
УДК 621.396.677.494

В.Д. Карлов¹, Н.Н. Петрушенко², Д.В. Карлов¹, Г.А. Головин³

¹Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

²Главная инспекция Министерства обороны Украины, Киев

³В/ч А-0156

МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Рассматривается метод диагностики фазированной антенной решетки, реализуемый из ближней зоны антенны на месте её базирования в полевых условиях, позволяющий исключить влияние эхо-сигналов на результаты диагностики. приведена структурная схема измерительно-вычислительной системы встроенного контроля фазированной антенной решетки реализующая метод дискретного преобразования Уолиша и рассмотрена в полевых условиях. При этом рассмотрена возможность реализации в представленной системе методы дискретного преобразования Уолиша применительно к случаю, когда на измерительной площадке присутствуют эхо-сигналы и возможны ошибки в позиционировании измерительного зонда.

Ключевые слова: диагностика ФАР, эхо-сигналы.

Введение

Диагностика фазированной антенной решетки (ФАР) в полевых условиях в настоящее время реализуется системой встроенного контроля. Преимуществом методов встроенного контроля является тот факт, что они реализуемы практически в любое время на месте базирования ФАР. Недостаток – методы не дают информацию о действительно реализуемом в апертуре антенны амплитудно фазового распределения (АФР). Известны только количество и номера каналов ФАР, в которых произошли отказы сверх высокочастотных (СВЧ) устройств.

Методы СВЧ диагностики ФАР позволяют реконструировать АФР в антенне и реализовать на

этой основе методы адаптации управления решеткой к обнаруженным в АФР дефектам. Известные и описанные в [1,2,3] методы СВЧ диагностики из ближней зоны реализуемы только в безэховых камерах или на специально оборудованных полигонах.

Для решения задач адаптации ФАР к техническому состоянию и увеличению времени ее эксплуатации в экстремальных условиях, необходимо иметь методы встроенной СВЧ-диагностики ФАР на месте ее базирования.

Целью статьи является разработка метода СВЧ диагностики ФАР, реализуемого из ближней зоны антенны на месте ее базирования, и позволяющего исключить влияние эхо-сигналов (ЭС) на результаты диагностики.

Анализ литературы. Диагностика ФАР из ближней зоны описана в [2,3], а из дальней зоны и в присутствии ЭС в [4]. Используя методику измерения коэффициента передачи (КП) между исследуемой ФАР и зондом в ближней зоне [2,3] и способ учета ЭС из [4], можно решить поставленную задачу диагностики ФАР из ближней зоны в присутствии ЭС.

Постановка задачи. Структурная схема измерительно-вычислительной системы (ИВС) и исследуемой ФАР показана на рис. 1.

измерительный зонд (ИЗ) расположен на направлении нормали к апертуре исследуемой ФАР на расстоянии r_0 (в ближней зоне). Критерий выбора r_0 описан в [2].

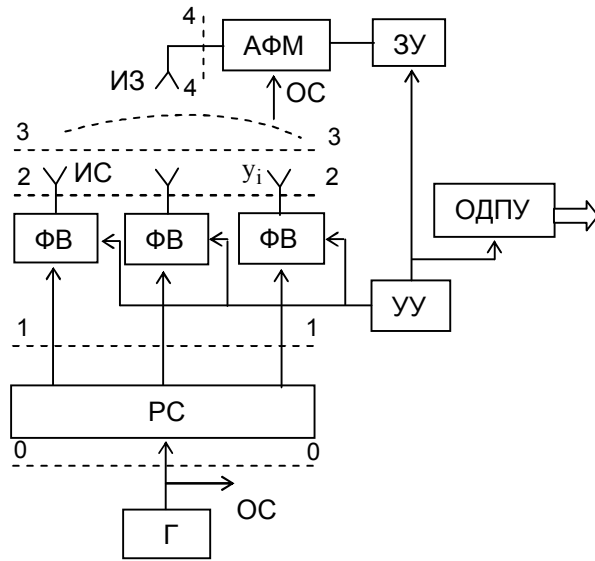


Рис. 1. Структурная схема ИВС встроенного контроля ФАР методом ДПУ

Г – генератор; РС – распределительная система; ФВ – фазовращатель; ИС – излучающая система; ИЗ – измерительный зонд; АФМ – амплифазометр; ЗУ – запоминающее устройство; ОДПУ – обратное дискретное преобразование Уолша (ДПУ); УУ – управляющее устройство, ОС – обратная связь

Представим распределение токов возбуждения ФАР $I_{ei}(\theta_\delta)$ как отношение этого тока к комплексной амплитуде (КА) ЗС, рис.1:

$$I_{ei}(\theta_\delta) = K_{pi} \Phi_i(\theta_\delta) [1 - \Gamma_i(\theta_\delta)], \quad i \in 0, N-1; \quad (1)$$

где θ_δ – направление фазирования решетки; K_{pi} – КП распределительной системы (РС); $\Phi_i(\theta_\delta)$ – КП ФВ при ориентации луча в направлении θ_δ ; $\Gamma_i(\theta_\delta)$ – коэффициент отражения в тракте i -го излучателя, обусловленный взаимной связью излучателей (ВСИ); N – число излучателей в ФАР. При отсутствии ЭС в ИЗ наведется ЭДС, равная [2,3]

$$X(\theta_\delta) = \sum_i I_{ei}(\theta_\delta) G_i(\theta_i) \rho_i(\theta_i), \quad i \in 0, N-1; \quad (2)$$

где $G_i(\theta_i)$ – отсчет КА диаграммы направленности (ДН) i -го излучателя в направлении вектора \vec{r}_i , соединяющего i -й излучатель с ИЗ; $\rho_i(\theta_i)$ – КП от выхода i -го излучателя до выхода ИЗ; численно, согласно [2], он равен

$$\rho_i(\theta_i) = \frac{\sqrt{K_z}}{2k_0 r_i} \exp(-\gamma k_0 r_i) g_z(-\theta_i), \quad (3)$$

где r_i – расстояние между i -м излучателем и ИЗ; K_z, g_z – коэффициент усиления и нормированная ДН ИЗ; $k_0 = 2\pi\lambda^{-1}$ – волновое число.

При наличии ЭС (2) можно представить в виде

$$X_z(\theta_\delta) = \sum_i I_{ei}(\theta_\delta) G_i(\theta_i) \rho_i(\theta_i) M_i, \quad (4)$$

где $M_i = 1 + \mu_i = 1 + \sum_u \rho_{ui} R_{ui} G_{ui} / (\rho_i G_i)$, (5)

$u \in 1, U$ – номера источников ЭС; ρ_{ui} – КП от источника u -го ЭС до ИЗ; R_{ui} – коэффициент отражения ЗС i -го канала от источника u -го ЭС; G_{ui} – численное значение ДН i -го излучателя в направлении источника u -го ЭС.

Комплексные коэффициенты μ_i неизвестны и зависят от числа и координат дискретных точек формирования ЭС, а также коэффициентов отражения в них R_{ui} . Такое представление M_i удобно тем, что величина M_i не зависит от амплитуды и фазы ЗС (она осталась в множителе $I_{ei}(\theta_\delta)$). Из (4) следует, что наличие ЭС на измерительной площадке приводит к искажению отклика зонда. Совокупное действие ЭС можно сравнить с появлением на входе ИЗ модулирующей помехи M_i , искажающей отклик зонда на излучение из каждого канала ФАР.

Основной материал

Рассмотрим метод управления диагностики, позволяющий из суммарного отклика зонда $X_z(\theta_\delta)$ выделить $\Phi_i(\theta_\delta)$.

Процедура выделения из суммарного отклика зонда парциальных откликов, принадлежащих откликам на излучение из каждого канала, известна. Она заключается в организации измерительных экспериментов, представляющих последовательное во времени применение прямого ДПУ к излучаемым ФАР зондирующим сигналам [4,5]

$$Y_r(\theta) = \sum_i I_{ei}(\theta_\delta) G_i(\theta_i) w_{ri} \rho_i(\theta_i) M_i, \quad r \in 0, N-1; \quad (7)$$

где $Y_r(\theta)$ – отклик ИЗ на r -ый прямого ДПУ; w_{ri} – функции Уолша, упорядоченные по Адамару или Пэли, и принимающие только два значения (+1) или (-1), [6]; n_r – КА шума (включая погрешности измерения) при измерении Y_r .

Реализуются функции w_{ri} фазовращатели (ФВ) ФАР, причем (+1) соответствует сдвигу фазы в i -м канале на 0° , а (-1) – сдвигу фазы на 180° .

Численные значения $Y_r(\theta)$ необходимо зафиксировать в запоминающем устройстве (ЗУ, рис.1).

После завершения N процедур прямого ДПУ к вектору $Y_r(\theta)$ необходимо применить процедуру обратного ДПУ. В результате получим вектор оценок

$$\hat{y}_i(\theta) = N^{-1} \sum_i Y_r(\theta) w_{ri} = I_{ei}(\theta_\delta) G_i(\theta_i) \rho_i \times \\ \times (\theta_i) M_i + \hat{n}_i, \quad \hat{n}_i = N^{-1} \sum_r n_r w_{ri}. \quad (8)$$

Для выделения из (8) множителя $I_{ei}(\theta_\delta)$ предлагается следующий прием. Все ФВ решетки одновременно переводятся в одно из $n \in 0, L-1$ (где $L = 2^m$, m – число разрядов ФВ) состояний. Это означает фазирование антенны в направлении $\theta_\delta = 0$, но все ФВ при этом находятся в n -м состоянии. Оценки откликов ИЗ при этом

$$\hat{y}_i(n) = I_{ei}(n) G_i(\theta_i) \rho_i(\theta_i) M_i. \quad (9)$$

Если теперь взять отношения $\hat{y}_i(n)$ к $\hat{y}_i(0)$, где $\hat{y}_i(0)$ – отклик ИЗ при обнуленных (обесточенных) ФВ, то получим

$$\gamma_{i,n} = \frac{\hat{y}_i(n)}{\hat{y}_i(0)} = \frac{I_{ei}(n)}{I_{ei}(0)} = \frac{\Phi_i(n)[1-\Gamma_i(n)]}{\Phi_i(0)[1-\Gamma_i(0)]}. \quad (10)$$

Коэффициенты отражения (КО) $\Gamma_i(n)$ и $\Gamma_i(0)$ характеризуют отражения в ФАР при ориентации луча по нормали к апертуре антенны. В этом положении луча, как правило, излучатели со своими трактами согласованы и $\Gamma_i(n) = \Gamma_i(0) \approx 0$. Следовательно, из (10) получаем, что искомые КП ФВ

$$\Phi_i(n) = \Phi_i(0) \gamma_{i,n}. \quad (11)$$

В соотношении (11) $\gamma_{i,n}$ – отношения измеренных откликов ИЗ, а КП ФВ $\Phi_i(0)$ хранятся в памяти процессора системы управления лучем (СУЛ) [7]. Это означает, что неизвестные КП ФВ во всех их состояниях и в каждом канале $\Phi_i(n)$ могут быть реконструированы и также занесены в память процессора СУЛ.

Таким образом, в статье произведено усовершенствование метода диагностики ФАР, базирующегося на процедурах ДПУ (метод ДПУ). Целью усовершенствования было приспособление метода ДПУ для исследования ФАР в условиях, когда на измерительной площадке присутствуют ЭС и возможны ошибки в позиционировании ИЗ (полевые условия, ФАР в составе РЛС размещена на боевой позиции).

Суть усовершенствованного метода заключается в выделении из отклика ИЗ парциальных откликов зонда на излучение каждым из каналов, для ка-

ждого из ожидаемых направлений фазирований, и принятых совместно с ЭС. В качестве нормирующего множителя, позволяющего удалить из результатов реконструкции парциальных откликов ЭС $M_i(U)$ и КП $\rho_i(r_i, \theta_i)$, предлагается выбрать отклики тех же каналов при обнулении ФВ (луч по нормали к апертуре). Возможность их компенсации путем деления откликов ИЗ на излучение из одного и того же канала при одинаковых направлениях фазирования решетки следует из того факта, что парциальные отклики зонда на прямой зондирующий сигнал и ЭС, при любом фазировании, зависят от двух множителей: $I_{ei}(\theta_\phi)$ – зависящего только от состояния ФВ $\theta_\phi = n$ и $G_i(\theta_i)$, зависящего только от местоположения ИЗ относительно i -го канала ФАР. Это означает, что, если в процессе экспериментов меняются токи, а положение ИЗ не меняется, то множители, зависящие только от θ_i , сокращаются. Метод реализуем в решетках, согласованных в направлении нормали к ее апертуре и при наличии априорных сведений о КП ФВ в исходном (обесточенном) состоянии.

Выводы

Разработан метод диагностики ФАР, позволяющий исключить влияние на точность диагностики ЭС, присутствующих на измерительной площадке, и погрешностей в позиционировании ИЗ. Предложенный метод дает возможность реализовать СВЧ диагностику антенны из ближней зоны, на месте ее базирования. Результаты СВЧ диагностики предполагается использовать для реализации различных способов адаптации ФАР к техническому состоянию, заметно увеличивая срок ее эксплуатации.

Список литературы

1. Шишов Ю.А. Адаптация управления ФАР по результатам встроенного контроля / Ю.А. Шишов, А.М. Голик // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1990. – № 9. – С. 69-89.
2. Бубнов Г.Г. Коммутационный метод измерения характеристик ФАР / Г.Г. Бубнов, С.М. Никулин, Ю.Н. Серяков. – М.: Радио и связь, 1988. – 120 с.
3. Воронин Е.Н. Реконструктивные антенные измерения / Е.Н. Воронин, Е.Е. Нецаев, В.Ф. Шапченко. – М.: Наука, 1995. – 352 с.
4. Шифрин Я.С. Бесфазовые методы диагностики фазированных антенных решеток / Я.С. Шифрин, У.Р. Лиешин // *Антенны*. – 2000. – Вып. 1(44). – С. 84-99.
5. Активные ФАР / Под ред. Д.И. Воскресенского, А.И. Канащенкова, гл.13. – М.: Радиотехника, 2004. – С. 351-370.
6. Хармут Х. Теория секвентного анализа. Основы ее применения / Х. Хармут. – М.: Мир, 1980. – 574 с.
7. Самойленко В.И. Управление фазированными антенными решетками / В.И. Самойленко, Ю.А. Шишов. – М.: Радио и связь, 1983. – 240 с.

Поступила в редколлегию 7.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

МЕТОД ДІАГНОСТИКИ ФАЗОВАНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

В.Д. Карлов, М.М. Петрушенко, Д.В. Карлов, Г.А. Головін

Розглядається метод діагностики фазованих антенних решіток, що реалізовується з близької зони антени на місці її базування в польових умовах, дозволяє виключити вплив луна-сигналів на результати діагностики. приведена структурна схема вимірник обчислювальної системи вбудованого контролю фазованих антенних решіток, що реалізовує метод дискретного перетворення Уолша і розглянута в польових умовах. При цьому розглянута можливість реалізації в представленій системі методи дискретного перетворення Уолша стосовно випадку, коли на вимірювальному майданчику присутні луна-сигнали і можливі помилки в позиціонуванні вимірювального зонда.

Ключові слова: діагностика ФАР, луна-сигнали.

A METHOD OF DIAGNOSTICS OF PHASED ARRAY ANTENNA IS IN THE FIELD TERMS

V.D. Karlov, M.M. Petrusenko, D.V. Karlov, G.A. Golovin

The method of diagnostics of phased array, realized from the near area of aerial in place of its basing in the field terms, allowing to eliminate influence of echo signal on the results of diagnostics, is examined. the flow diagram of the measuring computer system of built-in control of phased array is resulted realizing the method of discrete transformation of Walsh and considered in the field terms. Marketability is thus considered in the presented system methods of discrete transformation of Walsh as it applies to a case, when on a measuring ground echo signal is present and errors are possible in keeping of measuring probe.

Keywords: diagnostics of headlights, echo signal.