

Принцип масштабного моделирования сверхширокополосных и импульсных антенн

А.Н. Титов, А.Н. Грибанов

АО «НИИП имени В.В. Тихомирова»

Россия, Московская обл., г. Жуковский, ул. Гагарина, д.3, niki@nio11.niip.ru

Приведены правила, соблюдение которых необходимо при выполнении масштабного моделирования узкополосных и сверхширокополосных электродинамических систем.

Rules which observance is necessary at performance of scale modeling narrow-band and ultra wideband electrodynamic systems are shown.

1. Введение

Масштабное электродинамическое моделирование широко применяется при проектировании антенн и СВЧ устройств, а также при экспериментальных исследованиях процессов отражения и рассеивания электромагнитных волн. Оно позволяет, например, выполнять на моделях в лабораторных условиях экспериментальную обработку громоздких антенн, характерных для сравнительно длинноволновых диапазонов, исследовать на моделях с удобными размерами миниатюрные антенны миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. Масштабное моделирование является незаменимым средством, позволяющим выбирать варианты размещения многочисленных антенн на различных объектах задолго до создания этих объектов, а также отрабатывать вопросы электромагнитной совместимости. Также оно успешно используется для исследования отражающих и рассеивающих свойств радиолокационных целей.

Возможность электродинамического моделирования впервые была показана Абрагамом в 1919 [1]. Она основывается на линейности уравнений Максвелла, которыми описываются все электродинамические явления в линейных средах. Теоретическое обоснование принципа электродинамического подобия приведено, например, в [2]. В монографиях [3,4] описаны условия масштабного моделирования антенн и отражателей электромагнитных волн применительно к гармоническим процессам.

В самом общем виде принцип электродинамического моделирования может быть сформулирован следующим образом: масштабирование пространства эквивалентно масштабированию времени и наоборот.

Строго говоря, электродинамическое моделирование подразумевает использование чисто монохроматического электромагнитного излучения, в то время как сигналы практически всех радиотехнических систем занимают частотный спектр определенной ширины. Однако практика показала, что результаты моделирования являются вполне приемлемыми, если относительная ширина спектра сигналов не превышает 0.1. В последние десятилетия стремление повысить информационную производительность радиотехнических систем привело к освоению теории и практики широкополосных, сверхширокополосных и сверхкороткоимпульсных сигналов, что требует особого подхода к методам электродинамического моделирования в этих условиях.

Одна из проблем связана с тем обстоятельством, что почти все параметры, традиционно используемые при расчетах, определены применительно к монохроматическим сигналам конкретной частоты, что противоречит сущности

сверхширокополосных сигналов. К сожалению, в настоящее время отсутствуют стандартизованные или хотя бы общепринятые определения эквивалентных параметров для случая сверхширокополосных и сверхкороткоимпульсных сигналов.

2. Параметры масштабирования

В таблице 1 приведены условия электродинамического моделирования для случая синусоидальных во времени сигналов. Под сигналами следует понимать токи, напряжения, напряженности электрического и магнитного полей. Эта таблица с достаточной для практики точностью может использоваться и в случае несинусоидальных сигналов, относительная ширина спектра которых меньше 0.1. В этой и последующих таблицах индекс «О» означает «оригинал», а индекс «М» относится к модели.

Во всех случаях коэффициент масштабирования обозначен через «m», которое может принимать любое положительное значение.

В таблице 2 даются некоторые особенности электродинамического моделирования для случая сверхширокополосных (СШП) сигналов. Таблица составлена применительно к частотной области рассмотрения.

В таблице 3 приведены особенности моделирования для случая, когда интерес представляет временная область рассмотрения.

Таблица 1. Условия моделирования для узкополосных сигналов

№	Наименование параметра	Оригинал	Модель
1	Частота синусоидального сигнала	f_0	$f_M = f_0 * m$
2	Длина волны	λ_0	$\lambda_M = \lambda_0 / m$
3	Линейный размер	l_0	$l_M = l_0 / m$
4	Граница дальней зоны для направленных антенн	R_0	$R_M = R_0 / m$
5	Диэлектрическая проницаемость материала	ϵ_0	$\epsilon_M = \epsilon_0$
6	Магнитная проницаемость материала	μ_0	$\mu_M = \mu_0$
7	Электрическая проводимость материала	σ_0	$\sigma_M = \sigma_0 / m$
8	Активное электрическое сопротивление	R_0	$R_M = R_0$
9	Реактивное электрическое сопротивление	X_0	$X_M = X_0$
10	Комплексное электрическое сопротивление	Z_0	$Z_M = Z_0$
11	Электрическая емкость	C_0	$C_M = C_0 / m$

12	Электрическая индуктивность	L_0	$L_M=L_0/m$
13	Эффективная поверхность рассеяния радиолокационной цели (ЭПР)	σ_0	$\sigma_M=\sigma_0/m^2$
14	Коэффициент усиления антенны	G_0	$G_M=G_0$
15	Постоянная распространения электромагнитной волны	k_0	$k_M=k_0*m$
16	Фазовая скорость распространения электромагнитной волны	u_{FO}	$u_{FM}=u_{FO}$
17	Волновое сопротивление линии передачи СВЧ	ρ_0	$\rho_M=\rho_0$
18	Приемная площадь антенны	S_0	$S_M=S_0/m^2$

Таблица 2. Особенности моделирования для СШП сигналов (частотная область).

№	Наименование параметра	Оригинал	Модель
1	Минимальная частота спектра	$f_{\min O}$	$f_{\min M}=f_{\min O}*m$
2	Максимальная частота спектра	$f_{\max O}$	$f_{\max M}=f_{\max O}*m$
3	Спектральная плотность	$S_0(f)$	$S_M(mf)=S_0(f)$
4	Амплитудно-частотная характеристика	$K_0(f)$	$K_M(mf)=K_0(f)$
5	Фазо-частотная характеристика	$\varphi_0(f)$	$\varphi_M(mf)=\varphi_0(f)$
6	Информационная полоса частот Δf	Δf_0	$\Delta f_M=\Delta f_0*m$
7	Линейный размер	l_0	$l_M=l_0/m$
8	Граница дальней зоны направленной антенны	R_{Ox}	$R_M=R_0/m$

Таблица 3. Особенности моделирования для СШП сигналов (временная область).

№	Наименование параметра	Оригинал	Модель
1	Время	t_0	$t_M=t_0/m$
2	Размер	l_0	$l_M=l_0/m$
3	Эпюра электрического сигнала генератора импульсов	$U_0(t)$	$U_M(t)=U_0(t/m)$

4	Этюра излученного электрического поля в дальней зоне	$E_0(t)$	$E_M(t)=E_0(t/m)$
5	Импульсные характеристики фидерных трактов и антенн	$h_0(t)$	$h_M(t)=h_0(t/m)$
6	Автокорреляционные функции сверхширокополосных сигналов	$R_0(\tau)$	$R_M(\tau)=R_0(\tau/m)$

Заключение

Разработка и освоение методов электродинамического моделирования сверхширокополосных и сверхкороткоимпульсных антенн в определенной мере сдерживаются отсутствием комплекса общепринятых характеристик, используемых для описания процессов излучения, приема, отражения и рассеивания сверхширокополосных и сверхкороткоимпульсных сигналов.

Литература

1. Abraham M. 'Ein Satz uber Modelle von Antennen', Mittlg, der Phys. ges. Zurich, 1919, v.19, S.17.
2. Федоров Н.Н. 'Основы электродинамики': Учеб. пособие для вузов. – М.: «Высш. школа», 1980.
3. R.S. Johnson, Ed 'Antenna Engineering Handbook', 3th Ed 1994.
4. Майзельс Е.Н., Торгованов В.А. 'Измерение характеристик рассеяния радиолокационных целей'. Под ред. М.А. Колосова, М. Изд-во «Советское радио», 1972.
5. Balanis, Constantine A., Ed 'Modern Antenna Handbook', John Wiley & Sons, Inc., 2008.