

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ xDSL-ТЕХНОЛОГИЙ С ОРТОГОНАЛЬНЫМИ ГАРМОНИЧЕСКИМИ СИГНАЛАМИ ОБОБЩЕННОГО КЛАССА

*Барба И.Б., Орешков В.И., Сытник Н.В.*

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,  
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.*

[irina\\_barba@mail.ru](mailto:irina_barba@mail.ru), [Oreshkov\\_VI@mail.ru](mailto:Oreshkov_VI@mail.ru), [nadezhda\\_sytник@mail.ru](mailto:nadezhda_sytник@mail.ru)

## ЕФЕКТИВНІСТЬ xDSL-ТЕХНОЛОГІЙ З ОРТОГОНАЛЬНИМИ ГАРМОНІЧНИМИ СИГНАЛАМИ УЗАГАЛЬНЕНОГО КЛАСУ

*Барба І.Б., Орешков В.І., Ситник Н.В.*

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,  
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1.*

[irina\\_barba@mail.ru](mailto:irina_barba@mail.ru), [Oreshkov\\_VI@mail.ru](mailto:Oreshkov_VI@mail.ru), [nadezhda\\_sytник@mail.ru](mailto:nadezhda_sytник@mail.ru)

## EFFECTIVENESS OF GENERAL CLASS xDSL TECHNOLOGIES WITH ORTHOGONAL HARMONIC SIGNALS

*Barba I.B., Oreshkov V.I., Sytnik N.V.*

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,  
1 Kovalska St., Odessa, 65029, Ukraine.*

[irina\\_barba@mail.ru](mailto:irina_barba@mail.ru), [Oreshkov\\_VI@mail.ru](mailto:Oreshkov_VI@mail.ru), [nadezhda\\_sytник@mail.ru](mailto:nadezhda_sytник@mail.ru)

**Аннотация.** В статье осуществлена оценка эффективности систем передачи (СП) по многопарным кабелям типа ТПП ADSL2+, использующих ортогональные гармонические сигналы обобщенного класса (ОГС ОК). ОГС ОК строятся путем умножения гармонических сигналов на оптимальную огибающую функцию  $u(t)$ . Особенностью ОГС ОК является отсутствие защитного интервала времени и более высокая концентрация их энергии в частотной области по сравнению с традиционными гармоническими сигналами. За счет этого ОГС ОК обеспечивают более высокую помехозащищенность от сосредоточенных по спектру и интерференционных помех. В статье моделированием характеристик СП с учетом интерференционных помех, аддитивных шумов и характеристик кабеля оцениваются скорость передачи в различных СП и выигрыш по скорости, обеспечиваемый СП с ОГС ОК.

**Ключевые слова:** ортогональные гармонические сигналы обобщенного класса, система передачи, скорость передачи, интерференционные помехи, спектральная плотность мощности, технология ADSL2+.

**Анотація.** У статті здійснена оцінка ефективності систем передачі (СП) по багатопарних кабелях типу ТПП ADSL2+, що використовують ортогональні гармонічні сигнали узагальненого класу (ОГС УК). ОГС УК будуються шляхом помноження гармонічних сигналів на оптимальну обвідну функцію  $u(t)$ . Особливістю ОГС УК є відсутність захисного інтервалу часу і більш висока концентрація їх енергії в частотній області порівняно з традиційними гармонічними сигналами. За рахунок цього ОГС УК забезпечують більш високу заводозахищеність від зосереджених по спектру і інтерференційних завод. У статті моделюванням характеристик СП з урахуванням інтерференційних завод, адитивних шумів і характеристик кабелю оцінюються швидкість передавання в різних СП і вигреш за швидкістю, забезпечуваний СП з ОГС УК.

**Ключові слова:** ортогональні гармонічні сигнали узагальненого класу, система передачі, швидкість передавання, інтерференційні заводи, спектральна густина потужності, технологія ADSL2+.

**Abstract.** An efficiency assessment of transmission systems (TS) for multi-pair cable ТПП ADSL2+ type, using orthogonal harmonic signals of a generic class (OHS GC) is provided in the article. OHS GC is constructed by the multiplying of the harmonic signals by the optimal envelope function  $u(t)$ . A OHS GC feature is the absence of guard time interval and a higher energy concentration in the frequency region in a comparison with the traditional harmonic signals. Due to this OHS GC provides greater immunity from concentrated in spectrum and interference noise. Transmission rate of different TS and gain in rate provided by the TS with OHS GC are estimated in the article with a help of TS characteristics' modeling considering interference, additive noise and the characteristics of the cable.

**Key words:** generalized class orthogonal harmonic signals, transmission system, transmission rate, interference, power spectral density, ADSL2+ technology.

За последние годы благодаря применению цифровой обработки сигналов широкое распространение получили технологии передачи, которые используют для передачи ортогональные гармонические сигналы (ОГС)[1]. Технологии передачи xDSL (DSL-Digital Subscriber Line) в соответствии с Рекомендациями Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) G. 992 – G. 993 используют различные системы ОГС и на сегодня являются самыми распространенными для построения широкополосного доступа (ШД) с использованием хорошо развитой сети абонентских линий (АЛ) телефонной сети общего пользования.

Используемые системы ОГС (традиционные) являются одними из видов широкого класса, названного обобщенным, предложенных в [1] широкополосных сигналах, которые могут быть использованы для целей передачи информации. Особенностью ОГС обобщенного класса (ОГС ОК) является отсутствие защитного интервала.

Представляет интерес исследовать эффективность применения ОГС ОК в СП ШД для увеличения скорости передачи по отношению к традиционной СП (СП-1)[2, 3].

В работе [4] проводились исследования скорости передачи СП ADSL2+ с использованием усовершенствованного метода оценки скорости передачи СП ОГС с учетом интерференционных помех, аддитивных шумов и характеристик кабеля.

**Целью статьи является** сравнение достижимых скоростей передачи традиционной СП-1 и СП с ОГС ОК (СП-2) на примере СП ADSL2+.

Системы сигналов обобщенного класса ОГС, синтезированные в соответствии с методом, предложенном в [5], описываются выражением:

$$\left\{ \sqrt{u(t)} e^{il\omega_0 t} \right\}_{l=0}^{n-1}, \quad -\frac{T}{2} \leq t < \frac{T}{2}, \quad \omega_0 = 2\pi f_0, \quad \tau_0 = \frac{1}{f_0}, \quad (1)$$

и ортогональны на интервале  $T$ :

$$\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \sqrt{u(t)} e^{il\omega_0 t} \sqrt{u(t)} e^{-ik\omega_0 t} dt = \begin{cases} 1, & l = k \\ 0, & l \neq k \end{cases}, \quad (2)$$

где  $f_0$  – разнос между частотами соседних гармонических функций, входящих в состав функций (1);  $n$  – число функций;  $T$  – длительность тактового интервала (функций);  $\tau_0$  – интервал ортогональности;  $u(t)$  – огибающая.

В соответствии с формулами (1, 2) возможны различные варианты построения СП ОГС [3]. На рис. 1 дана обобщенная структурная схема  $l$ -го канала СП ОГС обобщенного класса. Ее отличает от схемы традиционной СП ОГС наличие перемножителей на функции  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  сигналов на выходе передатчика и входе приемника СП. Разные варианты построения СП ОГС определяются (задаются) выбором значений функций  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$ .

Очевидно, что предложенные варианты построения СП ОГС обладают разными характеристиками помехоустойчивости как по отношению к аддитивным, так и по отношению к интерференционным помехам. В силу малой изученности оценка интерференционных помех, порождаемых в каналах СП ОГС линейными искажениями ПФ канала связи, представляет особый интерес.

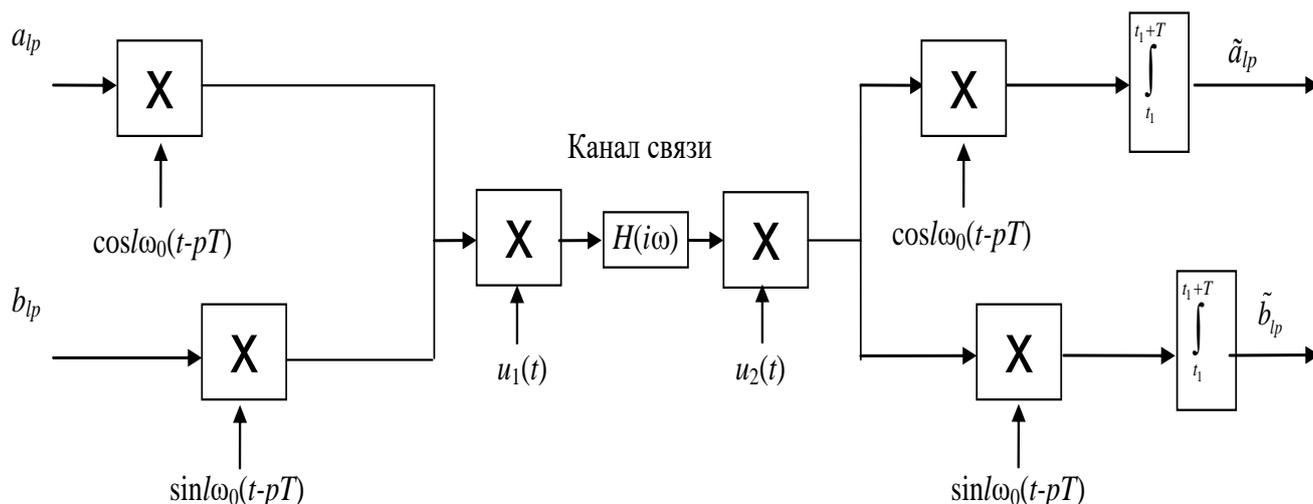


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема  $l$ -го канала СП с ОГС ОК

По приведенной методике [1, 2] рассчитаны интерференционные помехи  $h_l$  в каналах СП, порождаемые линейными искажениями сигналов каналом связи. В расчетах использовались характеристики: СП по технологии ADSL 2+, телефонного кабеля ТПП 0,5 [2]. В данной статье дан расчет для кабеля типа ТПП 0,4 мм длиной от 1 до 4 км. В качестве огибающего сигнала  $u(t)$  выбиралась оптимальная функция с косинусквадратичными фронтами [6].

Рассчитанный трехмерный график  $\tilde{h}_{kT}$  при длине линии 2 км для СП с ОГС ОК показан на рис. 2. Двухмерные графики рис. 3 и 4 показывают распределение усредненной по каналам  $\tilde{h}_{kT}$  в зависимости от начала корреляционной обработки (момента синхронизации)  $kT$  в корреляторах приемника:

$$\tilde{h}_{kT} = \frac{\sum_{l_1=33}^{l_2=511} h_{lkT}}{479},$$

где  $l_1, l_2$  – номера первого и последнего сигналов СП ADSL2+.

Исследование проводилось для следующих исходных данных: номера несущих частот – 33...511; аддитивные помехи с равномерной спектральной плотностью мощности (АПРСМ) минус 140 дБм/Гц; вероятность ошибки принималась равной  $10^{-7}$ ; кабель типа ТП-10х2 пучковой скрутки с диаметром жил 0,5 и 0,4 мм длиной 1...4 км; влияние переходных помех учитывалось при 10-процентной загрузке многопарного кабеля системами передачи ADSL2+;  $\Delta A/l$  – уменьшение защищенности за счет старения кабеля и неправильных условий эксплуатации, для нового кабеля принимаем  $\Delta A/l = 0$  дБ.

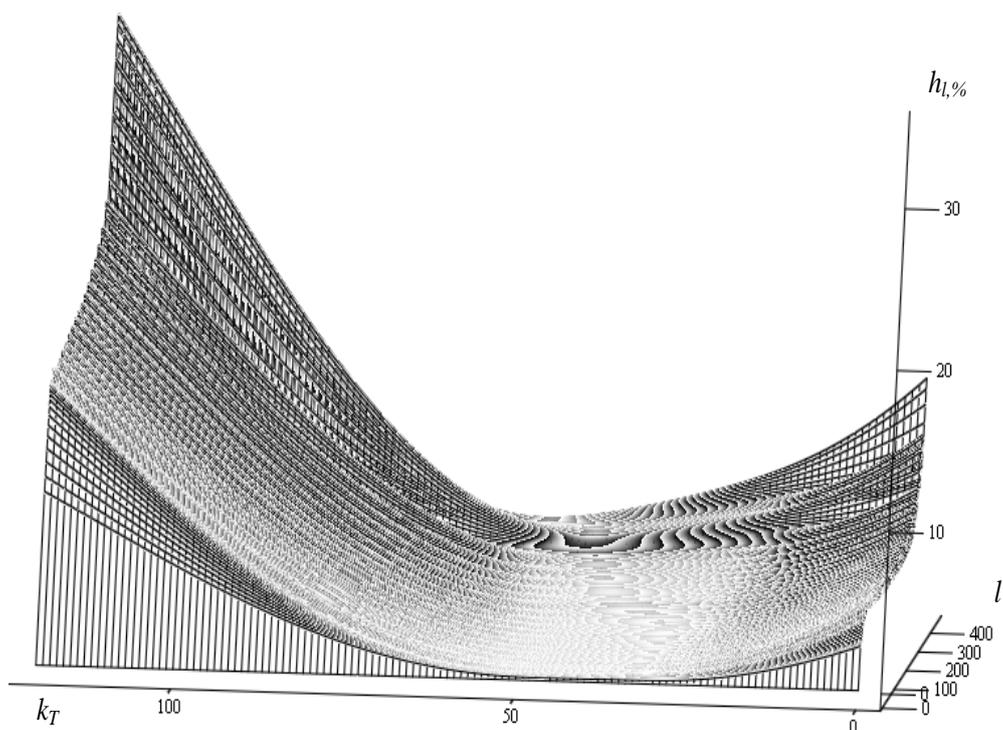


Рисунок 2 – Распределение  $h_l$  по каналам СП с ОГС ОК в зависимости от  $k_T$  ( $L = 2$  км;  $d = 0,4$  мм)

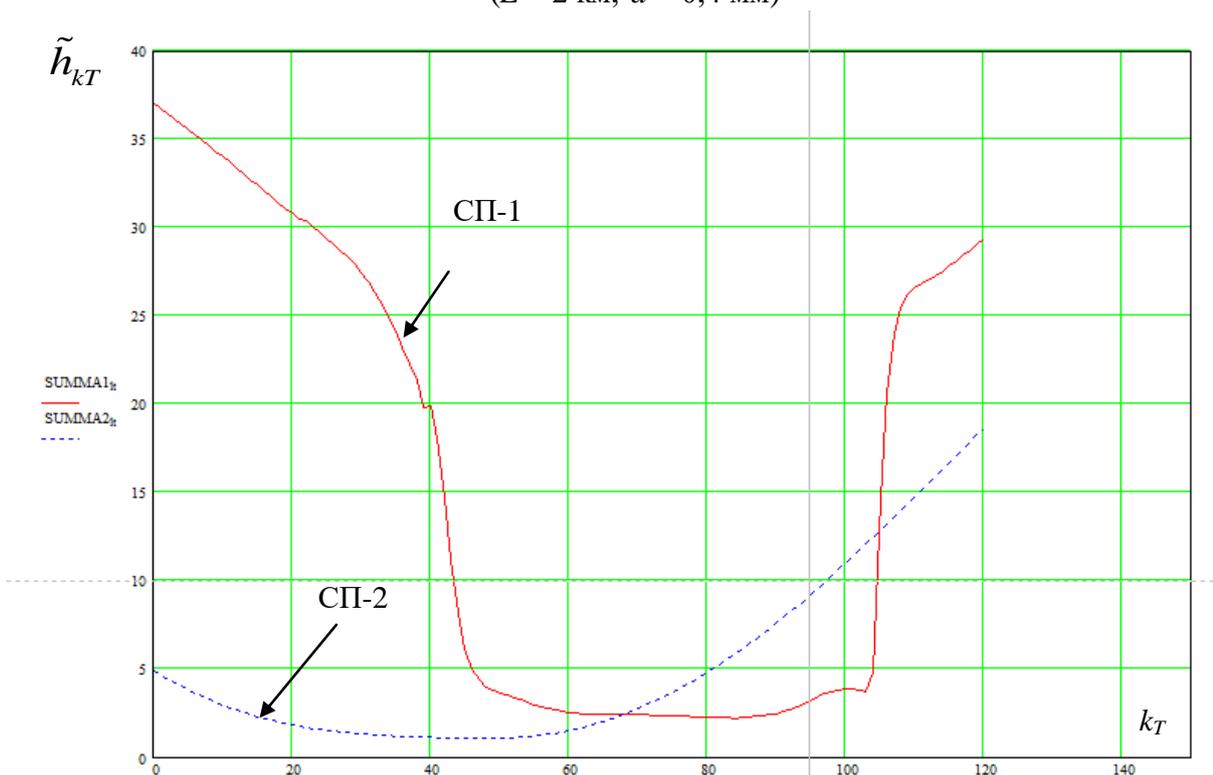


Рисунок 3 – Распределение усредненной по каналам  $\tilde{h}_{kT}$  в зависимости от момента синхронизации ( $L = 2$  км;  $d = 0,4$  мм)

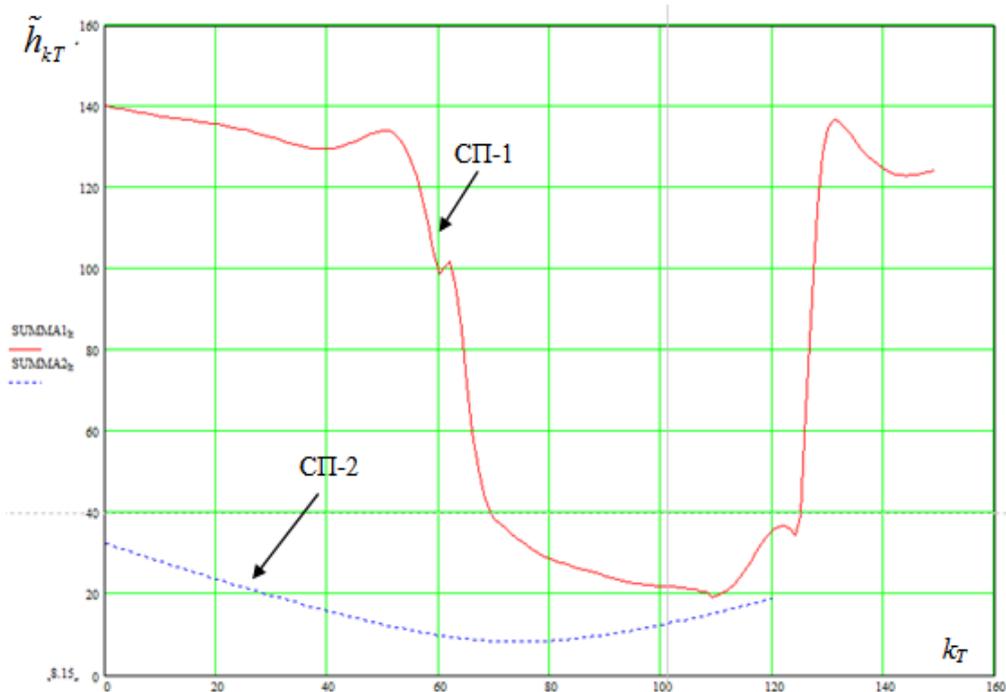


Рисунок 4 – Распределение усредненной по каналам  $\tilde{h}_{kT}$  в зависимости от момента синхронизации ( $L = 3$  км;  $d = 0,4$ мм)

Результаты расчетов скорости передачи приведены для СП-0, которая не учитывает интерференционные помехи; СП-1 – это традиционная СП ОГС, в которой для борьбы с интерференционными помехами применяется защитный интервал; СП – 2 это СП ОГС оптимальная, в которой вместо защитного интервала используется огибающая  $u(t)$ , которая используется на передаче и приеме (см. рис.1), показаны на рис. 5, 6 и в табл. 1.

Таблица 1 – Скорости передачи R(Мбит/с) СП с ОГС (АПРСИМ = -140 дБп/Гц;  $n_{сп} = 1$ ;  $\Delta A_{л} = 0$  дБ)

Длина линии, км	Кабель ТПП - 10x2x0,4			Кабель ТПП - 10x2x0,5		
	СП-0	СП-1	СП-2	СП-0	СП-1	СП-2
1	24	24	24	24	24	24
2	18, 888	14, 956	17, 268	23, 26	22, 8	23, 232
3	9, 252	7, 312	8, 536	14, 196	13, 436	14, 184
4	3, 976	3, 532	3, 644	8, 096	7, 224	7, 592

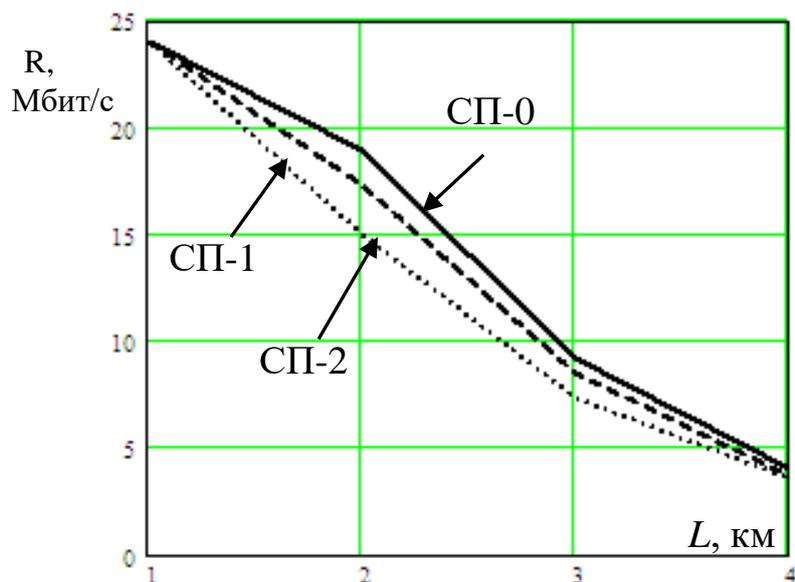


Рисунок 5 – Скорость передачи СП ОГС  
(АПРСІМ = -140 дБп/Гц; ТП-10x2x0,4;  $n_{сп} = 1$ ;  $\Delta A_{л} = 0$  дБ)

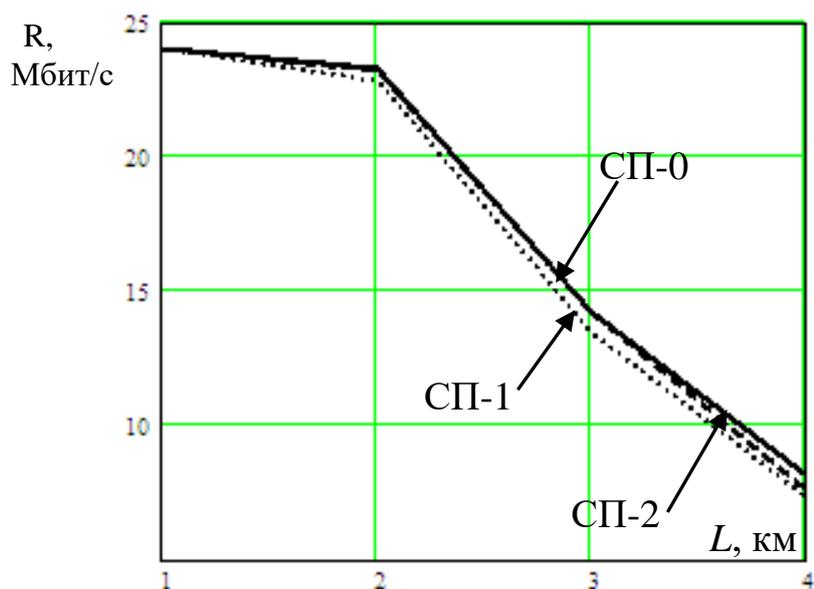


Рисунок 6 – Скорость передачи СП ОГС  
(АПРСІМ = -140 дБп/Гц; ТП-10x2x0,5;  $n_{сп} = 1$ ,  $\Delta A_{л} = 0$  дБ)

В заключение можно сказать следующее: анализ полученных результатов скорости передачи позволяет утверждать, что интерференционные помехи оказывают влияния на скорость передачи СП ОГС. Применение ОГС обобщенного класса в СП обеспечивает повышение скорости передачи за счет снижения мощности интерференционных помех, вызванных линейными искажениями.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Балашов В. А. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / Балашов В. А, Воробийенко П.П, Ляховецкий Л.М. – М.:Эко-Трендз, 2012. – 228 с.: ил.
2. Балашов В.А. Интерференционные помехи в системах передачи гармоническими сигналами обобщенного класса /В.А. Балашов, Л.М. Ляховецкий, И.Б. Барба // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Выпуск 1. – Том 9. – С. 79 – 86.
3. Барба И.Б. Анализ систем передачи гармоническими сигналами обобщенного класса / И.Б. Барба // Наукові праці ОНАЗ ім.О.С. Попова. – 2014. – № 1. – С. 128 – 135.
4. Ляховецький Л.М. Удосконалення методу оцінки швидкості передавання систем передачі ортогональними гармонічними сигналами / Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков, І.Б. Барба // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2014. – № 2. – Частина 2. – С. 186 – 193.
5. Балашов В.А. Ортогональные гармонические сигналы для широкополосных систем передачи / В.А. Балашов, Л.М. Ляховецкий, И.Б. Барба // Загальногалузевий науково-виробничий журнал «Зв'язок». – 2012. – № 3. – С. 17 – 20.
6. Балашов В.А. Синтез передаточных функций каналов передачи, удовлетворяющих критерию Найквиста / В.А. Балашов, И.Б. Барба // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2011. – № 2. – С. 35 – 42.

REFERENCES:

1. Balashov V. A. Sistemy peredachi ortogonal'nymi garmonicheskimi signalami / Balashov V. A, Vorobienko P.P, Ljahoveckij L.M.-M.:JEko-Trendz, 2012. – 228 s.: il.
2. Balashov V.A. Interferencionnye pomehi v sistemah peredachi garmonicheskimi signalami obobshhennogo klassa /V.A. Balashov, L.M. Ljahoveckij, I.B. Barba // Sbornik nauchnyh trudov SWorld. – 2014. – Vypusk 1. – Tom 9. – S. 79 – 86.
3. Barba I.B. Analiz sistem peredachi garmonicheskimi signalami obobshhennogo klassa / I.B. Barba // Naukovi praci ONAZ im.O.S. Popova. – 2014. – №1. – С. 128 – 135.
4. Ljahovec'kij L.M. Udoskonalennja metodu ocinki shvidkosti peredavannja sistem peredachi ortogonal'nimi garmonichnimi signalami / L.M. Ljahovec'kij, V.I. Oreshkov, I.B. Barba // Naukovi praci ONAZ im. O.S. Popova. – 2014. – № 2-CHastina 2. – S. 186 – 193.
5. Balashov V.A. Ortogonal'nye garmonicheskije signaly dlja shirokopolosnyh sistem peredachi / V.A. Balashov, L.M. Ljahoveckij, I.B. Barba // Zagal'nogaluzevij naukovo – virobnichij zhurnal «Zvjazok». – 2012. -№ 3. – S. 17 – 20.
6. Balashov V.A. Sintez peredatochnyh funkcij kanalov peredachi, udovletvorjajushhih kriteriju Najkvista / V.A. Balashov, I.B. Barba // Naukovi praci ONAZ im. O.S. Popova. – 2011. – № 2. – S. 35 – 42.