

**Министерство образования и науки Украины  
Севастопольский национальный технический университет**

*Посвящается 50-летию  
кафедры радиотехники и телекоммуникаций СевНТУ*

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
РАДИОТЕХНИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
«РТ - 2010»**

**Материалы 6-ой международной  
молодежной научно-технической конференции  
19 — 24 апреля 2010 г.**

**Севастополь 2010**

**УДК 621.317+621.37+537.86**

**Редакционная коллегия:**

Пашков Е.В., д-р техн. наук, профессор, ректор СевНТУ — председатель;  
Лукиячук А.Г., канд. техн. наук, доцент, первый проректор СевНТУ — зам.  
председателя;  
Гимпилевич Ю.Б., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой;  
Савочкин А.А., канд. техн. наук, доцент;  
Афонин И.Л., д-р техн. наук, доцент;  
Михайлюк Ю.П., канд. техн. наук, доцент;  
Тыщук Ю.Н., ассистент.

**Научный редактор**

Гимпилевич Ю.Б., д-р техн. наук, профессор

**Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ - 2010»: Матеріали 6-ої міжнар. молодіжної наук.-техн. конф., 19 — 24 квітня 2010 р. — Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2010. — 519 арк.**

Збірник містить матеріали, присвячені теоретичним і практичним питанням сучасної радіотехніки та телекомунікацій.

**Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ - 2010»: Материалы 6-ой междунар. молодежной науч.-техн. конф., 19 — 24 апреля 2010 г. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010. — 519 с.**

Сборник содержит материалы, посвященные теоретическим и практическим вопросам современной радиотехники и телекоммуникаций.

**Modern Issues in Radio Engineering and Telecommunications «RT - 2010»: Materials of the 6-rd International Young Scientist Conference, April 19 — 24, 2010. — Sevastopol: Publishing house of SevNTU, 2010. — 519 p.**

The book contains materials of reports on actual theoretical and practical problems of modern radio engineering and telecommunication.

<b>Рожновская И.Ю., Нестерук С.В., Яськов А.Н.</b> Исследования пропускной способности MIMO-канала .....	112
<b>Сарана А.А.</b> Цикловая синхронизация радиосигналов телефонных сетей.....	113
<b>Авдеенко Г.Л.</b> Повышение ёмкости системы сотовой связи стандарта GSM путём применения SMART-антенн .....	114
<b>Слинченко А. А.</b> Многофазные импульсные преобразователи постоянного напряжения с автотрансформаторным включением дросселя.....	115
<b>Сердюк И.В.</b> Передающая часть системы фазовой синхронизации генераторов через атмосферный канал связи .....	116
<b>Прозецкий Д.П.</b> Использование радиоволн СВЧ в системах охраны.....	117
<b>Орябінська О.О.</b> Часова та частотна синхронізація сигналів OFDM .....	118
<b>Очеретяна А.В.</b> Метод організації ключового обміну з використанням прихованого каналу в телефонних мережах загального користування .....	119
<b>Ягодка А., Волков В.В.</b> Методы расчета дальности эфирного приема цифровых сигналов телевизионного вещания .....	120
<b>Фигурная Е.С.</b> Влияние эффекта Доплера на ортогональность сигналов в системе доступа с кодовым разделением каналов .....	121
<b>Охрименко О.Г.</b> Использование мобильных ретрансляторов для расширения зоны покрытия MESH сетей .....	122
<b>Смирнова А.Б.</b> Анализ эффективности пространственно-временного кодирования в канале с райсовскими замираниями.....	123
<b>Слюсар В.И., Малярчук М.В., Копиевская В.С.</b> Метод расчета уровня комплексно-сопряженной составляющей сигнала в цифровой антенной решетке .....	124
<b>Донец А.Ю., Завдоева Е.С.</b> Использование имитационного моделирования процессов в системе GPSS WORLD.....	125
<b>Green A.</b> Features of wideband code division multiply access networks planning .....	126
<b>Ситманбетов Р.А.</b> Методы организации абонентского доступа в беспроводной сети передачи данных СВЧ диапазона .....	127
<b>Аль-Шаре Мотана</b> Система передачи информации с помощью сверхкоротких импульсов.....	129
<b>Нижник Д.Ю.</b> Помехоустойчивости CDMA систем и методы ее повышения .....	130
<b>Толокнов Ю.Н., Больбух В.В.</b> Формирователь эталонного заряда для преобразователей заряд-напряжение.....	131
<b>Мирошниченко Д.Е., Погорелова В.В.</b> Передающее устройство сверхширокополосной системы связи.....	132
<b>Погорелова В.В., Мирошниченко Д.Е., Иськив В.М.</b> Приемное устройство сверхширокополосной системы связи .....	133
<b>Вовк Е.А., Сундучков К.С.</b> Формирование и разделение каналов представления услуг в сегментах сети .....	134
<b>Урядов В.Н., Бунас В.Ю., Рощупкин Я.В.</b> Метод оценки эффективности применения полностью оптического маршрутизатора .....	135
<b>Урядов В.Н., Бунас В.Ю., Стункус Ю.Б.</b> Оценка оптимальной скорости передачи в одном канале фотонной сети .....	136
<b>Шахович Н.В., Полуянович М.С., Алексейченко А.А.</b> Интегрированные системы безопасности .....	137
<b>Бунас В.Ю., Рощупкин Я.В.</b> Двухканальный балансный оптический приемник для систем с дифференциальной фазовой модуляцией .....	138
<b>Волотка В.С.</b> Особенности описания самоподобного трафика.....	139

# МЕТОД РАСЧЕТА УРОВНЯ КОМПЛЕКСНО-СОПРЯЖЕННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СИГНАЛА В ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКЕ

Слюсар В.И., Малярчук М.В., Копиевская В.С.

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф. Слюсар В.И.

Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники  
Вооруженных Сил Украины

ул. Драгоманова, 27, г. Киев, 02068, Украина

Тел.: +38 050 4436317; e-mail: swadim@inbox.ru

**Abstract** — The new method of complex conjugate response estimation is considered. This method can use for estimation of I/Q-demodulation quality at wide frequency band.

## 1. Введение

При анализе качества I/Q-демодуляторов показателем эффективности их функционирования является величина комплексно-сопряженной составляющей (КСС) сигнала. В докладе представлен новый метод оценивания КСС в широком диапазоне частот, который может быть использован в случае линейной цифровой антенной решетки (ЦАР).

## 2. Основная часть

Для синтеза процедуры оценивания КСС воспользуемся методом наименьших квадратов, сформировав функцию невязки по напряжениям откликов приемных каналов ЦАР

$$F = \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ U_{p,r}^c - A_1^c \cdot Q_p(\alpha) \cdot L_r(\omega) - A_2^c \cdot Q_p(-\alpha) \cdot L_r(-\omega) \right\}^2 + \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ U_{p,r}^s - A_1^s \cdot Q_p(\alpha) \cdot L_r(\omega) - A_2^s \cdot Q_p(-\alpha) \cdot L_r(-\omega) \right\}^2 = \min,$$

где  $U_{p,r}^{c(s)}$  — квадратурные составляющие напряжений по выходу  $r$ -го частотного фильтра в  $p$ -м пространственном канале ЦАР,  $R$  — количество фильтров БПФ,  $A_1^{c(s)}$ ,  $A_2^{c(s)}$  — квадратурные составляющие амплитуды сигнала и его КСС по выходу I/Q-демодулятора,  $L_r(\omega)$ ,  $L_r(-\omega)$  — значение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ)  $r$ -го частотного фильтра на частоте основного отклика ( $\omega$ ) и КСС ( $-\omega$ ),  $Q_p(\alpha)$ ,  $Q_p(-\alpha)$  — значение диаграммы направленности  $p$ -го пространственного канала для основного отклика и КСС.

Дифференцирование  $F$  по неизвестным квадратурным составляющим амплитуд сигнала и его КСС позволяет получить уравнения правдоподобия

$$\sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ U_{p,r}^{c(s)} Q_p(\alpha) L_r(\omega) \right\} = A_1^{c(s)} \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ Q_p^2(\alpha) L_r^2(\omega) \right\} + A_2^{c(s)} \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ Q_p(-\alpha) Q_p(\alpha) L_r(-\omega) L_r(\omega) \right\}; \quad (1)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ U_{p,r}^{c(s)} Q_p(-\alpha) \cdot L_r(-\omega) \right\} = A_2^{c(s)} \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ Q_p^2(-\alpha) L_r^2(-\omega) \right\} + A_1^{c(s)} \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ Q_p(-\alpha) Q_p(\alpha) L_r(-\omega) L_r(\omega) \right\}. \quad (2)$$

Решением уравнений (1) и (2) являются оценки

$$A_1^{c(s)} = W_1 \cdot D^{-1}; \quad A_2^{c(s)} = W_2 \cdot D^{-1},$$

где

$$A_1^{c(s)} = \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ U_{p,r}^{c(s)} Q_p(\alpha) L_r(\omega) \right\} \right] \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ Q_p^2(\alpha) L_r^2(\omega) \right\} \right]^{-1}$$

$$- \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ U_{p,r}^{c(s)} Q_p(-\alpha) L_r(-\omega) \right\} \right] \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ Q_p^2(-\alpha) L_r^2(-\omega) \right\} \right]^{-1} - A_2^{c(s)} = \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ Q_p^2(\alpha) L_r^2(\omega) \right\} \right] \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ U_{p,r}^{c(s)} Q_p(-\alpha) L_r(-\omega) \right\} \right] - \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ Q_p(-\alpha) Q_p(\alpha) L_r(-\omega) L_r(\omega) \right\} \right] \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ U_{p,r}^{c(s)} Q_p(\alpha) L_r(\omega) \right\} \right] - D = \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ Q_p^2(\alpha) L_r^2(\omega) \right\} \right] \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ Q_p^2(-\alpha) L_r^2(-\omega) \right\} \right] - \left[ \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R \left\{ Q_p(-\alpha) Q_p(\alpha) L_r(-\omega) L_r(\omega) \right\} \right]^2.$$

Отсюда, относительный уровень КСС сигнала

$$\mu = \left( A_1^{c^2} + A_1^{s^2} \right)^{0.5} \left( A_2^{c^2} + A_2^{s^2} \right)^{-0.5}.$$

Проверка работоспособности изложенного метода была проведена путем моделирования отклика 8-канальной линейной ЦАР. На рис. 1 в кривой 1 показана частотная зависимость соотношения  $\mu$  в дБ для 8-отсчетного I/Q-демодулятора [1], 8-кратной децимации отсчетов АЦП, 16-точечного БПФ для синтеза частотных фильтров. Шаг по частоте был задан равным половине ширины АЧХ БПФ-фильтра. При увеличении размерности БПФ уровень КСС снижается. Соответствующие зависимости приведены на рис. 1 кривыми 2 и 3 для 32- и 64-точечных БПФ.

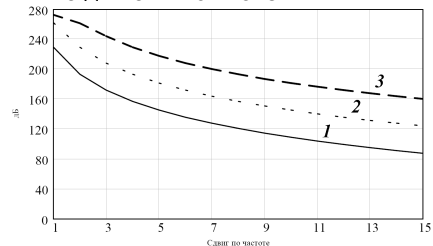


Рис. 1 — Превышение основного отклика сигнала над его КСС при смещении по частоте от центрального фильтра БПФ

## 3. Заключение

Полученные соотношения позволяют оценить качество функционирования I/Q-демодуляторов в широкой полосе изменения частоты гармонического контрольного сигнала при фиксированной частоте дискретизации АЦП.

## 4. Список литературы

- [1] Пат. №46666 Украина, МПК (2006) G01S 7/36, H03D 13/00. Спосіб додаткового стробування відліків аналого-цифрового перетворювача / В.І. Слюсар, М.В. Малярчук. — № u200909210; заявл. 07.09.2009; опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24.

**Матеріали**  
**6-ої міжнародної молодіжної науково-технічної конференції**  
**«Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій» «РТ - 2010»**

**Материалы**  
**6-ой международной молодежной научно-технической конференции**  
**«Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций» «РТ - 2010»**

**Materials of**  
**the 6-rd International Young Scientist Conference**  
**«Modern Issues in Radio Engineering and Telecommunications» «RT - 2010»**

Відповідальний за видання  
Фалалеев А.П., канд. техн. наук, доцент,  
проректор по научной работе СевНТУ

Технічний редактор	Л.А. Кареліна
Нормоконтролер	І. О. Черевкова
Комп'ютерний набір і верстка	М.А. Дурманов, О.Г. Лук'янчук, О.А. Савочкін, О.О. Редькіна, Ю.М. Тищук.

Здано в набір 22.03.2010. Підп. до друку 26.03.2010. ДК № 1272 від 17.03.2003.  
Формат 89×124М/16. Пап. тип №1. Офс. друк. Ум. друк. арк. 66,17.

Тираж 220 прим. Зам. № 243.

Видавництво СевНТУ, вул. Університетська, 33, м. Севастополь, 99053, НМЦ.  
Тел.: +38 0692 435210, e-mail: nmc@sevgtu.sebastopol.ua

Отпечатано в типографії «DigitPrint», ул. Сенявина, 1, оф. 304,  
г. Севастополь, тел. (095) 850–50–28. E-mail: DigitPrint@gmail.com