

УДК 621.396.67

УСТРАНЕНИЕ ФАЗОВЫХ ОШИБОК НА ЭЛЕМЕНТАХ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА ЗА СЧЕТ КОМПЕНСАЦИИ НАБЕГА ФАЗ В ФИДЕРЕ

В. И. Невзоров, П. В. Савочкин, С. Ю. Сёмин, Р. Г. Никитин
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,
197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13

Статья поступила в редакцию 29 мая 2017 г.

Аннотация. В работе рассмотрен способ устранения фазовых ошибок, возникающих при передаче сигнала к элементам фазированной антенной решетки и связанных с различием длин фидеров, изменением их погонной длины, а также с изменением параметров диэлектрических материалов. Предлагается применять устройство компенсации фазовых ошибок, представляющее систему автоматического регулирования, и выполняющее роль калибратора фидерной линии, работающего в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, фазовые ошибки, фидерные линии, амплитудно-фазовое распределение.

Abstract. On the feed line of the HF radar is influenced by various interference factors. One of these factors may be temperature change. Under the influence of a randomly changing temperature the length of the feeder lines changes, and hence the conditions of propagation of electromagnetic waves can be changed. Unreported changes in the conditions of propagation of electromagnetic waves leads to the appearance of spurious phase shifts (phase errors) and as a result the distortion of the amplitude-phase distribution on the aperture antenna. It is known that the change of amplitude-phase distribution inevitably changes the shape of the directivity pattern of the antenna, which is often undesirable.

The aim of this work is to examine the effect of temperature on the magnitude of phase errors and the development of structural-functional scheme of the device for

automatic compensation of changes of phase shifts caused by the feeder system, in real time.

In the article the analysis of the effect of temperature on the magnitude of phase errors is made, and also the implementation of the method of compensation of these phase errors is examined. So, to eliminate distortion of the phase distribution at the aperture of the antenna array the method of the automatic compensation of phase shifts in the feeders is proposed. It is based on the introduction of a feedback channel from the input emitter to the output of the active module and the implementation of the principles of closed-loop systems. This feedback is the same feeder, in which vibrations are input to the transmitter. Such system becomes adaptive to the difference of the lengths of the feeders and change of their parameters under the influence of uncontrollable external factors.

Key words: phased antenna array, phase mistakes, feeding line, amplitude-phase distribution.

Применение в радиолокации коротковолнового диапазона обусловлено увеличением дальности обнаружения объектов по сравнению с дециметровым и сантиметровым диапазоном. Однако это связано с трудностями создания необходимой ширины диаграммы направленности, коэффициента усиления и сектора обзора антенной системы, работающей в таком диапазоне волн. Для реализации необходимых параметров таких радиолокационных станций, антенные системы получают достаточно протяженными. Их продольные размеры составляют от 1 до 3 км.

Антенно-фидерная система является активной фазированной решеткой, излучатели которой, как правило, линейные антенны, установлены над поверхностью земли на мачтах. Каждый излучатель запитывается от передатчика с помощью коаксиального кабеля через активный модуль, который обеспечивает необходимое усиление мощности и фазовый сдвиг колебаний. Совокупность этих модулей представляет собой диаграммо-образующую схему (ДОС).

Для формирования требуемой формы диаграммы направленности, а также ориентации ее максимума в пространстве с помощью ДОС необходимо сформировать на элементах решетки соответствующее амплитудно-фазовое распределение. В силу большой протяженности фидерного тракта от передатчика к излучателям возникает задача обеспечения передачи начальной фазы колебаний с выхода активного модуля на вход излучателя, независимо от длины фидера. Искажение фазового распределения, обусловленное неодинаковой длиной фидеров, а также воздействием внешних факторов, влияющих на их параметры и характеристики, вызывало бы расширение основного лепестка диаграммы направленности антенной решетки, увеличение уровня боковых лепестков, изменение направления её максимума [1]. Все это влечет за собой уменьшение дальности обнаружения объектов, за счет «размазывания» электромагнитной энергии в более широком угловом секторе, возникновению ошибок местоопределения, за счет несовпадения реального и расчетного направления максимума диаграммы направленности [2].

В настоящее время основным способом компенсации фазовых ошибок является калибровка фидера при монтаже антенной системы, а также его периодическая калибровка, позволяющая с определенной дискретностью во времени уточнять значение фазового сдвига передаваемого сигнала. Однако данные методы не обеспечивают непрерывного измерения фазового сдвига, вызванного различными факторами, и его компенсации в процессе передачи сигнала. Изменение длины фидера, за счет воздействия окружающей температуры носит случайных характер, что дополнительно требует постоянного контроля фазовых сдвигов, вызванных данным фактором.

Возрастающие требования к повышению точности радиолокационных измерений приводит к необходимости непрерывного контроля амплитудно-фазового распределения на апертуре антенной решетки. Это в свою очередь влечет необходимость автоматической компенсации изменений фазовых сдвигов, вызванных фидерным трактом, в реальном масштабе времени.

Удлинение коаксиального кабеля, являющегося основным видом фидера, соединяющего передатчик и излучатели антенной системы, рассчитывается по формуле:

$$l = l_0(\alpha_1 \Delta T + 1), \quad (1)$$

где l_0 [м] – начальная длина коаксиального кабеля; $\alpha_1 = 0,000017 [1/^\circ\text{C}]$ – температурный коэффициент линейного расширения (приведен для меди, используемой в производстве коаксиальных кабелей) [3]; ΔT [°C] – диапазон изменения температуры кабеля, за счет воздействия окружающей среды и других факторов.

На рис. 1 представлен график зависимости изменения длины кабеля от температуры. Длина кабеля была взята равной 3000 м, диапазон изменения температуры 40°С. Как видно из графика при самых неблагоприятных внешних факторах, удлинение кабеля может достигать 2 м. При длинах волн от 10 до 30 м, на которых работают рассматриваемые радиолокационные системы, удлинение кабеля на 2 метра приведет к значительной фазовой ошибке, составляющей 72...36 градусов.

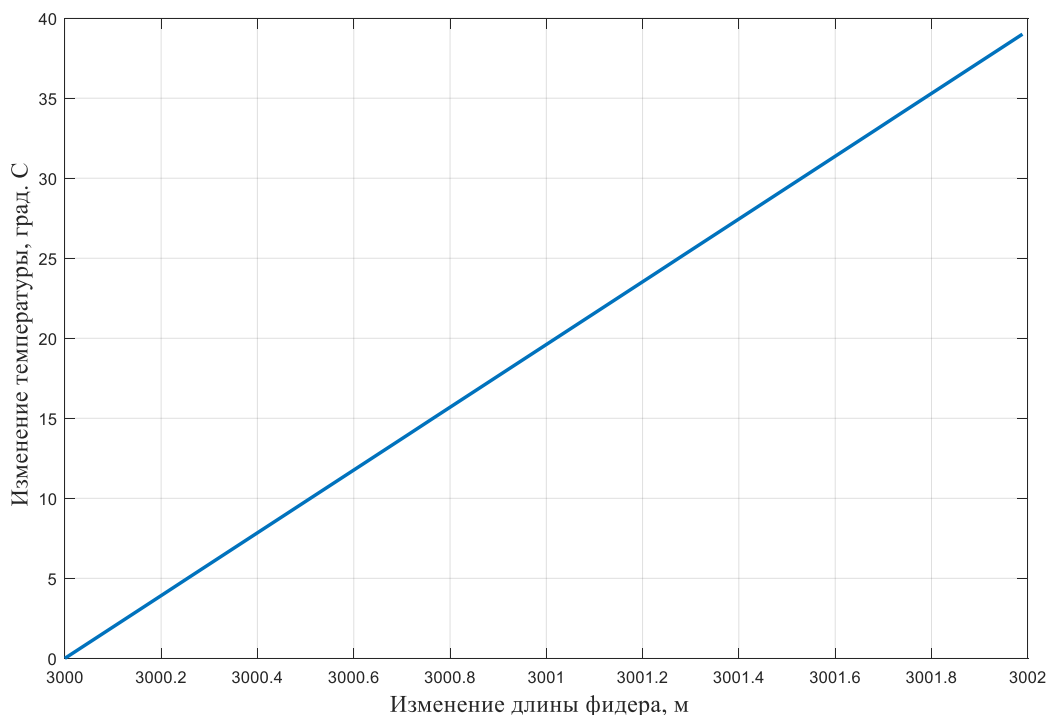


Рисунок 1. Зависимость изменения длины кабеля от температуры.

Для устранения искажений фазового распределения на апертуре антенной решетки предлагается способ автоматической компенсации фазовых сдвигов в фидерах. Он имеет в своей основе введение канала обратной связи от выхода излучателя на выход активного модуля, и реализацию принципов работы замкнутых систем автоматического регулирования. При этом обратная связь осуществляется по тому же фидеру, по которому колебания поступают на вход излучателя. Такая система становится адаптивной как к различию длин фидеров, так и к изменению их параметров под воздействием неконтролируемых внешних факторов.

Предлагаемый способ компенсации фазовых ошибок, позволяет передавать амплитудно-фазовое распределение сигналов, сформированных на выходе активных модулей, через фидеры на входы излучателей антенной решетки с нулевой ошибкой.

Функциональная схема компенсатора фазовых ошибок, представляющего собой систему автоматического регулирования (адаптивную цепь сравнения и преобразования фаз колебаний (ЦСПФ)), и выполняющего роль калибратора фидерной линии, представлена на рис.2.

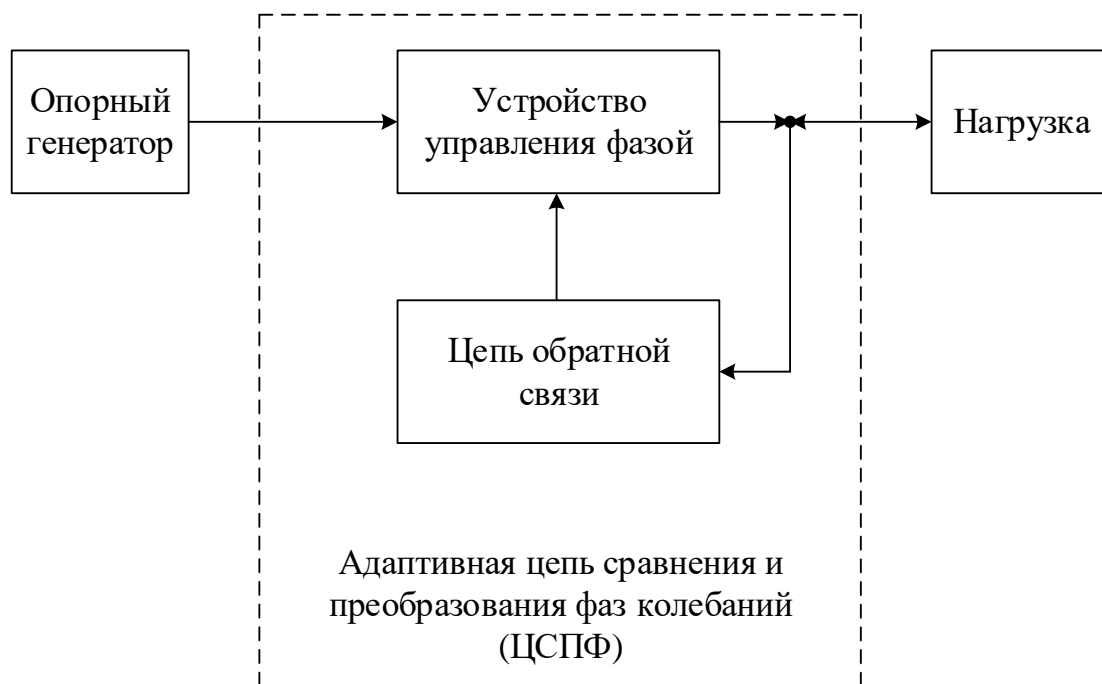


Рисунок 2. Структурная схема адаптивной цепи сравнения и преобразования фаз колебаний.

Принцип работы ЦСПФ заключается в сравнении фаз колебаний с выхода ДОС и с выхода цепи обратной связи и последующей автоматической компенсации фазовой ошибки, обусловленной распространением сигнала по фидеру произвольной длины, с учетом изменения его параметров за счет воздействия внешних факторов.

Возможны различные схемы построения ЦСПФ, как замкнутых систем автоматического регулирования. Компьютерное моделирование одной из таких схем показало, что компенсация фазовых ошибок, вызванных случайным изменением длины фидера, происходит в реальном масштабе времени.

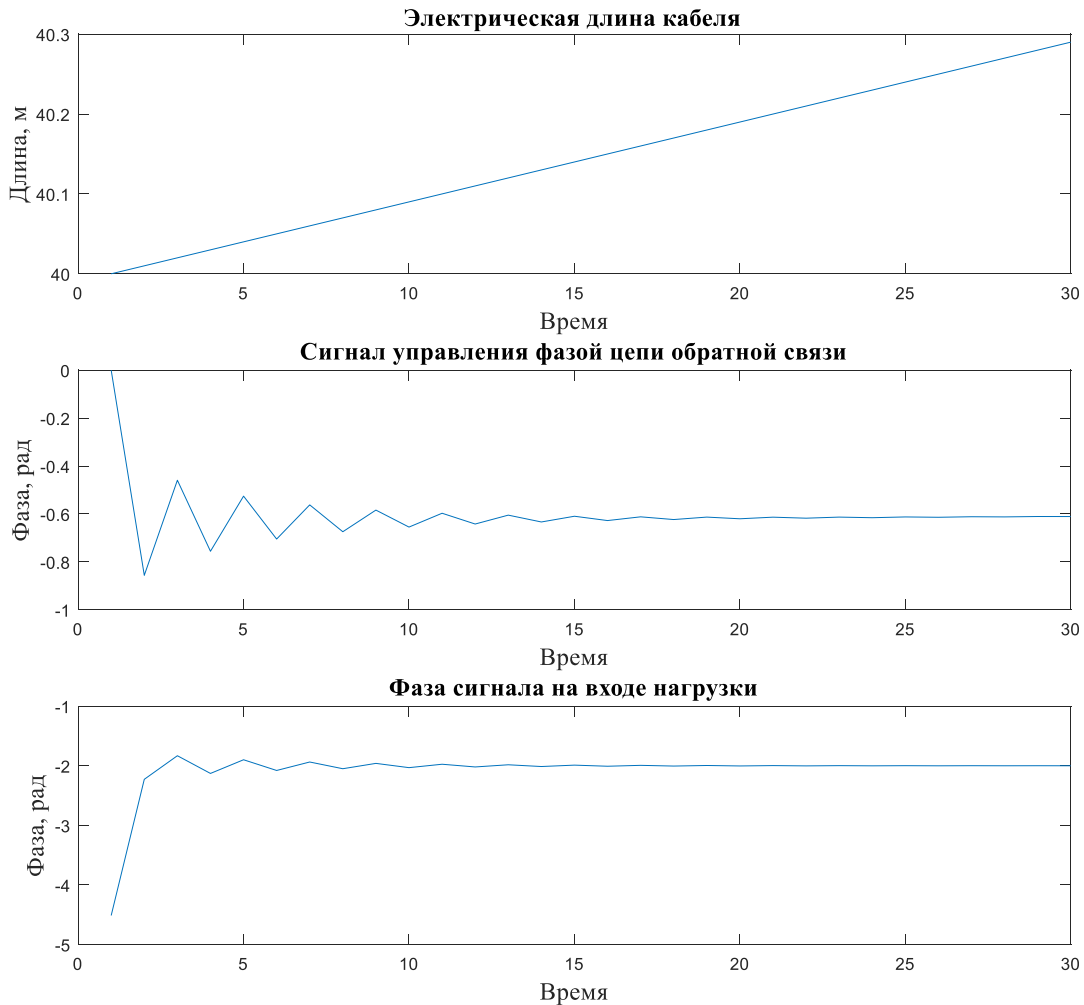


Рисунок 3. Принцип работы цепи сравнения и преобразования фаз колебаний.

При моделировании начальная фаза сигнала была выбрана - 2 радиана. При этом сигнал управления с цепи обратной связи, подаваемый на устройство управления фазой представлен на среднем графике рис.3. Показано (рис. 3), что даже при изменении электрической длины фидера во времени (верхний график рис.3), система позволяет передавать требуемую фазу с выходов ДОС на элементы решетки с нулевой ошибкой (нижний график рис.3).

На рис. 4 представлена структурная схема включения ЦСПФ в фидерный тракт фазированной антенной решетки.

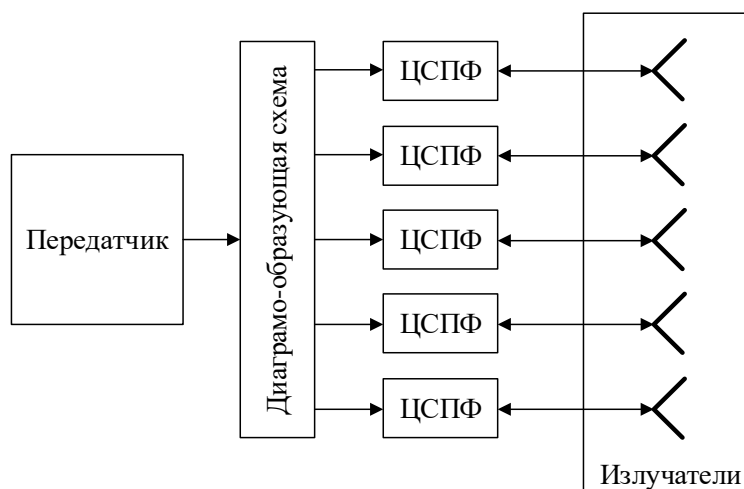


Рисунок 4. Применение схемы компенсатора фазовых ошибок в фазированной антенной решетке.

Колебания с выхода ДОС подаются на вход ЦСПФ. С выхода ЦСПФ колебания передаются по фидеру произвольной длины на излучатели антенной решетки, которые являются нагрузкой. Часть энергии отражается и идет в обратном направлении к ЦСПФ по тому же фидеру. В ЦСПФ происходит разделение прямой и отраженной волн на соответствующие им каналы. Начальная фаза отраженного сигнала, в этих каналах, сдвинута на удвоенный фазовый сдвиг, зависящий от электрической длины фидера. В устройстве ЦСПФ производится сравнение фаз колебаний прямой и отраженной волны. В результате определяется фазовый сдвиг сигнала. Этот фазовый сдвиг в устройстве ЦСПФ используется для коррекции фазы колебаний от диаграмо-образующей схемы. В результате на апертуре антенной решетки формируется

фазовое распределение, не зависящее от ошибок, за счет распространения сигналов по фидерам.

ЦСПФ представляют собой однотипные устройства, к достоинствам которых относится высокая потенциальная точность и простота изготовления. Данные устройства калибруются на этапе сборки, и в дальнейшем требуют только периодической поверки.

Описанный выше способ обеспечивает передачу начальной фазы колебаний от ДОС к элементам антенной решетки независимо от длины фидера и возмущающих воздействий. В результате производится автоматическая калибровка фидера в реальном масштабе времени, и тем самым повышается точность формирования амплитудно-фазового распределения в фазированных антенных решетках радиолокационных систем.

Литература

1. Воскресенский Д.И. и др. Антенны и устройства СВЧ/ под. ред. Д.И. Воскресенского. Учебник. – 2-е изд. – Москва: МАИ, 1993.
2. Шацкий Н.В. и др. Система управления техническим состоянием малоэлементных антенных решеток на основе модели антенной решетки при наличии ошибок реализации фаз в ее каналах/ Известия Южного федерального университета. Технические науки. Выпуск 1(150)/2014, стр.19-28.
3. Н.И. Белоруссов, И.И. Гроднев. Радиочастотные кабели. Госэнергоиздат, 1959.

Ссылка на статью:

В.И.Невзоров, П.В.Савочкин, С.Ю.Сёмин, Р.Г.Никитин. Устранение фазовых ошибок на элементах антенной решетки коротковолнового диапазона за счет компенсации набега фаз в фидере. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №8. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/aug17/1/text.pdf>