладено в прилад

програмно і забезпечено додатковими функціональними можливостями.

Не менш важливою характеристикою радіотракту є нерівномірність фазово-частотної характеристики тракту, яка визначається груповим часом затримки (ГЧЗ) та безпосередньо впливає на рівень спотворень сигналу при передачі широкосмугових сигналів (наприклад, сигналу WCDMA/HSPA, мобільного телебачення або радіомовлення) за допомогою радіотрактів. Груповий час затримки визначається за виразом:

$$\eta = -\frac{d\theta}{d\omega}$$

де θ — фазовий зсув сигналу; ω — частота.

Вимірювання фазового зсуву від частоти з подальшим диференціюванням можливо, як правило, лише для систем з низьким рівнем шумів (наприклад, для тестування кабельних систем антенно-фідерних трактів). У системах зв'язку в радіотракті мають місце фазові шуми, які вносять великі похибки в результат вимірювання, отже, проведення вимірювань ГЧЗ методом диференціювання для більшості складних систем радіозв'язку є некоректним.

Існує декілька основних методів вимірювання ГЧЗ: з використанням тестового сигналу АМ, з використанням двохчастотного сигналу та з використанням тестового сигналу ФМ.

Найбільше поширення та реалізацію в технології автоматичного вимірювання (апаратна реалізація) отримали методики з використанням композитних сигналів, коли вимірювання проводяться з використанням двох генераторів: генератора частотно-модульованих сигналів та генератора ВЧ сигналів. Частково такий комплекс вимірювань виконується на практиці аналізатором спектра з слідкуючим генератором у режимі векторного вольметра при тестуванні кабельних і фідерних трактів.

Вимірювання параметрів стійкості до лінійного згасання та згасання, пов'язаного з багатопроменевим проходженням сигналу в ретрансляторах, а також вимірювання спотворень, що виникають в модуляторах/демодуляторах (кодерах/декодерах), втрати синхронізації в каналі та ряд порушень у роботі модуляторів (демодуляторів) виконуються за допомогою спеціальних вимірювань за допомогою «глазкових діаграм» та діаграм станів, що відображають спотворення у модульованому сигналі. Такі вимірювання виконуються за допомогою спеціальних аналізаторів або аналізаторів спектра з програмно вбудованою функцією в структуру приладу.

Таким чином, вищевказаний аналіз дозволяє узагальнити вимоги до методів і ЗВТ та зробити певні висновки.

Основна кількість вимірювань напруги (потужності) і частотних та часових параметрів у ВЧ та НВЧ

діапазонах виконується аналізатором спектра (панорамним вимірювальним приймачем). Можливо, виконання вимірювань параметрів модуляції та ряду інших, якщо такі функції програмно та апаратно вбудовані.

Типовий перелік функцій аналізатора спектра — тестера — вимірювального приймача для систем телекомунікацій чи зв'язку:

- функції аналізатора спектра у діапазоні частот від 100 кГц до 7,1 ГГц;
 - тестові випробування кабельних і антенних систем;
 - вимірювання характеристик активних і пасивних пристроїв (трактів), що працюють у стандарті WCDMA/HSPA;
 - вимірювання параметрів трактів у системі WiMAX з фіксованими або мобільними (рухомими) базовими станціями;
 - вимірювання параметрів трактів у системі CDMA;
 - вимірювання параметрів трактів у системі EVDO;
 - вимірювання параметрів трактів у системі TD-SCDMA;
 - тестування параметрів антенно-фідерних трактів (КСХН, зворотних втрат, обривів кабелю, дефектів ліній тощо);
 - вимірювання потужності електромагнітного поля за допомогою відповідних антен;
 - функціональне тестування на відповідність передачі потоку даних T1/FT1;
 - функціональне тестування на відповідність передачі потоку даних T3/T1/FT1;
 - функціональне тестування на відповідність передачі потоку даних E1 — 2 Мб/с;
 - вимірювання частот, займаної смуги частот, потужності для відповідних потоків даних (відповідність встановленій масці);
 - вимірювання перешкод прийому (інтермодуляційні перешкоди, перехресні перешкоди, побічні канали прийому, паразитні модуляційні перешкоди).
- Крім зазначених параметрів, може бути внесено ряд інших, якщо їх вимірювання передбачено при використанні вибраних систем (стандартів).
- Розглянутий перелік вимірювань характерний для типових портативних і недорогих аналізаторів спектра — тестерів мережі. Для вимірювання зазначених та інших характеристик мережі (джитера, вандера, характеристик модуляції тощо) звичайно використовуються складніші аналізатори спектра (умовно — лабораторного типу) з ширшими функціональними можливостями і, в ряді випадків, з використанням складних допоміжних блоків (рубідієвих стандартів та високоточних електролічних частотомірів, GPS-приймачів тощо. Вартість таких



Рис. 2. Структурна схема обґрунтування зв'язків основних характеристик аналізатора спектра з фізичними величинами та їх еталонами

приладів вища від тестерів і може складати 20—400 тис. дол. США. Однак, найбільш повними є вимірювання, що виконуються спеціальними вимірювальними установками (вимірювальними системами), призначеними для повних досліджень систем телекомунікацій та зв'язку, параметрів базових станцій, параметрів модуляції, передавачів, ліній і трактів передачі, перешкод та завод різного типу, а вартість таких систем значно вища від попередніх.

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ

Розглянутий перелік характеристик, які визначаються при вимірюваннях, загалом відповідає наведеним провідними фірмами у цій галузі (Ericsson, Nokia, Rohde & Schwarz, Agilent Technologies, Anritsu та ін.) та міжнародним нормативним документам на системи телекомунікацій, зв'язку і характеристики обладнання.

Таким чином, основним інструментом вимірювань у розглянутих і наведених вище прикладах з системами телекомунікацій є аналізатор спектра. Як варіант цього ж приладу для різних специфічних вимірювань може розглядатись панорамний вимірювальний приймач чи селективний векторний вольтметр з великим набором різних варіантів реалізації, що можуть бути скомпоновані під замовлення.

Основний перелік необхідних параметрів такого ЗВТ, як аналізатор спектра було наведено вище, під час аналізу характеристик трактів і методів вимірювання.

Оскільки, основним інструментом вимірювань як при атестації трактів та обладнання, так і для визначення параметрів сигналів, що передаються, служить аналізатор спектра — панорамний вимірювальний приймач, то система метрологічного забезпечення цих ЗВТ буде відповідати системі, прийнятій для засобів вимірювання у галузі аналізу спектра з урахуванням особливостей вимірювань у системах різних стандартів цифрових телекомунікацій.

Перш за все, необхідно відзначити, що у такого багатофункціонального приладу, як аналізатор спектра, всі характеристики згруповано за основними ознаками в амплітудні, частотні та характеристики динамічного діапазону. Загальна кількість цих характеристик, у випадку класичного аналізатора спектра, близько 30—40.

Основні амплітудні характеристики: похибка амплітудного калібруатора, нерівномірність амплітудно-частотної характеристики (АЧХ), основна похибка вимірювання абсолютного рівня, основна похибка вимірювання відносного рівня, похибка встановлення згасання ПЧ та ВЧ атенюаторів та інші характеристики (близько 10—15), включаючи і рівень власних шумів аналізатора спектра.

Частотні характеристики: похибка вимірювання частоти, в тому числі і в режимі частотогра, похибка внутрішнього опорного генератора, похибка вимірювання частотних інтервалів, включаючи і режим за допомогою маркерів, нестабільність частоти та паразитна девіація частоти гетеродинамів та інші характеристики (до 10 характеристик).

Характеристики динамічного діапазону: динамічний діапазон амплітудної характеристики, динамічний діапазон за рівнем інтермодуляційних перешкод 3-го порядку та інші характеристики (понад 10).

Класифікацію наведених характеристик проведено і згруповано так, що встановлено відповідний зв'язок цих характеристик з відповідними фізичними величинами системи одиниць СІ, та існуючою системою державних еталонів. Зв'язок і простежуваність у цій системі класифікації встановлюється при допомозі відповідних перетворювачів, що дають змогу визначити зв'язок між відповідними первинними еталонами (наприклад, напруги постійного чи змінного струму) і відповідними характеристиками аналізатора спектра. Наведено структурну схему обґрунтування зв'язків основних характеристик аналізатора спектра з фізичними величинами та їх еталонами (рис. 2).

Прийнята схема метрологічного забезпечення у галузі аналізу спектра є децентралізованою, оскільки спирається не на один спеціалізований еталон для вибраного виду вимірювань, а на систему еталонів з інших видів вимірювання і заснована вона на встановленні зв'язків характеристик аналізатора спектра за допомогою ряду перетворювачів із системою існуючих еталонів.

Ряд додаткових функцій та характеристик аналізатора спектра, які з'являються у нього при наданні йому параметрів вимірювача напруженості електромагнітного поля (вимірювального приймача), векторного вольтметра чи вимірювача параметрів НВЧ чотирьохполюсників, також зводиться до вибору

відповідних фізичних перетворювачів і встановлення за їх допомогою простежуваності до відповідного первинного еталона та фізичної величини.

ВИСНОВКИ

Наведений аналіз дозволяє провести класифікацію і систематизацію характеристик ЗВТ у галузі телекомунікацій та зв'язку. Розглянутим ЗВТ притаманні характеристики класичного аналізатора спектра (вимірювального приймача) та ряд додаткових специфічних характеристик:

- групи амплітудних, частотних та динамічного діапазону як класичного аналізатора спектра;
- векторного вольтметра;
- вимірювального приймача та вимірювача напруженості електромагнітного поля;
- вимірювача параметрів СВЧ транзисторів, кабелів та антен;
- аналізатора протоколів з функціонального тестування відповідно до передачі потоків даних G3/N1/FT1 та E1 — 2 Мб/с.

Відповідно до додаткових вбудованих функціональних задач та фрагментів інших систем стандартів цифрових телекомунікацій можуть бути внесені й інші характеристики (мобільного телебачення, широкосмугового радіомовлення і ряд інших видів модульованих сигналів).

Проведений аналіз і дослідження дозволяють сформулювати ряд основних вимог до ЗВТ:

- забезпечення повноти необхідних видів вимірювання для всіх ланок телекомунікацій;
- забезпечення з необхідною точністю різних видів робіт (настроювання, тестування, перевірка, атестація тощо);
- простежуваність вимірювань від робочих ЗВТ до первинних еталонів;
- комплектація необхідним програмним забезпеченням для виконання відповідних видів робіт. ■

ГЛОСАРИЙ

ISDN — Integral Service Digital Network — цифрова мережа з інтеграцією служб.

GSM — Global System for Mobile Communication — глобальна система мобільного зв'язку.

DCS — Digital Communication System — система цифрового зв'язку.

GPRS — General Packet Radio Services — протокол передавання цифрових даних мобільної мережі.

EDGE — Enhanced Data for GSM Evolution — еволюція GSM розвитком потоку даних.

WCDMA — Wideband Code Division Multiple Access — широкосмуговий множинний доступ до радіоканалів з кодовим доступом.

HSPA — High Speed Packet Access — високошвидкісний доступ до цифрового пакета.

HSDPA — High Speed Downlink Packet Access — високошвидкісний доступ до цифрового пакета, спрямованого до базової станції.

HSUPA — High Speed Uplink Packet Access — високошвидкісний доступ до цифрового пакета, спрямованого від базової станції.