

**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;
Лукьянчук 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.

Лисовский С.В., Мигалевич С.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния подшипника качения серии 305.....	87
Лихтарёв А.И., Матюшков А.Л., Малевич И.Ю. Натурная структурно-параметрическая оптимизация приемных трактов диапазона 433 МГц	88
Нгуен Тхань Нам, Ха Киен Чунг, Чердынцев В.А. Помехоустойчивость приема составных сигналов.....	89
Паршков А.В., Васюкевич С.Ю, Мигалевич С.А. Определение дефектов подшипников качения по спектру огибающей вибросигнала.....	90
Ха Киен Чунг, Нгуен Тхань Нам, Чердынцев В.А. Квадратурная обработка составных сигналов с амплитудно-фазовой манипуляцией	91
Охріменко М.Ф. Аналіз параметрів upstream/downstream каналів мобільних мереж третього покоління.....	92
Швец О.В. Многофазные импульсные преобразователи постоянного напряжения при граничных токах дросселей.....	93
Троцишина Л.В. Вимірювання частоти за методом коінциденції в радіотехнічних та телекомунікаційних системах	94
Рожков С.М. Підвищення ефективності мережі WCDMA на основі використання технології HSDPA	95
Рачков Д.С. Повышение быстродействия адаптивной обработки на основе ленточно-диагональной регуляризации максимально правдоподобных оценок корреляционных матриц гауссовых помех.....	96
Клюева А.Н. Оценка влияния структурных особенностей тропосферы на поле за радиогоризонтом	97
Миночкин Д.А., Кравчук С.А. Методы повышения эффективности системы MIMO	98
Рублевская В.В. Исследование пропускной способности ячеистых сетей с ограниченным числом степеней свободы.....	99
Дубровский В. В., Королькова О. И., Половения С. И. Формирование хаотических сигналов, кодированных системой ортогональных функций.....	100
Дубровский В. В., Королькова О. И., Половения С. И. Обработка хаотических сигналов, кодированных системой ортогональных функций.....	101
Яландин П.Н. Оптимизация построения интерактивной телекоммуникационной сети	102
Шпилька А.А., Жук С.Я. Совместное декодирование сверточных кодов и оценивание параметров канала связи.....	103
Лимаренко П.В. Способ умножения частоты несущего колебания фазоманипулированных сигналов.....	104
Сахневич А.Л. Методика расчета дальности приема цифровых сигналов эфирного телевидения DVB-T в условиях городской застройки	105
Воропасва А.О. Ієрархічний підхід до організації управління в телекомунікаційних мережах.....	106
Буханько А.Н. Динамическая модель управления канальными ресурсами телекоммуникационной сети	107
Коваленко А.И., Шелковников Б.Н. Самоорганизующиеся сети в контексте технологии LONG TERM EVOLUTION	108
Слюсар В.И., Бондаренко М.В., Цыбулев Р.А. Метод оценивания погрешностей ортогонализации широкополосных I/Q-демодуляторов.....	109
Бухан Д.Ю. Использование линейного предсказания селективных сигналов для повышения помехоустойчивости цифровых систем связи	110
Иваницкий А.М., Рожновский М.В. Компенсация потерь в линиях с частотно-зависимыми первичными параметрами R и G с помощью эксплофункциональных сигналов.....	111

МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ I/Q-ДЕМОДУЛЯТОРОВ

Слюсар В.И., Бондаренко М.В., Цыбулев Р.А.

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 estimation I/Q-demodulator imbalance is considered. This method can use for precise estimation of amplitudes and phases errors at wide frequency band.

1. Введение

При выборе цифровых I/Q демодуляторов для формирования квадратурных составляющих сигналов в приемной системе MIMO показателем эффективности их функционирования являются погрешности ортогонализации. Для их оценивания в широком диапазоне частот не может быть использован метод, предложенный в [1], в силу его узкополосности.

В докладе представлен новый метод оценивания амплитудных и фазовых погрешностей ортогонализации, который может быть использован при произвольном соотношении частоты контрольного гармонического сигнала, подаваемого на вход I/Q демодулятора, и частоты дискретизации АЦП.

2. Основная часть

Рассмотрим контрольный гармонический сигнал, поступающий с АЦП на вход I/Q демодулятора

$$u_{n_i} = A \sin(\omega n_i T + \varphi), \quad (1)$$

где A — амплитуда сигнала; ω , φ — его частота и начальная фаза; T — период дискретизации.

По выходу I/Q демодулятора сигнал с учетом погрешностей ортогонализации может быть представлен в виде

$$\begin{cases} A \cos(\omega n_i T + \varphi) = u_{n_i}^C; \\ A(1+a) \sin(\omega n_{i+1} T + \varphi + \psi) = u_{n_{i+1}}^S, \end{cases}$$

где a , ψ — амплитудная и фазовая погрешности.

Получим выражения для параметров комплексного сигнала (1) по серии из двух произвольных отсчетов времени при условии выполнения неравенства $(n_i - n_{i+1})\omega T \neq m\pi$, $m \in Z$. Для этого составим систему уравнений

$$\begin{cases} A \cos(\omega n_i T + \varphi) = u_{n_i}^C; \\ A \cos(\omega n_{i+1} T + \varphi) = u_{n_{i+1}}^C; \\ A(1+a) \sin(\omega n_i T + \varphi + \psi) = u_{n_i}^S; \\ A(1+a) \sin(\omega n_{i+1} T + \varphi + \psi) = u_{n_{i+1}}^S. \end{cases} \quad (2)$$

Учитывая тригонометрические тождества

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos(\alpha)\cos(\beta) - \sin(\alpha)\sin(\beta),$$

$$\sin(\alpha + \beta + \gamma) = \sin(\alpha)\cos(\beta)\cos(\gamma) + \cos(\alpha)\sin(\beta)\cos(\gamma) + \cos(\alpha)\cos(\beta)\sin(\gamma) - \sin(\alpha)\sin(\beta)\sin(\gamma),$$

и, обозначив $A \cos(\varphi) = C$, $A \sin(\varphi) = S$,

$(1+a)\cos(\psi) = \tilde{C}$ и $(1+a)\sin(\psi) = \tilde{S}$, используем для определения амплитудной и фазовой погрешностей два последних уравнения системы (2). При этом так-

же понадобится решить первую пару уравнений относительно неизвестных C и S . Используя полученные из второй пары равенств в (2) оценки \tilde{C} , \tilde{S} , сформируем отношение определителей

$$\frac{\tilde{S}}{\tilde{C}} = \frac{\begin{vmatrix} C \sin(\omega T n_0) + S \cos(\omega T n_0) & u_0^S \\ C \sin(\omega T n_1) + S \cos(\omega T n_1) & u_1^S \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} u_0^S & C \cos(\omega T n_0) - S \sin(\omega T n_0) \\ u_1^S & C \cos(\omega T n_1) - S \sin(\omega T n_1) \end{vmatrix}}.$$

Разделим числитель и знаменатель (3) на величину C

$$\frac{\tilde{S}}{\tilde{C}} = \frac{u_1^S \left[\sin(\omega T n_0) + \frac{S}{C} \cos(\omega T n_0) \right] - u_0^S \left[\sin(\omega T n_1) + \frac{S}{C} \cos(\omega T n_1) \right]}{u_0^S \left[\cos(\omega T n_1) - \frac{S}{C} \sin(\omega T n_1) \right] - u_1^S \left[\cos(\omega T n_0) - \frac{S}{C} \sin(\omega T n_0) \right]}. \quad (3)$$

Из первых двух уравнений системы (2) определим

$$\frac{S}{C} = \frac{\begin{vmatrix} \cos(\omega T n_0) & u_0^C \\ \cos(\omega T n_1) & u_1^C \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} u_0^C & -\sin(\omega T n_0) \\ u_1^C & -\sin(\omega T n_1) \end{vmatrix}} = \frac{u_1^C \cos(\omega T n_0) - u_0^C \cos(\omega T n_1)}{u_1^C \sin(\omega T n_0) - u_0^C \sin(\omega T n_1)}. \quad (4)$$

Подстановка в (3) выражения (4) приводит к соотношению

$$\frac{\tilde{S}}{\tilde{C}} = \frac{u_1^S u_1^C + u_0^S u_0^C - (u_1^S u_0^C + u_0^S u_1^C) \cos((n_0 - n_1)\omega T)}{(u_0^S u_1^C - u_1^S u_0^C) \sin((n_0 - n_1)\omega T)}.$$

Отсюда имеем оценку фазовой погрешности

$$\psi = \arctan \left(\frac{u_0^C u_0^S + u_1^C u_1^S - (u_1^C u_0^S + u_0^C u_1^S) \cos((n_0 - n_1)\omega T)}{(u_0^S u_1^C - u_1^S u_0^C) \sin((n_0 - n_1)\omega T)} \right).$$

Аналогично из выражения $a = -1 + \sqrt{\tilde{C}^2 + \tilde{S}^2}$ следует оценка амплитудной погрешности

$$a = -1 + \sqrt{\frac{(u_0^S)^2 + (u_1^S)^2 - 2u_0^S u_1^S \cos((n_0 - n_1)\omega T)}{(u_0^C)^2 + (u_1^C)^2 - 2u_0^C u_1^C \cos((n_0 - n_1)\omega T)}}.$$

3. Заключение

Полученные соотношения для амплитудной и фазовой погрешностей позволяют оценить качество ортогонализации сигналов I/Q демодуляторами в широкой полосе изменения частоты гармонического контрольного сигнала при фиксированной частоте дискретизации АЦП. Результаты математического моделирования процесса оценивания указанных погрешностей в пакете Mathcad подтвердили работоспособность представленных зависимостей.

4. Список литературы

- [1] Слюсар В.И. Метод коррекции квадратурного разбаланса приемных каналов цифровой антенной решетки / В.И. Слюсар, О.Н. Солощев, И.В. Титов // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. — 2004. — Т. 47, № 2. — С. 30 — 35.

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