

УДК 681.3:004.681

В.Б. Дудикевич, І.Р. Опірський

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

ГІБРИДНІ СИСТЕМИ НА БАЗІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ТА КОАКСІАЛЬНОГО КАБЕЛЮ

В статті наведений аналіз існуючих методів передачі КТБ споживачам, досліджено характеристики цього методу основні переваги та недоліки. Досліджено і розроблено метод передачі інформації по гібридним каналам зв'язку, використовуючи оптичне волокно і коаксіальний кабель. Приведено всі основні переваги та недоліки даного методу, а також проаналізовано методи передачі інформації по каналам АМ, ЧМ. Розроблено та в прикладі розраховано бюджет потужності лінії для АМ. Проаналізовано двонаправлену схему КТБ з аналізом можливих рекомендацій щодо покращення передачі інформації в ній.

Ключові слова: ВОЛЗ, оптичне волокно, коаксіальний кабель, кабельне телебачення, амплітудна модуляція, двонаправлена схема КТБ, оптичний приймач.

Вступ

Оптоволоконний кабель, як середовище передачі, займає дуже важливу нішу в передачі сигналів кабельного телебачення (КТБ). Передача відеозображення складає основу сервісу КТБ. Мета передачі по КТБ – доставити користувачеві чіткий відеосигнал з відношенням сигнал-шум більше 46 дБ. Це значення відношення сигнал/шум є великим в порівнянні з тим, що має місце в каналі з даними або голосом. Можна сказати, що якщо доставка відео працюватиме належним чином, то решта сервісів буде в нормі. Також треба зазначити, що гібридні системи на базі оптоволоконного кабелю набувають широко застосування і в ІТ-технологіях, прокладанні комп'ютерних мереж, систем зв'язку тощо. Оптичне волокно, як середовище передачі, для КТБ було введено у використання в 1998 р. Рациональність його введення і архітектура різних мереж обговорюється в цьому розділі. У ній також дається огляд історії розвитку гібридних мереж КТБ і їх організації, для забезпечення споживачів двосторонньою передачею, а також розглядається архітектура гібридних мереж і з'єднання на останній милі.

Основні відомості

На рис. 1 приведена схема мережі КТБ до введення ВОК. Вона істотно спрощена. Середовищем передачі в ній служив коаксіальний кабель, враховуючи її широкопasmові властивості. Відео/ТВ відносяться до систем з широкопasmовим сигналом, оскільки тут використовується стандартний NTSC телевізійний радіосигнал з шириною смуги 6 МГц, як показано на рис. 2.

У системах КТБ головна телестанція є місцем, де збираються всі програмні і інші сигнали і формуються для подальшої подачі в кабельну мережу. Головні телестанції відрізняються від інших наявністю декількох супутникових антен навколо них.

Сигнали КТБ, сформовані головними телестанціями, доставлялися тоді споживачам по коаксіальних кабелях.

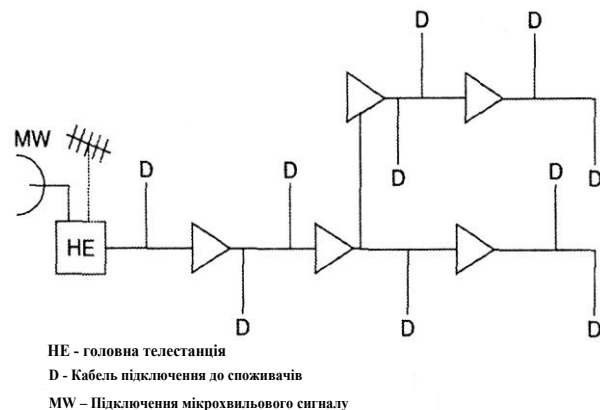


Рис. 1. Схема звичайної системи КТБ до 1990: підсистема передачі повністю заснована на коаксіальному кабелі і електронних підсилювачах; джерела програм на головній телестанції працюють в мікрохвильовому діапазоні, використовують кабельний сигнал і магнітну стрічку (супутниковий прийом почав використовуватися пізніше)

Системи КТБ вимагали широкопasmових підсилювачів для підтримки потрібного рівня сигналу на всьому шляху до споживача. Кожен підсилювач напружував свій власний шум і викликав спотворення сигналу на шляху до споживача. Ці шуми і спотворення акумулювалися. Отже, існувала межа числа послідовно включених підсилювачів, яке могла підтримувати система, поки сигнал не ставав даремним для споживача. У роботі [1] повідомляється, що це число рівне (приблизно) 20. Проте в ній же стверджується, що максимальне число послідовно включених підсилювачів може досягати 50 для вузькопasmових систем, де підсилювачі мають низький рівень шуму. У стандартній системі ТВ можна чекати, що відстань між підсилювачами рівна 600 м.

Отже, щонайдовша система КТБ може тягнутися на 30 км. або менше. Це говорить про те, що максима-

льно область обслуговування системи КТБ може базуватися тільки на одну головну телестанцію.

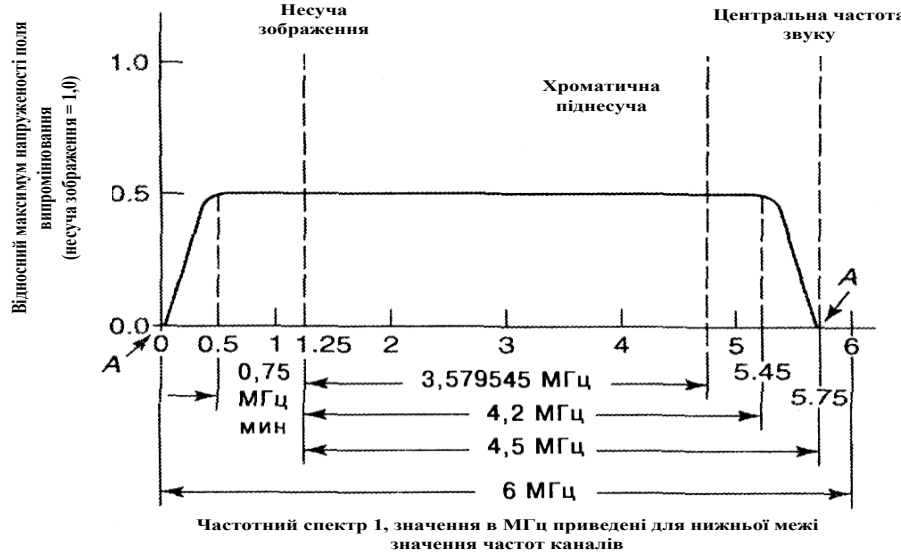


Рис. 2. Амплітудно-частотна характеристика телевізійного сигналу. Ширина смуги рівна 6 МГц

Було знайдено, що оптимальний коефіцієнт посилення одного широкопasmового підсилювача складає приблизно 22 дБ. Збільшення цього підсилення вище вказаного значення приводить до того, що інтермодуляційні продукти збільшують нелінійність, яка швидко стає надмірно великою. Коефіцієнт шуму звичайного широкопasmового підсилювача, який використовуватиметься в наших розрахунках, складає приблизно 8 дБ [1, 3, 5], хоча здається, що краще використовувати цифру 10 дБ.

Логічне обґрунтування. Нагадаємо, що коаксіальний кабель представляє ізольоване радіочастотне середовище передачі. Через свою конструкцію і електричні характеристики, він має можливість переносити виділений частотний спектр. Цей спектр відособлений від того спектру, що є в повітряному середовищі. Одна з його властивостей в тому, що він поводить себе так, як якби він передавався по повітрі. Це означає, що телевізійний приймач, приєднаний до кабелю, поводить себе так, як якби він був приєднаний до антени. Тому власник ТВ приймача може стати користувачем кабельної мережі, не витрачаючи грошей на придбання додаткового електронного устаткування. Якщо користувач розірве договір, то у нього не залишиться ніякого (не потрібного) устаткування.

Враховуючи, що спектр КТБ знаходиться «усередині» кабелю, системи КТБ можуть використовувати ті частоти, які призначені в радіочастотному спектрі (при передачі по ефіру) для інших цілей. Це «інше» використання відбувається без створення якихось перешкод для звичайної (по повітрі) ТВ передачі. Звичайно, потрібно прийняти заходи до того, щоб запобігти впливу повітряної передачі на кабельну передачу або відповісти на питання: чи може повітряна передача впливати на кабельну передачу? Отже, усередині коаксіального кабелю ми маємо систему КТБ свій особли-

вий спектр зі своїми сигналами.

Спектр КТБ безперервний у бік збільшення частот (від каналу 2 – 54 МГц, в США), тоді як зазвичай випромінюваний спектр – розривний. Перетворенням спектру, що дозволяє заповнити нормально не зайняті частини спектру за допомогою устаткування трансляції стандартних частот, займається головна телестанція. Ці інші 6 МГц канали поступають на неї з супутникового фідера або від РРЛ, які доставляють видалені ТВ сигнали, передаванні по повітрі.

Одним з основних недоліків коаксіального кабелю є його втрати, які ростуть з частотою не лінійно, а майже експоненціально. Ослаблення сигналу коаксіального кабелю змінюється, як корінь квадратний з частоти. Півдюймовий (12,7 мм) алюмінієвий кабель має загасання 1 дБ на кожних 30 м на частоті 181 МГц, для дюймового (25,4 мм) кабелю це загасання зменшується до 0,59 дБ. Втрати на частоті 216 МГц (13 канал в США) в 2 рази вище, ніж на частоті 54 МГц (2 канал в США), оскільки різниця в частоті в 4 рази. Отже, потрібно використовувати пристрої вирівнювання частотної характеристики.

Все це істотно відрізняється від оптоволокна, де немає такого збільшення втрат із зміною довжини хвилі (або частоти). Як ми знаємо, втрати волокна у вікні 1310 нм мають порядок 0,35 дБ/км, а у вікні 1550 нм – 0,25 дБ/км. Це одна з важливих причин того, що оптоволокно таке привабливе для систем КТБ. При використанні АМ модуляції, все, що від нас вимагається для використання конвертованого сигналу – приймач світлового сигналу і підсилювач радіосигналу в точці конвертації. При проходженні по оптоволокну сигнал напруцьовує дуже мало накопичених спотворень і шуму, тоді як при проходженні по коаксіальному кабелю спотворення і шум великі. Оптоволокно виграє у коаксіального кабелю

як середовище передачі, хоча лінія КТБ з коаксіальним кабелем дешевша, оскільки для оптоволоконної лінії потрібно мати оптичний приймач і демодулятор в кожному ТВ приймачі. Чим ближче до устаткування споживача ми доведемо волокно, тим краще якість зображення він матиме.

Деякі додаткові зауваження. Активні пристрої мають тенденцію мати гірше значення показника МТВФ, чим пасивні. Чим більше підсилювачів в послідовному з'єднанні (тандемі), тим більше погіршується МТВФ системи. Це безпосередньо погіршує показники доступності.

Якщо ми зможемо якось зменшити число ширококутових підсилювачів в тандемі, то зможемо поліпшити показники якості/помилки системи, тобто зможемо поліпшити відношення сигнал/шум відеосигналу в точці прийому у споживача. Ми також поліпшимо надійність системи, покращуючи МТВФ системи в точці прийому у споживача. Час відмов системи може бути істотно понижений.

Волоконно-оптичний кабель був вперше використаний в системах КТБ на магістральних маршрутах. Було встановлено, що 32 км. магістральний маршрут може працювати без використання повторювачів або підсилювачів. На такій довжині маршруту ВОК дозволяє замінити біля 30 ширококутових підсилювачів в схемі з коаксіальним кабелем.

На рис. 3 показана система КТБ, побудована по схемі доставки сигналу по коаксіальному кабелю. Ця ж система, але що використовує оптоволоконну магістральну мережу, показана на рис. 4. На рис. 5 показаний один з можливих підходів в оптимізації схеми КТБ, реалізованої на ВОК. Цей підхід до проектування систем КТБ заснований на тому, щоб побудувати мережу, що використовує не більш за X підсилювачів на шляху від головної телестанції до будь-якого із споживачів сигналу. На малюнку показаний випадок $X = 3$.

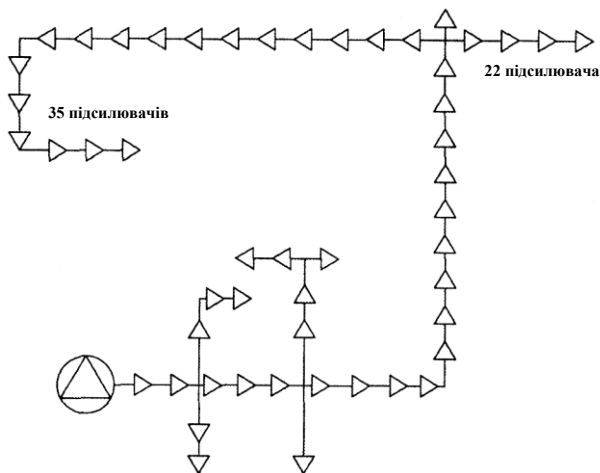


Рис. 3. Схема звичайної системи КТБ до 1990. Звернемо увагу на надлишок електронних підсилювачів, кількість яких в тандемному з'єднанні досягає 35

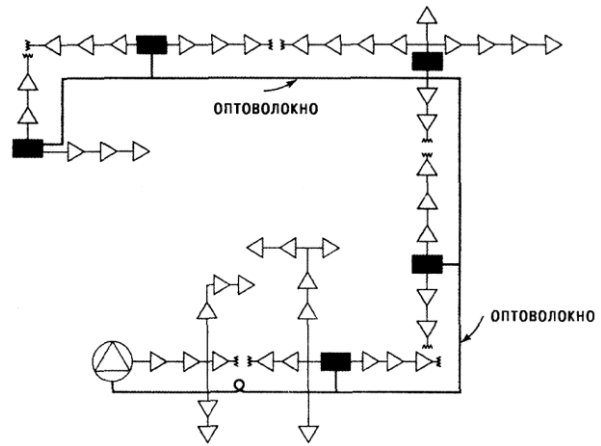


Рис. 4. Та ж система КТБ, що і на рис. 3, але первинний розподіл здійснюється з використанням оптоволоконної магістралі. Прольоти на сучасній версії цієї системи матимуть два волокна для передачі потоків в прямому і зворотному напрямках

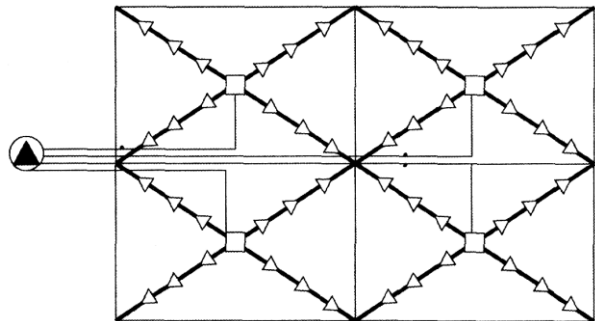


Рис. 5. Схема мережі КТБ з розподіленою архітектурою, що використовує не більш за X підсилювачів до будь-якого споживача сигналу. На рисунку показаний випадок $X = 3$

Використання передачі КТБ по волоконно-оптичному прольоту КТБ магістралі. Існує три способи передати звичайний аналоговий ТВ-сигнал по оптичному сегменту системи передачі КТБ. Найбільш популярним методом є використання амплітудної модуляції. У ній інтенсивність сигналу КТБ з шириною смуги 500, 600 або 800 МГц безпосередньо модулює лазерний передавач. Цей метод дуже популярний тому, що практично не вимагає конвертації сигналу.

Другий метод технічні фахівці КТБ називають «ЧМ», хоча в чистому вигляді він не має відношення до частотної модуляції (ЧМ) (оскільки фактично для частотного зрушення каналу при утворенні каналної групи також використовується АМ модуляція). За допомогою цього методу, частотний сигнал кожного каналу КТБ модулює окрему піднесучу. Залежно від конкретної реалізації, 8, 16 або 24 піднесучих об'єднують в групу, інтенсивність сигналу яких модулює (по методу АМ) світловий сигнал лазерного діода в передавачі (це схоже на схему частотного мультиплексування для утворення каналних груп при ущільненні аналогових телефонних каналів. Кожен груповий сигнал пов'язаний з окремим волокном. Якщо ми,

наприклад, хочемо передати 64 канали КТБ на розподільний вузол і припускаємо використовувати групу 16 піднесучих, то нам буде потрібно 4 волокна ($164 = \times 64$). Це складніший метод, ніж метод безпосередньої (АМ) модуляції, враховуючи те, що на стороні кінцевого користувача сигнал повинен бути назад конвертований в стандартний одноканальний формат АМ, сумісний з ТВ приймачем.

Так чому ж ЧМ метод займає перше місце? Відповідь проста, він - єдиний метод, який задовольняє стандарту EIA/T1A-250C [2] для коротких секцій з відношенням $C/\text{ш} = 67$ дБ. Цей стандарт є визначальним в США стандартом, що гарантує високу якість ТВ віщання. ЧМ системи мають ще дві переваги: вони значно менше схильні до впливу дисперсії на оптичному сегменті і допускають велику довжину волоконно-оптичного прольоту, чим аналогічні системи АМ.

При дослідженні ми приділимо основну увагу методу АМ передачі по волокну.

Третій метод передачі по оптичному волокну – цифровий.

Передача АМ сигналу КТБ по волоконно-оптичному прольоту. Хай ми хочемо передати сигнал з відношенням сигнал/шум (S/N) 53 дБ, але ми можемо вимірювати тільки відношення сигналу несучої до шуму (C/N) для вихідного сигналу PIN-діода приймача. В цьому випадку ми можемо використовувати співвідношення:

$$S/N = C/N - 4,1 \text{ дБ (не зважено)}. \quad (1)$$

Додаючи поліпшення, що отримується при зваженому вимірюванні, 6,8 дБ, отримуємо:

$$S/N = C/N + 2,7 \text{ дБ (зважено)}. \quad (2)$$

Це має місце тільки для систем АМ з частково пригніченою бічною смугою (АМ-ЧПБС) при глибині модуляції 87,5%. При використанні цих співвідношень потрібно пам'ятати, що для S/N сигнал вимірюється по піковому значенню, а шум – по середньоквадратичному, а для C/N – сигнал і шум вимірюються по середньоквадратичному значенню.

Підставляючи в співвідношення (2) значення $S/N = 53$ дБ, отримуємо, що еквівалентне йому значення $C/N = 50,3$ дБ.

Розглянемо тепер бюджет лінії передачі, представлений табл. 1. Нам потрібно мати діапазон зміни сигналу 53 дБ, щоб задовольнити необхідне співвідношення 50,3 дБ. З таблиці видно, що ми маємо дуже невеликий запас потужності.

Дуже велике значення S/N (53 дБ) при C/N (50,3 дБ) істотно звужує можливості збільшення довжини прольоту або запасу в бюджеті потужності (наприклад, в нашій ситуації це тільки 2 дБ). Часто вихід лазерів встановлюється на рівень не вище 0 або 1 – 2 дБм, щоб збільшити термін служби. Звичайно, на відмітці 40 км. ми можемо встановити підсилювач або регенератор, щоб збільшити довжину прольоту.

При відношенні C/N рівному 50 дБ можна розраховувати на наступний рівень спотворень:

– комбіновані спотворення другого порядку (CSO): –62 дБн;

– комбіновані спотворення третього порядку (CTB): –65 дБн.

Таблиця 1

Приклад бюджету потужності для АМ лінії

Показник або параметр	Значення	Коментар
Вихід лазера (дБм)	+7 дБм ^{а)}	Розширення для лазера
Нижня межа шуму приймача (дБм)	–58,7 дБм	
Поріг приймача для $C/N = 50,3$ (дБ)	–8,4 дБм ^{б)}	Прийнято для забезпечення $S/N = 53$ дБ
Надлишок бюджету лінії	15 дБ	
Запас 2 дБ, який потрібно залишити	13 дБ	Надлишок
Допустимі загальні втрати при 0,25 дБ/км	10 дБ	$\lambda = 1550$ нм, 2 дБ для зростків і роз'ємів
Втрати на зростки і роз'єми: на довжині 40 км.	1,52 дБ	Втрати, що вносяться зростком 0,08 дБ
(19 зростків для секцій по 2 км. і 0,08 дБ/сросток)	0,48 дБ	Загальні
Втрати на оптичні роз'єми	1,0 дБ	Додаткові для формування запасу

Примітка: ^{а)} Узято в припущенні довжини лінії 40 км. без регенератора і підсилювачів.

^{б)} Це значення здається великим, враховуючи що перед цим ми мали справу з порогом –23 дБм і нижче до –40 дБм. Принципова причина в тому, що тоді ми вважали, що відношення $C/N = 15$ дБ. Тут ми маємо справу з відношенням $C/N = 50,3$ або вище, це велика різниця, вона обумовлена ТВ прийомом.

Якщо на приймальній стороні потрібно використовувати розгалужувач оптичного сигналу, то може бути потрібний оптичний підсилювач для компенсації втрат, що вносяться розгалужувачем. Наприклад, якщо використовується розгалужувач: 1:2, то можна чекати рівень втрат, що вносяться, порядку 3,5 дБ.

Коментарі і обговорення бюджету потужності волоконного оптичного лінії. З табл. 1 видно, що запас в бюджеті дуже малий (2 дБ), такий запас досвідчені інженери ВОСП зазвичай вважають

недостатніми. Ми можемо отримати такий запас на прольоті в 40 км., якщо тільки змусимо лазерний діод працювати на порозі допустимого рівня. Якщо ж проектувальник оптичного сегменту вирішить використовувати ЧМ метод, а не АМ метод, то він зможе обслуговувати проліт довжиною порядку 60 км і забезпечити запас в 4 дБ.

Ми згадали три методи передачі сигналів КТБ по ВОК. Третій з них – цифровий. Оскільки використовуваний нами цифровий потік не має стислого

відео, то ми не дуже турбуємося за рівень B_{eq} . Не стисле відео зазвичай містить багато надмірної інформації. Потік біт може бути регенерований. Фактично він регенерується в кожній комбінації: передавач-приймач, через яку проходить бітовий потік. Якщо потрібно ще більше збільшити довжину прольоту, слід розглянути можливість установки регенератора. Проте, якщо в термінальній точці рівень B_{eq} буде 10 – 5 або більше, то досить використовувати ширококутовий підсилювач, щоб привести бітовий потік до потрібного рівня B_{eq} .

Основний недолік використання цифрового сигналу на ВОСП – високі витрати, зокрема, через необхідність мати АЦП і ЦАП конвертори для оцифрування ТВ сигналу. Для отримання вищої якості відеозображення (особливо для поліпшення роздільної здатності) є сенс використовувати 10-бітове, а не 8-бітове кодування.

У табл. 2 приведений бюджет потужності звичайної ланки ВОСП до споживача в гібридній мережі з використанням АМ методу. Лазерний діод передавача забезпечує рівень виходу у волокно порядку +5 дБм.

Таблиця 2

Бюджет потужності лінії модельної ВОСП з АМ –другий підхід

Показники/параметри	Значення	Коментар
Вихід лазера	+5 дБм	що несе 1550 нм
Втрати на роз'ємах	1,0 дБ	2 роз'єми з 2 сторін
Втрати волокна, 0,35 дБ/км	3,5 дБ	ОВ G.652 + зростки для 10 км
Поріг приймача PINFET	-12дБм	забезпечує S/N = 67 дБ
Діапазон інжинірингу	17 дБ	+5 – (-12) = 17 дБ
Втрати від дисперсії	1,0 дБ	
Запас в бюджеті	11,5 дБ	17 – 1 – 3,5 – 1,0 = 11,5 дБ
Запас дуже великий. Варіанти: зменшити вихід лазера, збільшити довжину лінії передачі		

Допустимо, що нам потрібно передати сигнал на 10 км. Можна перевірити для передачі дві довжини хвилі: 1310 і 1550 нм. Ми можемо також використовувати WDM технологію для передачі кожної групи каналів по окремій довжині хвилі. Ми встановили поріг C/N на вході PINFET приймача на рівні -12 дБм, так щоб отримати відношення S/N порядку 67 дБ. Використовуючи просте складання алгебри, можна підрахувати, що для інжинірингу ланки передачі залишається +5 дБм (вихід лазера) і -12 дБм (поріг приймача), тобто 17 дБ (+5 – (-12) = 17). У табл. 2 ці операції показані в табличній формі.

Установка волоконно-оптичного устатку-

вання якомога ближче до ТВ приймача користувача. Вузол мережі КТБ – це точка, де здійснюється перетворення сигналу. Оптичний сигнал може бути перетворений в електричний, або, навпаки, електричний сигнал може бути перетворений в оптичний. В нашій моделі обидва типи перетворення мають місце.

Наша мета – довести волокно якомога ближче до ТВ приймача споживача і зробити це з мінімальними витратами. Існують такі географічні точки на мережі, де точка доступу електричного сигналу покриває зону доступності певного числа резидентів. Число таких резидентів може бути від 50 до 10000. Перш ніж переводити таку мережу на двосторонній режим роботи, потрібно переконатися, що в зоні доступності знаходиться від 1000 до 2000 резидентів. У ранніх системах такого типу, вузол здійснював перетворення оптичного сигналу в електричний, який через систему розводки сигналу і обслуговував безпосередньо багато резидентів. Оптичний сигнал від термінальної точки оптичної магістралі може бути розгалужений оптично і доведений ближче до груп користувачів, перш ніж він буде перетворений в електричний сигнал, сумісний із звичайним кабельним сигналом КТБ. Ці вузли помічені чорними квадратами на рис. 4 Нагадаємо, що метою мережі, приведеної на цьому малюнку, було використовувати не більше 3 підсилювачів для досягнення будь-якого користувача. Це разюче відрізняється від того випадку, коли було максимально потрібно 35 підсилювачів для досягнення віддаленого користувача.

До цих пір в міркуваннях ми виходили з того, як мінімізувати число ширококутових підсилювачів, необхідних для того, щоб досягти будь-якого користувача. Як ми відзначали раніше, при цьому досягаються дві мети:

1. Мінімізується число підсилювачів, що включаються послідовно, зменшується закумуляований шум і досягається краще співвідношення сигнал/шум в точці розміщення устаткування споживача.

2. Поліпшується системна надійність, оскільки істотно зменшується число послідовно включених підсилювачів.

Ми можемо додати третє поліпшення: двонаправлену схему функціонування. До цієї революційної зміни, КТБ були однонаправленою (провайдер послуг – споживач) системою розгалужень. Перетворення в двонаправлену систему зробило КТБ справжнім конкурентом на ринку цифрових послуг, разом з такими технологіями, як LMDS, MMDS, ADSL і УКВ.

Двонаправлена схема КТБ. Для двонаправленої роботи було б нормальним використовувати стільки послуг, скільки можливо. Існуюча система розгалужень була залишена, як є. На коаксіальному кабелі або волокні з АМ системою вона була представлена каналами ТВ, розподіленими послідовно

6 МГц смугами, починаючи від 54 і до 870 МГц. Проектувальники в першу чергу звернули увагу на незайняту смугу від 5 до 40 МГц, яка могла б бути зайнята для потоку від споживача до провайдера (зворотний трафік). Передбачалося використовувати цю смугу частот перш за все для Інтернет, а потім і для передачі даних по IP або АТМ, для VPN, інтерактивного відео і телефонії.

Намагаючись витягнути максимум можливого з вказаної смуги, потрібно, перш за все, відповісти на питання: чи достатня вона для обслуговування сотень користувачів одночасно? Хай у нас є 100 користувачів і кожному потрібна смуга 1 МГц для зв'язку з провайдером. Виходить, що потрібне 100 МГц, які ми не можемо надати (маючи всього 35 МГц). При такому підході ми зможемо забезпечити під час найбільшого навантаження тільки 35 користувачів. Можна зробити деякі спостереження в цій ситуації, коли 100 користувачів вимагають передачі зворотного трафіку:

- а) не всі 100 користувачів одночасно вимагають такої трафік;
- б) ми можемо грубо вважати, що 1 МГц смуги еквівалентний швидкості передачі в 1 Мбіт/с. При-

пустимо, що 1 Мбіт/с дуже велика швидкість для сервісу Інтернет в цьому напрямі. Найбільша швидкість зазвичай потрібна для трафіку, що йде з мережі Інтернет, – від провайдера до користувача (прямий трафік), тоді як у зворотному напрямі ця швидкість може бути значно зменшена, хай, наприклад, вона буде не більше 100 кбіт/с;

в) як метод доступу до провайдера можна застосувати метод множинного доступу з тимчасовим розділенням (TDMA). Ця техніка доступу може обслуговувати більше користувачів, враховуючи вибуховий характер зворотного трафіку (у Інтернет);

г) двонаправлена архітектура КТБ повинна включати вузли з ємкістю доступу не більше 500 користувачів. Звичайно, менші числа переважніші, але вони можуть бути не вигідні економічно.

Характер функцій вузла, що направляють прямий трафік (до користувача), показаний на рис. 6.

Використовується і передача трафіку від устаткування користувача до головної станції. Для наших міркувань вважатимемо, що весь трафік цифровий. Гаданий тип трафіку, швидкість передачі, очікуваний напрям передачі (симетрична передача або асиметрична) детально представлені в табл. 3.

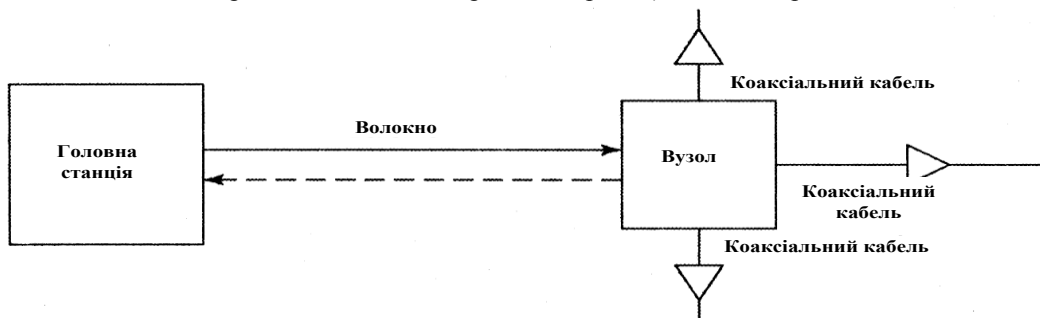


Рис. 6. Функціональна схема вузла КТБ, що показує тільки прямий трафік

Таблиця 3

Очікуваний тип трафіку, швидкість передачі, напрям передачі (симетрична передача або асиметрична, безперервна або має вибуховий характер)

Тип трафіку	Швидкість передачі	Напрямок трафіку	Симетричний або асиметричний	Безперервний або вибуховий
Звичайне ТБ	1,544 Мбіт/с	Прямий	В один бік	Безперервний
HDTV	20 Мбіт/с	Прямий	В один бік	Безперервний
Інтернет	2 Мбіт/с	Прямий	У обидві сторони	Неперервний
	128 кбіт/с	Зворотний	асиметричний	
Віртуальні мережі (VPN)	256 кбіт/с	Прямий і зворотний	Симетричний	Вибуховий
B-ISDN/ATM	1024 кбіт/с	У обидві сторони	Симетричний	Вибуховий
Телефонія	64 кбіт/с	У обидві сторони	Симетричний	Безперервний
Frame Relay	1024 кбіт	У обидві сторони	Симетричний	Вибуховий

Користувачі мінімально вимагають передачу голосу і Інтернет. Для даного обговорення приймемо: телефонія – 64 кбіт/с, Інтернет трафік в прямому напрямі – 2 Мбіт/с, а у зворотному напрямі – 256 кбіт/с. Якщо припустити еквівалентність 1 Гц і 1 біт/с, то зворотний трафік вимагає 256 кГц. Використовуючи табл. 2 і знов припускаючи 1 Гц ~ 1 біт/с, отримаємо, що одночасно можуть користуватися зворотним трафіком 130 користувачів. Якщо допустити можливість

одночасного використання зворотного трафіку тільки 50% користувачів, то їх число може бути збільшене до 260. У роботі [1] утверджується, що в звичайних системах КТБ з використанням гібридних кабелів число таких користувачів з розрахунку на 1 вузол може складати від 1000 до 2000. Наш план тоді не зможе задовольнити всіх користувачів Інтернет під час найбільшого навантаження. Зворотний трафік конфігурується на основі використання Tdma

з розрахунку 4 користувачів на один частотний сегмент. В цьому випадку можна обслуговувати 800 – 1000 користувачів при передачі зворотного трафіку в смузі 5 – 40 МГц, розраховуючи, що під час найбільшого навантаження не всім користувачам його одночасно буде потрібно.

Призначення сегментів спектру КТБ для зворотного трафіку. На рис. 7 наведено спектр радіочастот нижче деякої частоти, займаною окремими каналами. Прямий трафік (до користувача) починається з частоти 54 МГц і збільшується сегментами по 6 МГц. Обернений трафік (в Інтернет) починається з 5 МГц і продовжується до 40 МГц. Полоса 40 – 54 МГц рахується захисною и служить для ізо-

ляції прямого і оберненого трафіку.

Розглянемо групи користувачів по 250 чоловік, хай кожна група обслуговується одним вузлом. Для забезпечення зворотного сервісного трафіку, кожен вузол має свій власний сегмент на коаксіальному кабелі. У нас 4 вузли, що мають сегменти А, В, С і D із смугою 5 – 40 МГц. Ці сегменти передаються на центральний вузол, який конвертує їх в смуги, що розміщуються в агрегатній смузі в діапазоні 5 – 200 МГц. Сформований агрегатний сигнал далі амплітудний модулює лазерний діод, формуючи оптичний еквівалент цього сигналу.

Вказана процедура трансляції агрегатного сигналу показана на рис. 8.

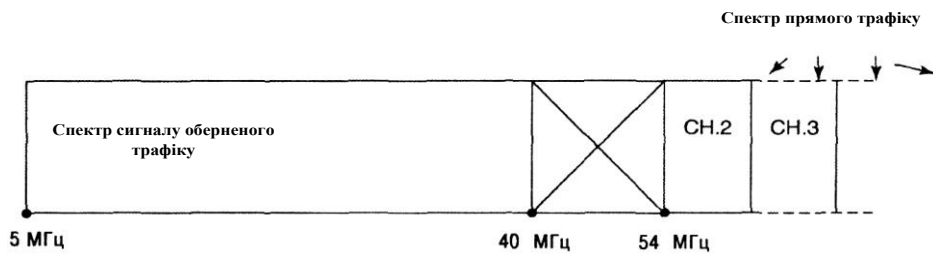


Рис. 7. Низькочастотна частина спектру радіосигналу в сервісі КТБ.

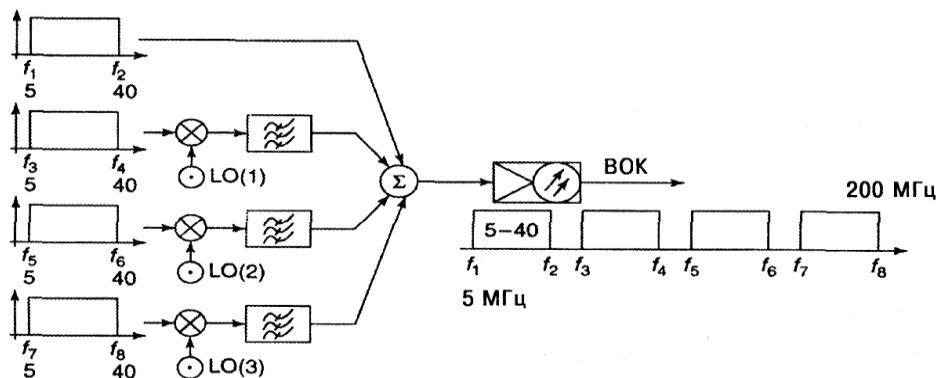


Рис. 8. Блок трансляції 4 сегментів групових спектрів, ширина смуги частот кожного сегменту рівна 35 МГц

Кожна агрегатна група передається в концентратор (хаб, свіч) по порівняно короткому ВОК. Концентратор є інтерфейсним пристроєм типу мультиплексора введення-виводу, яке обробляє (мультиплексує) світлові сигнали локальних груп від вузлів і передає їх на магістральне волокно, пов'язане з головною телестанцією.

Магістральний ВОК зазвичай реалізований у вигляді оптоволоконного кільця для поліпшення надійності і доступності. Цей підхід ілюструється рис. 9.

Деякі реалізації таких систем використовують технології SONET або SDH для підтримки кільцевої оптоволоконної архітектури. Інші можуть використовувати DOCSIS (специфікація інтерфейсу передачі даних по ТВ кабелю) або DAVIC (специфікація Радою з цифрових аудіовізуальних технологій), які також забезпечують необхідний формат сигналу, що дозволяє використовувати оптоволокно (включаючи техніку MAC-адресного доступу). Технології SONET/SDH не забезпечують такий доступ.

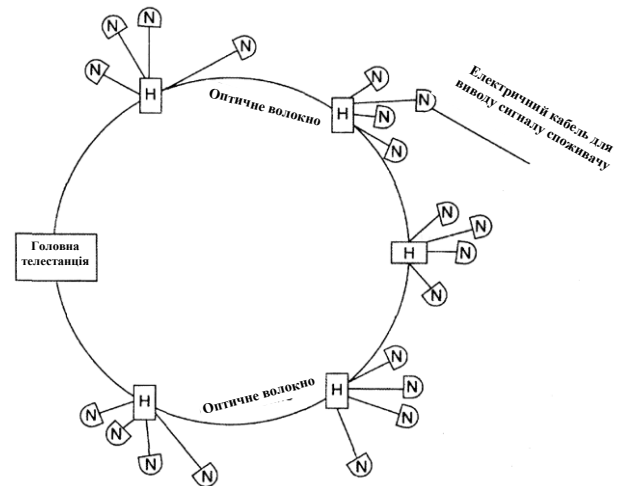


Рис. 9. Кільцева оптоволоконна архітектура, що сполучає головну телестанцію КТБ з різними концентраторами, що доставляють сервіс користувачам за допомогою системи вузлів. Позначення: Н – концентратор, N – вузол

Допустимо, що щільність з розрахунку на вузол зросла до 500 для даного географічного регіону, так що тепер група з 4 вузлів обслуговує 2000 користувачів. Швидкість з розрахунку несучої залишилася колишньою – 256 кбіт/с (допустимо, що використовується модуляція BPSK і 1 біт відповідає 1 Гц, тобто використовується смуга 256 кГц). Якщо ми припустимо, що смуга розрахована на використання синус-квадратного фільтру, то $\alpha = 0,25$. Наша смуга тоді з розрахунку несучої стане 320 кГц. В цьому випадку, враховуючи результати, отримані вище, 35 МГц смуга може обслуговувати тільки 109 несучих одночасно. Тобто, можна буде обслуговувати порядку 100, що одночасно працюють користувача (при 100% навантаженні). Причому ці обчислення не включають час на установку/конфігурацію ланцюгів і демонтаж устаткування. Відмітимо, що тут передбачається використання методу множинного доступу з частотним розділенням (FDMA), що вимагає, ймовірно, найбільш широкої смуги.

Нагадаємо, що більшість реалізованих оптоволоконних сегментів використовують два волокна: одне – для прямого трафіку, друге – для зворотного. Це означає, що немає обмежень на смугу пропускання, тоді як при використанні коаксіальних кабелів необхідно знаходити компроміси між необхідною смугою, шумом і спотвореннями сигналу. Це робить коаксіальний кабель вузьким місцем в тракті передачі.

ВИСНОВКИ

Вказаний розділ описує засоби збільшення числа користувачів з розрахунку на один вузол (зважаючи на зворотний трафік і пов'язані з ним проблеми). Як орієнтир рекомендується почати з достатньо низької цифри в 250 користувачів на кожен сегмент з коаксіальним кабелем, щоб мати можливість адаптуватися до нових сервісів і розширень клієнтської бази.

Нижче приведені ті заходи, які можуть бути прийняті з метою збільшення числа користувачів з розрахунку на одиничний сегмент смуги пропускання:

1. Метод доступу: Ми віддаємо перевагу TDMA, хоча CDMA також потрібно розглядати. Таймування і синхронізація – два важливі питання в обох випадках.

2. Використання QPSK, а не BPSK, а, можливо, і 8-PSK, що дає, теоретично, 3 біта/Гц. Це одне з

найбільш гарантованих рішень в плані збільшення числа користувачів.

3. Зменшення швидкості передачі зворотного трафіку з розрахунку на користувача із зростанням нових сервісів, таких як VPN, сервіс IP-повідомлень і Frame Relay. Збільшення швидкості передачі зворотного трафіку для швидкої обробки запитів, передаваних в мережу Інтернет. Додаткову смугу для передачі зворотного трафіку можна отримати шляхом послідовного контролю смуг передачі прямого трафіку і перепризначення вільних каналів в інших сегменти. Це перепризначення повинне здійснюватися каналами/блоками по 6 Мбіт/с.

Для досягнення ще більшої ємкості, слід звернути увагу на квадратурні методи оптимізації ефективності передачі інформації. Ці методи дозволяють здійснити такий телевізійний протокол, як DOCSIS. Для прямої передачі він використовує методи модуляції 64- або 256-QAM; а для зворотної передачі – QPSK або 16QAM. Детальніше про цьому див. в керівництві [6], а матеріали про DOCSIS в роботі [7].

Список літератури

1. Walter Ciciora, James Farmer, and David Large, *Modem Cable Television Technology*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA 1999.
2. George Scherer, *private communication*, GI/Motorola, Hattboro, PA, February 15, 2001.
4. Слепов Н.Н. *Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET и WDM)* / Н.Н. Слепов. – 2-е исправленное изд. – М.: Радио и связь, 2003. – 468 с.
3. Schweitzer E. *Return Path Technologies*. – *Communications Technology*, February 2001.
4. Roger L. Freeman, *Reference Manual for Telecommunication Engineers*, John Wiley & Sons, New York, 2002.
5. *Private communication*, Chuck Grothaus, ADC Communications, Jan 31, 2002 (permission to publish).
6. *Кабельные линии связи. История развития в очерках и воспоминаниях* / В.Г. Бакланов, А.С. Воронцов, В.Н. Гордиенко и др. – М.: Радио и связь, 2002. – 656 с.
7. *Electrical Performance for Television Transmission Systems*, EIA/TIA-250C, EI A/TIA Washington, DC, January 1990.
8. Roger L. Freeman, *Reference Manual for Telecommunication Engineers*, John Wiley & Sons, New York, 2002.

Надійшла до редколегії 17.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Авраменко, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ОПТИКО-ВОЛОКОННОГО И КОАКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ

В.Б. Дудыкевич, И.Р. Опирский

В статье приведен анализ существующих методов передачи КТВ потребителям, исследованы характеристики этого метода, основные преимущества и недостатки. Исследован и разработан метод передачи информации по гибридным каналам связи, используя оптическое волокно и коаксиальный кабель. Приведены все основные преимущества и недостатки данного метода, а также проанализированы методы передачи информации по каналам АМ, ЧМ. Разработан и в примере рассчитан бюджет мощности линии для АМ. Проанализирована двунаправленная схема КТВ, с анализом возможных рекомендаций относительно улучшения передачи информации в ней.

Ключевые слова: ВОЛЗ, оптическое волокно, коаксиальный кабель, кабельное телевидение, амплитудная модуляция, двунаправленная схема КТВ, оптический приёмник.

HYBRID SYSTEMS ON THE BASE OPTICAL-FIBRE AND COAXIAL CABLE

V.B. Dudykevich, I.R. Opirskiy

In the article the analysis of existent methods of transmission of CTV is resulted to the users, descriptions of this method, basic advantages and failings, are investigational. Investigational and developed method of passing to information on the hybrid ductings of connection, utilizing an optical fibre and coaxial cable. Produce reasons of all of basic advantages and lacks of this method, and also the methods of passing to information are analysed on ductings of AM, CHM. Developed and in an example the budget of power line is expected for AM. The bidirectional chart of CTV is analysed, with the analysis of possible recommendations in relation to the improvement of information transfer in it.

Keywords: *OFLC, optical fibre, coaxial cable, cable television, peak modulation, bidirectional chart of CTV, optical receiver.*