ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ РАСШИРЕНИЯ ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ СХОДИМОСТИ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН В НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ

Наумейко И.В., Сова А.В.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, каф. ПМ, тел. (057) 702-14-36,
E-mail: naum@kture.kharkov.ua; факс (057) 702-11-13

This work is devoted to the analysis of solutions of differential equations, that traditionally describe wave propagation in a nonhomogenious environment, for example, inside a screen. They also describe general situation in the system «Human-Machine- environment», that is a model for the process of radio electronic apparatus production and testing. An electromagnetic situation is determined by the E and H vectors – accordingly, electric and magnetic constituents of the field. The calculation formulas for two-point Pade method are presented for «sewing» together the asypmptotic solutions of these equations in a high-frequency and low-frequency regions.

Работа посвящена анализу точности решения дифференциальных уравнений, традиционно описывающих распространение электромагнитной волны в среде, например, в экране, а также в целом обстановку в системе «Человек-Машина-Среда», являющейся моделью производства и тестирования радиоэлектронной аппаратуры. Актуальность данной проблемы сложно переоценить, так как аявляясь открытой системой, любой живой организм информационно взаимодействует с внешними по отношению к биологической системе электромагнитными полями и излучением. А вот эволюционно сложившихся механизмов нейтрализации электромагнитных полей, имеющих характеристики, отличных от природных, у человека нет.

Электромагнитная обстановка определяется векторами E и H – соответственно, электрической и магнитной составляющих поля. Их значения связаны векторным волновым уравнением, аналитические решения которого представлены в различных диапазонах частот. В работе предлагается расчетные формулы двухточечного метода Паде апроксимации – «сшивки» асипмптотик решений этих уравнений в высокочастотной и низкочастотной областях.

Из средств защиты от электромагнитного поля (ЭМП) важнейшую роль играют экраны, использующие поглощающие материалы. Эта система уравнений для комплексных векторов E и H по виду идентична известной обобщенной системе обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих длинные линии. Если параметры экрана неоднородны (т.е. меняются с глубиной – все электромагнитные параметры есть функции от x.), тогда решение такой системы возможно только с помощью приближенных методов. Ранее предложены методы решения дифференциальных уравнений с помощью введения малого параметра $\varepsilon \to 0$, где $\varepsilon=1/j\omega$, $\omega=2\pi f$, что физически соответствует высокочастотной области $f > 10^5$ Гц. Возникает задача расширения полосы частот применимости метода малого параметра. Для этого в настоящей работе применяется «сшивка» асимптотик при $\varepsilon \to 0$ и $\varepsilon \to \infty$ методом Паде-аппроксимации.

Задачей работы является вывод расчетных формул и численная верификация метода. Рассмотрим систему дифференциальных уравнений с малым параметром при производной (сингулярная задача)

$$\varepsilon \overline{X}' = (A_0 + \varepsilon A_1)\overline{X}\,, \tag{1}$$

где ε - малый параметр, а A_0 и A_1 - гладкие матрицы-функции специального блочного вида размером 2x2 с переменными коэффициентами, $X=(E,H)^{\mathrm{T}}$, x- переменная координата длины.

Известно, что решения системы дифференциальных уравнений вида (1) можно представить в виде сходящегося асимптотически формального ряда следующего вида:

$$X(x,\varepsilon) = e^{\varepsilon^{-1}\int_0^x \lambda(t)dt} \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \varepsilon^k \overline{Z}_k(x) \right\} \tag{2}$$

Заменим ряд (2) на рациональную Паде-аппроксимацию исходного ряда.

Паде-аппроксиммант задается значением функции в точке и $M+L$ значениями её производных в этой же точке ε. Главное отличие в том, что задав $M+L+1$ член степенного ряда, мы отбрасываем остальные члены ряда, приравнивая их к нулю. Паде-аппроксимант не является полиномом, поэтому задав $M+L+1$ членов разложения Паде-аппроксиманта в степенной ряд, мы в неявной форме задаем и остальные члены.

В одних случаях они позволят нам построить более точную аппроксимацию, в других - наоборот могут ухудшить положение. Нет способа, который позволил бы сказать, насколько точна окажется Паде-аппроксимация и в какой окрестности и с какой точностью можно получить результаты. Сравнение с результатами численного решения для модельных примеров дает оценку применимости метода в диапазоне ε.

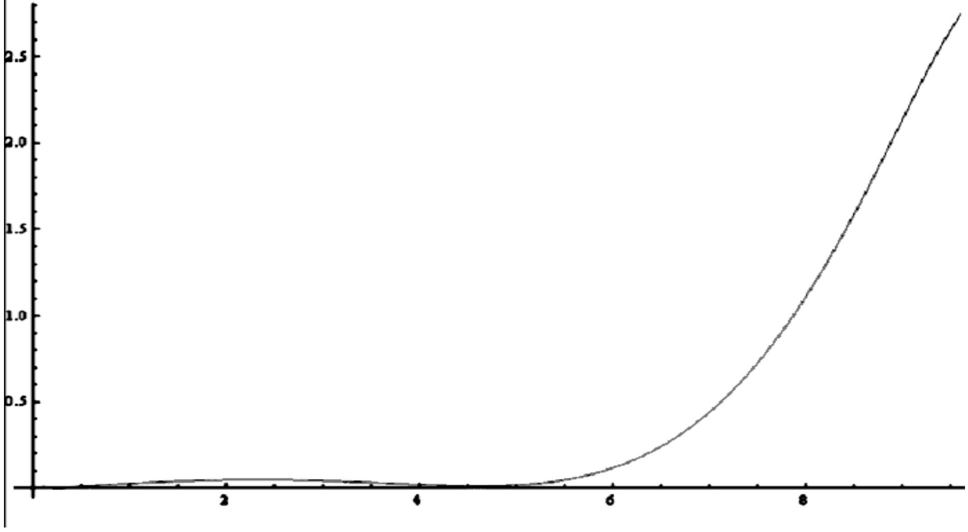
Вычислив вектор-функции $\overline{Z}_i, i = \overline{0,2}$, получили отрезок ряда следующего вида:

$$\overline{Z}_0 + \varepsilon \overline{Z}_1 + \varepsilon^2 \overline{Z}_2 . \qquad (3)$$

Поскольку дальнейшее вычисление функций $\overline{Z}_i$, влечет к большим вычислительным затратам, и, вследствие асимптотичности ряда, не гарантирует увеличение точности, есть смысл применить аппарат аппроксимации Паде для продолжения решения на область более низких частот. Для этого построим Паде аппроксимацию матриц *Z,* составленных из вектор-столбцов ряда (3):

$$P_2(x,\varepsilon)\cdot Q_2^{-1}(x,\varepsilon) = Z_0 + \varepsilon Z_1 + \varepsilon^2 Z_2, \text{ где } P_2(x,\varepsilon) = P_0(x) + \varepsilon P_1(x), \quad Q_2(x,\varepsilon) = E + \varepsilon Q_1(x)$$

Из полученных соотношений определим значения коэффициентов для $P_2(x,\varepsilon)$ и $Q_2(x,\varepsilon)$. Полученные результаты сравнивались с решением исходной системы методом Рунге – Кутта четвертого порядка, что позволило показать что метод Паде-аппроксимации имеет большие преимущества для построения численного приближения к решению исходной системы.



Из графика погрешности в % видно, что с точки *x*=6 и далее погрешность Паде-аппроксимации не превышает 2,5% при *ε=0.001*. В следствии того что исходная система ОДУ имеет практическое применение в физике можно отметить что реализация метода Паде–аппроксимации позволила расширить спектр допустимых частот при которых асимтотический ряд будет сходится к точному решению системы.

БИДИСТИЛЛЯТОР С МИКРОВОЛНОВЫМ БОЙЛЕРОМ

Кукоба А.В.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр. Ленина 14, каф. БМЭ, тел. (057) 702-13-64)
E-mail: rzh@kture.kharkov.ua

We have developed aqueous bidistiller that has the following advantages over widely used commercial setups: use of mineral water instead of tap water as a raw material, microwave water heating that prevents contact between water and the heater. Bidistiller is based on commercial microwave oven. All components that have contact with water are made of borosilicate glass. Conductivity of obtained bidistilled water is about 1.6 μS/cm.

Дистилляция - один из наиболее распространенных в лабораторной практике способов глубокой очистки воды. Простота применения, надежность и гарантированно качественный результат - несомненные преимущества дистилляции, в силу которых ее предпочитают использовать для очистки воды в самых разных лабораториях. Рынок научного оборудования предлагает большой