

УДК 621.396.676

СОГЛАСУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ АНТЕННОГО УСТРОЙСТВА КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

ДУБОВИК И. А., ИСАЕВ В. О., СУТЬКО А. А., БОЙКАЧЕВ П. В.

УО военная академия Республики Беларусь
(Минск, Республика Беларусь)

e-mail: dubailia94@gmail.com

Аннотация. Синтезирована широкополосная согласующая цепь для антенного устройства канала управления беспилотного летательного аппарата в условиях обледенения, обеспечивающая выигрыш в потенциально достижимой дальности действия радиолинии до 25 % по отношению к антенному устройству без согласующей цепи.

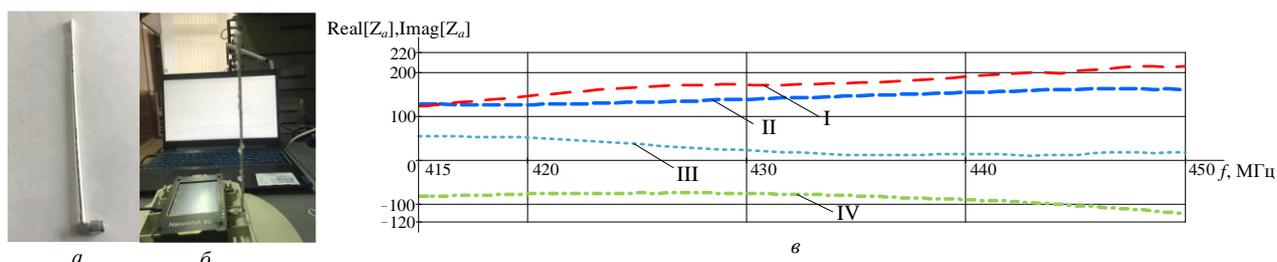
Abstract. A broadband matching circuit was synthesized for the antenna control device of an unmanned aerial vehicle in icing conditions, the gain in the expected achievable range of the radio link is up to 25% in relation to the antenna device without a matching circuit.

Введение

Важной частью создания современных приемно-передающих устройств является решение задачи широкополосного согласования, которое позволяет обеспечить передачу максимальной мощности в заданной полосе рабочих частот между источником сигнала и нагрузкой. В большинстве случаев при проектировании согласующих устройств (СУ) разработчики не учитывают нестабильность импеданса нагрузки, вызванную изменениями условий эксплуатации, особенно на подвижных объектах [1]. Такие явления ярко выражены в системах, нагрузкой которых являются антенные устройства (АУ). Импеданс АУ зависит от среды ее применения (снег, воздух, имеющий разную температуру и влажность, вода, сезонные и климатические изменения), а также от частоты излучаемого сигнала. Например, при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов (БЛА), нередко имеют место быть ситуации обледенения АУ, что приводит к изменению импеданса АУ и, как следствие, к уменьшению дальности радиолинии или вообще потери связи с бортом. Для решения данной проблемы предлагается использовать СУ, учитывающие нестабильность импеданса нагрузки, которые позволяют максимизировать передаваемую (принимаемую) мощность сигнала в нагрузку и обеспечивают устойчивую радиосвязь в различных условиях эксплуатации радиотехнической системы. Рассмотрим применение подобного СУ, синтезированного для АУ канала управления БЛА.

Результаты экспериментальных исследований по влиянию обледенения АУ канала управления БЛА

В качестве примера рассмотрим АУ, работающее в канале управления БЛА. Данное АУ представляет собой гибкую штыревую антенну, работающую на центральной частоте 433 МГц в полосе от 415 до 450 МГц. Ниже представлен вид АУ (рисунок 1, а), условие проведения экспериментальных исследований (рисунок 1, б), и зависимости его импеданса с обледенением и без (рисунок 1, в) полученные в ходе проведения экспериментальных исследований



I, II – действительная часть комплексного сопротивления нагрузки АУ БЛА без обледенения и с обледенением; III, IV – мнимая часть комплексного сопротивления нагрузки АУ БЛА без обледенения и с обледенением

Рис. 1. Результаты проведения экспериментальных исследований

По полученным зависимостям импедансных характеристик АУ БЛА от частоты, которые были пересчитаны (методика пересчёта представлена в [5]) в зависимости коэффициента передачи по мощности (КПМ) от частоты представлены на рисунке 2, где: 1 – зависимость КПМ АУ БЛА без обледенения, 2 – зависимость КПМ АУ БЛА с обледенением.

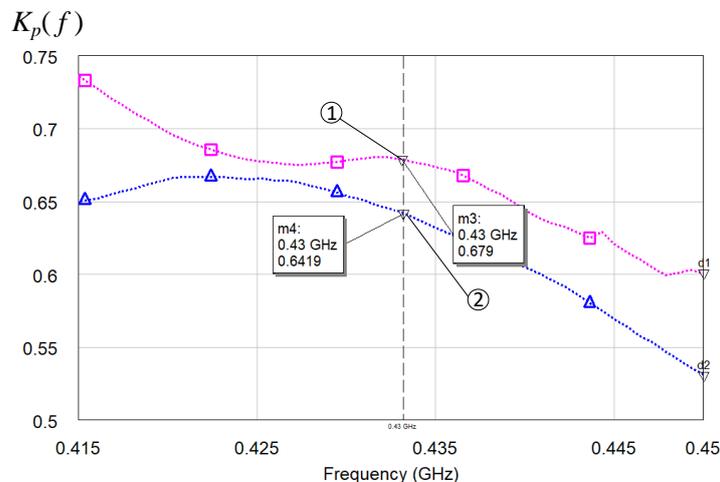


Рис. 2. Зависимость КПМ АУ БЛА от частоты с обледенением и без

Проанализировав полученные зависимости (рисунок 2), можно сделать выводы:

- в условиях обледенения АУ происходит ухудшение характеристик КПМ от 5...15%;
- уровень передачи мощности на рабочей частоте не является удовлетворительным (потеря мощности сигнала составляет примерно 38%) даже в штатных условиях проведения эксперимента (без обледенения);
- в условиях возмущающих воздействий происходят существенные вариации импеданса и заметное смещение резонанса АУ;
- такое ухудшение характеристик приводит к уменьшению дальности потенциально достижимой дальности радиолинии на 3...8 % [4].

В условиях смещения резонанса АУ и изменений импеданса, актуальным является применение теории широкополосного согласования, показанной в [5]. Данная теория позволяет обеспечить передачу максимальной мощности в заданной полосе рабочих частот между источником сигнала и нагрузкой в условиях вариаций импеданса. В большинстве случаев при проектировании согласующих устройств (СУ) разработчики не учитывают нестабильность импеданса нагрузки, вызванную изменениями условий эксплуатации, особенно на подвижных объектах. Для решения данной проблемы предлагается использовать теорию широкополосного согласования, учитывающую нестабильность импеданса нагрузки [5]. Рассмотрим применение данной теории для синтеза СУ, обеспечивающего широкополосное согласование АУ канала управления БЛА с приемо-передающим модулем, сопротивление которого составляет 50 Ом.

Синтез согласующей цепи для АУ канала управления БЛА

Для обеспечения максимального уровня передачи мощности между АУ и приемо-передающим модемом в рабочей полосе частот, на основе метода вещественных частот [2] и теории чувствительности [3] по методике, представленной в [5] была разработана СЦ, лестничной структуры состоящая из пяти элементов. Результаты синтеза представлены на рисунке 3.

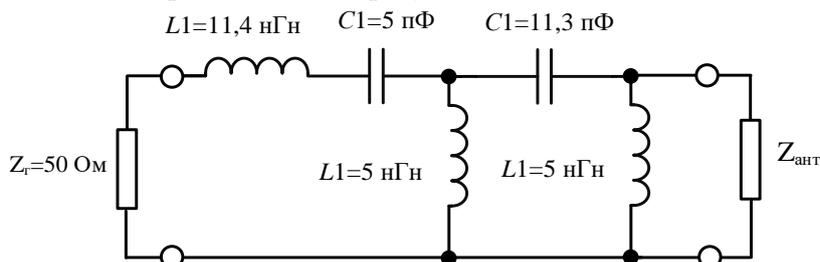


Рис. 3. Принципиальная схема СЦ для АУ канала управления БЛА

Применение СЦ в прямо-передающем тракте радиоканала управления БЛА обеспечивает уровень коэффициента стоячей волны (SWR) (рисунок 4, а) и КПМ (рисунок 4, б), представленный на рисунке 4.

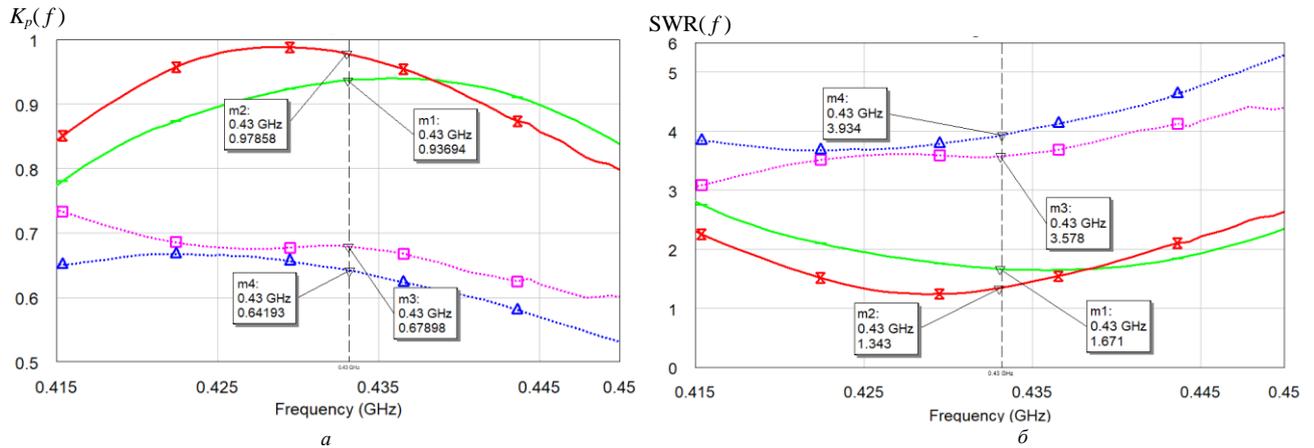


Рис. 4. Результаты синтеза СЦ для АУ канала управления БЛА

Исходя из полученных результатов, наглядно видно, что при установке синтезированной СЦ между АУ и прямо-передающим модулем канала управления БЛА обладающим сопротивлением 50 Ом, коэффициент передачи и SWR значительно улучшаются. Так на центральной частоте (433 МГц) в наихудшем случае (при обледенении АУ) SWR уменьшается в два раза, а КПМ увеличивается примерно на 50% от исходного значения, что позволяет улучшить качество передачи информации по каналу управления БЛА.

Для проверки работоспособности синтезированной СЦ для АУ канала управления БЛА, был разработан макет СЦ. Внешний вид макета (где использовались SMD элементы компании Murata [7], с добротностями дросселей ($Q=50$) и добротностями конденсаторов ($Q = 101$)), условия проведения и результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 5.

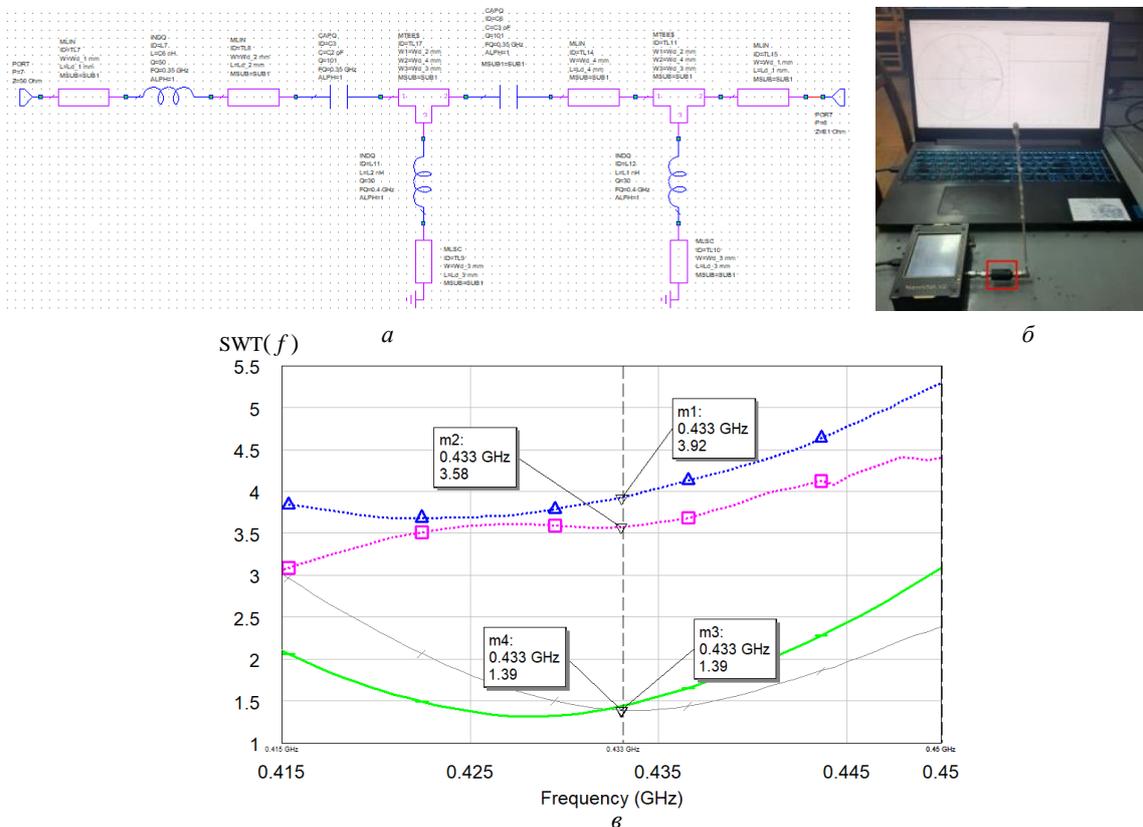


Рис. 5. Экспериментальные исследования по верификации макета СЦ для АУ канала управления БЛА при обледенении АУ и без

Произведя анализ зависимостей, представленных на рисунке 5, в можно сделать вывод, что полученные зависимости КСВ очень близки к теоретическим и синтезированная СЦ обеспечивает высокий уровень передачи мощности от источника сигнала в нагрузку (уменьшение потерь с 38% до 13%), как в штатных условиях, так и в условиях обледенения АУ, что позволяет обеспечить канал управления БЛА устойчивой радиосвязью, а именно выигрыш в потенциально достижимой дальности действия радиолинии до 25 % [4] по отношению к антенному устройству без СЦ.

Заключение

Таким образом, произведя анализ зависимостей, представленных на рисунке 5, в можно сделать вывод, что применение СЦ, синтезированной с использованием [5] обеспечивает уровень передачи мощности от источника сигнала в нагрузку стремящийся к максимальному значению (SWR стремящимся к единице), как в штатных условиях, так и в условиях обледенения АУ, что позволяет обеспечить канал управления БЛА устойчивой радиосвязью в широком спектре естественных условий его эксплуатации.

Список использованных источников

1. Бабков В.Ю., Муравьев Ю.К. Основы построения устройств согласования антенн // ВАС, 1980. – 240 с.
2. Yarman, B.S. Design of ultra wideband antenna matching networks / B.S. Yarman. – Istanbul: Springer, 2008. – 308 p.
3. Гехер К., ред: Ю.Л. Хотунцева. Теория чувствительности и допусков электронных цепей. М.Сов. радио. 1973.
4. Дубовик, И. А. Результаты исследования влияния условий эксплуатации на импеданс антенных устройств радиостанций ОВЧ/УВЧ диапазонов / И. А. Дубовик, П. В. Бойкачев, В. О. Исаев // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2019. – № 2 (63). – С. 32–40.
5. Бойкачев, П.В., Метод синтеза широкополосных устройств с оптимальной характеристикой коэффициента преобразования мощности, согласующих изменяющийся во времени импеданс нагрузки / И. А. Дубовик, П. В. Бойкачев, В. О. Исаев // [Электронный ресурс] Журнал радиоэлектроники. – 2021. – №5. – Режим доступа: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.5.1>.
6. Методы синтеза согласующих цепей для широкополосных радиотехнических устройств с нестабильным импедансом нагрузки / И. А. Дубовик, П. В. Бойкачев, В. О. Исаев, А. А. Дмитренко // Докл. БГУИР. – 2021. – № 19 (1). – С. 61–69.
7. Chip inductors (chip coils) // Murata manufacturing [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.murata.com/products/catalog/pdf/o05e.pdf>. - Data of access: 20.10.2022.