

2. Корнев В. К. Эффект Джозефсона и его применение в сверхпроводниковой электронике / В. К. Корнев // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7. – № 8. – С. 83-90.
3. Калашников К. В. Гармонический смеситель на туннельном переходе сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник / К. В. Калашников, А. В. Худченко, А. Б. Барышев, В. П. Кошелец // Радиотехника и электроника. – 2011. – Т. 56. – № 6. – С. 1-9.
4. Шитов С. В. Малошумящий СИС-смеситель на частоту 1 THz с двойной дипольной антенной / С. В. Шитов, А. М. Марков, Б. Д. Джексон и др. // Журнал технической физики. – 2002. – Т. 72. – № 9. – С. 87-92.
5. Кулик И. О. Эффект Джозефсона в сверхпроводящих туннельных структурах / И. О. Кулик, И. К. Янсон. – М.: Наука, 1970. – 272 с.
6. Сугано Т. Введение в микроэлектронику / Т. Сугано, Т. Икома, Е. Такэиси: Пер. с яп. – М.: Мир, 1988. – 320 с.
7. Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах / М. Букингем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 399 с.

References

1. Kychak V. M. Syntez chastotno-impulsnyh elementiv tsifrovoi tekhniki / V. M. Kychak. Monographiya. – Vinnytsia: UNIVERSUM, 2005. – 292 s.
2. Kornev V. K. Effekt Josephsona I ego primenenie v sverhprovodnikovoy elektronike / V. K. Kornev // Sorosovskiy obrazovatel'nyy jurnal. – 2001. – Т. 7. – № 8. – С. 83-90.
3. Kalashnikov K. V. Garmonicheskyy smesitel' na tunnel'nom perehode sverhprovodnik-izolyator-sverhprovodnik / K. V. Kalashnikov, A. V. Hudchenko, A. B. Baryshev, V. P. Koshelets // Radiotekhnika i elektronika. – 2011. – Т. 56. – № 6. – С. 1-9.
4. Shtyov S. V. Maloshumyashchiy SIS-smesitel' na chastotu 1 THz s dvoynoy dipol'noy antennoy / S. V. Shtyov, A. M. Markov, B. D. Jekson I dr. // Jurnal tekhnicheskoy fiziki. – 2002. – Т. 72. – № 9. – С. 87-92.
5. Kulik I. O. Effekt Josephsona v sverhprovodyaschih tunnel'nyh strukturah / I. O. Kulik, I. K. Yanson. – М.: Nauka, 1970. – 272 s.
6. Sugano T. Vvedenie v mikroelektroniku / T. Sugano, T. Ikoma, E. Takeisi: Per. s yap. – М.: Mir, 1988. – 320 s.
7. Bukingem M. Shumy v elektronnyh priborah i sistemah / M. Bukingem: Per. s angl. – М.: Mir, 1986. – 399 s.

Рецензія/Peer review : 17.7.2013 р.

Надрукована/Printed : 14.10.2013 р.

Рецензент: д. т. н., проф. кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури
Вінницького національного технічного університету Філінюк М. А.

УДК 621.391

І.С. ПЕРЕКРЕСТОВ, Л.М. БОРЩОВА

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ В РАДІОКАНАЛАХ З РІЗНИМИ ФОРМАМИ РОЗШИРЕННЯ СПЕКТРА

В роботі здійснено аналіз форми, масштабів та швидкості змін параметрів сигналів на виході багатопроменевих радіоканалів мобільних користувачів при різних варіантах доплерівського розширення спектра. Визначено, що у порівнянні майже з усіма варіантами розширення спектра при класичному розширенні швидкість змін параметрів сигналу в середньому є найбільшою, при тому, що структура змін є абсолютно різною.

Ключові слова: доплерівське розширення спектра, інтервал когерентності, спектральна густина потужності, кореляційна функція.

I.S. PEREKRESTOV, L.M. BORSCHOVA

Odessa National Academy of Telecommunications by O.S. Popov

CHANGING OF SIGNAL PARAMETERS IN RADIO CHANNEL AT DIFFERENT FORMS OF THE SPECTRUM SPREADING

Abstract — In this article the shape, size and rate of changes of signal parameters on the multipath radio channel for mobile users output at different form of the Doppler spectrum spreading are analyzed. Determined that in comparison with almost all forms of spectrum spreading, the rate of signal parameters change on the average is maximal for classic spectrum spreading. The structure of changes is quite different.

Keywords: Doppler spectrum spreading, coherence interval, spectral power density, correlation function.

Вступ

Сучасні системи передавання використовують частотні діапазони, які характеризуються багатопроменевим поширенням радіохвиль між передавальною та приймальною антенами. Оскільки довжина шляху розповсюдження променів та коефіцієнти відбиття є випадковими величинами, то в результаті випадковими є параметри сигналу, що демодулюється.

Відомо, що за наявності взаємного руху між передавальним і приймальним обладнанням спостерігається ефект Доплера [1]. Оскільки величина доплерівського зсуву частоти залежить від кута під яким надходить сигнал і, в той самий час, приймальна антена мобільного користувача є ненаправленою, то

під час його руху має місце не зсув частоти сигналу, а його розширення за частотою [1] – доплерівське розширення спектра. Таке розширення створює проблему оцінювання параметрів сигналу, що змінюється у часі випадковим чином, при демодуляції.

Частіше за все, в літературі описують спектральну густину потужності (СГП) результату перетворення каналом немодульованого гармонічного коливання, яка має форму "вуха кролика" [1, 2]. Розширення спектра такої форми ще називають "класичним" або "Джейкса" (Jakes). Воно має місце в тому випадку, коли перевідбивачі сигналу, що надходить до антени мобільного користувача, рівновіддалені від точки приймання – розташовані колом та рівномірно і повністю його заповнюють. Відомо, що кореляційна функція (КФ) амплітудних завмирань (обвідної сигналу) в такому каналі описується функцією Бесселя першого роду нульового порядку, а її масштаб вздовж вісі абсцис пропорційний швидкості руху мобільного користувача.

Отже швидкість зміни параметрів сигналу в багатопроменевому радіоканалі мобільного користувача є кінцевою. Умовно вважають, що на протязі деякого інтервалу часу – інтервалу когерентності (кореляції) параметри сигналу є постійними і, відповідно, їх оцінювання можна здійснювати відносно "простими" методами [1, 2].

В класичній літературі рекомендується швидкість зміни стану описаного каналу оцінювати інтервалом когерентності визначеним за КФ амплітудних завмирань $\tau_{coh A}$ на рівні 0,5 [1, 2]. Однак, по-перше, під час приймання та обробки сигналів оперують з квадратурними складовими і вже за результатом дій над ними виносяться рішення про глибину амплітудного завмирання та/або величину фазового зсуву, по-друге, модель, коли усі копії сигналу утворюються в результаті відбиття від рівновіддалених від точки приймання об'єктів, є ідеалізованою. Отже з позиції розробника обладнання є більш цікавим знання швидкості зміни квадратурних складових сигналу ($\tau_{coh I\&Q}$), як у випадку класичного розширення спектра, так і при можливих варіантах "некласичного" розширення спектра – відповідна задача вирішується в цій роботі.

Варіанти некласичного розширення спектра

В літературі можна зустріти рекомендації до застосування моделей з розширенням спектра за наступними законами: рівномірним, гауссовим, бігауссовим, Белла та модифікаціями класичного.

Рівномірне розширення спектру має місце у випадку зв'язку в середині будівель [3]. Модель з гауссовим розширенням рекомендується для багатопроменевому радіоканалу з великими затримками в діапазоні 910 МГц [4]. Модель бігауссового розширення спектру була запропонована для GSM систем при великих затримках в умовах міста та пагористій місцевості [5]. Доплерівське розширення спектра за законом Белла спостерігається в радіоканалах в середині будівель на основі систем з МІМО [6]. Модифікації класичного розширення спектра $rjakes$ (restricted – обмежений) і $ajakes$ (asymmetrical – асиметричний, також маєть на увазі обмежений) мають місце, якщо перевідбивачі не повністю заповнюють окружність навколо користувача [5, 7, 8]. В цій роботі розширення спектру $rjakes$ не розглядається, а розширення спектру $ajakes$ було розглянуто для випадку розміщення перевідбивачів під кутами до напрямку руху користувача ($\pm 22,5^\circ$, $\pm 90^\circ$).

Теоретичну (суцільна лінія) та отриману моделюванням (маркери) СГП низькочастотного еквіваленту гармонічного коливання на виході багатопроменевому радіоканалу з перерахованими вище розширеннями спектра наведено у першому ряді зображень на рис. 1 та рис. 2. Моделювання у цій роботі обумовлене як об'єктивною необхідністю перевірки отриманих аналітичних виразів КФ, які потрібні для визначення інтервалів когерентності, так і бажанням наочно продемонструвати відмінності в структурі змін параметрів сигналу при різних формах розширення спектра. Моделювання виконано у середовищі Matlab.

Швидкість зміни параметрів сигналу та їх форма

У зв'язку з розширенням спектра параметри гармонічного коливання (амплітуда, фаза і частота) стають змінними у часі. Очевидно, що швидкість цих змін обернено пропорційна мірі розширення спектра, яке у цій роботі прийнято рівним $f_{d \max} = 28$ Гц для всіх випадків. Однак, і це видно з графіків, оскільки форма розширення спектра є різною, різними є КФ змін параметрів сигналу і, відповідно, різними є значення інтервалів когерентності.

Як вже було відмічено, у демодуляторах первинно здійснюється обробка квадратурних складових і вже потім виносяться рішення (здійснюється оцінювання) інших параметрів сигналу. З цих позицій можна дійти висновку, що оцінювати швидкість зміни параметрів сигналу за амплітудними завмираннями, як це пропонується у класичній літературі, неправильно. Причому, бачимо, що мають місце ситуації коли $\tau_{coh I\&Q} > \tau_{coh A}$ і коли $\tau_{coh I\&Q} < \tau_{coh A}$.

Перейдемо до аналізу кожного з варіантів розширення спектра окремо.

Класичне розширення. Вираз, що описує СГП при класичному розширенні спектра наступний $G_{jakes}(f) = 1/\pi \sqrt{f_{d \max}^2 - f^2}$, при $|f| \leq f_{d \max}$ [1, 2]. Перетворення Фур'є від цього виразу дає КФ квадратурних складових сигналу $K_{I\&Q}(\tau) = J_0(2\pi f_{d \max} \tau)$.

За рисунками бачимо, що при моделюванні справді відбувається розширення спектра схоже на "вуха кролика". Також бачимо, що добре збігаються КФ квадратурних складових, яка була отримана при

моделюванні та теоретична залежність. Майже повністю співпадають теоретична та отримана моделюванням КФ обвідної, яка є також квадратом КФ квадратурних складових. Розбіжність між КФ, а саме дещо меншу швидкість спадання, що спостерігається при моделюванні, можна пояснити тим, що значення СГП при максимальному частотному зсуві не прямують до нескінченності, навпаки, "вуха кролика" є дещо згладженими.

Як видно з рис. 1 та рис. 2, на графіках відсутні КФ змін фази. Це пояснюється тим, що фазові зсуви сигналу на виході радіоканалу мобільного користувача - це нестационарний процес. Однак швидкість зміни фази характеризує миттєва частота сигналу, яка є стаціонарним процесом.

Оцінюючи інтервали когерентності параметрів сигналу на виході радіоканалу можна бачити, що повільніше за усіх змінюються квадратурні складові сигналу ($\tau_{coh I \& Q} = 9,4$ мс), трохи швидше змінюється обвідна ($\tau_{coh A} = 6,7$ мс), найменш корельовані значення частотних зсувів ($\tau_{coh \Delta f} = 1,6$ мс). Візуально здається, що фазовий зсув змінюється навіть повільніше за квадратурні складові, однак треба звернути увагу, що у моменти мінімумів обвідної спостерігаються дуже значні стрибки фази. Відповідно в моменти мінімумів обвідної бачимо "викиди частоти", які, до речі, приймають значення навіть більше максимального частотного зсуву. Це пояснюється тим, що кожна з квадратурних складових незалежно отримує розширення спектра. В ті моменти, коли спостерігається максимальна швидкість зміни квадратурних складових і, до того ж, вони знаходяться в протифазі, відбувається викид частоти. В ці самі моменти відбувається завмирання за амплітудою.

Рівномірне розширення. Вираз, що описує СГП при рівномірному розширенні спектра наступний $G_{flat}(f) = 1/2f_{d \max}$, $|f| \leq f_{d \max}$. За ним легко отримати вираз КФ квадратурних складових $K_{I \& Q}(\tau) = \sin(2\pi\tau f_{d \max}) / 2\pi\tau f_{d \max}$.

З рис. 1 бачимо, що зміни квадратурних складових, амплітудних завмирань, фазових та частотних зсувів у каналі з рівномірним розширенням спектру дуже схожі за формою та швидкістю на ті, що мають місце в каналі з класичним розширенням спектру ($\tau_{coh I \& Q} = 11,1$ мс, $\tau_{coh A} = 7,9$ мс, $\tau_{coh \Delta f} = 1,7$ мс). Також бачимо, що отримані теоретичні залежності КФ майже співпадають з отриманими моделюванням.

Абсолютні величини інтервалів когерентності є дещо більшими ніж у випадку класичного розширення, пояснити це можна тим, що в останньому найбільші значення частотного зсуву є найбільш інтенсивними і, відповідно, викликають дещо більш швидкі зміни параметрів сигналу.

Гауссове розширення. Вираз, що описує СГП при гауссовому розширенні спектра наступний $G_{gaussian}(f) = (1/\sqrt{2\pi}\sigma) \exp[-f^2/2\sigma^2]$, $-\infty < f < \infty$, де середньоквадратичне відхилення $\sigma = f_{d \max} / \sqrt{2}$. За цим виразом не важко отримати $K_{I \& Q}(\tau) = \exp[-(\pi\tau f_{d \max})^2]$.

За рис. 1 бачимо, що теоретичні та експериментальні залежності КФ квадратурних складових та обвідної добре сходяться. При цьому зміни параметрів сигналу на виході каналу з гауссовим розширенням спектру загалом схожі на аналогічні отримані для класичного та рівномірного розширення, однак разом з "повільними" змінами є і "швидкі", але незначні. Ці "швидкі" зміни можна пояснити наявністю в розширеному спектрі складових вище частоти $f_{d \max}$. Інтервали когерентності майже ідентичні випадку класичного розширення спектра: $\tau_{coh I \& Q} = 9,5$ мс, $\tau_{coh A} = 6,5$ мс, $\tau_{coh \Delta f} = 1,6$ мс.

Бігауссове розширення. Вираз, що описує СГП при бігауссовому розширенні спектра наступний $G_{bigaussian}(f) = A \left[(C_1 / \sqrt{2\pi}\sigma_1) \exp[-(f - f_1)^2 / 2\sigma_1^2] + (C_2 / \sqrt{2\pi}\sigma_2) \exp[-(f - f_2)^2 / 2\sigma_2^2] \right]$,

$-\infty < f < \infty$, де $A = 1 / (C_1 + C_2)$, C_1 і C_2 - інтенсивність першої та другої складових з гауссовою формою відповідно, σ_1 і σ_2 - їх середньоквадратичні відхилення, f_1 і f_2 - центральні частоти. Вказаний СГП відповідає наступний вираз КФ квадратурних складових $K_{I \& Q}(\tau) = A \left[C_1 \exp[-(\pi\tau\sigma_1\sqrt{2})^2] \cos(2\pi f_1\tau) + C_2 \exp[-(\pi\tau\sigma_2\sqrt{2})^2] \cos(2\pi f_2\tau) \right]$.

В цій роботі була розглянута модель бігауссового розширення під назвою GAUS2, параметри якої задаються стандартом COST 207, їх значення наступні: $C_1 = 1$, $C_2 = 1/10^{1,5}$; $\sigma_1 = 0,1 f_{d \max}$, $\sigma_2 = 0,15 f_{d \max}$; $f_1 = 0,7 f_{d \max}$, $f_2 = -0,4 f_{d \max}$.

Як видно з рис. 2 квадратурні складові не є незалежними, як у попередніх випадках, вони є квазігармонічними коливаннями, частота яких приблизно рівна $19,6$ Гц $= 0,7 f_{d \max}$. Друга складова розширення з частотою $-0,4 f_{d \max} = -11,2$ Гц має відносно малу інтенсивність і, відповідно, дає незначний вклад в зміни сигналу на виході каналу.

Спектральна густина потужності доплерівського розширення спектру

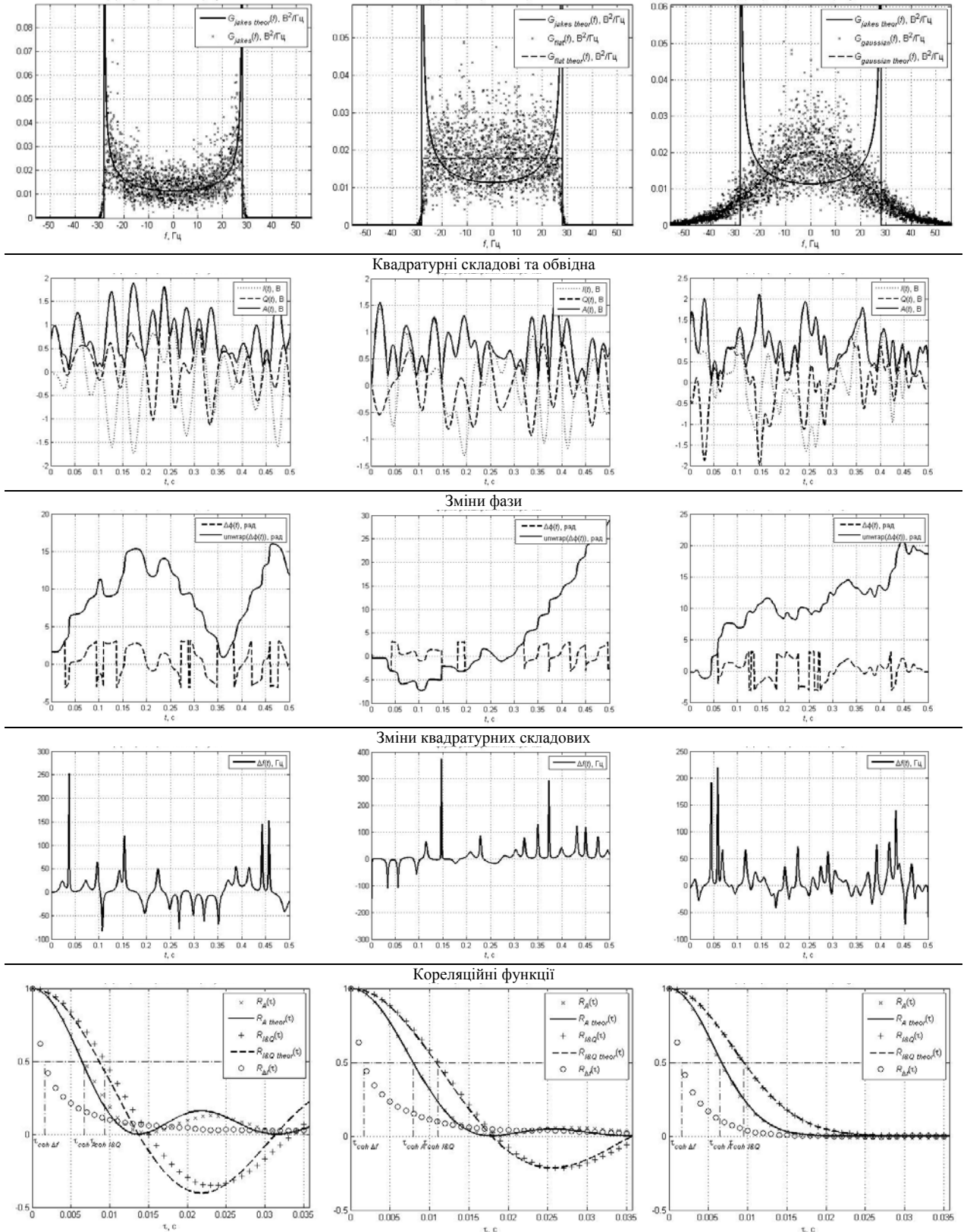


Рис. 1. Зміни параметрів сигналу та їх характеристики в каналах з класичним, рівномірним та доплерівським розширенням спектру

Візуально можна бачити, що амплітудні завмирання на виході каналу з бігауссовим розширенням відбуваються набагато повільніше за зміни квадратурних складових, це також підтверджують графіки КФ. Фаза сигналу на виході такого каналу зростає майже лінійно, а частота, відповідно, більшу частину часу приймає близькі значення навколо $0,7 f_{d \max}$.

Інтервали когерентності в такому каналі наступні: $\tau_{coh I \& Q} = 8,6$ мс, $\tau_{coh A} = 45,5$ мс, $\tau_{coh \Delta\phi} = 2,4$ мс.

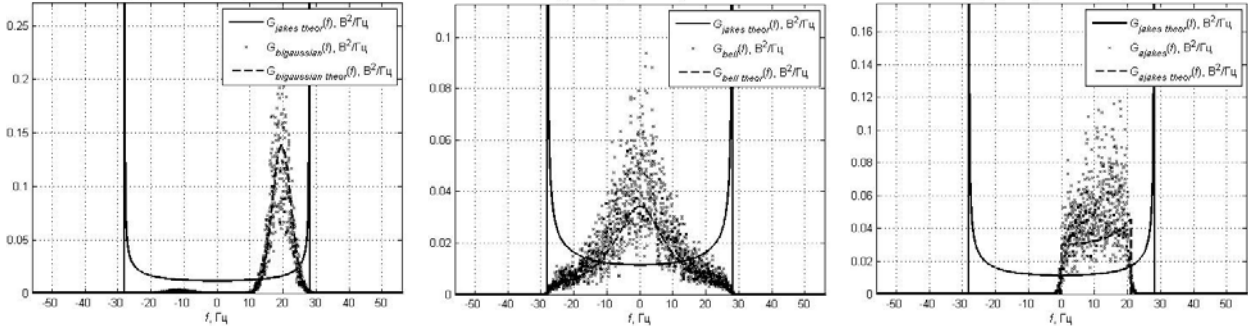
Розширення Белла. Вираз, що описує СГП при розширенні спектра за законом Белла наступний $G_{bell}(f) = C_b / (1 + A(f / f_{d \max})^2)$, $|f| \leq f_{d \max}$, де A додатне дійсне число, що в [9] рекомендується прийняти рівним 9, $C_b = \sqrt{A} / \pi f_{d \max}$.

Канал з бігауссовим розширенням спектру

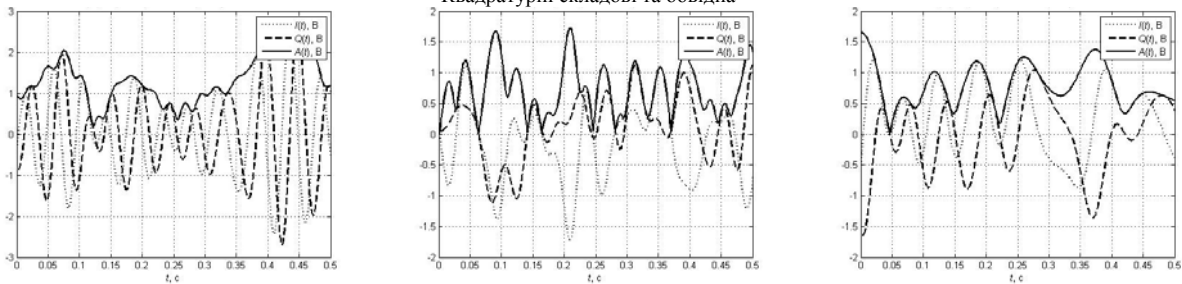
Канал з розширенням спектру за законом Белла

Канал з асиметрично обмеженим класичним розширенням спектру

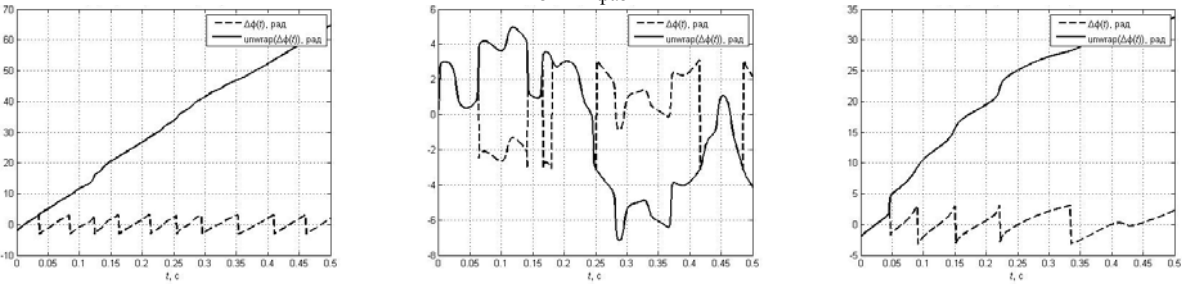
Спектральна густина потужності доплерівського розширення спектру



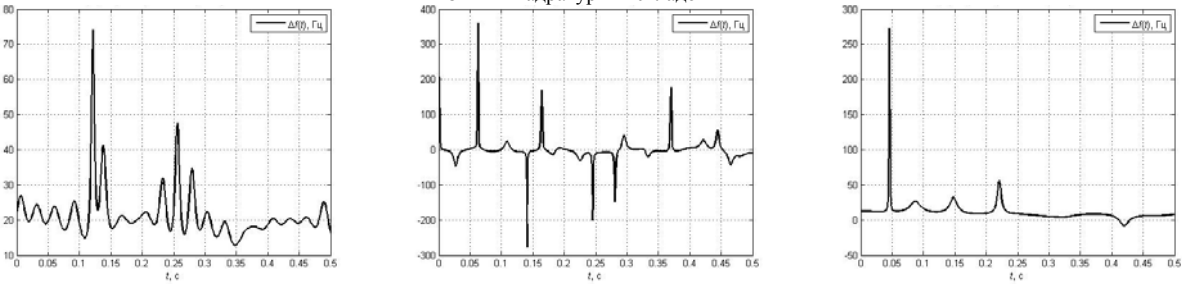
Квадратурні складові та обвідна



Зміни фази



Зміни квадратурних складових



Кореляційні функції

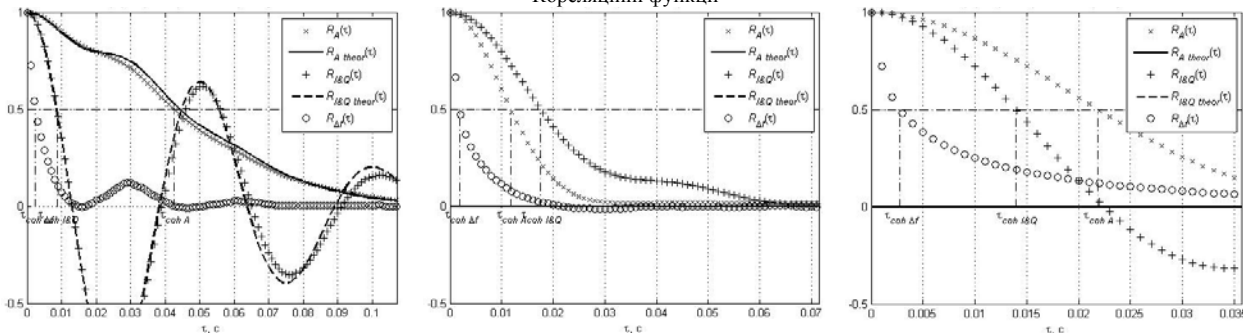


Рис. 2. Зміни параметрів сигналу та їх характеристики в каналах з бігауссовим, за законом Белла та асиметрично обмеженим доплерівським розширенням спектру

Вираз КФ, що відповідає записаному виразу СГП, аналітично знайти не вдалось, тому на рис. 2 відсутні відповідні графіки КФ квадратурних складових та амплітудних завмирань. Отже, аналіз проведемо за результатами модулювання.

Усі значення інтервалів когерентності, що ми визначаємо є більшими ніж при класичному розширенні спектра: $\tau_{coh\ I\&Q} = 17,5$ мс, $\tau_{coh\ A} = 11,8$ мс, $\tau_{coh\ \Delta f} = 1,8$ мс. Це можна пояснити тим, що найбільш інтенсивні складові розширення зосереджені біля частоти 0 Гц.

Розширення ajakes. Вираз, що описує СГП асиметрично обмеженого класичного розширення спектра співпадає з $G_{jakes}(f)$, лише ненульові значення мають місце в діапазоні від $f_{min} \geq -f_{d\ max}$ до $f_{max} \leq f_{d\ max}$. В цій роботі прийнято $f_{min} = 0$ і $f_{max} = 0,75 f_{d\ max}$, що відповідає випадку розміщення перевідбивачів під кутами до напрямку руху користувача ($\pm 22,5^\circ, \pm 90^\circ$).

Дослідження каналу з таким розширенням спектра (рис. 2) показують результати близькі до отриманих для бігауссового розширення: квадратурні складові є квазігармонічними коливаннями з середньою частотою $(f_{max} + f_{min})/2 \approx 11$ Гц, зсунутими на чверть періоду цієї частоти, швидкість амплітудних завмирань є меншою ніж квадратурних складових, фазовий зсув монотонно зростає, частота більшу Як видно з рис. 2, зміни параметрів каналу з розширенням спектру за законом Белла є відносно повільними, та, в той самий час, через періодичні різкі зміни фазового зсуву мають місце значні викиди частоти, що на порядок перевищують $f_{d\ max} = 28$ Гц.

частину часу приймає значення близькі до 11 Гц.

Значення інтервалів когерентності наступні: $\tau_{coh\ I\&Q} = 13,9$ мс, $\tau_{coh\ A} = 21,8$ мс, $\tau_{coh\ \Delta f} = 2,8$ мс.

Порівняння значень інтервалів когерентності

Для наочного порівняння швидкості змін параметрів сигналів на виході розглянутих каналів значення інтервалів когерентності зведено до табл. 1.

Таблиця 1

Значення інтервалів когерентності різних каналів

| τ_{coh} , мс | Розширення спектра | | | | | |
|------------------------|--------------------|------------|-------------|--------------|-------|--------|
| | класичне | рівномірне | гауссівське | бігауссівськ | Белла | ajakes |
| $\tau_{coh\ I\&Q}$ | 9,4 | 11,1 | 9,5 | 8,6 | 17,5 | 13,9 |
| $\tau_{coh\ A}$ | 6,7 | 7,9 | 6,5 | 45,5 | 11,8 | 21,8 |
| $\tau_{coh\ \Delta f}$ | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 2,4 | 1,8 | 2,8 |

Для наочності нормуємо значення в табл. 1 на відповідні величини інтервалів когерентності класичного розширення спектра

Таблиця 2

Нормовані значення інтервалів когерентності різних каналів

| $\tau_{coh} / \tau_{coh\ jakes}$ | Розширення спектра | | | | | |
|--|--------------------|------------|-------------|---------------|-------|--------|
| | класичне | рівномірне | гауссівське | бігауссівське | Белла | ajakes |
| $\tau_{coh\ I\&Q} / \tau_{coh\ I\&Q\ jakes}$ | 1,00 | 1,18 | 1,01 | 0,91 | 1,86 | 1,48 |
| $\tau_{coh\ A} / \tau_{coh\ A\ jakes}$ | 1,00 | 1,18 | 0,97 | 6,79 | 1,76 | 3,25 |
| $\tau_{coh\ \Delta f} / \tau_{coh\ \Delta f\ jakes}$ | 1,00 | 1,06 | 1,00 | 1,5 | 1,13 | 1,75 |

Аналіз таблиць показує, що у випадку розширення спектра за законом Белла, за рівномірним та гауссовим законами швидкість зміни і квадратурних складових, і амплітудних завмирань менша на одну і ту саму величину, ніж при класичній формі розширення спектра (інтервал когерентності більший). У випадку розширення спектру за бігауссовим законом та класичним асиметрично обмеженим законом суттєво корельовані значення амплітудних завмирань, це пояснюється саме асиметричністю розширення спектра, в результаті чого квадратурні складові є квазігармонічними коливаннями зсунутими за фазою на чверть періоду центральної частоти розширення, а вже величина розширення відносно центральної частоти визначає швидкість зміни обвідної (амплітудних завмирань).

Висновки

Загалом можна дійти висновку, що результати отримані для випадку класичної форми розширення спектру, для усіх інших випадків будуть оцінкою "зверху" (отриманою в гірших умовах), пояснити це можна тим, що при класичному розширенні найбільш інтенсивними є складові з максимальним частотним зсувом $\pm f_{d\ max}$.

Окремо варто відзначити, що при усіх типах розширення спектра мають місце викиди частоти, що значно перевищують максимальний доплерівський зсув, що залежить від швидкості руху мобільного користувача та частоти несівної.

Література

1. Волков Л. Н. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики : [учеб. пособ.] / Волков Л. Н., Немировский М. С. Шинаков Ю С. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Скляр Б.; [пер. с англ.]. – [изд. 2-е, испр.]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Ibnkahla M. Signal processing for mobile communications handbook / Ibnkahla M. – NY: CRC PRESS, 2005. – 812 с.
4. Cox D.C. Delay Doppler characteristics of multipath propagation at 910 MHz in a suburban mobile radio environment / D.C. Cox // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1972. – №5(20). –С. 625–635.
5. Patzold M. Mobile Radio Channels / M. Patzold. – NY: John Wiley and Sons, 2012. – 583 с.
6. IEEE P802.11 Wireless LANs, "TGn Channel Models", IEEE 802.1103/940r4, 2004-05-10 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.scribd.com/doc/47500819/TGn-Model>. Заголовок з екрану.
7. Microwave Mobile Communications / [edited by Jakes W. C.]. – NY: John Wiley and Sons, 1974. – 642 с.
8. Lee W. C. Y. Mobile Communications Engineering: Theory and Applications / Lee W. C. Y. – [2nd ed.]. – McGraw-Hill, 1998. – 689 с.

References

1. Volkov L.N. Systems of digital radiotelecommunication: main methods and properties [textbook] / Volkov L.N., Nemyrovsky M.S., Shynakov U.S. – М.: Eco-Trendz, 2005. - 392 p.
2. Sklar B. Digital telecommunication. Theoretical fundamentals and practical employment / B. Sklar, [tr. from Eng.]. – [ed. second, corr.]. – Moscow: "Williams", 2003. – 1104 p.
3. Ibnkahla M. Signal processing for mobile communications handbook / Ibnkahla M. – NY: CRC PRESS, 2005. – 812 с.
4. Cox D.C. Delay Doppler characteristics of multipath propagation at 910 MHz in a suburban mobile radio environment / D.C. Cox // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1972. – №5(20). –С. 625–635.
5. Patzold M. Mobile Radio Channels / M. Patzold. – NY: John Wiley and Sons, 2012. – 583 с.
6. IEEE P802.11 Wireless LANs, "TGn Channel Models", IEEE 802.1103/940r4, 2004-05-10 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.scribd.com/doc/47500819/TGn-Model>. Заголовок з екрану.
7. Microwave Mobile Communications / [edited by Jakes W. C.]. – NY: John Wiley and Sons, 1974. – 642 с.
8. Lee W. C. Y. Mobile Communications Engineering: Theory and Applications / Lee W. C. Y. – [2nd ed.]. – McGraw-Hill, 1998. – 689 с.

Рецензія/Peer review : 14.7.2013 р.

Надрукована/Printed : 14.10.2013 р.
Рецензент: