

В.Г. АВETИСЯН

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ АНТЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Предлагаются решения для построения секции автоматического управления систем, предназначенных для измерения распределения ближнего поля антенн коротковолновой части миллиметрового диапазона.

Ключевые слова: короткие миллиметровые волны, ближнее поле антенн, антенные измерения, автоматическое управление.

При измерениях по ближним полям испытываемых антенн диапазона коротких миллиметровых волн возникает комплекс проблем, связанных с поиском новых решений, которые должны удовлетворять требованиям по точности аттестации и восстановления параметров дальнего поля антенн отмеченного диапазона. Относительно планарного сканирующего устройства с подвижной линией, передающей информацию о ближнем комплексном поле с выхода сканирующего зонда на вход неподвижной радиоизмерительной аппаратуры, предложен ряд решений, последнее из которых изложено в [1]. В отношении радиоизмерительной аппаратуры, аналогично, можно привести [2].

Данная статья посвящена другой важной части упомянутых измерительных систем, а именно, секции автоматического управления. В [3] путем анализа предшествующих устройств и схем автоматического управления предложены решения, которые могут быть применены при построении секции автоматического управления измерительных систем по ближним полям испытываемых антенн коротковолновой части миллиметрового диапазона. В их основе лежит принцип синхронизации непрерывного движения зонда вдоль одной из координат на плоскости измерений (траектория зонда в виде "меандра") с вращением дисковой периодической структуры. В свою очередь, вращение диска синхронизировано с поступательным движением фотодатчика относительно оси диска в радиальном направлении. В процессе сканирования зонда вращающийся диск, имеющий радиальные щели, совместно с поступательнодвигающимся фотодатчиком генерирует исходные импульсы управления. Кинематическая схема устройства представлена на рис.1. Первый механизм синхронизации поступательного движения зонда и вращения диска представляет собой передачу с гибкой связью. Диаметр $D_{ш}$ синхронизирующего шкива определяется из выражения

$$D_{ш} = 2 \tau_{\min} / \Delta\varphi = \tau_{\min} m / \pi, \quad (1)$$

где τ_{\min} - минимальный шаг дискретизации измерений вдоль оси X; $\Delta\varphi$ - угловое расстояние между радиальными щелями; m - количество радиальных щелей.

Согласно условию синхронизации (1), перемещению зонда на τ_{\min} соответствует вращение диска на $\Delta\Phi$. Второй механизм синхронизации вращения диска и поступательного движения фотодатчика представляет собой нарезанный и выступающий на центральной части диска виток спирали Архимеда, взаимодействующий с внутренними пазами фотодатчика. На рис.2 представлен фотодатчик с диском.

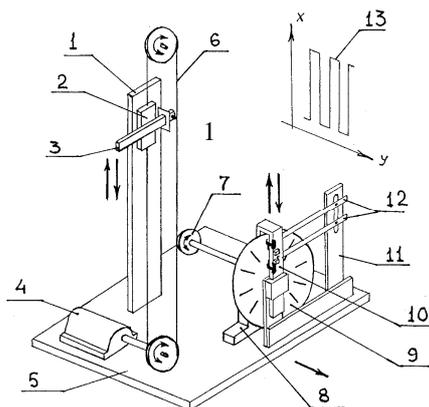


Рис.1. Кинематическая схема устройства: 1 – стойка сканера; 2 – «X»-каретка; 3 – зонд; 4 – двигатель «X»-привода; 5 – «Y»-каретка; 6 – трос гибкой передачи; 7 – синхронизирующий шкив; 8 – опора оси диска; 9 – диск; 10 – фотодатчик; 11 – стойка крепления планок; 12 – крепежные планки диафрагм с ушками; 13 – траектория сканируемого зонда в виде «меандра»

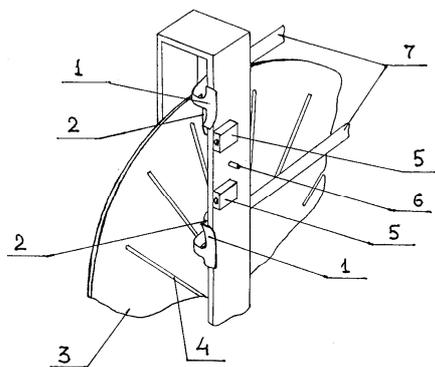


Рис.2. Узел фотодатчика с диском: 1 – ушки диафрагм; 2 – диафрагмы; 3- диск; 4 – радиальные щели; 5 – концевые выключатели; 6 – фотоприемник; 7 – крепежные планки диафрагм с ушками

В пространство между диском и фотодатчиком (вдоль движения фотодатчика) установлены две фиксируемые диафрагмы с ушками, расстояние L между которыми может регулироваться. Общее условие синхронизации движений устанавливает однозначную связь между поступательным перемещением луча фотодатчика на расстояние между краями диафрагм величиной L и поступательным перемещением зонда вдоль оси X на величину S :

$$S = N\tau_{\min} = n m \tau_{\min} = m \tau_{\min} L / \Delta R, \quad (2)$$

где N – количество вырабатываемых исходных импульсов управления в соответствующих точках отсчета измеряемого ближнего поля; n – количество оборотов вращения диска; ΔR – шаг спирали Архимеда, являющейся траекторией луча фотодатчика относительно диска.

Команды на срез или пропуск информации об измеряемом поле (при пересечении зондом границы зоны сканирования соответственно изнутри или извне ее) определяются перекрытием луча фотодатчика соответствующей диафрагмой. Величина начального перекрытия луча δL определяется параметрами узла

$$\delta L = \Delta R / m, \quad (3)$$

а ее выбор также зависит от степени стабильностей светового потока излучателя фотодатчика и порога срабатывания формирователя прямоугольных импульсов, запускаемого исходными [4]. Из (2) и (3) получаем

$$L = n \Delta R = N \Delta R / m = N \delta L. \quad (4)$$

При увеличении размеров испытываемой антенны увеличивается количество точек отсчетов измеряемого поля N , и, следовательно, для выбранного значения δL необходимо увеличить L , а значит, диаметр диска, что нежелательно по двум причинам: во-первых, растут габариты узла; во-вторых, затрудняется реализация большей по размерам периодической структуры в виде диска. Последний имеет большое количество щелей ($m \geq 100$), ширину которых и расстояние между которыми желательно выдерживать с точностью в несколько сотых λ (λ – длина рабочей волны), а в диапазоне коротких миллиметровых волн – $1 \text{ мм} \leq \lambda \leq 8 \text{ мм}$. Если же мы не увеличиваем размеры диска, то должны соответственно уменьшить величину начального перекрытия δL , но при этом ужесточаются требования на стабильность светового потока излучателя фотодатчика и стабильность порога срабатывания формирователя прямоугольных управляющих импульсов. Их нестабильности, превышающие допустимые величины, могут привести к неустойчивой работе секции автоматического управления, а следовательно, к случайной ошибке позиционирования зонда при реверсе его движения и случайным смещениям столбцов матрицы измерений исследуемого ближнего поля вдоль оси X . В итоге, испытываемая антенна тестируется с искажениями, а при дальнейшей математической обработке искаженной матрицы измерений возникают ошибки в определении параметров дальней зоны антенны.

Рассмотрим предлагаемую схему измерений, построенную с применением логических элементов (рис.3).

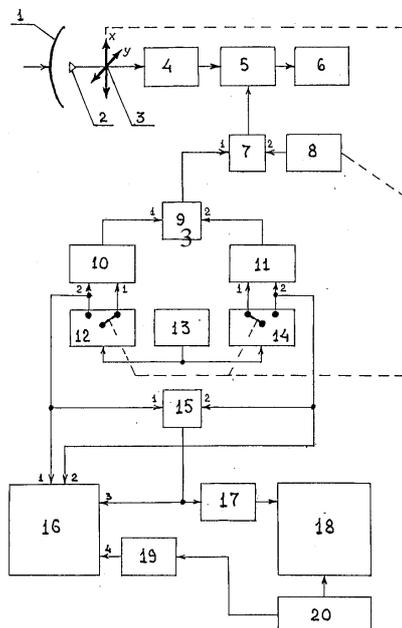


Рис.3. Схема автоматического управления измерениями: 1 – испытуемая антенна; 2 – зонд; 3 – механический сканер; 4 – амплифазометр; 5 – аналого-цифровой преобразователь; 6 – блок обработки и выдачи данных; 7 – логический элемент «И₂»; 8 – фотодатчик; 9 – логический элемент «И₁»; 10 – триггер N1; 11 – триггер N2; 12 – коммутатор N1; 13 – источник постоянного напряжения U₀; 14 – коммутатор N2; 15 – логический элемент «ИЛИ»; 16 – привод «X»-каретки; 17 – блок задержки N1; 18 – привод «Y»-каретки; 19 – блок задержки N2; 20 – шаговый датчик «Y»-каретки

Содержащиеся в схеме коммутаторы N1 и N2 каналов прямого и обратного движений зонда расположены на месте концевых выключателей фотодатчика (рис.2).

Пунктирные линии связывают элементы схемы, движения которых синхронизированы друг с другом. Изображенная на рис.3 коммутация соответствует положениям зонда в пределах зоны сканирования размером S вдоль оси X. Причем величина S устанавливается выбором расстояния L между ушками диафрагм согласно (2), а положение самой зоны по оси X соответствует положению ушка одной из диафрагм относительно центра диска. При таких положениях зонда состояния триггеров N1 и N2 таковы, что на их выходах есть сигналы постоянного уровня. Следствием этого является наличие постоянного сигнала на выходе логического элемента «И₁», а значит, и наличие постоянного сигнала на входе 1 элемента «И₂», на вход 2 которого поступает периодическая последовательность исходных импульсов фотодатчика. В соответствии с этими импульсами на выходе элемента «И₂» есть последовательность импульсов, поступающая на управляющий вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП), через который информация с выхода амплифазометра (АФМ) передается на вход

блока обработки и выдачи данных (БОВД). Как только зонд достигает границы установленной зоны сканирования, под воздействием ушка срабатывает соответствующий коммутатор. Допустим, срабатывает коммутатор N1 канала прямого движения зонда. При этом постоянное напряжение U_0 от соответствующего источника прилагается уже к выходу 2 коммутатора N1, соединенного с входом 2 триггера N1. Этот триггер перебрасывается в состояние отсутствия постоянного сигнала на его выходе, и, следовательно, отсутствует сигнал на входе 1 элемента «И1». Следствием этого является отсутствие постоянного сигнала на выходе элемента «И1», а значит, и на входе 1 элемента «И2». Несмотря на то, что на вход 2 элемента «И2» поступает периодическая последовательность исходных импульсов от фотодатчика, на выходе этого элемента сигнал отсутствует. Таким образом, нет управляющих импульсов на управляющем входе АЦП, т.е. происходит срез поступления информации с выхода АФМ на вход БОВД. Одновременно напряжение U_0 с выхода 2 коммутатора N1 прилагается к входу 1 привода «X»-каретки для переключения питающих двигатель напряжений с целью обеспечения последующего движения привода, а значит, и зонда, в обратном направлении. Это же напряжение U_0 прилагается к входу 1 логического элемента «ИЛИ», выходной сигнал которого прилагается к входу 3 привода «X»-каретки для обесточивания его двигателя и к входу блока задержки N1. После обесточивания двигателя через некоторое время, обусловленное инерцией привода, «X»-каретка останавливается, а затем выходной сигнал блока задержки N1 запускает двигатель привода «Y»-каретки. Происходит шаговое перемещение «Y»-каретки, а ее шаговый датчик вырабатывает сигнал на обесточивание двигателя привода «Y»-каретки. Через некоторое время, определяемое блоком задержки N2, «X»-привод приходит в действие от сигнала запуска шагового датчика «Y»-привода, прилагаемого к входу 4 привода «X»-каретки. Начинается реверсированное движение «X»-каретки, а значит, и зонда. Вместе с ним синхронно приходит в движение и фотодатчик в обратном направлении. Коммутатор N1 с некоторого положения фотодатчика срабатывает обратно, т.к. выходит из-под ушка, под которым он находился. При этом напряжение U_0 уже прилагается к выходу 1 коммутатора N1 и перебрасывает триггер N1 в состояние наличия постоянного сигнала на его выходе. Срабатывает элемент «И1», выдавая постоянный сигнал на вход 1 элемента «И2». В соответствии с поступающей последовательностью исходных импульсов фотодатчика на выходе «И2» возникает последовательность импульсов управления АЦП, и начинается периодическое поступление информации об измеренном поле на вход БОВД. Это продолжается до тех пор, пока зонд в процессе своего обратного движения не достигнет противоположной границы зоны сканирования вдоль оси X. При пересечении этой границы под воздействием второго ушка срабатывает коммутатор N2, вследствие чего напряжение U_0 прилагается к входу 2 триггера N2. При этом триггер N2 перебрасывается в состояние отсутствия постоянного сигнала на его выходе, что приводит в итоге к срезу поступления информации о поле на вход БОВД. Одновременно сигнал U_0 прилагается к входу 2 привода «X»-каретки для переключения питающих двигатель напряжений с целью обеспечения

дальнейшего прямого движения «X»-каретки, а значит, и зонда. Однако сигнал U_0 прилагается также к входу 2 элемента «ИЛИ», выходной сигнал которого обесточивает двигатель «X»-привода и описанным выше способом запускает «Y»-привод. Опять после шагового перемещения «Y»-каретки начинается движение «X»-каретки и зонда в прямом направлении, а вместе с ним синхронное прямое движение фотодатчика. Коммутатор N2 выходит из-под второго ушка, под которым он находился, и срабатывает обратно. Напряжение U_0 прилагается к входу 1 триггера N2, перебрасывая его в состояние наличия сигнала на его выходе. Выходной сигнал триггера N2 прилагается к входу 2 элемента «И1». Появляется сигнал на входе 1 элемента «И2», и в соответствии с исходными импульсами фотодатчика начинается поступление информации об измеренном поле с выхода АФМ через АЦП на вход БОВД. При дальнейшем движении зонда в прямом направлении весь описанный цикл повторяется.

Как следует из вышесказанного, такая схема управления с логическими элементами исключает влияние степени перекрытия луча фотодатчика при пересечении зондом границ установленной зоны сканирования. Нет надобности в диафрагмах и в жестких требованиях на стабильности светового потока излучателя фотодатчика и порога срабатывания формирователя прямоугольных импульсов. Это значит, что при увеличении размера испытываемой антенны нет надобности в увеличении размеров диска. Примем количество щелей $m = 100$, т.е. $\Delta\varphi = 2\pi/m = 3.6^\circ$: шаг спирали $\Delta R = 4$ мм, максимальный радиус нарезанного витка спирали Архимеда $R_c = 50$ мм. При размере зоны сканирования $S = 500\lambda$ через $\tau_{\min} = \lambda/2$ имеем $N = 1000$, т.е. диск совершает $n = N/m = 10$ оборотов, а перемещение фотодатчика $L = n\Delta R = 40$ мм. Радиус диска R_d должен удовлетворять условию $R_d (R_c + L)$, т.е. диск диаметром D_d (200 мм) достаточен для измерений.

Относительно смещений столбцов матрицы измерений вдоль оси X укажем, что они обусловлены также и люфтом второго механизма синхронизации, вследствие чего фотодатчик несколько запаздывает в движении относительно зонда после процесса реверсирования. Если это запаздывание во времени равно времени вращения диска на ширину щели, то в среднем происходит взаимная компенсация ошибок позиционирования зонда, обусловленных люфтом и конечностью ширины щелей. Таким образом, при известном значении люфта выбором ширины щелей возможно значительное снижение также и смещений столбцов матрицы измерений относительно друг друга.

В заключение отметим, что предложенное построение секции автоматического управления является очередным шагом, совместно с решениями [1,2], в обеспечении принципиальной и технической возможности построения планарных автоматических измерительных систем по ближнему полю (комплексному) испытываемых антенн в диапазоне коротких миллиметровых волн с измерением поля в узлах прямоугольной плоской сетки координат. Такие измерения, с точки зрения минимальности времени измерений, простоты, надежности и апробированности математического аппарата для восстановления

дальнего поля испытуемой антенны, выгодно отличаются от измерений только амплитудных распределений ближнего поля на двух последовательных плоскостях в прямоугольной сетке координат [5], либо таких же измерений на одной плоскости, но одновременно сканирующими, скрепленными между собой двумя различными зондами [6], или только амплитудных биполярных измерений на двух плоскостях [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Արտոնագիր N1012 ՀՀ, ՄԱԴ G01R 29/08: Անտենայի բացվածքում դաշտի բաշխվածությունը չափող սարք / Վ.Հ. Ավետիսյան (ՀՀ). - NP2000080, հայտի ստացման թվ. 29.08.2000, առաջնության թվ. 29.08.2000, հրապարակման թվ. 17.09.2001, ՊՏՆ3:
2. Արտոնագիր N1013 ՀՀ, ՄԱԴ G01R 29/08: Անտենայի բացվածքում դաշտի բաշխվածությունը չափող սարք / Վ.Հ. Ավետիսյան (ՀՀ). - NP2000081, հայտի ստացման թվ. 29.08.2000, առաջնության թվ. 29.08.2000, հրապարակման թվ. 17.09.2001, ՊՏՆ3:
3. **Аветисян В.Г.** К созданию автоматических комплексов для измерений характеристик антенн в ближней зоне в миллиметровом диапазоне длин волн: Дис. . . . канд. физ-мат. наук, - Ереван, 1996, - 178 с.
4. **Аветисян В.Г.** Об ошибке отсчета положения зонда в режиме сканирования: Тез. докл. Всес. конф. «Метрологическое обеспечение антенных измерений» ВКАИ – 5. – Ереван, 1990. – С. 184 – 185.
5. **Bucci O.M., D’Elia G., Migliore M.D.** An effective near-field far-field transformation technique from truncated and inaccurate amplitude-only data // IEEE Trans. on Antennas and Propag. - 1999. – V. 47, N9. – P. 1377 - 1385.
6. **Pierrri R., D’Elia G., Soldovieri F.** A two probe scanning phaseless near-field transformation technique // IEEE Trans. on Antennas and Propag. - 1999. – V. 47, N5. – P. 792 - 802.
7. **Yaccarino R.G., Rahmat-Sammi Y.** Phaseless bi-polar planar near-field measurements and diagnostics of array antennas // IEEE Trans. on Antennas and Propag. - 1999. – V. 47, N3. – P. 574 - 583.

Ин-т радиофизики и электроники НАН РА. Материал поступил в редакцию 21.06.2001.

Վ.Հ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ

ԱՆՏԵՆԱՅԻՆ ՉԱՓՈՒՄՆԵՐԻ ԱՎՏՈՄԱՏ ԴԵԿԱՎԱՐՈՒՄ

Կարճ միլիմետրանոց ալիքների տիրույթի անտենաների մոտակա դաշտի բաշխվածությունը չափող համակարգերի ավտոմատ դեկավարող մասի կառուցման համար առաջարկվում են լուծումներ:

V.H. AVETISSYAN

AUTOMATIC CONTROL OF ANTENNA MEASUREMENTS

Solutions for designing automatic control section of antenna near-field measuring systems at the short millimeter waveband range are suggested.