

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА АНТЕННОГО СОГЛАСУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАДИОЛОКАТОРА УНФ-ДИАПАЗОНА С НЕПРЕРЫВНЫМ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Киевский А.М., Понедько Д.Н.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель – д.т.н., проф. Козлов С.В.

Аннотация. Приведена разработка динамического согласующего устройства узкополосной антенны в широком диапазоне частот для малогабаритного радиолокатора с синтезированием апертуры антенны, работающий в УНФ-диапазоне с непрерывным частотно-модулированным излучением, применяемый на борту беспилотного летательного аппарата.

Ключевые слова. Антенное согласующее устройство, радиолокатор с синтезированием апертуры, беспилотный летательный аппарат, непрерывное излучение, широкополосный сигнал, $p-i-n$ диоды.

Введение

В настоящее время благодаря развитию технологий в области проектирования радиолокационных станций всё чаще ставится задача разработки малогабаритных РЛС с непрерывным излучением и частотной модуляцией. Одним из возможных способов применения данного типа РЛС является расположение на борту беспилотных летательных аппаратов. При таком применении особенно важны размер и аэродинамические показатели антенной системы устройства. По этому параметру наиболее подходят конструктивно простые типы антенн, такие как штыревая или вибраторная. Однако, данные антенны являются узкополосными и не представляется возможным их использование для работы с широкополосными сигналами, ввиду высокого значения коэффициента отражения в антенно-фидерном тракте. В данной статье будет приведена разработка согласующего устройства, работающего по принципу разделения диапазона частот на поддиапазоны и коммутации между ними в соответствии с текущей частотой излучения РЛС при помощи $p-i-n$ диодов. Такой принцип построения антенного согласующего устройства назван динамическим [1].

Суть метода изложена в [1], а методика расчёта компонентов указана в [2]. В данной статье рассмотрим непосредственно результаты разработки данного устройства.

В первоначальном варианте принципиальная схема разрабатываемого антенного согласующего устройства имела следующий вид:

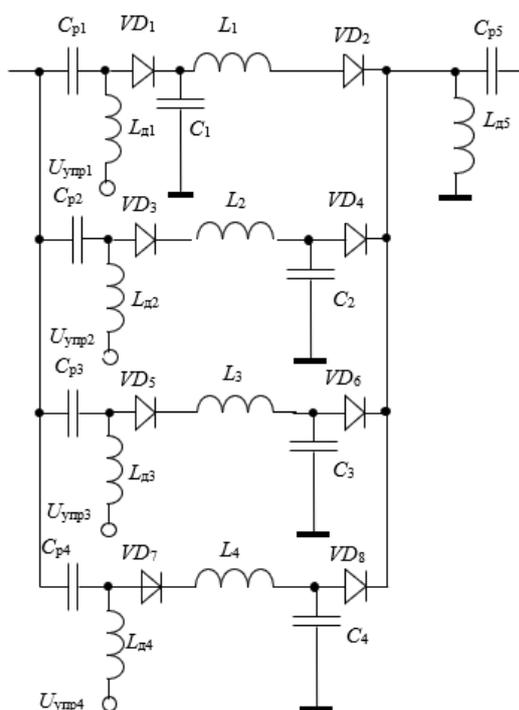


Рис. 1. Первоначальный вариант разрабатываемого согласующего устройства

При дальнейшем исследовании мы пришли к следующему варианту схемы:

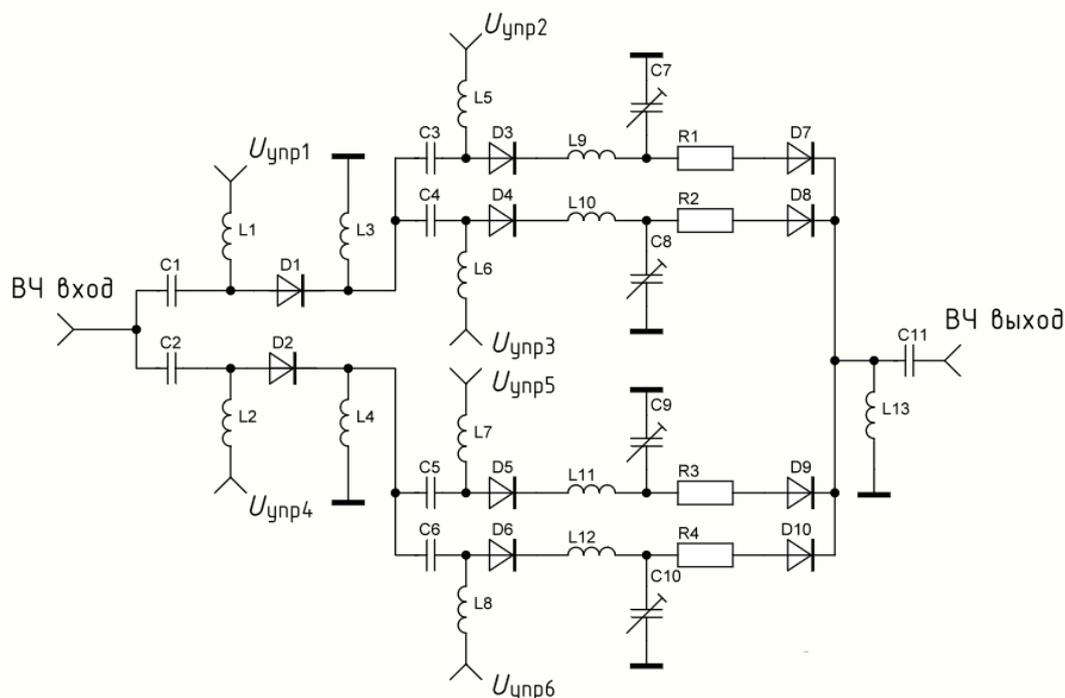


Рис. 2. Принципиальная схема разрабатываемого согласующего устройства

К ключевым различиям можно отнести добавление дополнительных переключающих *p-i-n* диодов перед входом каждой пары согласующих цепей на входе. Это обеспечивает минимальную электрическую длину линии до переключающего *p-i-n* диода и, следовательно, сопротивление отключаемых согласующих цепей в точке разветвления будет определяться емкостным сопротивлением *p-i-n* диода в закрытом состоянии (единицы-десятки кОм в зависимости от частоты). Кроме того, это облегчает разводку платы с позиций симметрии схемы равных длин печатных дорожек (микрополосков) до каждой согласующей цепи. Кроме того, для возможности подстройки частоты согласования Г-образных цепей было принято решение использовать переменные SMD-конденсаторы, которые включены в каждом звене.

Применять данное согласующее устройство мы будем для согласования импеданса источника выходного каскада передатчика РЛС с вибраторной антенной в диапазоне рабочих частот 500...700 МГц при резонансной частоте антенны 600 МГц. Расчёт компонентов для данной частоты и четырёх поддиапазонов мы производили в [1], где показано, что достаточным является разделение общего диапазона на 4 поддиапазона. Номиналы элементов согласующих цепей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов цепей согласования для поддиапазонов частот

Частота, МГц	Поддиапазон частот, МГц	$R_a + jX_a$, Ом	Тип СЦ	Параметры СЦ
525	[500; 536)	46,7–99,3j	б	$L_9=0,0339$ мкГн; $C_7=1,61$ пФ
575	[536; 580)	66,8–31,6j	а	$L_{10}=0,0110$ мкГн; $C_8=1,1$ пФ
625	[580; 650)	84,7+36,0j	а	$L_{11}=0,0127$ мкГн; $C_9=3,63$ пФ
675	[650; 700)	114,9+105,6j	а	$L_{12}=0,0212$ мкГн; $C_{10}=3,02$ пФ

Однако, данные номиналы получены при расчёте и могут не совпадать с рядом стандартных номиналов конденсаторов и катушек индуктивности. В соответствии с [7], определим номиналы компонентов:

- $L_9 = 0,034$ мкГн;
- $C_7 = 1,6$ пФ;
- $L_{10} = 0,011$ мкГн;
- $C_8 = 1,1$ пФ;
- $L_{11} = 0,013$ мкГн;
- $C_9 = 3,6$ пФ;
- $L_{12} = 0,021$ мкГн;
- $C_{10} = 3$ пФ.

Так как вопрос согласования чувствителен и изменениям номиналов компонентов, ещё раз оценим зависимость коэффициента отражения от частоты при неравномерном распределении диапазонов согласования.

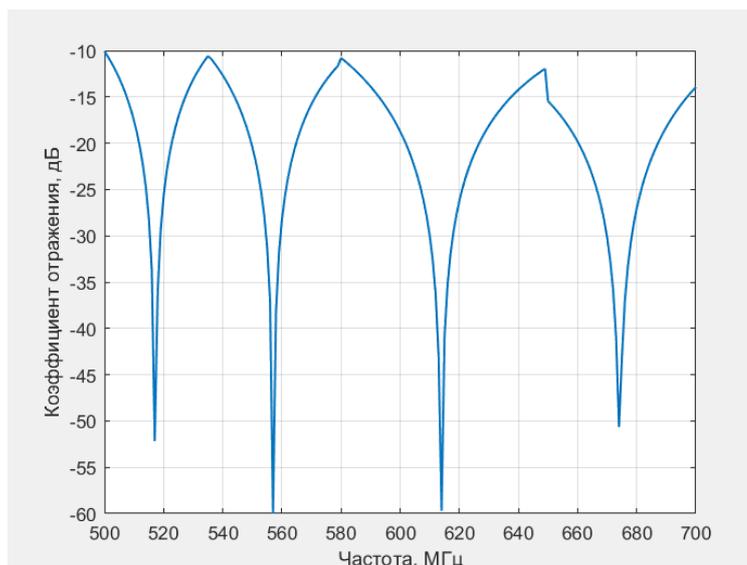


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения от частоты при неравномерном распределении поддиапазонов согласования при использовании реальных компонентов

Как мы можем увидеть, даже при использовании компонентов из ряда стандартных номиналов цель согласования практически достигнута – почти во всем диапазоне частот коэффициент менее минус 10 дБ.

В качестве разделительных конденсаторов будем использовать номинал 470 пФ, чтобы он имел малое реактивное сопротивление по сравнению с выходным сопротивлением цепи и не вносил потерь и искажений в сигнал. Дроссели подключения управляющих напряжений подберём исходя из условия [2, стр.3] и примем равным 39 мкГн.

Подача управляющих напряжений будет осуществляться по таблице 2, где «1» - напряжение подаётся, «0» - напряжение отсутствует.

Таблица 2 – Порядок подачи управляющих напряжений для переключения между поддиапазонами

Поддиапазон частот, МГц	$U_{упр.1}$	$U_{упр.2}$	$U_{упр.3}$	$U_{упр.4}$	$U_{упр.5}$	$U_{упр.6}$
[500; 536)	1	1	0	0	0	0
[536; 580)	1	0	1	0	0	0
[580; 650)	0	0	0	1	1	0
[650; 700)	0	0	0	1	0	1

Для принципиальной схемы с рисунка 2 разработана печатная плата размера 30x30 мм. Её вид с верхнего слоя представлен на рисунке 4. В качестве высокочастотного входа и выхода используются разъёмы типа SMA. Сама печатная плата будет изготовлена из двустороннего текстолита. Все компоненты будут поверхностного монтажа со следующими размерами:

- *p-i-n* диоды 0201;
- подстроечные конденсаторы 1210;
- остальные компоненты 0805.

Антенное устройство будет подключаться к ВЧ входу схемы. Стоит отметить, что для перехода от несимметричного коаксиала к вибраторной антенне используется широкополосный симметрирующий трансформатор DXW21BN7511SL размера 0805 [8].

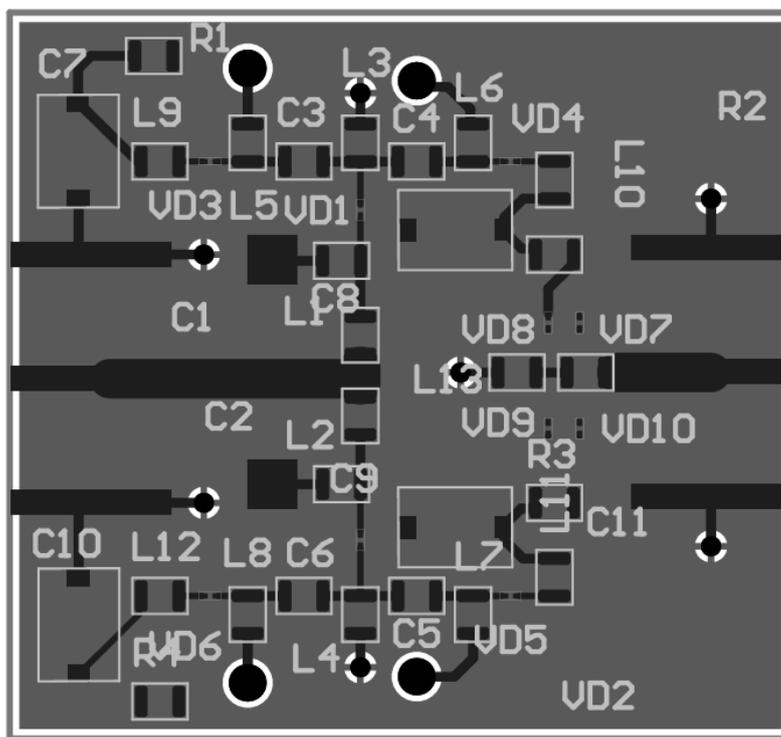


Рис. 4. Вид верхнего слоя печатной платы согласующего устройства

Стоит отметить компактные размеры разработанного согласующего антенного устройства, что является преимуществом при использовании его в малогабаритных РЛС.

Заключение

Предлагаемое антенное согласующее устройство на основе динамического способа согласования обеспечивает возможность использования в малогабаритных FMCW-радиолокаторах конструктивно-простых типов антенн с обеспечением низкого уровня коэффициента отражения, а компактность разработанного устройства позволяет использовать его в устройствах с ограничениями массогабаритных параметров.

Список использованных источников

1. Киевский А.М. Способ динамического согласования приемно-передающего тракта и антенны радиолокатора с непрерывным излучением и частотной модуляцией / А.М. Киевский, Д.Н. Понедько, С.В. Козлов // Информационные радиосистемы и радиотехнологии-2024 : материалы открытой республиканской научно-практической интернет-конференции, Минск, 21–22 ноября 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богущ [и др.]. – Минск, 2024. – С. 45–48.
2. Киевский А.М. Методика расчёта устройства динамического согласования приемно-передающего тракта и антенны радиолокатора с непрерывным излучением и частотной модуляцией / А.М. Киевский, Д.Н. Понедько, С.В. Козлов // Информационные радиосистемы и радиотехнологии-2024 : материалы открытой республиканской научно-практической интернет-конференции, Минск, 21–22 ноября 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богущ [и др.]. – Минск, 2024. – С. 45–48.
3. Кузнецов, В. А., Гончаров С. А. Структурно-параметрический синтез малогабаритной радиолокационной станции с синтезированной апертурой беспилотного летательного аппарата ближнего действия / В.А. Кузнецов, С.А. Гончаров // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 3. С. 28-72. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-03/02-Kuznetsov.pdf>.
4. Купряшкин И.Ф., Лихачев В.П., Рязанцев Л.Б. Малогабаритные РЛС с непрерывным частотно-модулированным излучением. – М.: Радиотехника, 2020.
5. Гусев Б.В., Лагунов Е.В., Шабунин С.Н. Фильтрация сигналов и согласование нагрузок. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2022.
6. Ренди, Риа. Инь и Янь в вопросах согласования каналов передачи, часть 1 // Электронные компоненты, №4, 2008. – С. 116-119.
7. RadioLibrary [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.radiolibrary.ru/reference/capacitorseries.html>.
8. AllDataSheets [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1833764/MURATA1/DXW21BN7511SL.html>

UDC 621.396

DEVELOPMENT OF AN ANTENNA MATCHING DEVICE FOR A UHF RADAR WITH CONTINUOUS FREQUENCY-MODULATED RADIATION

Kievskiy A.M., student

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics¹, Minsk, Republic of Belarus

Annotation. The paper presents the development of a dynamic matching device for a narrow-band antenna in a wide frequency range for a small-sized radar with antenna aperture synthesis, operating in the UHF range with continuous frequency-modulated radiation, used on board an unmanned aerial vehicle.

Keywords. Matching device, synthetic aperture radar, unmanned aerial vehicle, continuous wave radiation, p-i-n diodes.