

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН

Усин В. А.¹, Ковальчук В. А.², Марков В. И.³, Филоненко А. Б.³
¹Харьковский Национальный университет радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, Харьков - 61166, Украина
e-mail: usin_va@rambler.ru

² Харьковский университет Воздушных Сил,
ул. Клочковская, 228, Харьков, 61184, Украина

³ ОАО «Холдинговая компания «Укрспецтехника»
ул. Трутенко 2, Киев - 03022, Украина

Тел.: +3804633-44423; e-mail: Markov_VI@ust.ic.com.ua

Аннотация – Предлагается метод измерения параметров антенн в ближней зоне излучения, сочетающий элементы амплитудного (бесфазового) и голографического (амплитудно-фазового) методов. Такой подход существенно облегчает решение задачи достоверного восстановления ДН при достаточно умеренных требованиях к техническим характеристикам автоматизированных измерительных комплексов и точности измерения фазового распределения поля.

I. Введение

Широко распространенные голографические методы настройки и испытаний антенн основаны на измерении амплитудно-фазового распределения (АФР) на заданной поверхности и последующем преобразовании результатов измерений АФР в ближнем поле излучения в поле дальней зоны – диаграмму направленности (ДН) антенны [1, 2]. Этот метод требует проведения достаточно точных измерений амплитуды и фазы. Известно, что проведение измерений амплитудного распределения (АР) поля с относительно высокой точностью существенно проще, чем фазового распределения (ФР), на точность измерения которого существенно влияет стабильность параметров подвижной линии передачи опорного (измерительного) сигнала, ошибки установки зонда в заданное положение и его отклонение от поверхности сканирования, температурная зависимость и ряд других факторов [1, 2].

Поэтому представляются весьма желательными поиски других, альтернативных методов решения задачи достаточно точного восстановления ДН. Одним из них является амплитудный метод (АМ), позволяющий заметно расширить область применения существующих (относительно недорогих) автоматизированных измерительных комплексов (АИК) ближнего поля [3]. Суть АМ состоит в восстановлении характеристик антенн по результатам измерения только амплитудного распределения на двух поверхностях, расположенных вблизи антенны [4-7].

В отличие от голографических, амплитудные методы не требуют фазовых измерений ближнего поля. Поэтому целесообразно сочетать возможности АМ с существующими методами ближнезонных измерений.

Целью настоящей работы является:

- анализ влияния различных факторов на точность восстановления АФР и ДН амплитудным методом;
- анализ возможностей измерений параметров антенн комбинированным методом, сочетающим амплитудный и голографический методы.

II. Основная часть

Теоретические вопросы определения АФР на апертуре антенны и, соответственно, восстановления ДН по амплитудным измерениям достаточно

подробно рассмотрены в [4]. С точки зрения теории электромагнитного поля задача восстановления поля антенны в дальней зоне по известному ближнему полю на поверхности, охватывающей антенну, относится к краевым задачам электродинамики. В наиболее простом случае измерений на плоскости, поля на плоскостях в ближней и дальней зоне связаны (с точностью до несущественных множителей) преобразованием Фурье. В результате обработки амплитудных измерений в ближней зоне требуется восстановить информацию о фазе ближнего поля (решить «фазовую проблему»). Суть большинства алгоритмов восстановления ФР заключается в увеличении объема измерительной информации за счет измерения АР поля на дополнительной поверхности и использовании априорных данных об антенне [5].

Амплитудные данные на каждой измерительной плоскости представляют собой входные данные, используемые для реконструкции фазы. Результатом выполнения итераций являются комплексные амплитудно-фазовые распределения на плоскости апертуры и на каждой из двух измерительных плоскостей. Рассчитанная метрика ошибок на двух измерительных плоскостях в этом случае оценивается для принятия решения о продолжении или завершении итерационного процесса. Соответствующий критерий завершения процесса включает как абсолютную величину максимальной ошибки, так и предел сходимости ошибки. Если критерий завершения выполняется, программа заносит полученные значения амплитуды и фазы на апертуре и двух измерительных плоскостях в память и прекращает итерационный процесс. Если критерий не выполняется, процесс продолжается до его удовлетворения. ДН и параметры антенны рассчитываются по полученным амплитудно-фазовым распределениям на любой из этих плоскостей, используя стандартные методы

Точность восстановления фазового распределения (ФР) зависит от многих факторов и, прежде всего, от близости «начальной оценки» АФР в антенне к действительному амплитудному и ФР на апертуре и наличия априорной информации о геометрии исследуемой антенны [5]. Поэтому для ускорения сходимости итерационного процесса восстановления АФР в антенне в качестве начального фазового приближения целесообразно использовать результаты непосредственных измерений (пусть даже «грубых») фазы ближнего поля с помощью АИК или ФР, полученное от встроенной системы контроля.

Известным недостатком АМ является необходимость решения нелинейных обратных задач для реконструкции ФР по измеренным амплитудным данным. Как следствие, определение ФР по амплитудным измерениям является некорректной задачей.

Погрешности определения параметров антенн по измерениям амплитуды поля в ближней зоне можно

разделить на три большие группы: методические, инструментальные и погрешности обработки (последние практически несущественны).

Методические погрешности восстановления ДН амплитудными методами определяется рядом факторов, которые присущи как обычному голографическому методу (размеры области измерения ближнего поля, дискретизация измерений, точность измерения АР, ФР и т.д.), так и специфическими для АМ: выбором положения поверхностей, на которых производится измерения амплитуды ближнего поля и расстояний между ними, начальным приближением к искомому АФР и т.д.

Ввиду сложности получения аналитических выражений для оценки влияния методических погрешностей на точность определения отдельных параметров антенн целесообразно проводить численные расчеты. Такой подход позволяет проанализировать влияние различных факторов на точность определения характеристик антенн и выработать рекомендации для практической реализации АМ [6-9].

Приведем некоторые результаты.

1. Приемлемую погрешность определения боковых лепестков (~ 1 дБ) на уровне значений ДН минус 25÷30 дБ можно получить при незначительном превышении области измерения над размерами антенны (на $8 \cdot 10\lambda$). Максимально допустимая величина шага измерений, позволяющая пренебречь ошибками за счет дискретизации, составляет $\lambda/2$.

2. Точность восстановления ДН существенно зависит от расположения поверхностей измерений и начального фазового приближения. Если пространственный разнос поверхностей измерений соизмерим с размерами антенны, точность восстановления АФР и скорость сходимости итерационного процесса восстановления достаточно высока.

На рис. 1 приводится ДН, восстановленная при следующих условиях: размер антенны 10λ , расстояние до первой и второй плоскости измерений, соответственно, 5λ и 10λ , размеры области измерения ближнего поля 32λ , дискретность измерения АР $\lambda/2$, главный лепесток ДН отклонен на угол 20° при синфазном начальном приближении к ФР, инструментальные ошибки измерений АР отсутствуют. Точками показаны значения истинной ДН; пунктиром и сплошной линией ДН, восстановленные, соответственно, на 50 и 200 итерациях; n – номер отсчета ДН, дискретность расчета $\Delta u = \Delta(\sin\theta) = 2/N$; $N=64$.

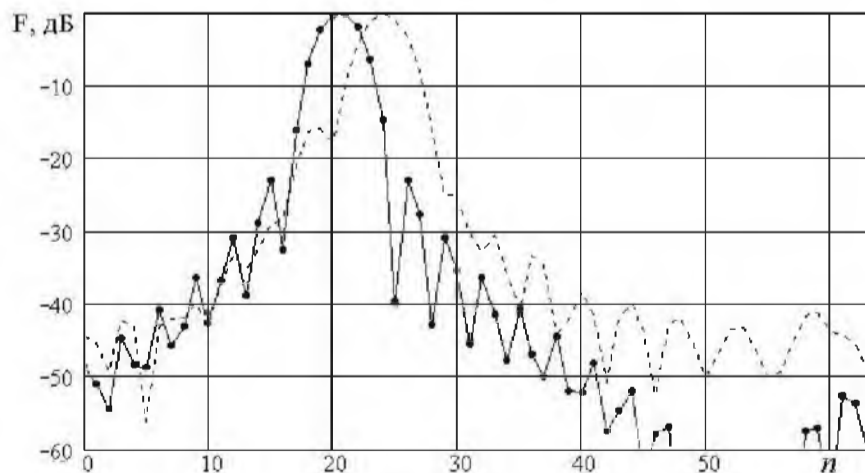


Рис. 1.

Fig. 1

При малом разnose плоскостей измерения восстановление ДН в принципе возможно, но скорость сходимости достаточно мала и существенно зависит от начальной оценки АФР на апертуре антенны (особенно ФР) и геометрии измерений. Объясняется это тем, что при малом разnose плоскостей различия между АР на них малы, что не позволяет корректно проводить реконструкцию ФР и восстанавливать ДН с достаточной точностью.

3. Рассмотрим возможности комбинированного метода восстановления ДН. При известном направлении главного максимума (НГМ) антенны (например, полученном на АИК) ДН с достаточно высокой точностью можно восстановить по АР поля, измеренному на одной поверхности. Отметим, что при этом итерационный процесс восстановления ДН сходится медленнее.

Сказанное выше подтверждается экспериментами по определению характеристик линейной волновоодно-щелевой антенны сантиметрового диапазона волн на АИК [3]. Поскольку высокую точность определения НГМ можно обеспечить при сравнительно грубых измерениях ФР [2], то совместное применение амплитудного и голографического методов обеспечивает высокую точность восстановления АФР на апертуре антенны и расчета её ДН. На рис.2 приведена ДН, восстановленная по измерениям АР на одной поверхности и оценке НГМ, полученной на АИК.

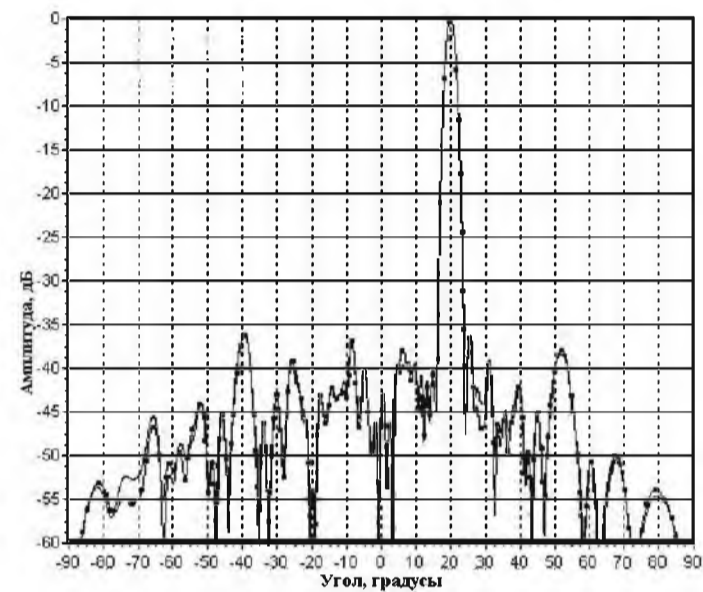


Рис. 2.

Fig. 2.

Наличие информации о НГМ позволяет также достаточно точно оценить фазовое распределение на апертуре ФАР (рис.3). На рис. 2, 3 точками отмечены расчетные значения ДН и ФР на апертуре ФАР, сплошными кривыми – восстановленные. Линейная составляющая ФР, соответствующая НГМ ДН на рис. 3 скомпенсирована.

Применение комбинированного метода восстановления ДН дает возможность проводить полевые испытания антенн в неконтролируемых температурных условиях.

III. Заключение

Результаты математического моделирования и физические эксперименты свидетельствуют об эффективности предложенного комбинированного метода для определения характеристик антенн, особенно в сантиметровом и миллиметровом диапазоне волн.

Использование амплитудного метода совместно с традиционной техникой ближнезонных измерений дает возможность повысить точность определения параметров антенн в случае искажения полученной фазовой информации вследствие ошибок позиционирования зонда на неидеальной измерительной поверхности, наличия фазовых искажений в подвижной линии передачи СВЧ сигнала и меняющейся температуры. Использование результатов традиционных амплитудно-фазовых измерений в качестве «начальной оценки» для процесса реконструкции фазы обеспечивает достоверный расчет ДН ФАР для отклоненных лучей даже в случае достаточно больших ошибок позиционирования зонда и других фазовых ошибок и искажений. Возможности предлагаемого подхода подтверждены многочисленными экспе-

риентами. Устойчивость метода была испытана в условиях наличия преднамеренного искажения измеренных данных.

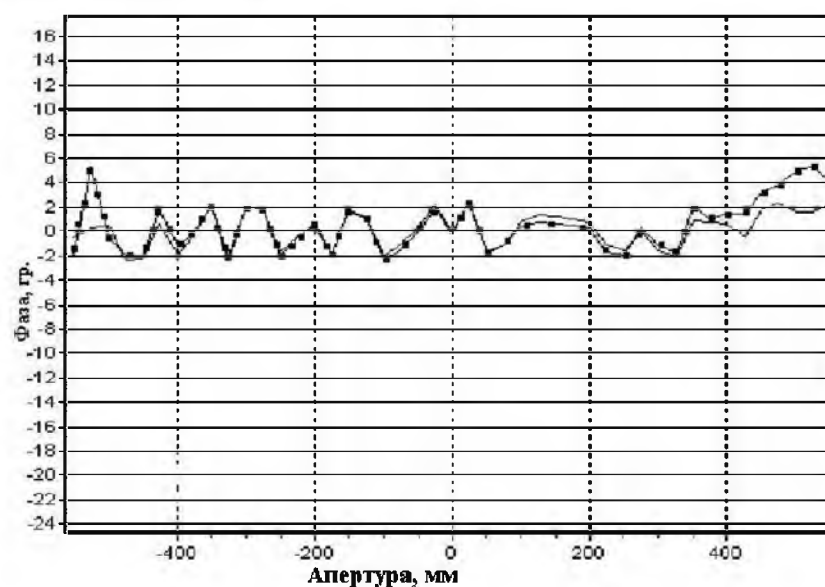


Рис. 3.

Fig. 3.

Применение предлагаемого метода позволяет расширить частотную область применения существующих автоматизированных измерительных комплексов ближнего поля и сократить объем и время проведения измерений относительно амплитудного метода за счет ограничения числа измерительных поверхностей до одной.

IV. Список литературы

- [1] Бахрах Л. Д. и др. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне. – Л.: Наука, 1985.
- [2] Shifrin Ya. S., Usin V. A. Statistical theory of antenna measurements. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2002, v.58, №8, pp. 34 – 83.
- [3] Автоматизированный измерительный комплекс для измерений характеристик антенных устройств в ближней зоне излучения. Киев, «Специальная техника и вооружение», № 1-2, февраль 2002, с. 45-46.
- [4] Pierri R., D'Elia G., Soldovieri F. A Two Probes Scanning Phaseless Near-Field Far-Field Transformation Technique, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, 1999, vol. 47, No. 5, pp. 792-802.
- [5] Yaccarino R. G., Rahmat-Samii Y. Progress in phaseless near-field antenna measurement research at the university of California, Los Angeles, 2001 *IEEE Int. Antennas Propagat. Symp. Dig. vol. 39. pp. 416 – 419, July 2001.*
- [6] Bucci, O. M., D'Elia, G., and Migliore, M. D. An Effective Near-Field Far-Field Transformation Technique from Truncated and Inaccurate Amplitude-Only Data, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-47, no. 9, pp. 1377-1385, September 1999.
- [7] Yaccarino R., Samii Y. Phaseless and conventional planar near-field antenna measurements: effects of random and systematic probe position errors, in *Proc. AMTA Meeting*, pp.286-291, 2000.
- [8] Усин В. А., Анохина О. Д., Нечеса А. В. Точностные характеристики амплитудных методов определения параметров антенн. Сб. трудов III международной НТК «Антенно-фидерные устройства, системы и средства связи» - Воронеж. – 1997. – Т.1, с. 289-293
- [9] Anohina O. D., Antonov G. S., Nечеса A. V., Usin V. A. Statistical Estimations of Accuracy of Antenna Performance Determination by Amplitude Methods. *Proc. of the 2-nd Int. conf. on Antenna Theory and Techniques. – Kyiv (Ukraine)*, pp. 213 – 215, May, 1997.

IMPLEMENTATION OF COMBINED ANTENNA MEASUREMENT METHOD

Usin V. A.¹, Kovalchuk V. A., Markov V. I.,
Filonenko A. B.

¹Kharkov National University of Radio Electronics
14 Lenin Ave., Kharkov, 61166, Ukraine
Ph.: (057) 7328050, e-mail: usin_va@rambler.ru

Abstract – To enhance the performance of existing near field antenna test facilities the approach to far field pattern determination using both the amplitude and phase measurements and the phaseless measurement techniques is proposed. Both simulated and measurement results are presented to demonstrate the utility of such approach.

I. Introduction

In order to reduce these drawbacks of available NF/FF techniques and improve the performances of less expensive measurement set-ups, thus extending the usable frequency range, the idea of reconstructing the far field from only amplitude near field data has been proposed and successively developed.

II. Main Part

A comparative evaluation of conventional (amplitude and phase) and phaseless (amplitude only) near-field antenna measurement techniques for antennas with electronically scanning beams shows that success of using such algorithms depends on many factors, first of all, on the proximity of the "initial guess" to the actual amplitude and phase distribution (APD) over the antenna's aperture. It is highly desirable to have at least a rough model of phase distribution (PD) or to get rough estimation of the beam position obtained from measured amplitude distribution (AD). The best variant is to use measured PD. Even if the phase information is inaccurate, it allows determining a direction of the beam in space, improving process of convergence and reducing the number of iterations (it is highly desirable to have the information about the position of the beam as precise as possible).

The proposed approach is able to take into account all the available a priori information concerning the far-field, the near-field in the measurement regions, the construction of antenna under test and the accuracy of the measurement set-up. The main advantage of the proposed approach is the possibility to improve the results of conventional method in the case when obtained phase information is inaccurate due to non-ideal measuring probe locations and phase distortions in moving cables. In this case, the phase retrieval algorithms allow more accurately reproducing the true antenna pattern because of the diminished sensitivity of the amplitude of the near-field, as compared to the phase, with respect to the measurement errors.

The reconstructed far field and APD on antenna's aperture from the only amplitude data on measurement surfaces using information of direction of the beam obtained from APD on measurement plane are compared with the true far field and the APD on aperture.

Both simulated and measurement results are presented to demonstrate the utility of such approach.

III. Conclusion

The main advantage of the proposed approach is the possibility to improve the results of conventional method in the case when obtained phase information is inaccurate due to non-ideal measuring probe locations and phase distortions in moving cables. In this case, the phase retrieval algorithms allow more accurately reproducing the true pattern of the PAA because of the diminished sensitivity of the amplitude of the near-field, as compared to the phase, with respect to the measurement errors. Since the proposed technique allows overcoming the drawbacks related to the measurement of the phase distribution and, at the same time, to obtain a good accuracy in the results, the approach seems to be very attractive in many real applications.