

С.К. БАРСЕГЯН, Л.А. ТАДЕВОСЯН

ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В АНТЕННЫХ СИСТЕМАХ

Рассмотрены вопросы определения погрешностей при измерении параметров антенн на автоматическом измерительном стенде. Исследована методика определения основной инструментальной погрешности измерительных преобразователей. Дан алгоритм исследования погрешностей измерительных преобразователей в антенной технике.

Ключевые слова: антенна, диаграмма направленности, средства измерений, инструментальная погрешность, автоматический измерительный комплекс.

Введение. Необходимость определения погрешностей измерения диаграмм направленности (ДН) антенн является важнейшей задачей в теории и практике антенных измерений [1]. Чувствительность и разрешающая способность радиотелескопов, точность действия радиолокационных станций находятся в прямой зависимости от характеристик используемых в них антенн.

Основным показателем качества автоматических измерительных комплексов и стендов является результирующая инструментальная погрешность измерения пространственной ДН антенны. Погрешность измерения непрерывной физической величины обусловлена рядом факторов и зависит от методики измерений, свойств применяемых в них средств измерений (СИ), условий, в которых проводятся измерения, и т.д.

Целью настоящей работы является оценка и уменьшение результирующей максимальной инструментальной погрешности при измерении антенных параметров на автоматических измерительных комплексах и стендах.

Инструментальная составляющая погрешности измерений.

Инструментальная составляющая погрешности измерения $\Delta_{\text{инст}}$ состоит из ряда составляющих, обусловленных собственными свойствами элементов и материалов, используемых в СИ. Основное необходимое условие оценки $\Delta_{\text{инст}}$ - это априорная информация о свойствах СИ, влияющих на результаты измерений, т.е. информация о метрологических характеристиках СИ [2].

Определим $\Delta_{\text{инст}}$ как объединение составляющих погрешностей, позволяющее рассчитать погрешность, обусловленную их совместным воздействием:

$$\Delta_{\text{инст}} = \Delta_0 \sum_{i=1}^n \Delta_i \Delta_{\text{согл}} \Delta_{\text{дин}}, \quad (1)$$

где Δ_0 - основная погрешность СИ, обусловленная неидеальностью собственных свойств СИ; $\sum_{i=1}^i \Delta_i$ - дополнительная погрешность СИ вследствие внешних влияющих факторов; $\Delta_{\text{согл}}$ - погрешность согласования, зависящая от степени согласования выходного импеданса объекта с входным импедансом СИ; $\Delta_{\text{дин}}$ - динамическая погрешность, обусловленная скоростью изменения измеряемого сигнала.

Выделение динамической погрешности как суммирующей составляющей допустимо в случае, когда СИ является линейным динамическим звеном.

Основная погрешность в общем случае определяется объединением следующих составляющих:

$$\Delta_0 = \Delta_{\text{ос}} \overset{0}{\Delta}_0 \overset{0}{\Delta}_{\text{он}}, \quad (2)$$

где $\Delta_{\text{ос}}$ - систематическая составляющая основной погрешности, являющейся детерминированной величиной; $\overset{0}{\Delta}_0$ - случайная составляющая основной погрешности, являющейся стохастической величиной; $\overset{0}{\Delta}_{\text{он}}$ - случайная составляющая основной погрешности, обусловленная гистерезисом СИ.

При обычном измерении (физический эксперимент) в большинстве случаев определяются реализации погрешности Δ_0 , а не ее отдельные составляющие. Далее на основании полученного экспериментального множества реализаций погрешности Δ_0 следует вычислить оценки характеристик ее составляющих. При наличии гистерезиса (что обычно всегда имеет место при измерении амплитуды и углов поворота) измерение осуществляется сначала при подходе к измеряемой точке со стороны меньших, а затем – со стороны больших значений (или наоборот).

Процесс определения инструментальной погрешности можно представить следующим алгоритмом:

- ♦ запоминаются массивы реализации погрешностей Δ'_i (снизу) и Δ''_i (сверху);
- ♦ определяются центры группирования:

$$\bar{\Delta}' = 1/n \sum_{i=1}^n \Delta'_i \quad \text{и} \quad \bar{\Delta}'' = 1/n \sum_{j=1}^n \Delta''_j ;$$

- ♦ вычисляются центрированные реализации в каждой группе:

$$\overset{0}{\Delta}'_i = \Delta'_i - \bar{\Delta}' \quad \text{и} \quad \overset{0}{\Delta}''_j = \Delta''_j - \bar{\Delta}'' ;$$

- ♦ устанавливается оценка $\tilde{\Delta}_{\text{ос}}$ систематической составляющей погрешности $\Delta_{\text{ос}}$:

$$\tilde{\Delta}_{\text{ос}} = 1/2(\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}'') ;$$

- ♦ определяется оценка СКО случайной составляющей погрешности:

$$\tilde{\sigma}[\Delta_H] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta'_i - \bar{\Delta}')^2 + \sum_{j=1}^n (\Delta''_j - \bar{\Delta}'')^2}{2n-1}} ;$$

- ♦ вычисляется оценка вариации как абсолютное значение разности между $\bar{\Delta}'$ и $\bar{\Delta}''$:

$$\tilde{H} = |\bar{\Delta}' - \bar{\Delta}''| .$$

Далее, используя критерии существенности составляющих основной погрешности, можно определить максимальное значение основной погрешности $\Delta_{0\max}$:

$$\Delta_{0\max} = \Delta_{\text{osp}} + 2\sqrt{\sigma^2[\Delta_0] + (H_0^2 + q_{\text{sf}}^2)/12} , \quad (3)$$

где Δ_{osp} - предел допускаемой систематической погрешности; $q_{\text{sf}} = (x_{\text{в}} - x_{\text{н}})/M$ - номинальная ступень квантования выходной информации, представленной в виде кода; $x_{\text{в}}, x_{\text{н}}$ - верхний и нижний пределы диапазона измерения; M - число возможных выходных кодов.

Таким образом, определяются характеристики инструментальной погрешности измерения и появляется возможность оценки ограничений на амплитуды и координаты, подлежащие измерению.

Результаты расчетов. Используем вышеприведенные выражения для определения инструментальной погрешности при измерении ДН метровой антенны на частоте 10 ГГц с помощью автоматического измерительного стенда ЭИС-1 методом дальней зоны [3].

Измерения проводились при горизонтальной поляризации, дискретом сканирования 5 угл/мин, скоростью вращения поворотного стола 30 град/мин, в угловом секторе $\pm 12^\circ$ от направления главного максимума ДН.

Для определения составляющих инструментальной погрешности [4] при измерении как координат, так и амплитуд воспользуемся разложением функции ДН $F(\varphi, \theta)$ в ряд Тейлора. Вычитая из разложения истинное значение функции $F(\varphi_i, \theta_j)$, получаем разложение в ряд результирующей инструментальной погрешности.

$$\Delta_{\text{os}} = \frac{\partial F(\varphi_i, \theta_o)}{\partial \varphi} \Delta_{\text{os}} \varphi_i + F(\varphi_i, \theta_o) \Delta_{\text{os}} A_i - F(\varphi_i, \theta_o) \Delta_{\text{os}} A_{\text{max}} . \quad (4)$$

Компонентами результирующей инструментальной погрешности будут:

- ♦ $\Delta_{\text{os}} \varphi_i$ - погрешность измерения угла датчиком, которая постоянна для всех измеряемых точек и равна 0,8 мм;
- ♦ $\frac{\partial F(\varphi_i, \theta_o)}{\partial \varphi}$ - крутизна ДН в данной точке измерения;

♦ $F(\varphi_i \theta_0) \Delta_{OS} A_i$ - погрешность измерения амплитуды в каждой точке, представленной в виде суммы аддитивной и мультипликативной составляющих - $\Delta_i = \pm (0,05 A_i + 0,03 A_{\max.})$, где A_i - текущее значение измеряемого сигнала; $A_{\max}$ - предел измерения, равный $1B$, а компонента $\Delta_{OS} A_{\max} = \pm 0,8mB$ для цифрового вольтметра В7-18, используемого в измерениях.

Исходными данными для расчетов служили два массива информации, полученные в результате измерения ДН антенны. Первый массив включал 10 циклов измерений при вращении поворотного стола по часовой стрелке, второй – столько же циклов против часовой стрелки. Таким образом, каждая точка диаграммы измеряется при подходе снизу и сверху, что приводит к усреднению погрешности измерения углов.

Результаты измерения и обработки приведены на рисунке, где а - ДН измеряемой антенны в данном цикле аттестации; б - график абсолютных значений систематической погрешности Δ_{OS} для усредненного в результате 20-и циклов измерения ДН в mB и в %; в - график абсолютных значений СКО; г - график абсолютных значений вариации $\tilde{H}$.

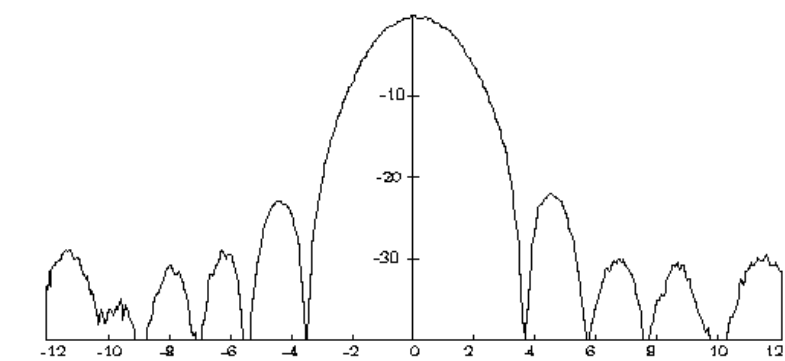
Анализ результатов обработки показывает, что систематическая составляющая инструментальной погрешности принимает наибольшее значение не только в точках ниже $-30дБ$, но и на крутых склонах лепестков диаграммы. Примерно таковы и законы распределения СКО и вариации. В таблице приведены значения вычисленных составляющих погрешностей в зависимости от уровня измеряемого сигнала в пределах главного лепестка ДН.

Таблица				
№	Уровень, дБ	Δ_{OS} , %	σ , %	H, %
1	0	0,636	0,022	0,002
2	-10	1,732	0,043	0,031
3	-20	3,862	0,323	0,028
4	-30	9,725	0,883	1,148
5	-40	8,626	2,797	1,333

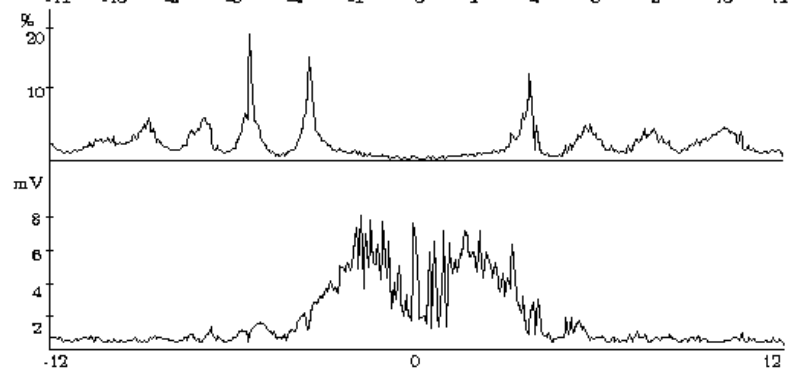
При малых уровнях сигнала ($0.....10mB$) преобладает вторая составляющая $F(\varphi_i \theta_0) \Delta_{OS} A_i$ инструментальной погрешности, а на крутых склонах лепестков -

первая составляющая $\frac{\partial F(\varphi_i \theta_0)}{\partial \varphi} \Delta_{OS} \varphi_i$, которая по сути своей является динамической погрешностью.

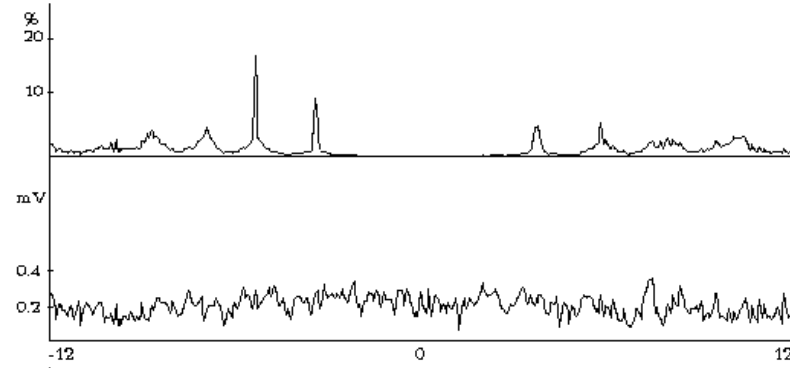
a)



б)



в)



г)

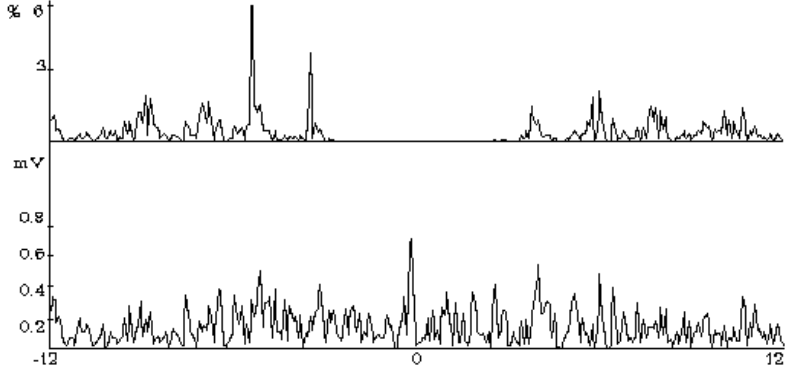


Рис.

При малых уровнях сигнала ($0 \dots 10 \text{ мВ}$) преобладает вторая составляющая $F(\varphi_i, \theta_0) \Delta_{\text{ос}} A_i$ инструментальной погрешности, а на крутых склонах лепестков - первая составляющая $\frac{\partial F(\varphi_i, \theta_0)}{\partial \varphi} \Delta_{\text{ос}} \varphi_i$, которая по сути своей является динамической погрешностью.

При выборе конкретного типа преобразователя информации в автоматизированных комплексах измерения параметров антенн приходится находить “золотую середину” между двумя основными параметрами преобразователя напряжение – код: точностью и быстродействием. Для более точного измерения обычно требуется большее время, но за это время измеряемый сигнал меняется по величине. Чтобы уменьшить возникающую таким образом динамическую погрешность, применяются схемы аналогового запоминания [5], которые позволяют мгновенное значение входного напряжения запоминать на накопительном конденсаторе и поддерживать неизменным за время преобразования. Такое схемное решение уменьшает динамическую погрешность в пять раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геруни П.М. и др. Радиоголография и современные методы антенных измерений // Радио и акустическая голография. – Л.: Наука, 1976. – 83 с.
2. ГОСТ 8.009 - 84 .
3. Геруни П.М., Саркисян С.Т. и др. Создание эталонного испытательного стенда ЭИС-1 для сличения Госэталонов ГЭПИ(0,25; 0,5; 1 и вторичных эталонов. Отчет по теме 12.01.09.06 ВНИИРИ 1976.
4. Страхов А.Ф. Автоматизированные антенные измерения. – М.: Радио и связь, 1985. – 78 с.
5. Барсегян С.К. Анализ динамической погрешности преобразования напряжение - код и метод ее уменьшения: Тез. докл. ВКАИ-3. Антенные измерения. - Ереван, 1984. - 450 с.

НИИ Радиофизики РА. Материал поступил в редакцию 16.05.2001.

Ս.Կ. ԲԱՐՏԵԴՅԱՆ, Լ.Ա. ԹԱԴԵՎՈՍՅԱՆ ԶԱՓՈՂԱԿԱՆ ԻՆՖՈՐՄԱՑԻԱՅԻ ԶԵՎԱՓՈԽՄԱՆ ՄԽԱԼՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԱՆՏԵՆԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ

Դիտարկված են ավտոմատ չափող ստենդի միջոցով անտենայի պարամետրերի չափման սխալների որոշման խնդիրները: Հետազոտված է չափող ձևափոխիչների հիմնական գործիքային սխալների որոշման մեթոդիկան: Տրված է չափիչ - ձևափոխիչների սխալների հետազոտման ալգորիթմը անտենային չափումներում:

S. K. BARSEGHYAN, L.A. TADEVOSSYAN CONVERSION ERRORS OF THE MEASURING INFORMATION IN ANTENNA SYSTEMS

The problems of error definition in measuring antenna parameters on an automatic measuring bench is considered. The methods of main tool error definition of transducers are studied. The research algorithm of measuring transducer errors in antenna technique is given.