

электрическое сопротивление;  $c$  – удельная теплоемкость;  $r$  – плотность.

$$K_n = \frac{\rho}{c \cdot r}. \quad (2)$$

Для определения ТВХ кабельных изделий решается система уравнений, определяющих процесс теплопереноса от проводника в окружающую среду.

Безопасность электрических сетей может быть обеспечена или за счет их отключения аппаратами защиты до выхода проводников на пожароопасный режим, или за счет уменьшения токовой нагрузки системами автоматического регулирования.

УДК 004.942

### СИНТЕЗ ДИСКРИМИНАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ПОМЕХ

Артемьев В.М., Наумов А.О.

*Институт прикладной физики НАН Беларуси,  
Минск, Республика Беларусь*

**Введение.** Основной тенденцией развития радиолокации является переход к многоканальным РЛС, что позволяет повысить объем и качество получаемой информации. Одним из путей реализации этой тенденции являются многолучевые РЛС [1], которые можно разделить на две группы: с разнесенными и совмещенными лучами. В первом случае лучи разнесены на угловые расстояния порядка их ширины, сформирована веерная диаграмма направленности и обработка сигналов производится отдельно по каждому из лучей [2]. Во втором случае используется набор совмещенных лучей с общим фазовым центром и обработка сигналов производится одновременно для всех лучей [3]. Использование большего числа лучей позволяет реализовать угломерный дискриминатор с управлением его параметрами в реальном масштабе времени с целью улучшения условий захвата объекта на сопровождение, точности измерения угловых координат и помехозащищенности. Задача работы состояла в разработке метода параметрического синтеза характеристик дискриминатора, способствующих улучшению качества сопровождения в многолучевой РЛС с амплитудным мгновенным сравнением сигналов.

**Формулировка задачи.** Следящие РЛС с амплитудным мгновенным сравнением сигналов строятся исходя из принципа формирования равносигнального направления, который реализуется посредством дискриминатора, преобразующего принятые сигналы в угловые данные. Основные свойства дискриминатора определяются дискриминационной характеристикой (ДХ), типичная форма которой  $D(\vartheta)$  изображена на рис. 1.

ВТХ кабельных изделий следует рассматривать как их основную эксплуатационную характеристику, подлежащую установлению при постановке продукции на производство и оформлении сопроводительной технической документации.

#### Литература

1. Пожарная безопасность. Электропроводка и аппараты защиты внутри зданий. Правила устройства и монтажа: ТКП 121-2008 (02300). – Введ. 01.05.2008.
2. Мисюкевич, Н.С. Закон динамики теплового проявления электрического тока / Н.С. Мисюкевич // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – Химки: ФГБОУ ВПО АГЗ МЧС России. 2011. – № 4. – С. 41-44.

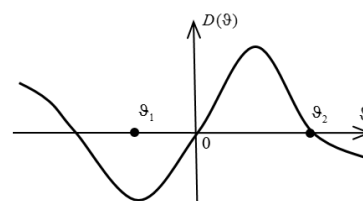


Рисунок 1 – Дискриминационная характеристика

Угол  $\vartheta = 0$  соответствует равносигнальному направлению на объект и в его районе ДХ имеет линейный участок с крутизной наклона  $k_g = \partial D(\vartheta) / \partial \vartheta |_{\vartheta=0}$ , называемой коэффициентом преобразования дискриминатора. Ширину ДХ целесообразно определять точками ее первого пересечения с нулевой осью слева  $\vartheta_1$  и справа  $\vartheta_2$  от равносигнального направления  $\vartheta = 0$  (см. рис. 1). В таких точках обратная связь системы сопровождения меняется с отрицательной на положительную, что делает систему неработоспособной.

Многолучевая антенна формирует  $n$  лучей с автономными выходами. Полагаем, что лучи лежат слева и справа от оси  $\vartheta = 0$ . Форма диаграммы каждого луча  $f_i(\vartheta - \alpha_i)$ ,  $i = \overline{1, n}$ , считается известной четной функцией относительно своей оси, направленной под углом  $\alpha_i$ . Кроме того, полагаем, что она нормирована по амплитуде, т. е.  $f_i(0) = 1$ .

В настоящей работе рассматривается метод синтеза ДХ в РЛС с амплитудной мгновенной обработкой сигналов, когда на выходе приемных каналов они имеют вид:

$$y_i(\vartheta) = u f_i(\vartheta - \alpha_i) + v_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Здесь первое слагаемое является информативной частью сигнала с амплитудой  $u$ , а слагаемое  $v_i$  определяет случайные шумы канала (индекс момента времени измерения не указан). Полагается, что характеристики приемных каналов идентичны, поэтому амплитуды  $u$  во всех каналах одинаковы.

**Алгоритм синтеза дискриминационных характеристик аддитивных дискриминаторов.** Уравнением аддитивного дискриминатора является сумма  $z(\vartheta) = \sum_{i=1}^n K_i y_i(\vartheta)$ , где вещественные весовые коэффициенты  $K_i$  определяют вес каждого из сигналов и позволяют формировать желаемые характеристики дискриминатора.

Дискриминационная характеристика определяется для случая, когда  $v_i = 0$  [3], и задается выражением  $D(\vartheta) = u \sum_{i=1}^n K_i f_i(\vartheta - \alpha_i)$  или в векторном виде:

$$D(\vartheta) = u f^T(\vartheta) \mathbf{K}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{K} = [K_1, \dots, K_n]^T$ ,  $f(\vartheta) = [f_1(\vartheta - \alpha_1), \dots, f_n(\vartheta - \alpha_n)]^T$

Задача состоит в разработке метода нахождения весовых коэффициентов  $K_i$ , обеспечивающих желаемую форму и параметры ДХ. В основе метода синтеза лежит выбор критерия оптимальности. В настоящей работе критерием оптимальности служит минимизация суммы квадратов весовых коэффициентов  $J_0 = \sum_{i=1}^n K_i^2$ , которая соответствует условию минимизации дисперсии шумов на выходе дискриминатора  $\sum_{i=1}^n K_i v_i$  при одинаковых дисперсиях статистически независимых шумов на выходах приемников [4]. При этом необходимо выполнить ряд условий, которые в векторной форме могут быть записаны в виде:

$$\mathbf{PK} = \boldsymbol{\varphi}. \quad (3)$$

где

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} f_1(\alpha_1) & \dots & f_n(\alpha_n) \\ p_{21} & \dots & p_{2n} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{m1} & \dots & p_{mn} \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{\varphi} = [\varphi_1, \dots, \varphi_m]^T, \quad \varphi_1 = 0$$

Минимизация суммы  $\sum_{i=1}^n K_i^2 = \mathbf{K}^T \mathbf{K}$  осуществлялась методом Лагранжа [5] с учетом линейных ограничений (3). В результате получено следующее выражение для оптимальных весовых коэффициентов

$$\mathbf{K} = \mathbf{P}^T (\mathbf{PP}^T)^{-1} \boldsymbol{\varphi}. \quad (4)$$

А выражение для дискриминационной характеристики имеет вид:

$$D(\vartheta) = u f^T(\vartheta) \mathbf{P}^T (\mathbf{PP}^T)^{-1} \boldsymbol{\varphi}. \quad (5)$$

**Результаты моделирования.** Полагаем, что форма диаграмм направленности всех лучей одинакова и описывается гауссовой функцией  $f(\vartheta) = e^{-9,2\vartheta^2}$ , ширина которой на уровне 0,1 выбрана равной единице, а число лучей и ограниченный выбрано равным четырем, т. е.  $n = m = 4$ . Моделирование производилось при заданных угловых смещениях лучей, равных  $\alpha_1 = -0,3^\circ$ ,  $\alpha_2 = -0,1^\circ$ ,  $\alpha_3 = 0,1^\circ$ ,  $\alpha_4 = 0,3^\circ$ . Угол  $\vartheta_1$  был выбран равным  $-0,5^\circ$ , а угол  $\vartheta_2$  задавался значениями  $0,25$ ,  $0,5$  и  $0,75^\circ$ , что должно показывать возможность формирования нулевых значений ДХ в заданных направлениях.

Для нахождения оптимальных значений весовых коэффициентов  $K_i$  и построения функций ДХ использовались выражения (4) и (5). На рис. 2 изображены кривые относительных значений ДХ  $D(\vartheta)/u$  для выбранных параметров.

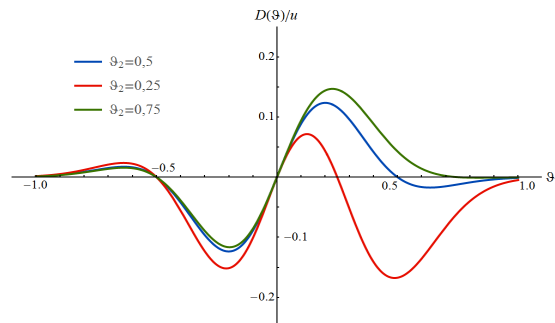


Рисунок 2 – Дискриминационные характеристики при значениях  $\vartheta_1 = -0,5^\circ$  и различных значениях  $\vartheta_2$

Полученные результаты подтверждают возможность формирования ДХ с заданными параметрами.

**Заключение.** Использование многолучевых РЛС позволило расширить возможности радиолокации путем управления параметрами угловых дискриминаторов в реальном масштабе времени. Разработан метод параметрического синтеза дискриминационных характеристик с желаемыми параметрами, такими как коэффициент преобразования, ширина и значения функции в заданных дискретных точках. Результаты могут быть использованы при создании новых или модернизации существующих РЛС для подавления влияния внешних помех.

**Литература**

1. Черняк, В.С. О новых и старых идеях в радиолокации: ММО РЛС / В.С. Черняк // Успехи современной радиоэлектроники. – 2011. – № 2. – С. 5–19.  
 2. Многолучевые радиолокаторы в составе охран-ных комплексов / под ред. И.К. Антонова. – М.: Радио-техника, 2017. – 210 с.

3. Sherman, S.M. Monopulse Principles and Tech-niques / S.M. Sherman, D.K. Barton. – Boston : Artech House, 2011. – 395 p.  
 4. Bunday, B.D. Basic Optimization Methods / B.D. Bunday. – London: Hodder Arnold, 1984. – 136 p.  
 5. Сизиков, В.С. Математические методы обра-ботки результатов измерений / В.С. Сизиков. – СПб. : Политехника, 2001. – 240 с.

УДК 621.3.049

**ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ТРЕХКООРДИНАТНЫЙ ФОТОПРИЕМНИК  
 Воровей Р.И.<sup>1</sup>, Гусев О.К.<sup>1</sup>, Колтунович Т.<sup>2</sup>, Свистун А.И.<sup>1</sup>, Тявловский К.Л.<sup>1</sup>, Шадурская Л.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
 Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Люблинский технический университет  
 Люблин, Польша

Позиционно-чувствительные фотодетекторы (ПЧФ) находят широкое применение в приборах измерения линейных и угловых перемещений [1]. Измерительные преобразователи на основе матричных фотоприёмников (ПЗС- или КМОП-матриц) имеют хорошие метрологические характеристики, однако не способны одновременно контролировать  $X$ ,  $Y$  координаты и удаленность  $Z$  объекта измерения без дополнительных оптико-механических звеньев или использования мощных DSP процессоров. Решением этой проблемы в ряде случаев может быть использование одноэлементных полупроводниковых фотоприёмников [2].

Принцип действия такого фотоприёмника основан на использовании особенностей характеристик полупроводниковой структуры, которые обеспечивают зависимость параметров выходного сигнала от местоположения светового пятна относительно центра симметрии ПЧФ по трём координатам. Работа прибора основана на использовании при формировании измерительного сигнала латеральной фото-ЭДС для определения  $X$  и  $Y$  координат светового пятна, а для определения  $Z$  координаты сфокусированного светового пятна изображения объекта диффузионно-дрейфовых процессов в базе диодной или транзисторной структуры [3, 4]. Такая приборная структура имеет 5 контактов для снятия сигнал  $X$  и  $Y$  координат и 2 контакта для формирования сигнала о  $Z$ -координате светового пятна изображения объекта (рисунок 1).

Алгоритм работы трёх-координатного ПЧФ на первом этапе измерения  $X$  и  $Y$  координат светового пятна включает их совмещение методом электронной компенсации с началом координат, а на втором этапе – измерение  $Z$  координаты.

В качестве основы для изготовления макета ПЧФ использовалась эпитаксиальная структура

На высокоомной стороне структуры формировался гетеропереход с использованием пиролитического осаждения оптически полупрозрачной пленки  $SnO_2$ . Омические контакты создавались напылением алюминия с последующим вжиганием.

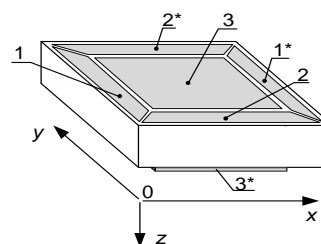


Рисунок 1 – Структура трёх-координатного позиционно-чувствительного фотодетектора

На рисунке 2 приведены экспериментальные координатно-чувствительные характеристики приборной гетероструктуры ПЧФ. Индексы напряжений фото-ЭДС соответствуют номерам контактов структуры на рисунке 1. Как видно,  $X$ ,  $Y$  координатные зависимости измерительного сигнала линейны во всем диапазоне чувствительности ПЧФ. Изменение начала отсчета (смещение нулевого значения  $X$ ,  $Y$  координат) может быть выполнено путем приложения дополнительного электрического смещения к соответствующим контактам структуры.

Экспериментальная структура кремниевого ПЧФ характеризовалась шумами на уровне 10 мкВ, поэтому при измерениях использовалось импульсное освещение структуры, а регистрация сигналов производилась на переменном токе.

На рисунках 3 и 4 приведены координатная для оси  $z$  и спектральные характеристики кремниевой структуры ПЧФ.

Координатная характеристика чувствительности ПЧФ структуры  $nSnO_2-nSi-Al$  по оси  $z$  (рисунок 3) приведена как зависимость фото-ЭДС

$$\frac{20 \text{ КЭФ } 1,8}{200 \text{ КЭС } 0,01}$$