

системы логико-статистических информационных моделей. / М.А. Лучук, Л.И. Жуган, Я.М. Николайчук, Б.М. Шевчук // Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР. – Киев, Препринт 88–45 ИК АН УССР. – 1988.

8. Андрушко І.В. Інформаційні технології побудови модифікацій амплітудної логіко-статистичної інформаційної моделі / І.В. Андрушко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. – Т. 2. – С. 140–146.

Рецензент: д.т.н. Горбійчук М.І.
Надійшла 8.2.2012 р.

УДК 621.395.664

А.А. ТАРАНЧУК, І.О. НЕЧИПОРУК, О.В. ПОМОРОВА
Хмельницький національний університет

ЭФФЕКТ ЭЛЕКТРИЧНОГО ЭХА В ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ С ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Проведений аналіз причин виникнення ефекту електричного еха в мережах з пакетною комутацією каналів та надані рекомендації щодо його можливого усунення.

The analysis of origins of effect of an electric echo in networks with package channel switching is carried out, recommendations about its possible suppression are made.

Ключові слова: IP- телефонія; електричне ехо; пакетна передача; затримка сигналу

Вступ. Найбільш популярною на сьогодні технологією пакетної передачі інформації є передача мови по мережах пакетної комутації – концепція “Voice over IP” (VoIP) – з використанням алгоритмів низькошвидкісного кодування мовних сигналів. Сучасне поняття IP-телефонії містить у собі деяку системну сукупність технологій, що забезпечують організацію телефонних з'єднань із використанням протоколів пакетної передачі IP. Передача пакетів може бути здійснена по різних каналах і мережах. У найпростішому випадку для організації, наприклад, внутрішньої телефонної мережі може бути використана локальна обчислювальна мережа якогось підприємства; такий тип додатків прийнято називати LAN-телефонією. Для передачі телефонних повідомлень може бути використана глобальна мережа Інтернет, такий вид зв'язку прийнято називати Інтернет-телефонією [1].

Підключення абонентів до мереж IP-телефонії здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв, що одержали назву шлюзів, або з використанням спеціалізованих телефонних апаратів, що суміщають функцію шлюзів. У багатьох випадках у якості термінального пристрою IP-телефонії використовуються персональні комп'ютери, які працюють під керуванням спеціалізованого програмного забезпечення, у тому числі і ті, що використовують бездротове підключення до мережі.

Для передачі пакетів зазвичай використовується протокол RTP (Real-Time Transport Protocol) [2, 3], як правило, поверх UDP (рідко TCP), механізм реагування на зміни в мережі підтримується за допомогою протоколу RTCP (RTP Control Protocol). За замовчуванням довжина пакета встановлюється розраховуючи на тривалість відрізка мовного сигналу, рівною 20 мс. Мітки часу, передані у складі протоколу RTP, зазвичай використовуються для правильного відновлення мовного сигналу із прийнятих пакетів. Керування процесом установа з'єднань зазвичай здійснюється за протоколом SIP (Session Initiation Protocol) [4].

IP-телефонія є однією з областей передачі даних, де всі процеси передачі інформації повинні відбуватися в режимі реального часу й де особливо важлива динаміка передачі сигналу, яка забезпечується сучасними методами кодування й передачі інформації; у результаті збільшується пропускна здатність каналів у порівнянні із традиційними телефонними мережами.

Використання технології VoIP призводить до збільшення часу поширення сигналів навіть у відносно «коротких» каналах і, як наслідок, появи в них ехосигналів, які сильно впливають на якість IP-мережі. Виявлення причин виникнення ефекту електричного еха, а також пошук методів його придушення в телекомунікаційних мережах на теперішній час є одним з актуальних завдань.

Метою роботи є вивчення причин виникнення ефекту електричного еха в мережах з пакетною комутацією каналів та надання рекомендацій по його можливному усуненню.

Основний розділ

Одним з головних факторів, які впливають на якість IP-мережі, є затримка – проміжок часу, необхідний для передачі пакета через мережу. Затримка створює незручності при веденні діалогу, приводить до перекриття розмов і виникненню еха. Ехо – це витік голосу із тракту передачі в тракт приймання. Ехо стає важкою проблемою, коли затримка в петлі передачі більше, ніж 50 мс.

Ускладнення діалогу й перекриття розмов стають серйозним питанням якості, коли затримка в одному напрямку передачі перевищує 250 мс. Можна виділити наступні джерела затримки при пакетній передачі мови від одного абонента до другого (рис. 1) [5]:

- Затримка накопичення (іноді називається алгоритмічною затримкою): ця затримка обумовлена необхідністю збору кадру мовних відліків, виконувана в мовному кодері. Величина затримки визначається

типом мовного кодера й змінюється від невеликих величин (0,125 мкс) до декількох мілісекунд. Наприклад, стандартні мовні кодери мають наступні тривалості кадрів: G.729 CS-ACELP (8 кбіт/с) – 10 мс; G.723.1 - Multi Rate Coder (5,3 та 6,3 кбіт/с) – 30 мс.

Затримка обробки, процес кодування й збору закодованих відліків у пакети для передачі через пакетну мережу створює певні затримки. Затримка кодування або обробки залежить від часу роботи процесора й використовуваного типу алгоритму обробки. Для зменшення завантаження пакетної мережі зазвичай декілька кадрів мовного кодера поєднуються в один пакет. Наприклад, три кадри кодових слів G.729, що відповідають 30 мс мови, можуть бути об'єднані для зменшення розміру одного пакета.

- Мережева затримка: затримка обумовлена фізичним середовищем і протоколами, використовуваними для передачі мовних даних, а також буферами, використовуваними для видалення джиттера пакетів на прийомному кінці. Мережева затримка залежить від ємності мережі й процесорів передачі пакетів у мережі.

Час затримки при передачі мовного сигналу можна віднести до одного із трьох рівнів [5]:

- Перший рівень до 200 мс – відмінна якість зв'язку. Для порівняння, у телефонній мережі загального користування припустимі затримки до 150–200 мс.

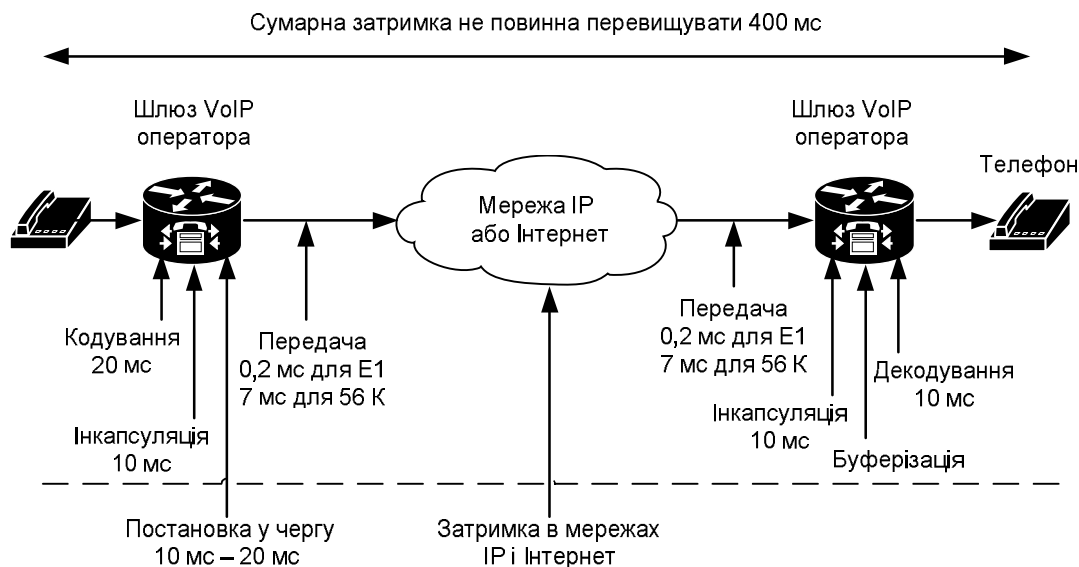


Рис. 1. Складові затримки в мережі IP-телефонії

- Другий рівень до 400 мс – вважається хорошою якістю зв'язку – це прямі VoIP з'єднання, стільникові мережі, супутникові мережі. Як правило, абонент не відчуває затримки якщо не має візуального контакту із протилежною стороною.

- Третій рівень до 700 мс – вважається прийнятною якістю зв'язку для ведення неділових переговорів. Ці затримки виникають при стикуванні декількох мереж, з великими транспортними затримками. У цих мережах спілкування ускладнене із-за великих затримок голосу при розмові абонентів.

Затримки понад 800 мс неприйнятні в мережах IP-телефонії.

Якість Інтернет-телефонії попадає під другий та третій рівні, причому неможливо упевнено сказати, що той або інший провайдер Інтернет-телефонії працює на другому рівні, тому що затримки в мережі Інтернет мінливі. Більш точно можна сказати про провайдерів IP-телефонії, що працюють по виділених каналах. Вони підпадають під 1–2 рівні. Також необхідно враховувати затримки при кодуванні/декодуванні голосового сигналу. Середні сумарні затримки при використанні IP-телефонії зазвичай знаходяться у межах 150–200 мс.

Існує два різні способи виникнення витоку з передавального тракту в прийомний: акустичний і електричний, внаслідок чого виникає ефект еха [6].

Акустичний має на увазі собою потрапляння звуку з динаміків телефонного апарата або колонок комп'ютера в мікрофон або в мікрофонну гарнітуру. Акустичне ехо може мати значну тривалість, а особливо неприємним буває зміна його характеристик при зміні, наприклад, взаємного розташування терміналу і абонента, що розмовляє, або навіть появи інших людей у приміщенні. Ці обставини роблять побудову пристроїв ефективного придушення акустичного еха дуже непростою завданням.

Електричний витік можливий тільки в аналогових трактах. У цифрових системах передачі голосу, до яких відносяться ISDN, ІКМ, VoIP – міжстанційні з'єднання (МЗ) і спеціалізовані цифрові інтерфейси GSM і IP-телефонів, станційні цифрові телефони, витоки не відбуваються. Зазвичай місцями витоку є точки переходу із цифрових МЗ на аналогові дводротові, або переходи із чотиридротових аналогових МЗ на дводротові. Для стикування чотиридротових і дводротових кіл застосовують диференціальні системи, характеристики яких не ідеальні. У результаті сигнал, переданий по вихідній частині чотиридротових кіл, вертається до свого джерела у вигляді ехосигналу. Іншими джерелами еха можуть служити абонентські

пристрої, станційне устаткування, uszkodження каналу передачі. Ефект еха проявляється сильніше зі збільшенням тривалості затримки ехосигналу в ехотракті. Цьому сприяють різні системи перетворення, кодування сигналу, устаткування IP-телефонії.

Також найбільш частим джерелом еха є різні фізичні характеристики жил у парі кабелю. Намокання, погані контакти не дозволяють диференціальним системам на телефонних станціях і телефонних апаратах у достатній мірі компенсувати місцевий ефект.

Для виникнення еха необхідне виконання наступних трьох умов:

- витік в аналогових трактах з передачі на прийом;
- достатня довга транспортна затримка від абонента до місця витоку;
- достатній рівень витоку, щоб бути розпізнаним людським вухом.

На прикладі схеми дзвінка з використанням передплаченої телефонної картки із Хмельницького в Санкт-Петербург розрахуємо односторонню транспортну затримку на даному маршруті (рис. 2). Сигнал надходить від телефонного апарата по дводротовій аналоговій лінії на міську телефонну станцію (МТС). Далі сигнал проходить по цифровим ISDN M3 до шлюзу провайдера, через VoIP мережу до Московського VoIP шлюзу оператора, через цифрову мережу одного із трансросійських телефонних операторів, Санкт-Петербурзьку міжміську станцію, міську телефонну станцію і далі по дводротовій лінії до апарата абонента.

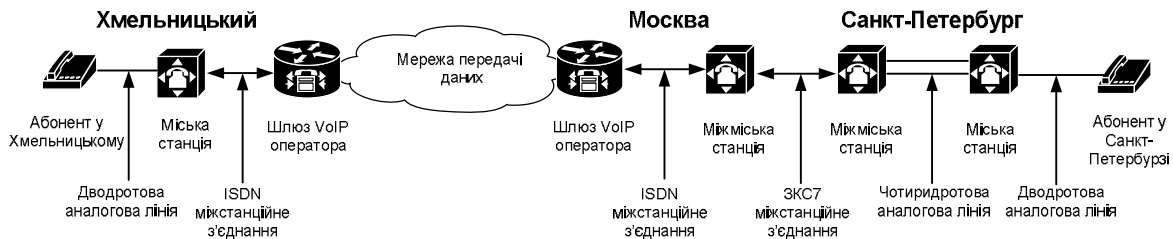


Рис. 3. Схема проходження голосового сигналу

Оцінити затримку можна використовуючи ресурс [7]. Значення транспортної затримки сигналу в оптичних або мідних лініях передачі 0,005 мс / кілометр. Затримка на VoIP передавачах від 20 до 60 мс залежно від алгоритму кодування, розміру пакета й продуктивності процесора кодування. Слід мати на увазі, що основну частку часу поширення часто визначає затримка сигналу в буфері збору (джіттера) пакетів. Цей буфер включений до складу кожного, у тому числі індивідуального, шлюзу, і призначений для відновлення правильного порядку проходження пакетів, що поширюються по різних маршрутах. Ємність буфера повинна встановлюватися у відповідності із очікуваною граничною затримкою пакета в мережі, оскільки всі пакети, що прийшли пізніше, ігноруються. Значення ємності може встановлюватися вручну, однак багато видів шлюзів підтримують функцію адаптивного керування ємністю відповідно до реальної статистики приймання пакетів. Затримка на VoIP приймачах складається із затримки на декодуванні, зазвичай приблизно рівній затримці кодування плюс затримці на джіттер у буфері. Довжина джіттер-буфера зазвичай дорівнює від 20 до 150 мс залежно від стабільності каналу приймання даних.

Отже, затримки на маршруті від Хмельницького до Санкт-Петербурга:

1. Від телефонного апарата абонента до VoIP оператора 10 км · 0,005= 0,05 мс.
2. Транспортна затримка від VoIP шлюзу оператора у Хмельницькому до Києва складе 300 км · 0,005= 1,5 мс.
3. Транспортна затримка в каналах передачі даних від Києва до Москви 2000 км · 0,005=10 мс при наявності прямого каналу на Москву. При з'єднанні з Москвою через Європейських операторів, затримка в каналі складе 40 мс.
4. Від шлюзу в Москві до шлюзу у Санкт-Петербурзі 700 км · 0,005=3,5 мс.
5. Внутрішньоміська затримка в Санкт-Петербурзі дуже мала й порівнянна із затримкою усередині Хмельницького, тобто до 0,01 мс (тобто ними можна знехтувати).

Разом, з урахуванням витрати на кодування (40 мс) і декодування (60 мс) у сумі одностороння затримка в VoIP тракті складе 40+60+40+1,5+3,5=145 мс.

Виходячи з вищесказаного зрозуміло, що джерело еха для абонента із Хмельницького може, перебувати усередині Санкт-Петербурга й відповідно джерелом еха для абонента із Санкт-Петербурга може бути тільки усередині Хмельницького (рис. 3).

Існують два типи пристроїв, призначених для обмеження та усунення шкідливих ефектів еха: ехозагороджувачі та ехокомпенсатори [8].

Принцип роботи ехозагороджувачів простий і полягає у відключенні каналу передачі, коли в каналі приймання присутній мовний сигнал. При використанні ехозагороджувачів зустрічаються певні труднощі. Наявність у каналах шумів не дає можливості створити ехозагороджувачів з високою чутливістю. При включенні ехозагороджувачів погіршується якість зв'язку через, так званий, ефект кліппування (провалля частини початкових і кінцевих складів слів). Подібних проблем дозволяють уникнути більш «інтелектуальні» пристрої – ехокомпенсатори. Ехокомпенсатор – це більш складний пристрій, який моделює ехосигнал для наступного його вирахування із прийнятого сигналу. Він містить у собі два основні елементи

– процесор обчислення функції згортки й нелінійний суматор. Завдання процесора це обчислення часу та амплітуди еха (рис. 4). На суматорі відбувається додавання сигналу, що прийшов з телефонної мережі на шлюз із від'ємним значенням функції згортки.

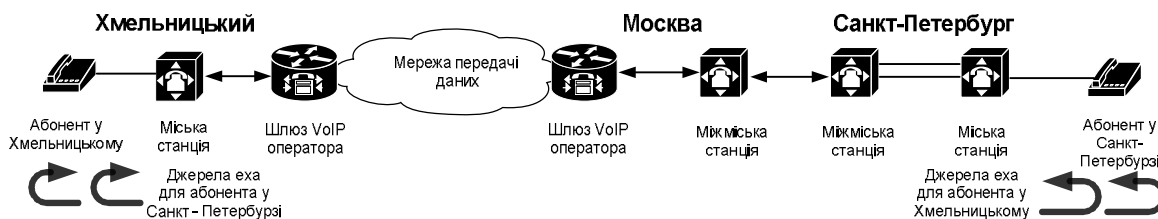


Рис. 3. Джерела виникнення еха в мережі IP-телефонії

Ехо моделюється як зважена сума затриманих копій вхідного сигналу або, іншими словами, як згортка вхідного сигналу з оціненою імпульсною характеристикою каналу. Оцінка імпульсної характеристики відбувається в той момент, коли розмовляє тільки віддалений абонент, для чого використовується детектор одночасної мовної активності. Після вирахування синтезованої копії ехосигналу із сигналу зворотного напрямку отриманий сигнал зазнає нелінійної обробки для збільшення ступеня придушення еха (придушення дуже слабких сигналів).

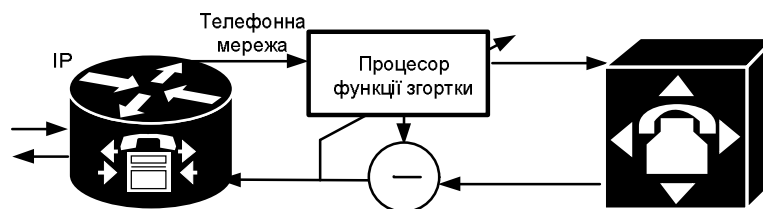


Рис. 4. Робота пристрою ехопридушення

Оскільки ехо моделюється тільки як лінійний феномен, будь-які нелінійні процеси на шляху його виникнення приводять до погіршення роботи ехокомпенсатора. Використання більш складних алгоритмів дозволяє придушувати ехо, що представляє собою не тільки затриманий, але й зсунутий по частоті сигнал, що часто відбувається через наявність у телефонних мережах загального користування застарілих частотних систем передачі. Ехокомпенсатор повинен зберігати амплітуди ехосигналів, затриманих на час від нуля до тривалості самого тривалого ехосигналу, що придушується. Це значить, що ехокомпенсатори, розраховані на придушення більш тривалих ехосигналів, вимагають для своєї реалізації більшого обсягу пам'яті й більшої продуктивності процесора.

По викладених причинах ехокомпенсатори є невід'ємною частиною шлюзів IP-телефонії. Алгоритми ехокомпенсації реалізуються зазвичай на базі тих же цифрових сигнальних процесорів, що й мовні кодеки, і забезпечують придушення ехосигналів тривалістю до 32–64 мс [9].

Так, для нашого прикладу наведеного вище, ехокомпенсатор на Московському голосовому шлюзі приймає сигнал, який прийшов із Хмельницького шлюзу через VoIP мережу. З іншого боку, той же шлюз приймає телефонний сигнал із Санкт-Петербурга, що складається з ослабленого сигналу із Хмельницького й корисного сигналу із Санкт-Петербурга. Завдання ехокомпенсатора у Москві вилучити із сигналу, що прийшов із Санкт-Петербурга голосову складову сигналу із Хмельницького. Тобто, якщо абонент у Хмельницькому чує ехо, це свідчить про те, що ехокомпенсатор у Москві не в змозі вилучити витік із тракту прийому до тракту передачі. Тобто, на практиці придушення ехосигналів у каналах IP- телефонії демонструє далеко не завжди достатню ефективність роботи вбудованих в устаткування шлюзів пристроїв ехопридушення (ПЕП) [10].

Обмежена пропусканна здатність мереж поряд із прагненням до економії ресурсів змушує як операторів IP мереж, які обслуговують абонентів мережі загального користування, так і абонентів, що виходять у мережу з індивідуальних шлюзів, підвищувати ємність буфера з метою мінімізації втрат переданих пакетів. Для розглянутого вище прикладу, коли ми маємо справу з телефонною мережею від Хмельницького до Санкт-Петербурга розмір буфера для аналізу історії, повинен перевищувати значення транспортної затримки мережі в обидва кінця. Тобто, для розглянутого вище випадку він повинен бути більше 50 мс. Відповідно, для стикувань VoIP устаткування з мобільними мережами, або іншими VoIP мережами через аналогові канали необхідно вибирати устаткування з можливістю аналізу еха на досить довгому інтервалі часу. З іншого боку, обчислення функції згортки на тривалому інтервалі це функція, що вимагає більших обчислювальних потужностей процесора. Тобто, для VoIP шлюзів, у яких ехопридушення здійснює центральний процесор, викликає істотне зниження продуктивності всієї системи.

Оскільки в більшості шлюзів, що випускаються в цей час, ємність буфера відповідає затримці сигналу в 300 мс, це значення, як правило, установлюється додатково до затримки, внесеної іншим

встаткуванням. Таким чином, загальна затримка сигналу в мережах IP-телефонії цілком порівнянна із затримкою в супутникових каналах зв'язку й вимагає використання пристроїв ехопридушення [11].

При цьому провалля пакетів (до 5%), використання функції детектування голосової активності, стиск мови й інші фактори нівелюють різницю в якості телефонної передачі, досягне при використанні, компенсаційних і загороджувальних механізмів. Таке положення змушує багатьох операторів і споживачів послуг IP-телефонії використовувати повнофункціональні ПЕП загороджувального типу, які забезпечують стійке двостороннє придушення ехосигналів як для своїх абонентів, так і для їхніх співрозмовників.

Головною особливістю придушення ехосигналів у двосторонньому режимі в з'єднаннях IP – телефонії є істотний вплив змін ємності буфера збору (джіттера) пакетів у процесі розмови на ефективність роботи ПЕП. Ефективне двостороннє придушення ехосигналів у таких з'єднаннях може бути забезпечене тільки при відключеній функції адаптивного настроювання ємності буфера.

Непридушені ехосигнали в каналах IP-телефонії будуть впливати як на ефективність (пропускну здатність) мереж, так і на якість телефонної передачі при використанні стиску мови. Для мінімізації цього впливу вбудовані ПЕП шлюзів не слід відключати при організації двостороннього загороджувального придушення ехосигналів. Такий принцип придушення може вважатися оптимальним для каналів IP-телефонії на сучасному етапі розвитку телекомунікаційних мереж.

Висновки

Проведені в роботі дослідження показали, що основною причиною виникнення ефекту еха в мережах IP-телефонії являється наявність акустичного та електричного витоків з передавального тракту в прийомний, а також затримок сигналу більше 250 мс в одному напрямку передачі при проходженні голосового сигналу по заданому маршруту. Найбільше даний ефект проявляється в точках міжстанційних з'єднань декількох різних мереж з великою транспортною затримкою. Для забезпечення якісного зв'язку в мережах IP-телефонії необхідне використання спеціальних пристроїв придушення еха – ехокомпенсаторів та ехозагороджувачів. Ехокомпенсатори необхідно встроювати в VoIP устаткування з двох сторін розмовного тракту та поміщати якомога ближче до джерела еха з ціллю зменшення їх об'єму пам'яті та покращення продуктивності процесорів.

Література

1. Гольдштейн Б.С. IP-Телефония / Гольдштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л. – М. : Радио и связь, 2001. – 336 с.
2. RFC3550 RTP: A Transport Protocol for Real – Time Applications. – July 2003.
3. RFC3551 RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control. – July 2003.
4. Гольдштейн Б.С. Протоколы сети доступа / Гольдштейн Б.С. – СПб. : БХВ Санкт-Петербург, 2005. – Т. 2, 3-е изд. – 288 с. : ил.
5. Рослякова А. IP-телефония / Рослякова А., Самсонов М., Шибяева И. – М. : ЭкоТрендз, 2003. – 252 с.
6. Цыбулин М.К. Подавление электрического эха в телефонных каналах / Цыбулин М.К. – М. : Радио и связь, 1988. – 112 с.
7. Определение скорости передачи. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pingtest.net>.
8. Шаврин С.С. Электрическое эхо: заграждать или компенсировать? / С.С. Шаврин // Вестник связи. – 2005. – № 1. – С. 29–32.
9. Кунегин С.В. Эхокомпенсатор и эхозаградитель на основе цифрового процессора обработки сигналов TMS320C10 / С.В. Кунегин // Электросвязь, 1995. – № 9. – С. 29–30.
10. Шаврин С.С. Подавление эффекта электрического эха в системах IP – телефонии / С.С. Шаврин, О.Ю. Мусатова // Новое в телерадиовещании и радиосвязи: Тезисы докл. научно-практических семинаров. – М. : МНТОРЭС им. А. С. Попова. – 2001. – С. 104–105.
11. Шаврин С.С. Проблема подавления эффекта электрического эха в современных телекоммуникационных системах / С.С. Шаврин // Материалы Международной научно – технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения» TNTERMATIC-2006. – М. : МИРЭА. – 2006. – Ч. 2. – С. 284–291.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.
Надійшла 13.2.2012 р.