Литература

1. Боровков, В. М. Теплотехническое оборудование : учебник / В. М. Боровков, А. А. Калютик, В. В. Сергеев. – М. : Академия, 2015. – 192 с.
2. Бойер, С. А. SCADA: системы диспетчерского управления и сбора данных : рук. по промышл. системам управления (безопасность) / С. А Бойер. – CRC Press, 2018.

## ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР СОПРОТИВЛЕНИЙ 50−75 Ом

**В. Д. Ходина, Е. А. Маныкина**

*Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск*

Научный руководитель В. Н. Шашок

*Решена задача широкополосного согласования волновых трактов радиотехнических систем на основе минимаксного критерия Чебышева с использованием частотного преобразования Матея. Приведен пример такого решения на примере согласования цепей с сопротивлением 50 и 75 Ом в полосе УКВ диапазона.*

**Ключевые слова:** трансформатор сопротивлений, квазиполосовая аппроксимирующая функция передачи, частотное преобразование Маттея.

Увеличение задач, выполняемых современными радиотехническими системами (РТС), усложнение помеховой обстановки и использование противником средств противодействия требует постоянного их совершенствования и модернизации. Одними из направлений развития РТС являются применение широкополосных сигналов и новых сложных алгоритмов их обработки, освоение новых и расширение уже используемых частотных диапазонов. При осуществлении таких направлений актуальным является решение задач реализации широкополосных антенно-фидерных трактов РТС.

Примером антенн, обладающих широким диапазоном рабочих частот, являются биконические антенны и антенны Наденко. Однако наряду с широким диапазоном рабочих частот данные антенны имеют меньший входной импеданс (50 Ом). В таком случае при замене узкополосного полуволнового вибратора рассматриваемыми антеннами возникает необходимость согласования малого импеданса антенн с волновым сопротивлением 75 Ом линий передачи.

На практике данная задача обычно решается включением между согласуемыми трактами четвертьволнового трансформатора. В случае необходимости обеспечения широкого диапазона рабочих частот согласуемых трактов используются несколько последовательно включенных четвертьволновых отрезков. Однако такие конструкции в метровом и более низком частотных диапазонах могут иметь значительные габариты. Также их недостатком является наличие дополнительных полос пропускания.

Для решения задачи широкополосного согласования трактов предлагается использовать реактивные четырехполюсники с квазиполосовой функцией передачи. Данная функция является модификацией полиномов Чебышева первого рода частотным преобразованием Матея [1]:

$$\omega' = \frac{2\omega^2 - \omega_в^2 - \omega_н^2}{\omega_в^2 - \omega_н^2},$$

где $\omega_н$ и $\omega_в$ – нижняя и верхняя границы диапазона рабочих частот.

Так как такие четырехполюсники синтезированы на основе полиномов Чебышева первого рода, они имеют оптимальную амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) по минимаксному критерию. Неравномерность их АЧХ в диапазоне рабочих частот определяется коэффициентом перекрытия диапазона рабочих частот и порядком выбранной функции передачи.

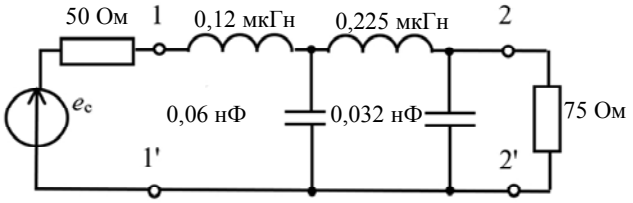
Данные широкополосные четырехполюсники, обладающие трансформирующими свойствами, при использовании высокодобротных реактивных элементов, например, японской компанией Murata Manufacturing Co., Ltd, могут применяться не только в метровом частотном диапазоне, но и выше. Также их достоинством являются малые весогабаритные характеристики.

Примером квазиполосовой функции передачи мощности, полученной модификацией полиномов Чебышева первого рода второго порядка частотным преобразованием Маттея для реализации прототипа широкополосного трансформатора лестничного типа четвертого порядка с коэффициентом перекрытия диапазона рабочих частот $\omega_в / \omega_н = 2,$ является выражение:

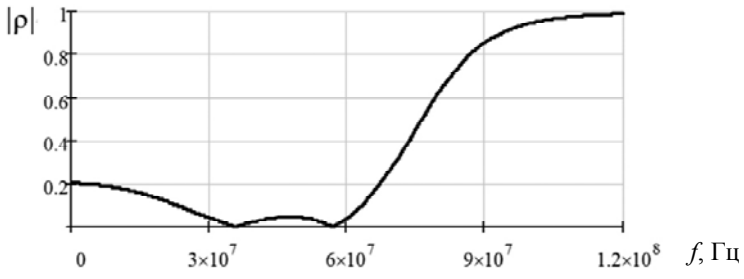
$$K\left(-s^2\right)=\frac{1}{0{,}4096s^8+1{,}024s^6+0{,}9024s^4+0{,}328s^2+1{,}042},$$

где $s=\sigma+j\omega$ – комплексная частота.

На рис. 1 представлены широкополосный трансформатор сопротивлений, синтезированный на основе приведенной функции передачи с денормированными значениями элементов для ультракороткого диапазона волн (УКВ), а также частотная зависимость его коэффициента отражения.




*а*)




*б*)

*Рис. 1*. Принципиальная схема (*а*) и частотная характеристика модуля коэффициента отражения (*б*) синтезированного широкополосного трансформатора сопротивлений

Как видно из рис. 1, *б*, частотная характеристика модуля коэффициента отражения синтезированного широкополосного трансформатора в УКВ диапазоне (30−60 МГц) имеет равноволновой характер, что согласно минимаксному критерию обеспечивает минимальные потери сигнала в диапазоне рабочих частот при заданном отношении согласуемых сопротивлений. Использование такого трансформатора снижает потери мощности сигнала с 4 % до практически несущественной величины.

Таким образом, применение полиномов Чебышева первого рода четного порядка, модифицированных частотным преобразованием Маттея, позволяет приблизить характеристики широкополосного трансформатора сопротивлений к параметрам идеальной трансформирующий цепи, эффективно решать задачи широкополосного согласования волноводных трактов РТС.

Литература

1. Mattei, G. L. Tables for calculating the transformers-resistances as filter of the lower frequencies by Chebyshev / G. L. Mattei // TIIER. – 1964. – N 52 (8). – P. 1003–1028.

## ЦИФРОВОЙ БИХ-ФИЛЬТР С ПОВЫШЕННОЙ ЛИНЕЙНОСТЬЮ ФАЗОЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**А. А. Худзик, В. Д. Ходина**

*Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск*

*Решена задача синтеза цифрового БИХ-фильтра на основе аналогового прототипа с нарастающеволновой функцией передачи по методу билинейного преобразования. Приведены частотные характеристики синтезированного фильтра, подтверждающие повышенную линейность его ФЧХ при заданной частотной избирательности.*

**Ключевые слова:** цифровые фильтры, цепи с нарастающеволновой функцией передачи, метод билинейного преобразования.

Задача реализации основных частотно-избирательных функций в современных радиотехнических системах (РТС) выполняется, как правило, программным способом. Такое решение объясняется рядом существенных преимуществ цифровой фильтрации сигналов в сравнении с аналоговой, основными из которых являются возможность гибкого управления параметрами фильтрации при адаптации систем под различные стандарты обрабатываемых сигналов, высокая точность и стабильность параметров, удобство сопряжения с цифровыми устройствами управления.

При таком решении актуальным остается требование минимизации вносимых частотных искажений цепями фильтрации, особенно при использовании сложных широкополосных сигналов, эффективность применения которых зависит от сохранения их частотной структуры в процессе обработки в радиотехнических трактах. По этой причине наиболее широкое применение в РТС получили цифровые КИХ-фильтры, имеющие линейную фазочастотную характеристику (ФЧХ). Однако данные фильтры при обеспечении высокой частотной избирательности имеют большие порядки, что требуют значительных вычислительных ресурсов. Такое требование не всегда выполнимо при использовании маломощных вычислительных чипов и необходимости обработки сигналов в режиме реального времени, т. е. в течение одного тактового интервала.