

УДК 621.396.677

М.Г. Иванец, С.Н. Власик

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННО-ФИДЕРНОЙ СИСТЕМЫ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

В работе предложен метод расчета электрических характеристик (коэффициент отражения, коэффициент стоячей волны, коэффициент полезного действия и др.) антенно-фидерной системы, который позволяет учитывать параметры линии передачи в широком частотном диапазоне. Рассматривается случай возбуждения короткоимпульсной зеркальной антенны облучателем в виде ТЕМ-рупора при использовании сверхширокополосного сигнала видеоимпульсного типа наносекундной длительности.

Ключевые слова: сверхширокополосный сигнал, коэффициент отражения, коэффициент стоячей волны.

Введение

Совершенствование систем связи, локации и дистанционного зондирования обуславливает интерес к вопросам, связанным с генерацией, излучением, распространением, приемом и обработкой импульсных сигналов ультракороткой длительности. Именно с этим связан тот факт, что в мировой радиоэлектронике в течение последних 15 лет вновь нарастает интерес к сверхширокополосной электродинамике.

Основное содержание этого направления сводится к следующему: вместо традиционного узкополосного зондирующего сигнала

$$\Delta f / f_0 \leq 0,1$$

с шириной спектра Δf и частотой несущего колебания f_0 , используется сигнал видеоимпульсного типа:

$$\Delta f / f_{cp} \approx 1$$

где f_{cp} – средняя частота спектра сигнала).

В связи с вышесказанным приобретают актуальность вопросы связанные с разработкой антенно-фидерных систем, предназначенных для излучения сверхширокополосных сигналов и оценки их электрических характеристик в широкой полосе частот. Под электрическими характеристиками в работе понимается характеристики режимов работы линии передачи, нагруженной облучателем зеркальной антенны.

Электродинамическое описание волновых процессов в трактах СВЧ с помощью векторных соотношений для электрических и магнитных полей содержит в себе гораздо больше информации, чем может потребоваться при последующем расчете тракта СВЧ.

Как правило, разработчика тракта интересуют, главным образом, величина передаваемой мощности, соотношение между падающей и отраженной

волнами, величина нагрузки. Именно эти параметры сравнительно легко определить экспериментальным путем, тогда как измерения компонентов электромагнитного поля и функций их распределения сопряжены со значительными трудностями.

Вместе с тем, величины векторов поля, подробности структуры полей, поляризация и т.п. после того, как выбран конкретный вид тракта, играют уже второстепенное значение и при дальнейшем проектировании трактов от этих факторов желательно абстрагироваться.

Поэтому в инженерной практике нет необходимости знать векторы \vec{E} и \vec{H} в каждой точке линии передачи, а достаточно знать их интегральные характеристики: напряжение и ток [1], через которые в последующем могут быть выражены коэффициент отражения, коэффициент стоячей волны (КСВ) и др. электрические характеристики фидера.

Цель статьи. Разработать метод расчета электрических характеристик антенно-фидерной системы при использовании сверхширокополосных (СШП) сигналов, который позволяет учитывать параметры линии передачи в широком частотном диапазоне.

Основной раздел

Постановка задачи. Рассматривается случай возбуждения зеркальной антенны облучателем в виде системы ТЕМ-рупоров при использовании сверхширокополосного сигнала видеоимпульсного типа наносекундной длительности. До помещения в зеркало облучатель был согласован с фидером, то при наличии зеркала в фидере возникнет отраженная волна, т.е. произойдет рассогласование облучателя с фидером.

Степень рассогласования в широком частотном диапазоне можно охарактеризовать коэффициентом отражения [2]:

$$\dot{\Gamma}(f) = \frac{cD_{\max}}{f4\pi F} \exp(-j\delta), \quad (1)$$

где c — скорость света;

D_{\max} — максимальный коэффициент направленного действия;

f — частота;

F — фокусное расстояние.

Модуль коэффициента отражения имеет вид, показанный на рис. 1.

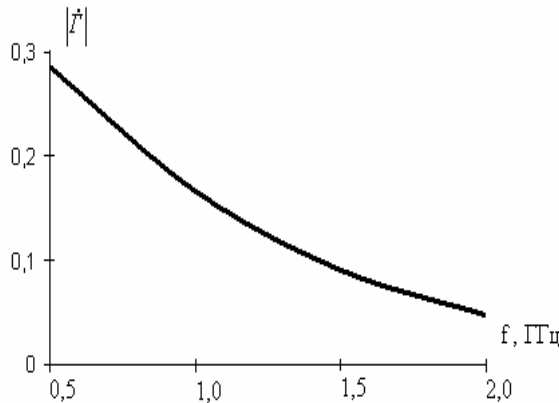


Рис. 1. Дисперсия коэффициента отражения в линии передачи

Уменьшение модуля коэффициента отражения в линии передачи, нагруженной ТЕМ-рупором, с ростом частоты обусловлено тем, что коэффициент направленного действия (КНД) расчетной конструкции облучателя уменьшается быстрее, чем растет частота, так как ТЕМ-рупор имеет слабонаправленную диаграмму направленности (ДН) в широком диапазоне частот.

Кроме этого, при увеличении частоты растет уровень боковых лепестков ДН.

При известном коэффициенте отражения можно определить сопротивление нагрузки R_n , которое также будет обладать свойством дисперсии.

Используя известное выражение [3]:

$$|\dot{\Gamma}(f, z=0)| = \sqrt{\frac{(R_n(f) - Z_b)^2 + X_n^2(f)}{(R_n(f) + Z_b)^2 + X_n^2(f)}}, \quad (2)$$

где $X_n(f) = 2\pi fL_0 + \frac{1}{2\pi fC_0}$ — реактивное сопротивление фидера,

Z_b — волновое сопротивление линии передачи;

z — ось прямоугольной системы координат, совпадающая с направлением распространения волны;

L_0, C_0 — погонные индуктивность и емкость линии.

получим, что

$$R_n(f) = \sqrt{Z_b \frac{\Gamma^2(f, z=0)+1}{\Gamma^2(f, z=0)-1} - (X_n^2 + Z_b^2)} - Z_b \frac{\Gamma^2(f, z=0)+1}{\Gamma^2(f, z=0)-1}. \quad (3)$$

Аргумент коэффициента отражения определяется в виде [1]:

$$\delta = \arctg \frac{X_n}{R_n - Z_b} - \arctg \frac{X_n}{R_n + Z_b} + \zeta\pi, \quad (4)$$

где $\zeta = \begin{cases} 1 & \text{при } R_n < Z_b \\ 0 & \text{при } R_n > Z_b \end{cases}$.

Приведенные выражения для амплитуды и фазы коэффициента отражения обычно используются для анализа режима работы фидера.

Мерой интенсивности отражений от нагрузки служит коэффициент стоячей волны K_c , рассчитываемый как:

$$K_c(f) = \frac{1 + |\Gamma(f, z=0)|}{1 - |\Gamma(f, z=0)|}, \quad (5)$$

Зависимость КСВ от частоты представлена на рис. 2.

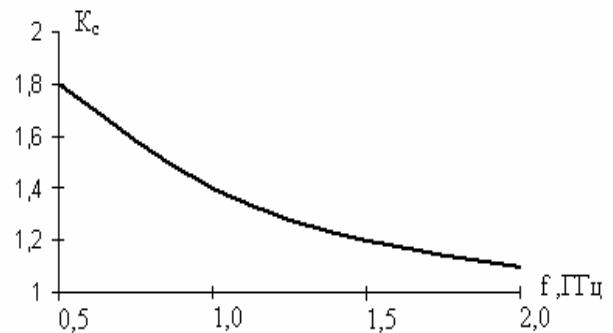


Рис. 2. Дисперсия КСВ

В линии без потерь мощность, переносимая волной в смешанном режиме, в любом сечении фидера одинакова.

Коэффициент полезного действия (КПД), определяемый как отношение выходной мощности к подводимой, в сечении нагрузки $z=0$ будет также зависеть от частоты и описывается следующим выражением [1]:

$$\eta(f) \approx 1 - |\dot{\Gamma}_n^2(f, z=0)|, \quad (6)$$

КПД рассматриваемой линии передачи представлен на рис. 3.

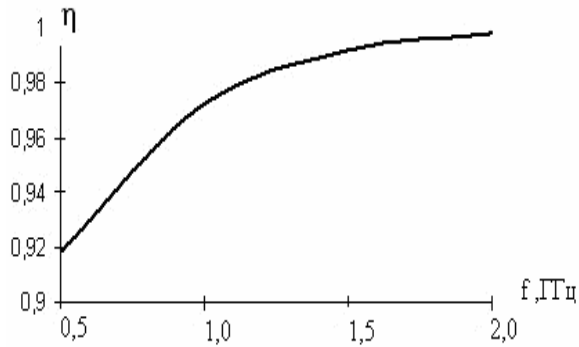


Рис. 3. КПД антенно-фидерної системи в залежності від частоти

Выводы

Из рис.3 видно, что КПД с ростом частоты КПД увеличивается, в линии устанавливается режим, близкий к режиму бегущей волны.

Так как в линии передачи $\eta < 1$, то уменьшается и коэффициент усиления антенно-фидерной системы. Это в итоге приводит к уменьшению плотности потока мощности излученного сигнала.

С учетом данных, представленных на рис. 3, определено, что уменьшение пикового значения напряженности электрического поля СШП сигнала будет (пропорционально $\sqrt{\eta}$) составлять величину порядка 16%.

Список литературы

1. Полярус А.В. Распространение радиоволн и линии передачи / А.В. Полярус: – Х.: Издание Харьковского военного университета, 1995. – 383 с.
2. Шифрин Я.С. Антенны / Я.С. Шифрин. – Х.: ВИРТА, 1976. – 407 с.
3. Штительман Б.И. Теория электромагнитного поля и техника сверхвысоких частот / Я.С. Шифрин. – Х.: ВИРТА, 1974. – 493 с.

Поступила в редколлегию 10.06.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.И. Обод, Национальный технический университет "ХПИ", Харьков.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННО-ФІДЕРНОЇ СИСТЕМИ НАДШИРОКОСМУГОВИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

М.Г. Иванец, С.М. Власик

У роботі запропонований метод розрахунку електричних характеристик (коефіцієнт віддзеркалення, коефіцієнт стоячої хвилі, коефіцієнт корисної дії і ін.) антенно-фідерної системи, який дозволяє враховувати параметри лінії передачі в широкому частотному діапазоні. Розглядається випадок збудження короткоімпульсної дзеркальної антени опромінювачем у вигляді TEM-рупора при використанні надширокопasmового сигналу відеоімпульсного типу наносекундної тривалості.

Ключові слова: надширокопasmовий сигнал, коефіцієнт віддзеркалення, коефіцієнт стоячої хвилі.

METHOD DETERMINATION OF ELECTRIC DESCRIPTIONS ANTENNA-FEEDER SYSTEMS OF ULTRAWIDEBAND RADIO AIDS

M.G. Ivanets, S.N. Vlasik

The method of calculation electric descriptions (reflectivity, coefficient of standing wave, efficiency and other) the antenna-feeder system is in-process offered, which allows to take into account the parameters in a wide frequency range. The case of short impulse mirror antenna excitation an irradiator is examined as TEM-horn at the use of ultrawideband signal videoimpulsive type nanosecond duration.

Keywords: ultrawideband signal, reflectivity, efficiency