

УДК 621.317.725:621.396.67.012.12

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ВОЛЬТМЕТРА И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Л.Х. Хачатрян¹, А.Г. Микоян²

¹ Государственный инженерный университет Армении (Политехник)

² ЗАО "Национальный институт метрологии"

Разработан виртуальный измерительный вольтметр в составе радиоголографических комплексов для измерения параметров антенн на базе оборудования компании National Instruments и среды графического программирования LabVIEW. С целью обеспечения процесса восстановления диаграммы направленности (ДН) измеренной антенны в дальней зоне разработана математическая модель для определения углового шага моделирования, углового сектора моделирования восстанавливаемой ДН и шага измерений поля в раскрыве. Приведены блок-диаграмма разработанного вольтметра и блок-диаграмма получения ДН антенны.

Ключевые слова: радиоголографический комплекс для измерения параметров антенн, диаграмма направленности, зона раскрыва, виртуальный измерительный вольтметр, квадратурные компоненты $E\sin\varphi$ и $E\cos\varphi$ поля, среда графического программирования LabVIEW.

Введение. Антенные измерения представляют собой сложный и трудоемкий процесс, требующий наличия высокоточной сложной электронной аппаратуры, специальных полигонов с крупными сооружениями, безэховых камер, сложного математического обеспечения, обработки больших массивов информации и др.

Измерение параметров антенн можно проводить как в дальней, так и ближней зонах. Однако при увеличении отношения размеров антенной системы к длине волны измерение параметров антенн классическими методами в дальней зоне значительно затрудняется. Таким образом, в подавляющем большинстве случаев только методы измерения в ближней зоне, в частности в зоне раскрыва, являются единственной альтернативой. Развитие работ по измерению поля в раскрыве, всевозрастающие сложность и трудоемкость антенных измерений диктуют необходимость создания высокоэффективных радиоголографических комплексов для измерения параметров антенн, способных за короткое время производить аттестацию параметров антенн различных типов с получением полной пространственной картины излучаемых ими полей [1].

Проведение высокоточных антенных измерений продолжает оставаться актуальной задачей, особенно ввиду того, что развитие антенной техники привело к созданию адаптивных и реконфигурируемых антенных систем на основе современных фрактальных структур, микрополосковых структур с измененной формой слоя металлизации (DGS), бортовых конформных антенн, цилиндрических и более сложной формы сканирующих антенн мобильных систем связи с использованием технологии интеллектуальных покрытий (Smart Skin) и пр. [2]. Измерения параметров таких антенн требуют дальнейшего совершенствования методов и комплексов измерительной аппаратуры, т.к. непрерывно растет потребность в увеличении частотных диапазонов, расширении угловых секторов измерений ДН, уменьшении длительности процесса измерения и обработки результатов измерений.

XXI век характеризуется стремительным появлением и развитием новых информационных технологий. Одной из таких новых и революционных технологий является технология виртуальных приборов. Преимущество виртуальных измерительных технологий состоит в возможности программным путем, опираясь на мощь современной компьютерной техники и ее интегрируемость со средствами измерений, создавать разнообразные приборы, измерительные системы и программно-аппаратные комплексы, легко перестраивать их к изменяющимся требованиям, уменьшить материальные затраты и время на разработку. При этом создаваемая измерительная система может быть оптимальным образом адаптирована к решению поставленных задач с учетом их особенностей. Разработка и применение виртуальных приборов на основе технологий National Instruments позволяют в целях повышения быстродействия и точности измерений усовершенствовать антенные измерительные комплексы в зоне раскрытия. Создание виртуальных приборов связано с разработкой специального аппаратно-программного обеспечения для осуществления функций замены реальных приборов комплекса.

Описание эксперимента. В данной работе рассматривается возможность разработки виртуального измерительного вольтметра и математической модели восстановления диаграммы направленности с целью обеспечения работы радиолокационных комплексов для измерения параметров антенн в среде графического программирования LabVIEW.

В состав радиолокационных комплексов входят: сверхвысокочастотный (СВЧ) генератор, амплифазометр (АФМ) (СВЧ и низкочастотный (НЧ) АФМ), механический сканер для перемещения измерительного зонда, блоки и устройства системы автоматического управления сканером.

Работа радиолокационных комплексов для измерения параметров антенн заключается в следующем: с помощью механического сканера

производится перемещение измерительного зонда на плоскости в зоне раскрыва антенны. Сигнал с выхода зонда поступает на блок СВЧ АФМ, где формируются квадратурные сигналы $E\sin\varphi$ и $E\cos\varphi$, соответствующие полю антенны в задаваемых точках раскрыва. Далее эти сигналы через блок преобразования, ввода и управления (БПВУ) и устройство сопряжения поступают в компьютер, где математическим преобразованием (быстрое преобразование Фурье - БПФ) восстанавливается ДН антенны в дальней зоне. Весь процесс измерения и обработки результатов с выдачей окончательного протокола измерений производится автоматически [1].

Одним из важнейших устройств, применяемых в существующих комплексах, является БПВУ, предназначенный для преобразования аналоговых напряжений, соответствующих значениям амплитудных компонент напряженности СВЧ поля, в цифровой код и передачи управляющих команд на блок системы автоматического управления сканером. Фактически одна из основных функций БПВУ – роль электронного вольтметра. На основе технологий National Instruments вместо БПВУ был разработан виртуальный вольтметр с применением платы NI PCI – 6259 и блока сопряжения BNC 2110 [3, 4].

Разработанный виртуальный вольтметр имеет два аналоговых входа (Dev1/ai0, Dev1/aiб). Измерение квадратурных сигналов $E\sin\varphi$, $E\cos\varphi$ от НЧ амплитудометра, поступающих на эти входы, осуществляется через специальный триггер (DAQmx Trigger.vi), позволяющий проходить сигналы при поступлении разрешения на него от блока автоматического управления механическим сканером. В качестве архитектуры устройства сбора данных применена интервальная выборка, которая состоит из одного мультиплексора (коммутатора), операционного усилителя и аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (рис. 1) [5].

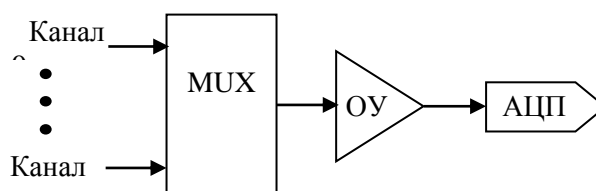


Рис. 1. Архитектура интервальной выборки

В методе интервальной выборки (interval sampling) все каналы устройства используют один АЦП. При оцифровке сигнала использован способ интервальной дискретизации. При этом для управления мультиплексором (multiplexer – MUX) используются тактовые генераторы выборки и преобразователя (ТГВ и ТГП) аналогового ввода. В точках сканирования, согласно заданному шагу измерительного зонда по вертикали и горизонтали, от блока автоматического управления сканером выдается разрешение на триггер (DAQmx Trigger.vi), что равносильно сигналу от ТГВ (Sample Clock); на выходе этого триггера появляется сигнал о начале регистрации данных. Каждый раз, когда ТГВ выдает импульс, принимается одна выборка из одного канала. Тогда мультиплексор подключает первый канал к АЦП, и однократно срабатывает ТГП. Как только ТГП посылает импульс, на АЦП поступает первый измеренный аналоговый сигнал (одна точка данных) из первого канала. Перед тем как ТГП снова отправит импульс, мультиплексор подключит второй канал к АЦП. Как только это произойдет, от ТГП на АЦП поступит следующий измеренный аналоговый сигнал (следующая точка данных) уже из второго канала. По завершении времени (длительности) выборки ТГВ снова генерирует импульс, и цикл повторяется. ТГВ задает частоту, с которой устройство производит выборку данных из всех каналов, а ТГП фактически управляет получением выборок. Период импульсов ТГП при этом составляет 5 мкс (рис. 2), что на порядок меньше, чем в базовых БПВУ.

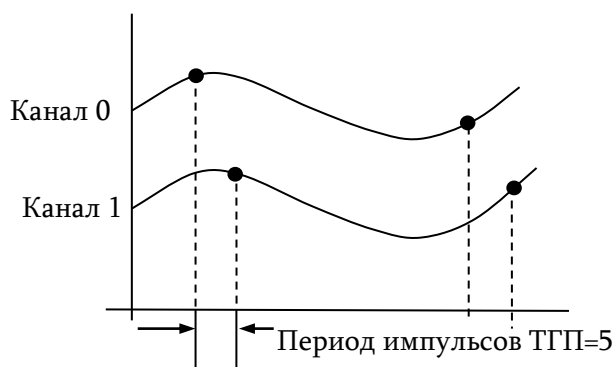


Рис. 2. Пример интервальной выборки

Измеренные и преобразованные сигналы от двух аналоговых входов виртуального вольтметра последовательно записываются в таблице, которая выводится на монитор компьютера для визуального контроля проводимых измерений. На рис. 3 показана блок-диаграмма описанного виртуального вольтметра.

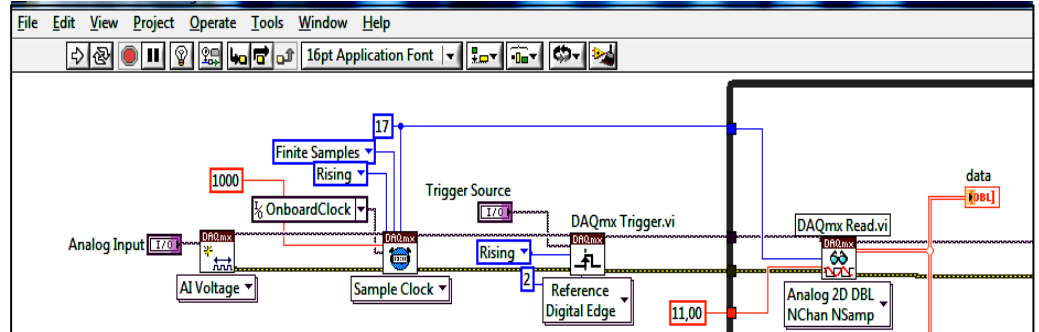


Рис. 3. Блок-диаграмма разработанного вольтметра

Результаты исследования. Результаты зафиксированных виртуальным измерительным вольтметром квадратурных компонент поля ($E\sin\varphi, E\cos\varphi$) далее используются для восстановления ДН измеренной антенны в дальней зоне. При этом необходим расчет углового шага моделирования, углового сектора моделирования восстанавливаемой ДН и шага измерений поля в раскрыве.

В общем случае использование БПФ для пересчета поля антенны от плоскости в ее раскрыве на сферу в дальней зоне приводит к следующим основным угловым соотношениям моделирования [6]:

$$\theta = \arcsin \left[\frac{\lambda}{N} \sqrt{\left(\frac{n_x}{\tau_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{\tau_y}\right)^2} \right], \quad (1)$$

$$\varphi = \arctg \left(\frac{n_y \tau_x}{n_x \tau_y} \right), \quad (2)$$

где θ, φ - угловые координаты точки в дальней зоне; n_x, n_y - порядковые номера (координаты) точки в матрице ДН соответственно по осям $\varphi = 0$ и $\varphi = \frac{\pi}{2}$ с отсчетом от центра матрицы; N - размер матрицы ДН и обрабатываемой матрицы поля в раскрыве антенны; τ_x, τ_y - шаг матрицы поля по осям x и y соответственно.

В частных случаях при $\varphi = 0$ и $\varphi = \frac{\pi}{2}$ (т.е. плоскостях E и H) угловой шаг матрицы ДН равен

$$\theta_x = \arcsin \frac{\lambda n_x}{N \tau_x}; \quad \theta_y = \arcsin \frac{\lambda n_y}{N \tau_y}. \quad (3)$$

Угловой шаг моделирования по этим же осям будет

$$\Delta\theta_x = \arcsin \left[\frac{\lambda n_x}{N\tau_x} \right] - \arcsin \left[\frac{\lambda(n_x-1)}{N\tau_x} \right] \quad - \text{ по оси } \varphi = 0, \quad (4)$$

$$\Delta\theta_y = \arcsin \left[\frac{\lambda n_y}{N\tau_y} \right] - \arcsin \left[\frac{\lambda(n_y-1)}{N\tau_y} \right] \quad - \text{ по оси } \varphi = \pi/2. \quad (5)$$

Соответственно секторы моделирования θ_c восстановленной ДН будут

$$\theta_c = 2\arcsin \frac{\lambda}{2\tau_x} \quad (\varphi = 0), \quad (6)$$

$$\theta_c = 2\arcsin \frac{\lambda}{2\tau_y} \quad (\varphi = \frac{\pi}{2}), \quad (7)$$

$$\Delta\theta_{max} = 2\arcsin \left[\frac{\lambda}{2} \sqrt{\frac{1}{\tau_x^2} + \frac{1}{\tau_y^2}} \right]; \quad (\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\tau_x}{\tau_y}). \quad (8)$$

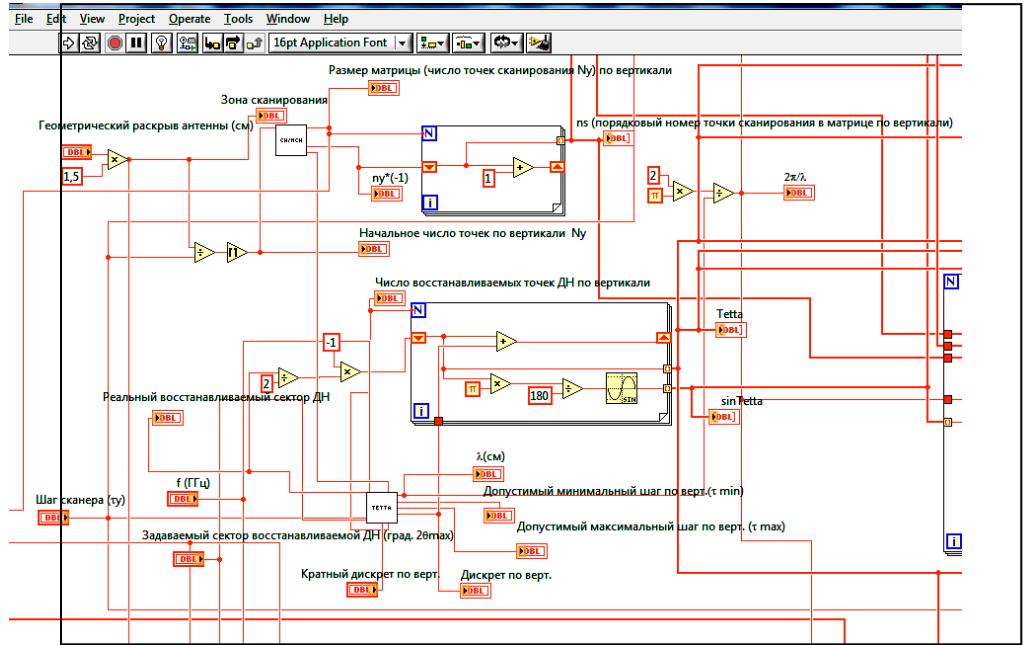
Приведенные соотношения позволяют сделать следующие выводы:

- угловой шаг моделирования ДН тем меньше, чем больше размер обрабатываемой матрицы в раскрыве;
- угловой сектор моделирования зависит только от соотношения длины волны к величине шага измерений и не зависит от размеров матрицы;
- при заданном секторе определения ДН величина шага измерений поля в раскрыве определяется из соотношений

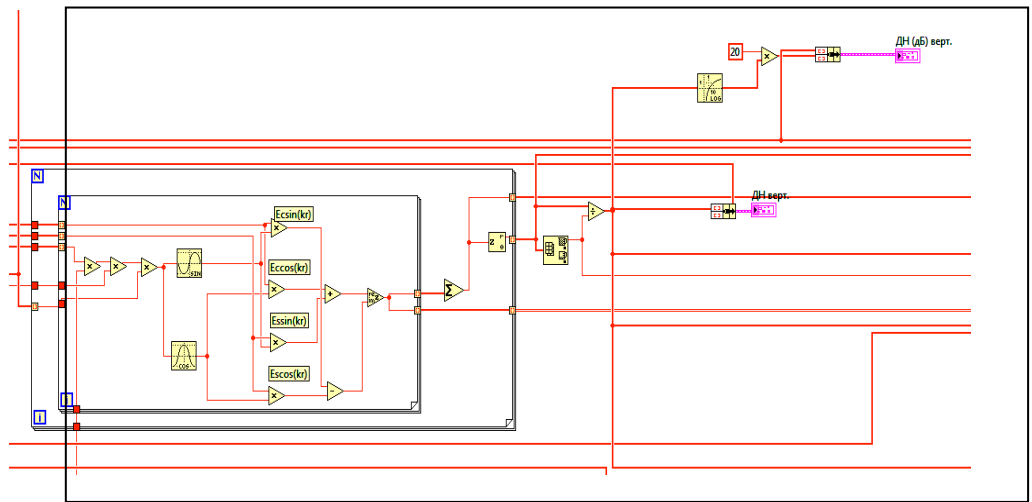
$$\tau_x = \frac{\lambda}{2\sin \frac{\Delta\theta_0}{2}} \geq \frac{\lambda}{2}, \quad \tau_y = \frac{\lambda}{2\sin \frac{\Delta\theta_{\pi/2}}{2}} \geq \frac{\lambda}{2}. \quad (9)$$

Таким образом, для моделирования ДН в широком секторе желательно шаг измерений поля в раскрыве выбрать по возможности малым (учитывая возможности сканера). Малая величина шага желательна также с точки зрения получения более точных результатов.

Приведенные выше формулы вошли в основу разработки математической модели восстановления ДН измеренной антенны в среде графического программирования LabVIEW. На рис. 4 приведена блок-диаграмма получения ДН в вертикальной плоскости. Аналогично выглядит блок-диаграмма ДН в горизонтальной плоскости.



а)



б) продолжение

Рис. 4. Блок-диаграмма получения ДН в вертикальной плоскости

Выводы

1. Применение технологий NI позволило исключить блок преобразования, ввода и управления из состава радиологических комплексов для измерения параметров антенн путем замещения их аппаратно-программно осуществляемым виртуальным измерительным вольтметром. При использовании виртуального измерительного вольтметра (АЦП с 16-битным разрешением) на порядок повышаются чувствительность (цена младшего разряда уменьшена с 0,5 до 0,031 мВ) и быстродействие (с 50 до 5 мкс) радиологических комплексов для измерения параметров антенн.

2. Разработанная математическая модель позволяет увеличить число точек восстанавливаемой ДН вплоть до бесконечности.

Литература

1. Геруни П.М. Автоматические измерения характеристик антенн в зоне раскрыва: Препринт ВНИИРИ - Ереван, 1983.- 70 с.
2. <http://test.vak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/PrilutskiyAA-0.pdf>
3. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/ru/nid/1865>
4. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/ru/nid/14128>
5. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 / Под ред. чл.-корр. РАН П.А. Бутырина. – М.: ДМК Пресс, 2005.- 197 с.
6. Геруни П.М., Арутюнян Дж.С. Радиологическая и современные методы антенных измерений // Радио- и акустическая голография.- Л.: Наука, Ленингр.отд-ие, 1976.- С. 85-97.

*Поступила в редакцию 10.10.2014.
Принята к опубликованию 17.12.2014.*

**ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՎԱԾ ՌԱԴԻՈՀՈԼՈԳՐԱՖԻԿ ՀԱՄԱԼԻՐՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ
ՎԻՐՏՈՒԱԼ ՉԱՓԻՉ ՎՈԼՏՄԵՏՐԻ ԵՎ ԱՆՏԵՆԱՆԵՐԻ ՈՒՂՂՎԱԾՈՒԹՅԱՆ
ԴԻԱԳՐԱՄՆԵՐԻ ՎԵՐԱԿԱՆԳՄԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Լ.Խ. Խաչատրյան, Ա.Գ. Միկոյան

Անտենաների բնութագրերի չափման ռադիոհոլոգրաֆիկ համալիրների կազմում մշակված է վիրտուալ չափիչ վոլտմետրը՝ National Instruments կազմակերպության և LabVIEW գրաֆիկական ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ: Հեռավոր գոտում չափված անտենայի ուղղվածության դիագրամի (ՈՒԴ-ի) վերականգման համար մշակված է

մաթեմատիկական մոդել, որը նախատեսված է անկյունային քայլի մոդելավորման, վերականգնված ՈւԴ-ի անկյունային սեկտորի մոդելավորման և բացվածքում դաշտի չափման համար: Բերված են մշակված վոլտմետրի և անտենայի ՈւԴ-ի ստացման բլոկ-դիագրամները:

Առանցքային բառեր. անտենային բնութագրերի չափման ռադիոհոլոգրաֆիկ համալիր, ուղղվածության դիագրամ, բացվածքի գոտի, վիրտուալ չափիչ վոլտմետր, $E\sin\varphi$ և $E\cos\varphi$ դաշտի քառակուսային բաղադրիչներ, LabVIEW գրաֆիկական ծրագրային միջավայր:

DEVELOPING A VIRTUAL MEASURING VOLTMETER AND A MATHEMATICAL MODEL FOR THE RECOVERY OF THE ANTENNA PATTERNS OF THE IMPROVED RADIOHOLOGRAPHIC COMPLEXES

L.Kh. Khachatryan, A.G. Mikoyan

A virtual measuring voltmeter, as a part of radioholographic complexes for measuring the antenna parameters based on the equipment of the company National Instruments and the LabVIEW graphical programming environment is developed. To provide the recovery pattern of the measured antenna in the far field, a mathematical model used to determine the angular step of modeling, the angular simulation sector of the recovered pattern and the step of measuring the field in the aperture is developed. The block-diagram of the developed voltmeter, and that of the receiving antenna pattern are shown.

Keywords: radioholographic complex for the antenna parameter measurement, pattern, the area of the aperture, the virtual measuring voltmeter, $E\sin\varphi$ and $E\cos\varphi$ quadrature components, environment of graphical programming LabVIEW.