

УДК 621.396

ШИРОКОПОЛОСНОЕ СОГЛАСОВАНИЕ УКРОЧЕННЫХ АНТЕНН

Б. В. Чернышев

Специальное конструкторское бюро Института радиотехники и электроники

им. В.А.Котельникова РАН,

141120, г. Фрязино Московской области, пл. Введенского, 4

Статья поступила в редакцию 7 июня 2017 г.

Аннотация. В данной статье описываются способы согласования укороченных вибраторных и магнитных антенн при помощи Г-образной цепи и двухзвенного Чебышевского полосно-пропускающего фильтра. Приведены расчеты цепей согласования и получены графики АЧХ и S_{11} в зависимости от частоты, для различной степени укорочения, с использованием Г-образного звена и двухзвенного Чебышевского полосно-пропускающего фильтра. Показано, что при степени укорочения $\eta = 2$ и согласовании с использованием Чебышевского полосно-пропускающего фильтра, рабочая полоса частот составляет 10,2 % для укороченной вибраторной антенны и 6,4 % для магнитной антенны.

Ключевые слова: симметричная вибраторная антенна, магнитная антенна, цепь согласования.

Abstract. Matching circuit based on the Chebyshev bandpass filter and L-shaped matching circuit are compared in order to provide broadband matching of the shorted antennas with the feeder. A method for matching antennas is proposed using a two-link Chebyshev bandpass filter, the elements of a serial loop of which are either a capacitive component of the resistance of radiation of a shortened dipole antenna or an inductive component of a magnetic antenna. The calculation of matching circuits has been carried out for a shortened dipole antenna and a magnetic antenna. The graphs of AFC and S_{11} depending on the frequency are represented. The calculation of active and reactive components of the input impedance of antennas was carried out with using the two-link Chebyshev bandpass filter and the L-shaped circuit for output resistance of the filter matching to the 50-ohm line.

The graphs, based on the calculations performed, of the dependence of the antenna bandwidth on the degree of shortening for a shortened symmetrical dipole antenna and for a magnetic antenna are represented. Calculations of the matching circuits with using the Chebyshev bandpass filter were carried out and comparison with the L-shaped circuit was made.

Conclusions:

- matching of the shortened dipole antenna, with the degree of shortening $\eta = 2$, using Chebyshev two-link bandpass filter allows to increase antenna bandwidth as much as 2,5 times as compared to matching using of the L-shaped matching circuit;
- matching of the magnetic antenna, with the degree of shortening $\eta = 2$, using Chebyshev two-link bandpass filter allows to increase antenna bandwidth as much as 3 times as compared to matching using of the L-shaped matching circuit.

Keywords: symmetrical dipole antenna, magnetic antenna, matching circuit.

1. Введение

В последнее время большое развитие получили радиолокационные комплексы, предназначенные для различных исследований. Например, в рамках возобновленной Лунной программы идет разработка радиолокационного комплекса РЛК-Л для космического аппарата «Луна-Ресурс-1» (ОА)». Комплекс предназначен для проведения глобальных и детальных исследований поверхности Луны с помощью активного радиолокационного зондирования. Такие исследования предполагается провести с использованием широкополосных зондирующих сигналов метрового и дециметрового диапазонов волн, что позволяет проводить исследования грунта на глубины от нескольких метров до нескольких километров. Для излучения таких зондирующих сигналов, а также приёма отраженных, часто используют симметричные полуволновые вибраторные антенны больших габаритов, имеющие достаточно широкую рабочую полосу частот (относительно центральной несущей частоты 10% и более) с целью обеспечения наибольшей разрешающей способности. Параметры и типы излучаемых сигналов

определяются постановкой задачи по зондированию грунта и техническими возможностями космического аппарата.

Понятно, что размещение крупногабаритных антенн (более 3 метров) на космическом аппарате невозможно. Эта задача, обычно, решается путем разработки антенн, которые на стартовой позиции космического аппарата имеют небольшие размеры, а в космическом пространстве разворачиваются до необходимых габаритов. Создание таких антенн приводит к увеличению общей массы и габаритов прибора.

В связи с этим, актуальной и важной задачей является создание малых (укороченных) антенн, работающих в заданном диапазоне частот, с достаточно широкой рабочей полосой частот и возможностью их качественного согласования. Укороченной антенной будем считать антенну, длина которой меньше половины длины волны. Для обеспечения широкополосного согласования такой укороченной антенны с фидером в статье рассматривается цепь согласования на основе двухзвенного Чебышевского полосно-пропускающего фильтра в сравнении с согласованием Γ – образной цепью.

Сопротивление излучения укороченной антенны имеет активную и реактивную составляющую, причем с укорочением антенны реактивная составляющая сопротивления излучения резко возрастает, а активная составляющая резко понижается. В связи с этим, при согласовании антенны с передающими и приемными устройствами, возникают довольно серьезные трудности, особенно при использовании широкополосных сигналов. Недостаточно хорошее согласование антенны приведет к возникновению большого отраженного сигнала в антенном фидере и, как следствие, ухудшению суммарного КПД приемного и передающего устройств. Восполнение этих потерь в передающем устройстве возможно только за счет повышения выходной мощности, а в приемном, в некоторой степени, за счет уменьшения коэффициента шума. Повышение мощности излучения может привести к выходу за рамки требований технического задания по

электромагнитной совместимости и увеличению электропотребления, что в условиях космического полета крайне нежелательно.

Предлагаемый метод согласования сопротивления излучения антенны позволяет в значительной степени минимизировать такие потери.

2. Симметричная вибраторная антенна

Для укороченной вибраторной антенны активную и реактивную составляющие сопротивления излучения приближенно можно вычислить по формулам 1 и 2 [1].

$$R = \frac{2\pi W}{3} \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2, \quad (1)$$

$$X = -W_b \operatorname{ctg}(kl), \quad (2)$$

где: $W_b = \frac{W}{\pi} \left(\ln \frac{l}{a} - 1\right)$, W – волновое сопротивление свободного пространства; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$.

Для согласования сопротивления излучения укороченной антенны воспользуемся известной в литературе Г-образной согласующей цепью [2].

Проведем расчет параметров и Г-образной цепи согласования укороченной симметричной вибраторной антенны.

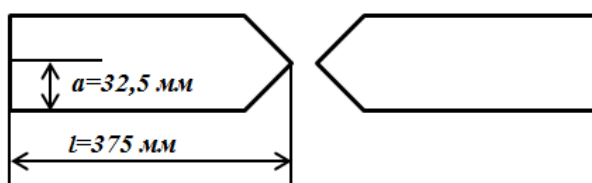


Рис. 1 Симметричная вибраторная антенна.

Рассчитаем входное активное сопротивление и входную ёмкость антенны (рис. 1), используя формулы 1, 2 для частоты 100 МГц. Получим: $c = 9,2$ пФ; $R_{вх} = 12,3$ Ом.

Для расчета параметров Г-образной согласующей цепи можно воспользоваться формулами, приведенными в [2], мы же здесь и далее будем

использовать программу RFSim, предназначенную для расчета электрических цепей.

На рис. 2 представлена схема согласующего устройства для рассматриваемой антенны (рис. 1). Здесь первое Г-образное звено согласует ёмкостную часть входного сопротивления, а второе согласует активную часть входного сопротивления с 50-омной линией передачи.

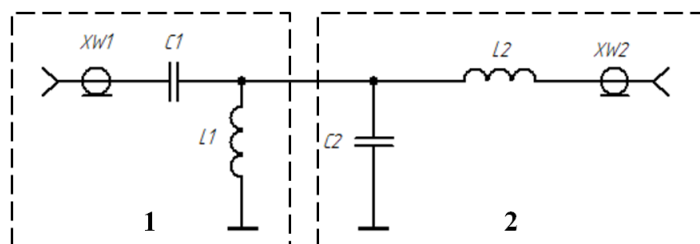


Рис. 2 – Схема согласующей цепи на основе Г – образного звена.

1. – Г-образное звено, согласующее ёмкостную часть входного сопротивления;
2. – Г-образное звено, согласующее активную часть входного сопротивления с 50-омной линией передачи.

При помощи программы RFSim получим графики АЧХ и S_{11} в зависимости от частоты (рис. 3). Из графика имеем, что при КСВ = 2, рабочая полоса частот антенны будет составлять около 3,6 %.

Так же рассчитаем согласование активной и реактивной составляющих входного сопротивления антенны с использованием двухзвенного Чебышевского полосно-пропускающего фильтра и Г-образной цепи, предназначенной для согласования выходного сопротивления фильтра с 50-омной линией.

При таком согласовании емкостная составляющая антенны является емкостью резонансного контура фильтра. Фильтр рассчитываем на входное сопротивление равное активной составляющей сопротивления излучения антенны 12,3 Ом.

Схема согласования представлена на рис. 4.

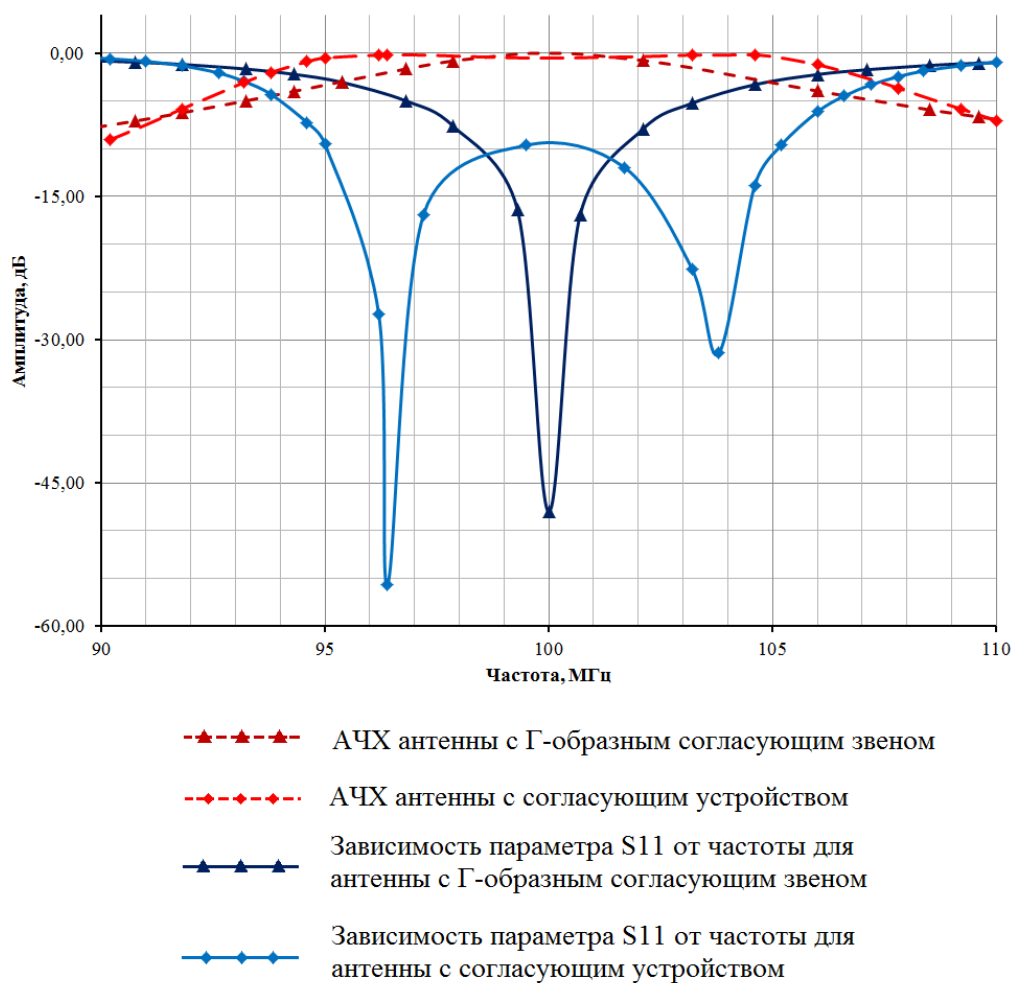


Рис. 3 Графики АЧХ и S_{11} для укороченной вибраторной антенны с Г-образным согласующим звеном и с согласующим устройством (рис. 4).

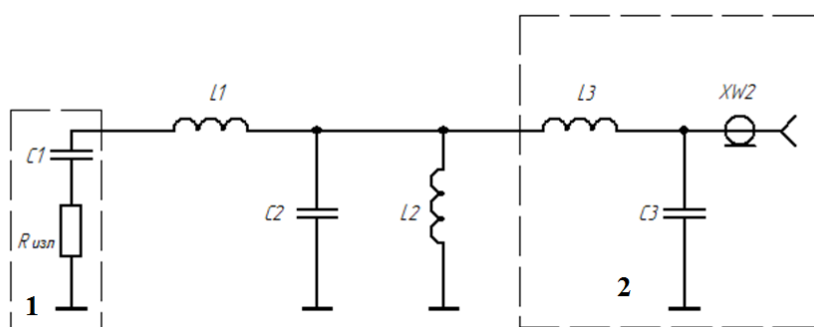


Рис. 4 Схема согласования с использованием Чебышевского полосно-пропускающего фильтра.

1. – Эквивалентная схема антенны
2. – Г-образная цепь согласования выходного сопротивления фильтра с антенным фидером.

На рис. 3 приведена АЧХ для антенны и зависимость параметра S_{11} от частоты антенны с согласующим устройством (рис. 4). Из графика имеем, что при $KCB = 2$, рабочая полоса частот антенны, при таком согласовании, будет составлять около 10,2 %.

3. Магнитная антенна

Проведем расчет параметров и Γ -образной цепи согласования укороченной магнитной антенны со следующими значениями:

- периметр рамки $l = 1,5$ м;
- сечение проводника рамки $d = 120$ мм²;
- количество витков $n = 1$.

Для магнитной антенны активную составляющую сопротивления излучения можно вычислить по формуле:

$$R_{\text{изл}} = 20\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^4 n^2 . \quad (4)$$

Реактивную составляющую по формуле:

$$X = 377 \left(\frac{l}{\lambda}\right) \left(\ln \left(\frac{2,54l}{d}\right) - 2\right) n^2 . \quad (5)$$

Рассчитаем входное активное сопротивление и входную индуктивность антенны, используя формулы 4, 5 для частоты 100 МГц. Получим: $L = 435$ нГ; $R_{\text{вх}} = 12,25$ Ом.

Аналогично расчету согласующих цепей для укороченной симметричной вибраторной антенны, проведем расчет согласующих цепей для магнитной антенны и получим графики АЧХ и S_{11} в зависимости от частоты (рис. 5).

Из анализа полученных графиков следует, что при $KCB = 2$, рабочая полоса частот антенны, при согласовании с помощью Γ -образного согласующего звена, будет составлять около 2,2 %, а при согласовании с помощью согласующего устройства, около 6,4 %.

На основании проведенных расчетов построим графики зависимости полосы пропускания от степени укорочения, с использованием вышеописанных

способов согласования, для укороченной симметричной вибраторной антенны (рис. 6 а) и для магнитной антенны (рис. 6 б).

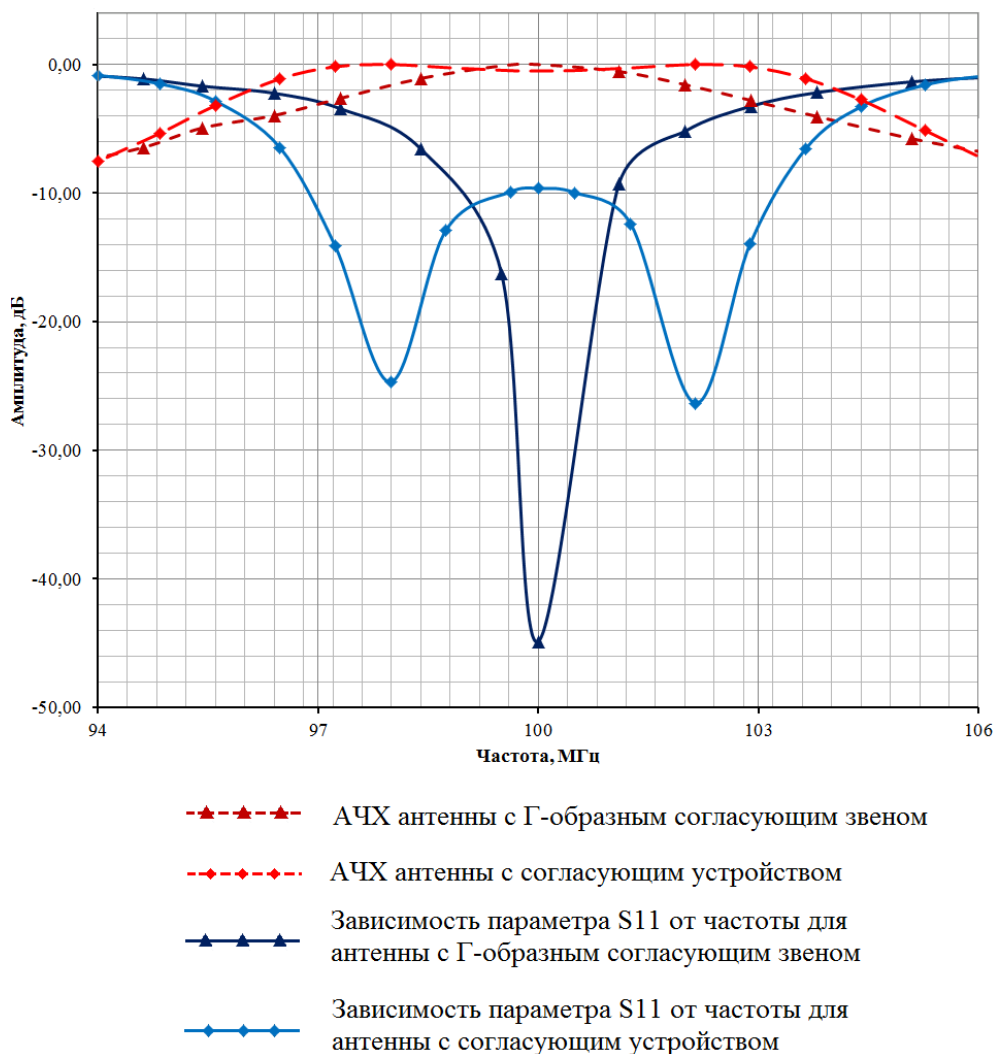
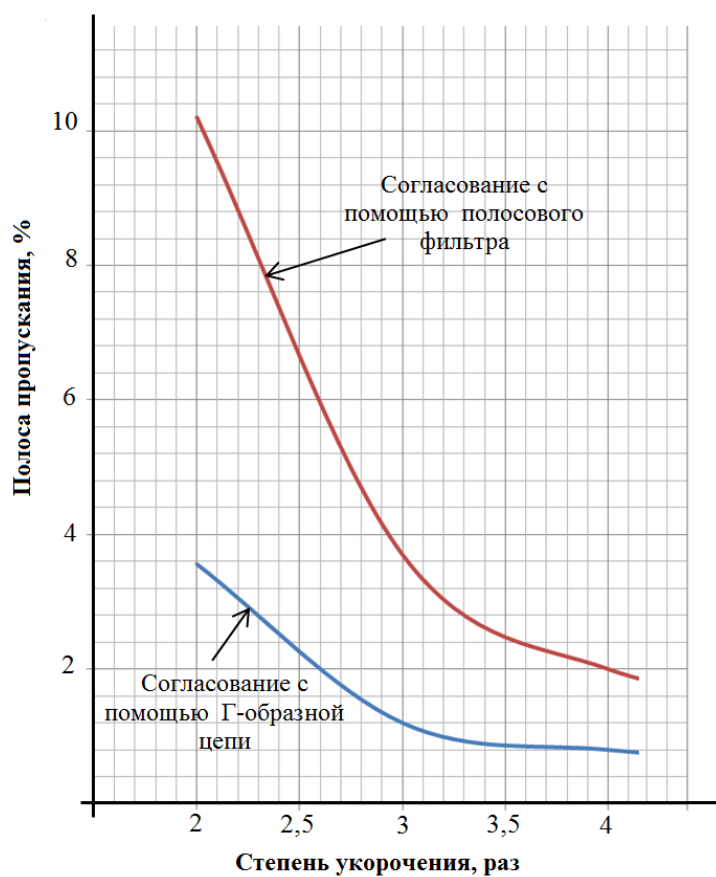
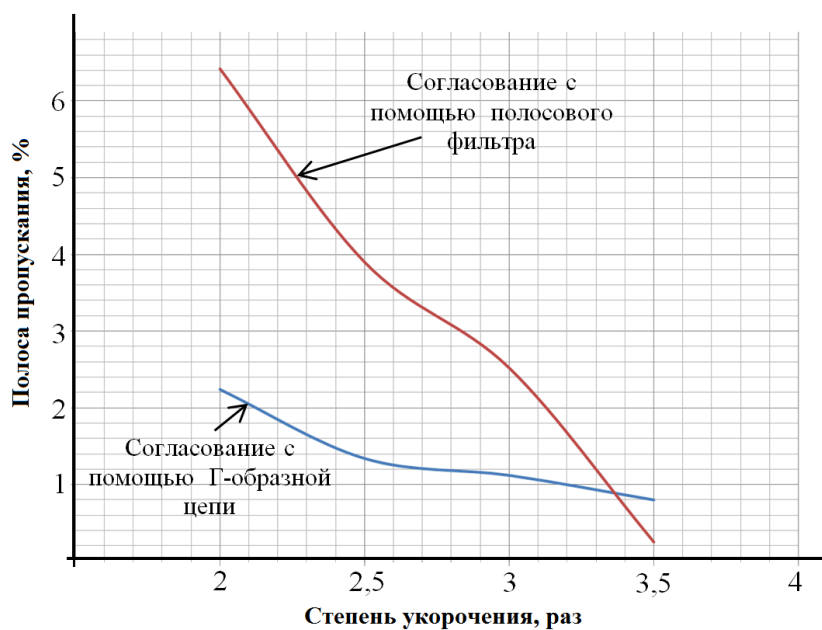


Рис. 5 АЧХ и зависимость параметра S_{11} для магнитной антенны с Г-образным согласующим звеном и с согласующим устройством.

Степень укорочения – η , это величина показывающая, во сколько раз укороченная вибраторная антенна короче полуволновой антенны, а для магнитной антенны, периметр рамки меньше λ .



а)



б)

Рис. 6 Зависимость полосы пропускания от степени укорочения антенны для вибраторной антенны (а) и магнитной антенны (б).

4. Заключение

В статье предложен способ согласования антенн с помощью двухзвенного Чебышевского полосно-пропускающего фильтра, элементы последовательного контура которого являются либо емкостной составляющей сопротивления излучения укороченной вибраторной антенны, либо индуктивной составляющей магнитной антенны.

Проведены расчеты цепей согласования с использованием Чебышевского полосно-пропускающего фильтра и проведено их сравнение с Г-образной цепью.

На основе проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

- согласование укороченной вибраторной антенны, при степени укорочения $\eta=2$, с использованием двухзвенного Чебышевского полосно-пропускающего фильтра позволяет увеличить рабочую полосу частот антенны в 2,5 раза по сравнению с рабочей полосой частот антенны, при согласовании с использованием Г-образной согласующей цепи;

- согласование магнитной антенны, при степени укорочения $\eta=2$, с использованием двухзвенного Чебышевского полосно-пропускающего фильтра позволяет увеличить рабочую полосу частот антенны в 3 раза по сравнению с рабочей полосой частот антенны при согласовании с использованием Г-образной согласующей цепи.

Литература

1. Войтович Н. И., Соколов А. Н. Вибраторные антенны // Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2001. – 76 с.
2. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ.// М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.

Ссылка на статью:

Б. В. Чернышев. Широкополосное согласование укороченных антенн. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №7. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul17/1/text.pdf>