

СУЧАСНИЙ СТАН СТВОРЕННЯ БЕЗПРОВІДНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

© Семенко А.І., 2009

Здійснено короткий огляд сучасного стану створення безпроводних телекомунікаційних систем. Охарактеризовано теоретичні аспекти створення систем. Наведено характеристики сучасних систем та основних електронних компонентів, що визначають параметри систем. Відзначено перспективні напрямки подальшого вдосконалення систем.

Short survey of the wireless telecommunication systems development present state is made. Theoretical aspects of wireless network creation are given. The characteristics of modern systems and the main electronic components, which define system's parameters, are given. The perspective ways of wireless systems development are described.

Сьогодні значна частина трафіка забезпечується безпроводними телекомунікаційними радіосистемами: системами супутникового, радіорелейного, ультракороткохвильового, мобільного зв'язку, а також системами, що використовують сучасні технології формування й обробки сигналу Bluetooth, ZigBee, WiMax, WiFi, UMB тощо.

Основні проблеми під час проектування телекомунікаційних радіосистем виникають при визначенні характеристик радіоканалу внаслідок особливостей поширення радіохвиль, а також впливу перешкод у каналі, особливо в зоні складної забудови великих міст. Радіохвилі в складних умовах, як правило, через відбиття від перешкод одночасно поширюються по декількох шляхах і в точці приймання складаються. При цьому хвилі можуть бути когерентними (різніці фаз постійні або повільно змінюються) і некогерентними, коли різніці фаз швидко змінюються в часі й можуть приймати будь-які значення [1].

Під час складання когерентних хвиль (інтерференції) загальна енергія у точці приймання не дорівнює сумі енергії окремих хвиль і навіть може зменшуватись до нуля. Під час складання некогерентних хвиль загальна енергія дорівнюватиме сумі енергій хвиль [1].

Якщо радіохвилі зустрічають на своєму шляху перешкоди з різкими формами, відбувається зміна їхнього напрямку, амплітудних і фазових співвідношень, інколи навіть поляризації, тобто відбувається дифракція радіохвиль (рис. 1) [2].

Радіохвилі частково можуть проходити через перешкоди. При цьому вони можуть змінювати напрямок і швидкість поширення. Причому з укороченням довжини хвилі поглинання зростає, а дифракція зменшується.

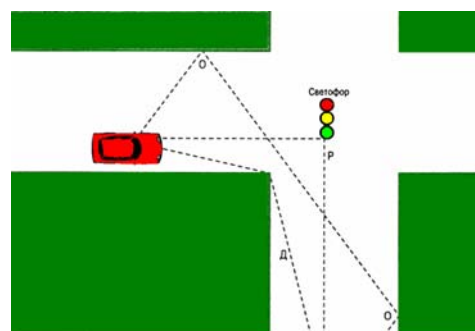


Рис. 1. Види розповсюдження радіохвиль:
Д – дифракція; О – відбиття; Р – рефракція

Під час пересування мобільної станції в автомобілі або навіть пішим абонентом на вході приймача відбувається швидка й повільна флуктуація сигналу (рис. 2).

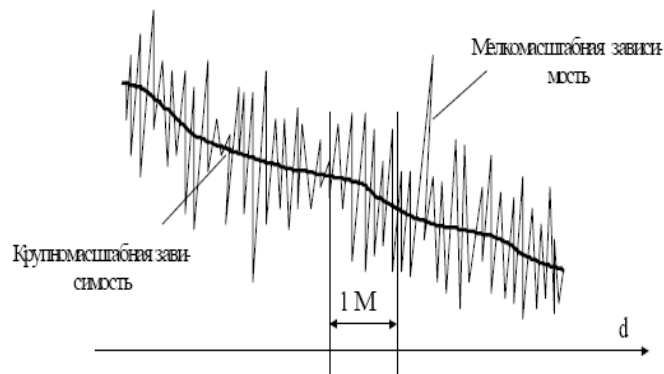


Рис. 2. Характер флуктуацій сигналу на вході приймача мобільної станції

За широкого спектра сигналу може відбуватись селективне завмирання, тобто різне загасання сигналу у кожному піддіпазоні частот. Адаптивне вирівнювання сигналу здійснюється із застосуванням лінійного еквалайзера. Ефективним методом боротьби із завмиранням у каналі зв'язку є застосування 3-х–4-канального RAKE-приймача [2, 3].

У безпроводних системах з метою одержання найкращих параметрів використовуються системи з розширенням спектра до 30–100 % від значення несучої частоти методом стрибкоподібної зміни частоти FHSS (frequency hopping spread spectrum) і методом прямого розширення спектра DHSS (direct sequence spread spectrum), що, наприклад, використовується в системі мобільного зв'язку CDMA (Code Division Multiple Access) [2–9].

Для визначення загасання сигналу в радіоканалі в умовах складної міської забудови використовуються моделі Окамури, Хата, і найчастіше модель Кся-Бертоні [5, 7].

Унікальною властивістю широкосмугових систем є їхня висока перешкодозахищеність від вузькосмугових та широкосмугових завад, скритність та поліпшена енергетика радіоліній [2–9].

Найважливішою характеристикою радіосистем необхідно вважати потужність передавача, яку намагаються реалізувати мінімальною під час забезпечення необхідної помилки передачі інформації. Енергетика радіолінії для систем з широкосмуговим сигналом (ШСС) в найзагальнішому випадку за усереднення результату за умов розповсюдження сигналу залежно від складного характеру забудов великого міста визначається приблизною формулою [5, 10]:

$$P = \frac{16 \pi^2 D^\mu \alpha \xi k T \Delta f_m L}{D_0^{\mu-2} \lambda^2 G_1 G_2 B \rho}, \quad (1)$$

де P – потужність передавача; G_1, G_2 – коефіцієнт підсилення антени передавача і приймача; T – приведена до опромінювача антени шумова температура приймальної системи; D – протяжність лінії зв'язку; D_0 – базова відстань; k – стала Больцмана, $k=1,38 \times 10^{-23}$ Вт/ Гц Град; Δf_m – смуга пропускання приймального тракту; L – загасання сигналу в лінії зв'язку; λ – довжина хвилі; α – коефіцієнт збільшення сигналу під час його оброблення корелятором:

$$\alpha = \gamma_{\text{вих}} / \gamma_{\text{вх}}, \quad (2)$$

де $\gamma_{\text{вих}}$ – відношення сигнал/шум на виході корелятора за відсутності кодування сигналу; $\gamma_{\text{вх}}$ – відношення сигнал/шум на вході приймача; ξ – коефіцієнт збільшення шумової температури системи за рахунок впливу зовнішніх шумів і взаємних інтерференційних завад від сусідніх каналів у багатоканальній системі:

$$\xi = (N_0 + N_1 z_1 + N_2 z_2) / N_0, \quad (3)$$

де N_0, N_1, N_2 – спектральна щільність власних шумів, зовнішніх та інтерференційних завад;

$$z_1 = \Delta f_1 / \Delta f_T ; \quad (4)$$

$$z_2 = \Delta f_2 / \Delta f_T , \quad (5)$$

де $\Delta f_1, \Delta f_2$ – смуга частот зовнішніх та інтерференційних завад; ρ – вираш відношення сигнал/шум за декодування ШСС (з врахуванням розширення спектра сигналу під час його кодування):

$$\rho = \gamma_{\text{вих к}} / \gamma_{\text{вих}}, \quad (6)$$

де $\gamma_{\text{вих к}}$ – відношення сигнал/шум на виході корелятора з урахуванням вирашу під час декодування сигналу; B – база сигналу:

$$B = T_c \Delta F, \quad (7)$$

де T_c – тривалість сигналу; ΔF – ширина спектра відеосигналу; μ – коефіцієнт втрати сигналу через особливості його розподілення у складних умовах.

За умов відсутності втрат під час оброблення сигналу в кореляторі $\alpha = B$.

Як показано в [5], в діапазоні частот 1–2 ГГц для приміщень $D_0 = 100$ м для зовнішніх антен $D_0 = 1000$ м, а величина μ залежно від характеру наколишнього середовища становить $\mu = 1,62-6$.

Варто відмітити, що в системі "точка-багаточка" розумна кількість приймальних систем, що мають коефіцієнт підсилення антени G_2 і прийється сигнал від одного передавача, можна визначити, враховуючи баланс потужностей:

$$n \leq \frac{P \lambda^2}{16 \pi^2 k} \sum_{i=1}^n \frac{D_0^{\mu_i - 2} G_{2i} B_i \rho_i}{D_i^{\mu_i} \alpha_i \zeta_i T_i \Delta f_{mi} L_i} . \quad (8)$$

Для забезпечення оптимальної енергетики систем використовують новітні методи кодування та модуляції сигналу. Саме методи кодування сигналу для боротьби з помилками в умовах дії завад забезпечують енергетичний вираш в системі до 6–8 дБ, навіть незважаючи на розширення спектра сигналу [3, 6, 11]. При цьому використовуються блокові коди: коди Хемінга, Ріда – Соломона, БЧХ, а також деревоподібні згорткові коди. Особливо революційним є використання турбокодів, запропонованих французьким вченим Клодом Берроу у 1993 р., що дало змогу, наприклад, одержати помилку 10^{-5} за відношення сигнал/шум 0,7 дБ і максимально наблизитись до межі Шеннона (-1,6 дБ) [6, 11]. Цікавим необхідно вважати використання кодів із скороченим алфавітом, запропонованих к.т.н. Басовим В.Є. (ОНАЗ ім. О.С. Попова), які дають можливість реалізувати ансамблі сигналів з ФМ-3, ФМ-5, ФМ-6 і трикутну амплітудно-фазову маніпуляцію і в такий спосіб одержати додатковий енергетичний вираш в системах [12].

З метою збільшення швидкості передачі сигналу за цієї смуги пропускання каналу використовують багатопозиційну відносну фазову маніпуляцію та квадратурну амплітудно-фазову маніпуляцію: ВФМ-4, КАМ-16, 32, 64, 128, 256 [2–4, 11].

У широкосмугових системах застосовується метод частотного поділу з мультиплексуванням OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexid), тобто одночасна передача потоку цифрових даних багатьма частотними каналами [6, 10]. Однією із важливих переваг цього методу є висока стійкість до частотно-селективних замирань і вузькосмугових завад. Недолік методу полягає в його вразливості доплеровським зсувом частоти. Д.т.н., професор Слюсар В.І. запропонував використовувати неортогональний багаточастотний сигнал, на який не впливає доплеровський зсув частоти [12].

Сьогодні широко використовують бездротові телекомунікаційні системи (радіосистеми) [13]:

1. Системи радіомовлення та телебачення.
2. Системи УКХ та транкінгового зв'язку.
3. Системи пейджингового зв'язку.
4. Системи радіорелейного зв'язку.
5. Системи супутникового зв'язку й навігації.
6. Системи мобільного зв'язку.
7. Локальні радіосистеми Bluetooth, WLAN, WiMAX, Wi-Fi й ін.

Системи радіомовлення і телебачення заходяться на стадії переходу на цифрові технології.

Системи УКХ та транкінгового зв'язку використовуються у відомчих організаціях: системи MPT 1327, РусвАлтай, SmartNet, TETRA, TETRAPOL.

Системи пейджингового зв'язку продовжують експлуатуватися, але кількість їх абонентів зменшуються під впливом конкуренції з боку систем мобільного зв'язку.

Радіорелейні системи зв'язку безальтернативні в горбистій місцевості та у містах зі щільною забудовою через неможливість або значні складнощі прокладання кабелю [14]. Останнім часом виробники радіорелейних станцій досягли значного успіху, забезпечивши передачу в системах потоку STM-1 (табл. 1).

Системи супутникового зв'язку застосовують у геостационарних супутниках, а також як для передачі програм телебачення, в т.ч. на індивідуальні приймачі, так і для забезпечення групового інформаційного трафіка [15]. Слід особливо відмітити Міжнародну систему супутникової морської навігації Inmarsat (табл. 2), яка, крім того, набула широкого комерційного застосування для оперативного зв'язку і навігації з використанням навігаційної супутникової системи GPS із важкодоступних районів в умовах надзвичайних ситуацій, а також для моніторингу вантажних перевезень. Малогабаритний супутниковий телефон (рис. 3) забезпечує передачу телефонного каналу і передачі даних з будь-якої точки земної кулі (до 7⁰ північної і південної широт).

Таблиця 1

Основні характеристики високошвидкісних РРС

№ з/п		ОАО «Олімп», Україна	НТЦ «Натекс», Росія	АО SAF, Техніка, Латвія	Техно-Серва/С, Росія	SIEMENS, Німеччина
1	Робоча частота, ГГц	7,9-8,4	7,8,11,13,15, 19,22,26,39	7,13,18,38	5,6,7,8,11, 13,15,18,23, 26,38	15,18,23,26
2	Смуга пропускання, МГц	28	-	28	7,8,14,28,56	28,56
3	Пропускна здатність, Мбіт/с	155,2 +/- 20x10 ⁻⁶	155	155	PDH 8E1x75E1, SDH, STM-1, 2 STM-1	SDH STM-1,
4	Вид модуляції	128QAM	128QAM	QPSK, 16/32/128 QAM	QPSK,256 QAM	QAM
5	Потужність передавача, дБм	22	24-15	24-14	-	19,5-14,5
6	Чутливість приймача, дБм	-	-68 для BER 10 ⁻⁶	-71 – -68 для BER 10 ⁻⁶	-	-81,5- -74 для BER 10 ⁻³
7	Діаметр антени, м	-	0,3-1,8	-	0,3-1,8	-

У 1982 р. в НДІ «Сатурн» (м. Київ) була завершена розробка комплексу урядового космічного зв'язку через ШСЗ «Горизонт», «Епіграма» (головний конструктор д.т.н., проф. Семенко А.І.). Комплекс забезпечував зв'язок виїзних заходів вищого керівництва СРСР у будь-якому регіоні Землі. В комплексі з широкосмуговим псевдощумовим сигналом були реалізовані новітні технології: 2-частотна мікродіафрагма антена, твердотільний підсилювач потужності з потужністю 16 Вт, 2-канальний фільтр на поверхневих акустичних хвилях на основі германату вісмуту, вузькосмугові НВЧ-фільтри на діелектричних резонаторах з позасмуговим подавленням більше як 40 дБ та ін. (табл. 3, рис. 4). Комплекс відзначений державною премією СРСР (1989 р.). Упроваджені в комплексі науково-технічні рішення є актуальними і сьогодні [16].

Нині особливо бурхливого розвитку набули системи мобільного зв'язку, кількість абонентів яких в більшості країн перевищує кількість абонентів стаціонарних мереж. Поки що першість на ринку мобільного зв'язку тримає стандарт GSM-900 /1800 (табл. 4), системи якого майже досягли межі досконалості завдяки використанню новітніх технологій GPRS та EDGE (максимальна швидкість передачі інформації 384 кБіт/с) [4].

Надзвичайно перспективними потрібно вважати системи мобільного зв'язку з кодовим розподілом каналів стандарту CDMA, які мають неперевершені конфіденційність, завадозахищеність та енергетичні показники [2–8].

Таблиця 2

Технічні характеристики системи супутникового зв'язку INMARSAT

№ з/п	Характеристика	Значення параметра
Бортова апаратура геостационарного ШСЗ Inmarsat-2		
1	Робочі частоти, МГц	Земля-ШСЗ 6425.....6443 (СМД) 1626,5...1649,5(ДМД) ШСЗ-Земля 3600.....3623 (СМД) 1530.....1548 (ДМД)
2	ЕІВП, РГ, дБВт	СМД 24,4 ДМД 39,2
3	Добротність приймальної системи Г/Т, дБ / К	СМД -13,3 ДМД -12,2
Центральні земні станції		
1	Діапазон частот, МГц	Земля-ШСЗ 6425.....6443 ШСЗ-Земля 3600.....3623
2	ЕІВП, РГ, дБВт	86
3	Добротність приймальної системи Г/Т, дБ / К	30,6
4	Діаметр антени, м	13
Корабельна станція стандарту С (ненаправлена антена)		
1	Діапазон частот, МГц	Корабель-ШСЗ 1626,5...1649,5 ШСЗ-корабель 1530.....1548
2	ЕІВП, РГ, дБВт	12
3	Добротність приймальної системи Г/Т, дБ / К	-23
4	Вид інформації	ТЛФ, ПД
Мобільний термінал		
1	Діапазон частот, МГц	Земля-ШСЗ 1626,5...1649,5 ШСЗ-Земля 1530.....1548
2	ЕІВП, РГ, дБВт	12
3	Добротність приймальної системи Г/Т, дБ / К	-23
4	Коефіцієнт підсилення антени, дБ	3
5	Швидкість передачі інформації, Кбіт/с	9,6
6	Вид інформації	ТЛФ, ПД

Сьогодні для створення системи мобільного зв'язку 3G відповідно до стандарту ІМТ-2000 (International Mobile Telecommunication-2000), розробленого Міжнародним телекомунікаційним союзом ІТУ та Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів ЕТСІ за підтримки корпорацій і фірм Японії, Китаю, Кореї, використовується три стандарти, що ґрунтуються на технології CDMA: CDMA ONE, CDMA 2000 і WCDMA (табл. 5).



Рис. 3. Супутниковий телефон

Таблиця 3

Основні технічні характеристики комплексу космічного зв'язку «ЕПІГРАМА»

№ з/п	Параметр	Одиниця виміру	Значення параметра
1	Робоча частота передавача	МГц	1652
2	Робоча частота приймача	МГц	1543
3	Смуга робочих частот	кГц	500
4	Ефективна ізотропна випромінювальна потужність передавача	дБВті	25
5	Якість приймача	дБ/К	- 8,5
6	Коефіцієнт підсилення антени: на прийом на передачу	дБ	16 20
7	Швидкість передачі інформації	кбіт/с	2,4 (4,8)
8	Кількість каналів		2 (1)
9	Вірогідність помилки під час передачі інформації за відношення сигнал / шум на вході приймача - 5 дБ		10-4
10	Напруга живлення	В	220, 127 + 10 %, - 15 %
11	Діапазон робочих температур	С	-40 ... +55
12	Час входження у зв'язок, не більше	хв	1

В межах реалізації стандарту ІМТ-2000 виконуються роботи зі створення супутникових систем персонального мобільного зв'язку Orbocomm, Thuraya, Clobal Star, Iridium [17]. Поки що комерційна експлуатація систем не досягнута через проблеми фінансування проєктів та технічні складнощі.

Для створення інформаційних мереж підприємств добре зарекомендувала себе мікрочарункова радіосистема DECT (табл. 6) [18].



Рис. 4. Приймально-передавальна станція комплексу «Епіграма»

Таблиця 4

Основні характеристики систем GSM-900 /1800

№ з/п	Характеристика	GSM-900	GSM-1800
1	Частотний діапазон, МГц: висхідна лінія зв'язку (MS→BS) нисхідна лінія зв'язку (BS→MS)	890...915 935...960	1710...1785 1805...1880
2	Кількість каналів	124	374
3	Метод доступу	FDMA / TDMA	FDMA / TDMA
4	Дуплексний розподіл, МГц	45	95
5	Максимальна потужність BS, Вт	50 (47 дБм)	20 (43 дБм)
6	Чутливість приймача BS, дБм	-116	-112
7	Чутливість приймача MS, дБм	-108	-106
8	Відношення сигнал/шум, дБ	9	9
9	Потужність MS, Вт	0,8	1
10	Максимальна швидкість транспортного засобу, км/год	250	130

Завдяки досягненням технологій мікроелектроніки та створенню інтелектуальних мікрострічкових цифрових антенних решіток розробляються, виготовляються та використовуються сучасні радіосистеми доступу типу Bluetooth, ZigBee, WiMax, WiFi та ін. (табл. 7, рис. 5, 6) [6, 8].

На практиці використовуються екзотичні системи передачі, які створюються з використанням загальних принципів і схем побудови й відрізняються каналними адаптерами для підключення до відповідних каналів передачі сигналу.

Таблиця 5

Система мобільного зв'язку на основі CDMA

Характеристика	cdmaOne	cdma2000	WCDMA
1	2	3	4
Діапазон частот передачі MS, МГц	824,040 – 848,860	824-849,1920-1980	1920-1980
Діапазон частот передачі BTS, МГц	869,040 – 893,970	869-894, 2110-2170	2110-2170
Вид модуляції несучої частоти	QPSK (BTS), O-QPSK (MS)	QPSK, BPSK	QPSK, BPSK, HPSK (OCQPSK)

Ширина спектра випромінюваного сигналу за рівнем мінус 3 дБ за рівнем мінус 40 дБ, МГц	1,25 – базова, 1,50	3,75 – базова, 1,25 x N, де N=1,3,6,9,12	5-базова, 5 x N, де N=1,2,4
Метод доступу	DS-CDMA	MC-CDMA	DS-CDMA
Ортогональні коди	Коди Уолша	Коди Уолша, квазіортогональні коди	Ортогональні коди змінної довжини (OVSF)
Тактова частота ПСП, МГц	1,2288	3,6864 – базова, 1,2288 x N, де N=1,3,6,9,12	3,84 – базова, 7,78 і 15,56
Розширювальні послідовності BTS і MS	Короткий код 215 біт довгий код (242 – 1) біт	Короткий код 215 біт довгий код (242 – 1) біт	Коди Голда
Кількість каналів BTS і MS	64	120	95
Кодування в каналах передачі BTS і MS	Згортковий код (K=9, R=1/2, 1/3)	Згортковий код (K=9, R=1/2, 1/3, 1/4), турбокод (K=4)	Згортковий код (K=9, R=1/2, 1/3), код Ріда-Соломона, турбокод (K=3)
Сумісність	Еволюційна сумісність з cdma2000	Зворотна сумісність з cdmaOne	Зворотна сумісність з GSM

Особливий інтерес являють собою надширокосмугові системи зв'язку UMB, у яких ширина спектра порівняно із центральною частотою принаймні становить не менш як 500 МГц. Такі системи називаються: "без несучої", "імпульсні", "з несинусоїдальним сигналом" [8].

Одна з основних переваг системи – відсутність інтерференції прямого сигналу з його відбиттями від різних об'єктів. Завдяки надширокосмуговості загасання короткоімпульсного сигналу в різних середовищах досить короткі імпульси легко проходять навіть крізь різні перешкоди.

Систему "Імпульсне радіо" можна розглядати як граничний випадок системи CDMA, у якій повністю відмовилися від несучої, або що те саме, тривалість імпульсу зробили такою, що дорівнює періоду несучої.

Таблиця 6

Основні характеристики системи DECT

№ з/п	Параметри	Значення параметра
1	Основний частотний діапазон	1880–1900 МГц
2	Кількість частотних каналів	10
3	Ширина каналу	1,728 МГц
4	Довжина TDMA кадру	10мс
5	Довжина TDMA слоту	0,417 мс
6	Кількість слотів в кадрі	24 (12 дуплексних каналів)
7	Загальна кількість каналів	120
8	Загальна швидкість передачі сигналу	1152 Кбіт/с
9	Кодування мови	32 Кбіт/с АДКІМ (ADPCM)
10	Модуляція	GFSK(BT=0,5)
11	Швидкість руху абонента	До 30 Км/год
12	Типова чутливість приймального пристрою	– 86 дБм
13	Вихідна потужність передавального пристрою (серед./пікова)	10/250 мВт
14	Радіус зони обслуговування переносного пристрою	50–300м
15	Радіус зони обслуговування стаціонарного пристрою	До 5 км

Гідроакустичні системи зв'язку здійснюють зв'язок під водою з використанням ультразвукових коливань у 8–20 кГц на відстані до 4 км.

Лазерні системи зв'язку використовують лазери з довжиною хвиль 1–10 мкм і застосовуються в космічних лініях зв'язку. Рязанським приладобудівним заводом (Росія) виготовляється лазерний приймально-передавальний пристрій, що забезпечує передачу сигналу зі швидкістю близько 200 Мбіт/з на відстані 2–10 км у земних умовах і використовується, наприклад, для передачі інформації між базовими станціями в системах мобільного зв'язку (рис. 7, перевага – не потрібний дозвіл на використання частотного ресурсу).

Системи зв'язку в тунелях і метро використовують радіовипромінювальний (антенний) кабель, наприклад, фірми EUPEN, у діапазоні частот 30–1800 МГц. Загасання сигналу на частоті 900 МГц 7,45 дБ/100 м, втрати на зв'язок – до 70 дБ.

Ученими США встановлена можливість передачі радіохвиль гектаметрового діапазону у надрах Землі. Вважається, що під час розташування ретрансляторів на відстані до 200 м можливо створити лінію зв'язку для передачі сигналу зі спектром близько 500 Гц [19].

Для досягнення оптимальних характеристик сучасних радіосистем важливо використовувати новітні фільтри (табл. 8) та малощумні підсилювачі НВЧ (табл. 9).

Таблиця 7

Сучасні безпроводові системи доступу

№ з/п	Назва	Стандарт IEEE	Робоча частота	Методи модуляції, розширення спектра	Швидкість передачі сигналу	Потуж. перед.	Від-стань дії
1	Home RF, Bluetooth	802.15.1	2,4-2,483 ГГц	FM-2,TDD, FHSS,DSSS	1;2 Мбіт/с	100мВт	100 м
2	Bluetooth	802.15.3	2,412-2,462 ГГц	QPSK;16,32, 64-QAM;DSSS	11;22;33; 44 ; 55 Мбіт/с	10мВт	10м
3	Bluetooth	802.15.3a	3,1-4,85; 6,9-9,7ГГц	QPSK,DQPS, MB-OFDM; 16,32,64-QAM, DSSS	110-1320 Мбіт/с	1мВт	10м
4	ZigBee	802.15.4	0,86; 9,02- 9,28;2,4- 2,483 ГГц	BPSK,O- QPSK	250 кбіт\с	10мВт	10м
5	WLAN	802.11	2,4-2,483 ГГц	QPSK, FHSS,DSSS	1;2 Мбіт/с	100мВт	100м
6	WLAN	802.11a	5,1-5,9 ГГц	OFDM, 64-QAM, DSSS	1;2 Мбіт/с	100мВт	100м
7	WLAN	802.11b	2,4-2,483 ГГц	QPSK, DSSS	1;2;11;22;33 Мбіт/с	100мВт	100м
8	WLAN	802.11g	2,4-2,483 ГГц	ССК-OFDM, PBCC, DSSS	54 Мбіт/с	100мВт	100м
9	WirelessMAN (WiMAX)	802.16	2-11; 10-66 ГГц	OFDM; QPSK, 16,64,128, 256-QAM, DSSS	120Мбіт/с	100мВт	60км
10	Wi-Fi	802.11n	2,4 ГГц	OFDM, 64-QAM, DSSS	до 54 Мбіт/с	10мВт	100м

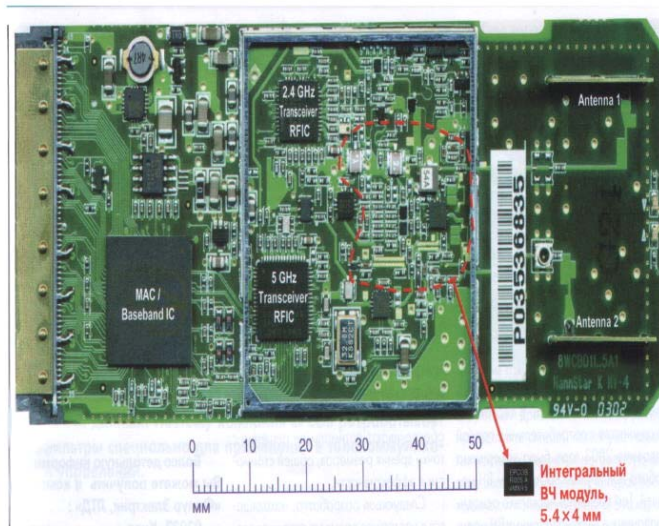


Рис. 5. Приймальний передавач системи WiMAX в інтегральному виконанні



Рис. 6. Термінал системи WiMAX



Рис. 7. Лазерна радіорелейна станція

Основні характеристики фільтрів

№ з/п	Вид	f_{\min} , МГц	f_{\max} , МГц	$\Delta f/f_0$, %	K_n (коэф. прямокут.)	$TK 4 \times 10^6$, 1/град	Втр., дБ
Електричні фільтри							
1	LC	0,1	1000	0,3-100	2-3,2	100-300	2
2	RC- пасивні	0	1	20-100	40	100-300	7
3	RC- активні	0	12	21-60	65	80-200	7
4	Мікροстріч-кові	300	3000	2-30	1,9	20-120	2,0
5	Коаксіальні	300	10000	0,2-20	3,7	100-200	1,1
6	Хвилевідні	3000	40000	0,006-8	4,1	150-300	0,09
Твердотільні фільтри							
7	Електро-механічні	10-4	1	0,01-10	1,8	5-50	2,14
8	На ДР	1000	10000	0,5-3	5,6	10-30	0,32
9	На монокр. феритів	300	40000	0,2-10	6,1	100-1000	0,73
П'єзоелектричні фільтри							
10.	Дискретні п'єзокв.	10-4	300	0,001-3	2,95	0,5-50	0,12
11.	ПАХ	5,0	2000	0,1-60	1,45 (1,1)	10-80	0,48

Для створення передавачів супутникових станцій використовуються твердотільні вихідні підсилювачі (табл. 10).

Досить високі потужності $P_{\text{вих}} = 4-6$ Вт (на прикладі MIC TGA4915-EPU-CP фірми TriQuint Semiconductor) в Ка досягаються паралельним підключенням підсилювачів у монолітному виконанні на GaAs.

Для одержання потужності 10 Вт і більше нарощування потужності виконується зовнішніми суматорами.

Перспективними напрямками технологій телекомунікацій варто вважати:

1. Створення нових сигнально-кодових конструкцій шляхом застосування комбінованих методів маніпуляції сигналів і нових методів кодування сигналу з метою збільшення пропускної здатності систем передачі й поліпшення їхньої енергетики.

2. Створення інтелектуальних друкованих антенних пристроїв для нових систем Wi-Fi, WiMAX та ін. з поліпшеною енергетикою.

3. Створення телекомунікаційних систем у міліметровому діапазоні хвиль із робочою частотою близько 100 Гц.

4. Розроблення методів проектування й технології виробництва телекомунікаційного обладнання, які забезпечують їхні оптимальні характеристики за узагальненим критерієм: мінімальна вартість, максимальні параметри, максимальна надійність, мінімальні масогабаритні характеристики.

5. Підвищення рівня навчання студентів за напрямком "Телекомунікації", розширення наукових досліджень і розробок за напрямом.

Основні характеристики маломощних підсилювачів

№ з/п	Фірма	Тип	Діап. част., ГГц	К _ш , дБ	Т _ш , К	К _у , дБ
1	MITEQ INC	AFS2-00800100-05-10P-6	0,8–1,0	0,5	35	30
2	MITEQ INC	AFS3-03100350-06-10P-4	3,1–3,5	0,6	41	29
3	MITEQ INC	AFS4-117011220-09-5P-4	11.7–12.2	0,9	67	32
4	TriQuint	TGA2801	28	2,6	223	16
5	UMS	CHA2069	18–31	2,5	228	22
6	UMS	CHA2069	55–65	4	442	20
7	Velocium	ALH 497	86-100	5	633	15

Таблиця 10

Основні характеристики підсилювачів потужності

№ з/п	Тип	Діапазон	Р _{вих.}	Фірма
1	Підсилювач Ka діапазону	25,0 – 27,5 ГГц 25,0 – 31,0 ГГц 27,5 – 30,0 ГГц 29,5 – 30,5 ГГц 30,0 – 31,0 ГГц	20 – 25Вт	SOPHIA
2	Підсилювач Ka діапазону	29,5 – 30,0 ГГц	4 Вт, 7 Вт, 50 Вт	ITS Electronics INC
3	Підсилювач Ka діапазону	29,5 – 30,0 ГГц	10 Вт, 20 Вт	USM
4	Підсилювач Ku діапазону	14,0 – 14,5 ГГц	10 – 60 Вт	PARADISE DATACOM
5	Підсилювач Ku діапазону	13,75 – 14,5 ГГц	20 – 40 Вт	Microwave Amplifiers Ltd
6	Підсилювач Ku діапазону	13,75 – 14,5 ГГц 14,0 – 14,5 ГГц	25 – 225 Вт	SSPA Microwave Corporation

1. Аренберг А.Г. Розповсюдження дециметрових та сантиметрових хвиль. – М.: Сов. радио, 1957. – 304 с. 2. Вильмс Столлингс. Беспроводные линии связи и сети. – М.–СПб.–К.: Вильямс, 2003. – 639 с. 3. Скляр Б. Цифровая связь. – М.–СПб.–К.: Вильямс, 2004. – 1104 с. 4. Климаш М.М., Пелішок В.О., Михайлевич П.М. Технології мобільного зв'язку. – Л.: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2008. – 614 с. 5. Веселовский Кишиштоф. Системы подвижной радиосвязи. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 536 с. 6. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневецкий, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с. 7. Бабков В.Ю. Системы связи с кодовым разделением каналов. – СПб.: ТРИАДА, 1999. – 120 с. 8. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. – М.: Техносфера, 2006. – 288 с. 9. Семенко А.И., Маціяка Н.В. Особенности проектирования телекоммуникационных систем с широкополосным шумоподобным сигналом // Вісник ДУІКТ. Спеціальний випуск. – 2007. – С.108–113. 10. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи. – М.: Экотрендз, 2005. – 392 с. 11. Басов В.Е. Синтез итерационного декодера по максимуму апостериорной вероятности для кодов с сокращенным алфавитом // Вісник ДУІКТ. Спеціальний випуск. – 2007. – С.136–142. 12. Патент РФ № 2054684, МПК G01R 23/16. "Способ измерения амплитудно-частотных характеристик" // В.И. Слюсар. – Оpubл. 20.02.96. – Бюл. № 5. 13. Семенко А.И. Актуальные проблемы создания беспроводных электрокоммуникационных систем: Збірник тез доповідей II Міжнародного науково-технічного симпозиуму "Нові технології в телекомунікаціях". – Вишків, 20–24.01. – 2009. С. 24–26. 14. Семенко А.И. Проективання лінії радіорелейного зв'язку з автоматичним регулюванням потужності передавача // Зв'язок. – 2006. – № 4(64). – С.45–48. 15. Справочник по спутниковой связи и вещанию / Под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1984. – 344 с. 16. Унікальний комплекс урядового космічного зв'язку 25 років тому було створено в Києві // Зв'язок. – 2007. – № 7. – С. 65. 17. Валяев В.В. Спутниковые системы в сетях мобильной связи 3-го и 4-го поколений // Наукові записки УНДІЗ. – 2008. – № 5(7). – С.61–68. 18. Дингис С.И. Мобильная связь: технология DECT. – М.: СОЛОН-Пресс, 2002. – 272 с. 19. Разговоры в недрах // СНІР, комп'ютери и коммунікації. – 2006. – № 6. – С.24.