

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИСТИВНО-НАГРУЖЕННЫХ АНТЕНН ГЕОРАДАРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФОРМЫ ДИПОЛЯ

Сахтеров Владимир Иванович

кандидат физ.-мат. наук, с.н.с.

*Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН
Москва, Троицк*

CHARACTERISTICS OF RESISTIVELY LOADED GPR ANTENNAS DEPENDING ON THE CHANGE OF THE DIPOLE SHAPE

Sakhterov Vladimir

Candidate of Science, senior researcher

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism,

Ionosphere and Radio Wave Propagation

Russian Academy of Sciences

DOI: 10.31618/nas.2413-5291.2020.1.62.340

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены экспериментальные результаты измерений характеристик резистивно-нагруженных антенн на измерительном стенде в ИЗМИРАН, приводятся результаты изменения усиления антенны, диаграммы направленности антенн в зависимости от геометрических размеров и способа формирования сопротивления антенны. Полученные результаты позволяют наглядно представить характеристики антенн. На основе полученных данных предложена новая антенна.

ABSTRACT

Experimental results of measurements of resistive-loaded antennas at the measuring stand at IZMIRAN are considered, the results of changing the antenna gain, antenna radiation patterns depending on the geometric dimensions and the method of forming the characteristics of the resistors in the antenna are presented. The results obtained make it possible to visualize the characteristics of the antennas. Based on the data obtained, a new antenna was proposed.

Ключевые слова: антенна георадара, подповерхностное зондирование, георадиолокация.

Keywords: GPR antenna, subsurface sounding, georadar

В настоящее время широко используются георадары подповерхностного зондирования в различных областях сферы деятельности человека. При этом все работы по характеристикам таких антенн являются чисто теоретическими в плане компьютерного моделирования [1,2] либо выжимками из практических работ в виде сравнения полученных результатов [3,4]. В данной статье рассматриваются экспериментальные результаты, полученные на измерительном стенде, расположенном на территории ИЗМИРАН. Он представляет собой половину цилиндра, выполненного из радиопрозрачного материала и наполненного увлажненным песком. Измеряя параметры антенны на равноудаленном от нее расстоянии, можно получить сигнал, прошедший через грунт и воздух. Регистрируя изменения амплитуды первого импульса, получаем данные для вычисления характеристик антенн.

Нужно отметить важность характеристик приемной антенны. Например, на рис.1а приводятся диаграммы направленности резистивно-нагруженной антенны длиной 50 см и шириной 6 см, измеренные двумя приемными антеннами: согласованной по длине антенной 50 см и шириной 0,5 см (рис.2 №1) и измерительной

антенной длиной 9 см и шириной 0,5 см (рис.2 №2). Как видно на рисунке, диаграммы направленности излучающей антенны в этих случаях отличаются значительно, т. к. амплитуды измеренного сигнала отличаются примерно в 10 раз. Для наглядности максимальные значения нормированы к единице. Для проверки полученных результатов было проведено взаимное измерение согласованных антенн шириной 3 см и 0,5 см. Одна ставилась на излучение, второй производилось измерение, затем антенны менялись местами. Здесь и далее на графиках приводятся измеренные на клеммах антенн амплитуды в вольтах. Полученный результат приведен на рис.1б, за исключением погрешностей измерения он практически одинаковый. Измерение с антенной шириной 8 см подтвердило результат. Также отметим, что теоретические расчеты предполагали [5], что уровень заднего лепестка должен составлять примерно 15% от амплитуды главного; измеренные данные показывают, что амплитуда заднего лепестка достигает 30%. Это говорит о необходимости разработки экранированных антенн с целью снижения воздушной помехи от зданий и других объектов.

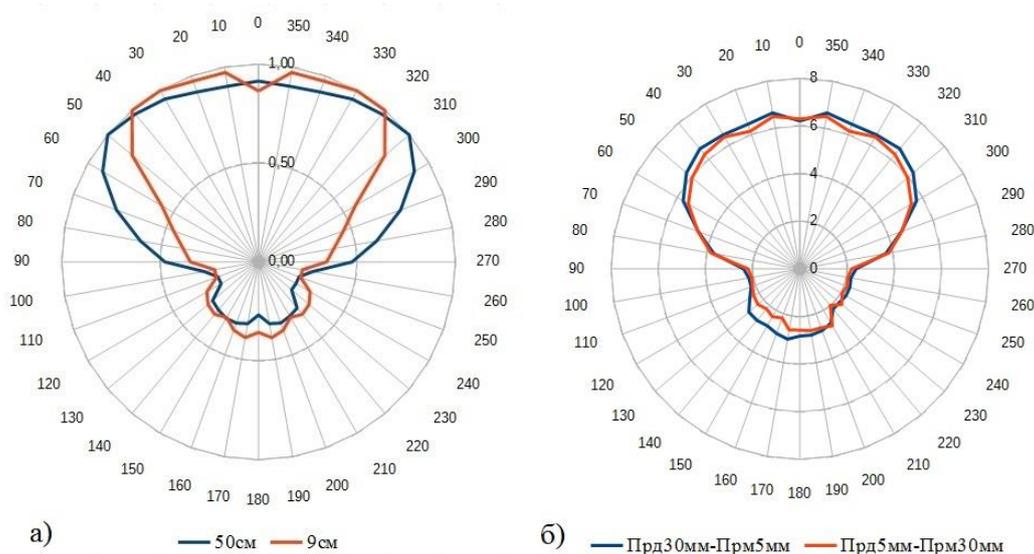


Рис.1 Диаграммы направленности резистивно-нагруженных антенн

Традиционно в импульсных георадарах повышенной мощности (1 МВт и выше) используются резистивно-нагруженные диполи, изготовленные из фольгированного стеклотекстолита. Обычно половина вибратора делится на одиннадцать одинаковых сегментов, в

места разрезов размещаются поглощающие резисторы. У каждого изготовителя свои расчеты, поэтому используем для всех видов измеряемых антенн одну линейку резисторов, например, как на антенне №3 на рис.2.

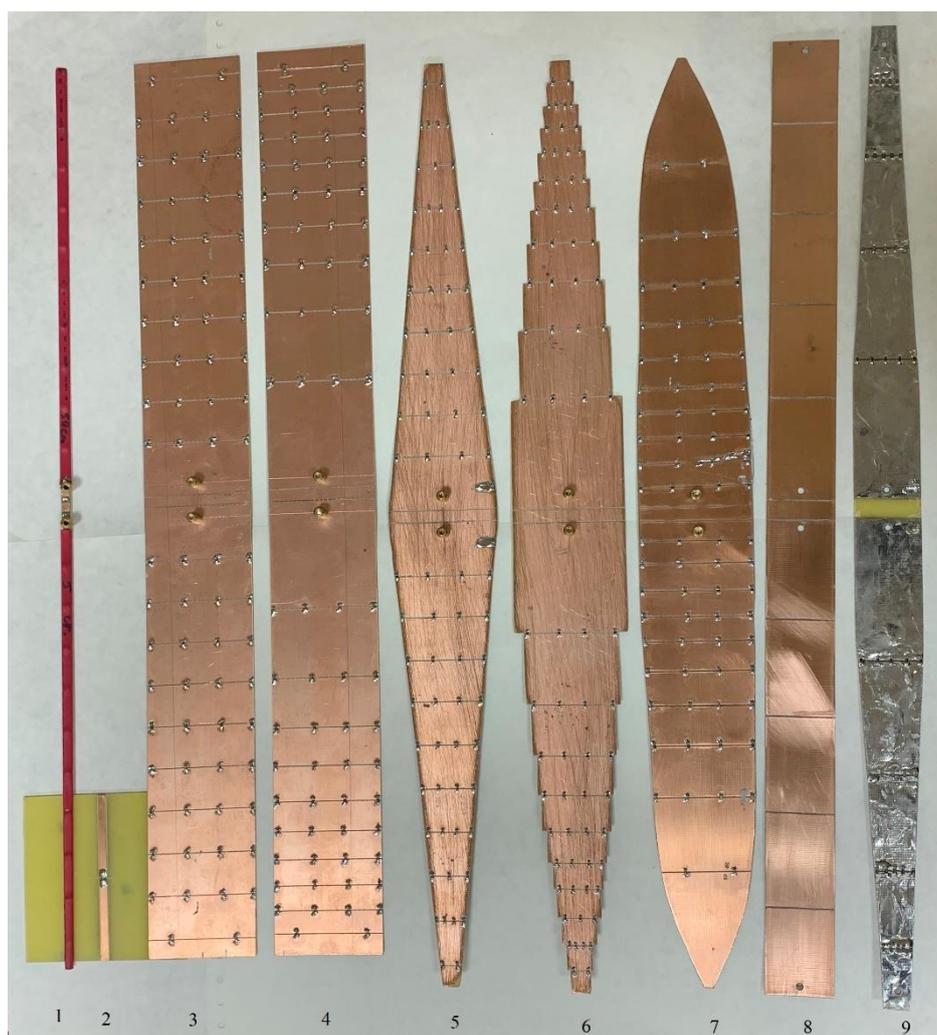


Рис.2 Внешний вид измеренных антенн.

Дальнейшие измерения проводились приемной антенной №1. Простое изменение ширины передающей антенны №3 от 0,5 см до 8 см вызывает увеличение амплитуды на клеммах приемной антенны примерно в 1,5 раза, и последующее увеличение ширины свыше 8 см не приводит к дальнейшему увеличению амплитуды, по крайней мере для длины 50 см. После анализа полученных результатов измерений для дальнейших исследований были изготовлены

несколько антенн: №4 - прямоугольная, длина сегментов от клемм уменьшается по экспоненте, №5 - трапецидальная, сегменты имеют одинаковую длину, №6 - дискретная трапеция, длина сегментов уменьшается по экспоненте, №7 - ширина уменьшается по экспоненте, длина сегментов увеличивается по экспоненте, №8 - прямоугольная антенна шириной 3 см с уменьшенным количеством резисторов.

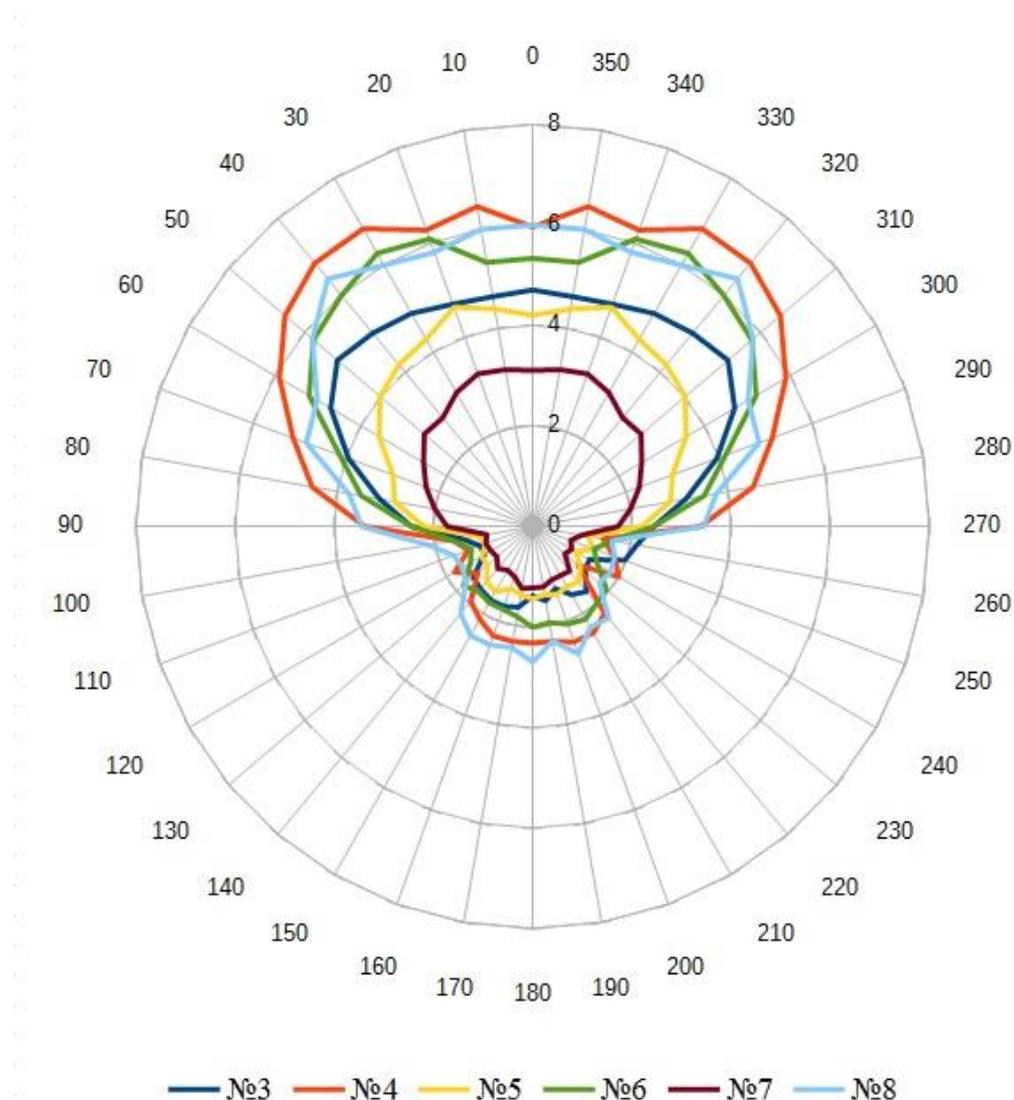


Рис.3 Измеренные диаграммы направленности антенн

В дальнейшем была разработана антенна №9 - трапеция с уменьшенным количеством резисторов, длина сегментов которой уменьшается по экспоненте. Измеренные диаграммы направленности антенн приведены на рис.3. Сравнение характеристик всех используемых антенн производится с характеристиками антенны №3, которую используем в качестве стандарта. Наиболее худшие характеристики у антенны №7, значения амплитуды ниже стандарта в 1,6 раза. Антенна №5 (трапеция) имеет амплитуду, сравнимую со стандартом, но при этом более узкую диаграмму направленности, что в принципе позволяет сделать вывод о возможности подбора ее

формы и ширины для оптимальной диаграммы направленности. Антенна №4 дает максимальное значение амплитуды и превышение боковых лепестков над главным в 1,1 раза. Антенна №6 имеет оптимальное значение диаграммы направленности: провал главного лепестка и максимальное значение амплитуды бокового лепестка под углом 30-40 градусов от центра. Антенна №8 с пониженным количеством сегментов имеет равное значение амплитуды в главном лепестке, немного меньшее значение бокового лепестка. Здесь произошло увеличение амплитуды за счет меньшего количества резисторов, что допускается обычно при зондировании влажных

сред, при хорошей емкостной связи антенны со средой. В случае измерений в сухих почвах возможно возникновение паразитных колебаний.

На основе полученных результатов экспериментов, проведенного анализа и дополнительных измерений была разработана антенна, приведенная на рис.2 под №9. Для длины 50 см и ширины 3,4 см применена плавная трапеция, длина сегментов уменьшается по экспоненте, количество сегментов равно пяти, в качестве резисторов используются чип-резисторы размера 1206. Применено параллельное включение 4 резисторов, при импульсной амплитуде передатчика 5 кВ и длительности до 15 нс они надежно работают. Диаграмма направленности антенны приблизительно равна характеристикам антенны №6 и здесь не приводится. Эксперименты показали, что для решения конкретно поставленных задач можно путем изменения геометрических параметров антенн находить их наиболее оптимальные варианты конструкций с наилучшими радиотехническими характеристиками.

Список литературы:

1. Гринев А. Ю., Темченко В. С., Ильин Е. В. Моделирование зондирующих и рассеянных

электромагнитных полей на основе дипольной аппроксимации характеристик антенны подповерхностного радара (Антенна 2009 № 12)

2. Попов А.В., Прокопович И.В., Едемский Д.Е., Морозов П.А., Беркут А.И., Меркулов С.В. Глубинный георадар: принципы и применение // Электромагнитные волны и электронные системы, т. 23, № 4 с. 28-36, 2018

3. Варенков В.В., Волкомирская Л.Б., Гулевич О.А., Резников А.Е., Сахтеров В.И. Исследование эффективности использования диэлектрических резонаторных антенн для георадаров, II Всероссийская научная конференция. // «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн»/ «Муром 2018» /

4. Ю.А. Брусенцов, И.С. Филатов, М.Ю. Серегин, В.Г. Однолюк, И.Г. Проценко Улучшение избирательности антенн георадаров // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского 2009/6

5. Гарбацевич В.А. Исследование излучателей и сигналов ионозонда и георадара для диагностики геофизических сред. Дис.канд. физ-мат. наук. Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн. 2008.

UDC: 538.97

CALCULATING THE VALUES OF THE DIPOLE MOMENTS OF ELECTRONIC TRANSITIONS

Urusova B. I.¹, Bolatchieva M. S.-X.²

Karachay-Cherkess state University named after U. D. Aliyev, doctor of physics, Professor, head of the Department of physics, Karachayevsk, Russia

Karachay-Cherkess state University named after U. D. Aliyev, 1st year post-graduate student, Physics and mathematics faculty, Karachayevsk, Russia

ANNOTATION

In this work, the values of dipole moments of electron transitions are calculated using the semiempirical method, taking into account the rotation of the molecule analytically (through $3j$ - and $6j$ -semivolts). Integrals of the intersection of vibrational wave functions of combining States are found. The absolute values of dipole moments of electronic transitions $3l^3 A'_g \rightarrow 2p^3 A''_u$ necessary for calculating the coefficients of expansion of the wave function of the perturbed state of a triplet $3s, 3d$ - complex of terms on the born-Oppenheimer basis and the overlap integrals of the number of negative wave functions corresponding to radiation transitions are determined. Using χ^2 the difference standard calculated by formulas optimization subroutine FUMIL the effective values of dipole moments of electronic components were determined $3l^3 A'_g \rightarrow 2p^3 A''_u H_2$.

Keyword: dipole moments electron transitions, wave function, overlap integrals, electronic levels.

The task of this paper is to find the values of dipole parameters by a semiempirical method.

To solve this problem, the rotation of the molecule was taken into account analytically (through $3j$ - and $6j$ -semivolts), and the critical integrals of vibrational wave functions of combining States were determined numerically.

Research of relative values of probabilities of electron-vibrational-rotational (EQ) transitions from the levels of the triplet $3s, 3d$ -complex of terms of the

hydrogen molecule were performed semi-empirically [1].

Using laser-stimulated photo fragmentation spectroscopy, we found the probability ratios of spontaneous transitions from the EQ levels $3l^3 A'_g$ - from the preassociating $b^3 \Sigma_u^+$ - state $c^3 \Pi_r^+$ - positions and the orbital quantum numbers of the valence electron in the corresponding unified atom Λ - a literal designation of the quantum number of the electron momentum projection operator on the inter-core axis. This method is based on the registration of the speed