|  |  |
| --- | --- |
| *voenmeh* | МИНОБРНАУКИ РОССИИ  федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  высшего образования  **«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  **(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)** |
| БГТУ.СМК-Ф-4.2-К5-01 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Факультет |  | Е |  | Оружие и системы вооружения |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Кафедра |  | Е6 |  | Управление в технических системах |
|  |  | шифр |  | наименование |

ОТЧЕТ ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

|  |
| --- |
| Разработка математической модели сигналов |
| отраженных от протяженных целей |
|  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы | | | |  | Е6М31 |
| Вершилев М.С. | | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | | |
| **РУКОВОДИТЕЛЬ** | | | | | |
| Митюшов А.И. | |  |  | | |
| Фамилия И.О. Подпись | | | | | |
| Оценка |  | | | |  |
| «\_\_\_\_\_» |  | | | | 201\_г. |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2019 г.

**Содержание**

ВВЕДЕНИЕ…………………………………………………………………...…...3

1. Природа пассивных помех и их характеристики…………..……………………………………...……...…..4
2. Разработка и исследование математической модели сигналов отраженных от протяженных целей..............................………………………………………………….. 14

ЗАКЛЮЧЕНИЕ…………………………………………………………………. 22

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ………………………….....23

Введение

Обнаружение движущихся целей на фоне интенсивных пассивных помех различного происхождения (отражений от подстилающих поверхностей, метеообразований, облаков диполей и т.д.) является одной из важнейших проблем современной радиолокационной техники.

**Природа пассивных помех и их характеристики.**

Под пассивными помехами в задаче селекции движущихся целей следует понимать сигналы, отраженные от объектов, обнаружение которых не входит в функции РЛС СДЦ от подстилающих поверхностей и объемно-распределенных естественных и искусственных образований, а также сигналы, поступающие на вход РЛС, возникновение которых связано с определенными условиями распространения радиоволн.

В зависимости от причины, лежащей в основе их образования, пассивные помехи делятся на поверхностно-протяженные и объемно-протяженные. К поверхностно-протяженным помехам относятся отражения от подстилающих поверхностей: земной и морской, характеристики которых зависят либо от состояния моря, либо от вида земной поверхности. К объемно-протяженным пассивным помехам относятся отражения от метеообразований (дождь, снег, град, туман), которые часто называют гидрометеорами, и от облаков диполей и металлизированных лент.

Поверхностно-протяженные и объемно-протяженные пассивные помехи необходимо учитывать при разработке на земных, самолетных и корабельных РЛС, решающих задачу СДЦ. В то же время существуют пассивные помехи, которые возникают при работе только наземной РЛС. К ним относятся помехи, которые возникают из-за отражения зондирующего сигнала от птиц и скоплений насекомых, перемещающихся со скоростью ветра. Возникают отражения и от неоднородностей атмосферы или зон аномального распространения радиоволн, в которых наблюдаются интенсивные отражения от границ сред с различными показателями преломления, от турбулентных образований и от оптически ненаблюдаемых объектов (так называемые «ангелы»). Эти помехи, а также сигналы, отраженные от крупных наземных сооружений, относятся к классу сосредоточенных пассивных помех. К пассивным помехам относятся также сигналы, отраженные от участков земной поверхности, находящихся на расстоянии. превышающем максимальную однозначно определяемую дальность обнаружения РЛС. Часто этот вид пассивных помех называется помехой на n-м ходе развертки.

Простейшая классификация пассивных помех представлена в табл. 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Причины образования помех | Характер помех | | | |
| Поверхност-но-распреде-ленные | Объемно-распреде-ленные | Сосредоточенные | Прочие |
| Естественные | Отражения: от земной поверхности, от морской поверхности | Отражения: от метеообразований | Отражения: от атмосферных неоднородно-стей и оптически наблюдаемых объектов | Помехи на  n-м ходе развертки |
| Искусственные | ˗ | Отражения: от облаков диполей и металлизи-рованных  лент | Отражения: от крупных наземных сооружений | Сигналы отраженные от наземных движущихся целей, обнаружение которых не входит в задачи РЛС |

**2. Разработка и исследование математической модели сигналов отраженных от протяженных целей.**

Моделирование работы цифрового устройства обработки проведено для следующих условий. Обрабатывается пачка из М = 8 импульсов, принимаемых во втором разрешаемом элементе по дальности. Скважность импульсов Q = 16. Количество отсчетов за длительность импульса K = 16, период повторения 16 мс, начальная фаза φ=0о, частота Доплера цели 3 (три колебания за длительность пачки), амплитуда сигналов от цели Um1=1 мВ, амплитуда пассивных помех в 3 раза больше амплитуды сигнала, приемник супергетеродинного типа, частота гетеродина fг=8кГц, полоса пропускания приемника согласована с τи, полоса режекции ЦГФП согласована со спектром помехи.

Тракт обработки принятых сигналов показан на рисунке 1.

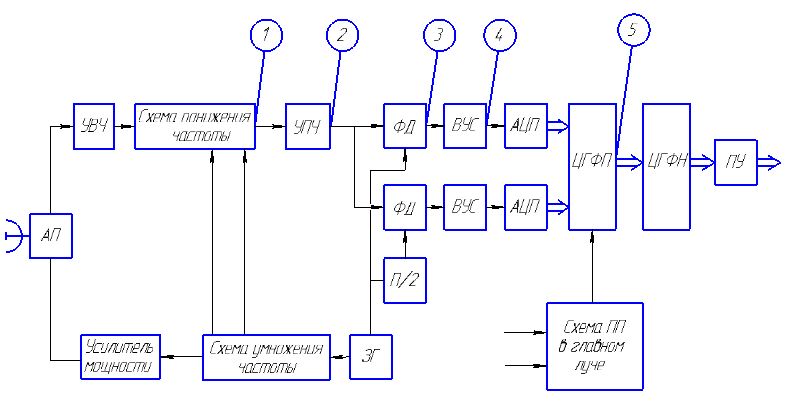


Рисунок 1 – Структурная схема УЗПП

Сигналы в приемном устройстве после УВЧ при помощи гетеродина Г и смесителя СМ переносятся на промежуточную частоту, которая при моделировании принята равной двум периодам за длительность импульса. Принято также, что прямой сигнал yps имеет нулевую начальную фазу, которая навязывается когерентному гетеродину.

ypsi = sin(2π∙2∙ti) ,

где ti = i / K - время, нормированное к длительности импульса

В канале отраженного сигнала принимается смесь полезного сигнала, отраженного от цели yos, и мешающих отражений ymo от земной поверхности.

yosi = sin(2π∙ (2+fd) ∙ti+ φs), ymoi = 2∙sin(2π∙ (2+fz) ∙ti+ φz),

где fd = 3 / (Q∙M) - частота Доплера цели; fz = 0 - частота Доплера земли; φs =-π/6 , φz= π/4 - начальные фазы полезного и мешающего сигналов.

Частота сигнала отраженного от цели за счет радиальной скорости сдвинута на частоту Доплера, равную трем периодам за время пачки. Частота мешающих отражений равна частоте прямого сигнала. Амплитуда мешающих отражений в три раза больше, чем амплитуда полезных сигналов.

Сигнал на входе приемного устройства равен сумме полезного сигнала и мешающих отражений.

ybx = yos + ymo

На рисунке 2 приведена эпюра напряжения отраженного сигнала, принятого во втором канале дальности.



Рисунок 2 – Эпюра напряжения отраженного сигнала.

На рисунке 3 показаны эпюры пачек обрабатываемых сигналов (точка 1 рис. 1). Для удобства наблюдения эпюры разнесены по вертикальной оси. Верхняя эпюра (синий цвет) является временным графиком мешающих отражений. Средняя эпюра (красный цвет) – отраженный сигнал от цели. Видно, что его амплитуда в три раза меньше. Внизу показана их сумма, т.е. входной сигнал. Полезный и мешающий сигналы совпадают во времени, однако их частоты отличаются. Это приводит к тому, что амплитуда суммарного сигнала изменяется с разностной частотой, в данном случае это частота Доплера цели.

Полоса пропускания УПЧ согласована со спектром полезного сигнала, т.е. УПЧ является согласованным фильтром одиночного импульса. Форма сигналов на выходе согласованного фильтра изменяется, огибающая сигналов становится треугольной. На рисунке 4 показаны эпюры сигналов на выходе УПЧ (точка 2 рис. 1) в трех периодах повторения. Горизонтальная временная ось в этом случае растянута, что позволяет рассмотреть внутреннюю структуру импульсов. Так, например, видно, что во втором импульсе полезный и мешающий сигнал находятся в противофазе, поэтому амплитуда суммарного сигнала минимальна.



Рисунок 3 –Временные графики пачек на выходе смесителя.



Рисунок 4 – Эпюры сигналов на выходе УПЧ.

Рассмотрим спектры обрабатываемых сигналов. На рисунке 23 представлен спектр входного суммарного сигнала, т.е. спектр пачки из восьми импульсов (точка 1 рис. 1). По горизонтальной оси откладывается частота, равная количеству колебаний за длительность импульса. Как видно, центральная частота спектра равна двум, т.е. соответствует промежуточной частоте. Ширина основного лепестка по нулям 2/τи (это два колебания за длительность импульса) также равна 2.



Рисунок 5 – Спектр суммарного сигнала после смесителя.



Рисунок 6 – Спектр суммарного сигнала после УПЧ.

На рисунке 6 показан спектр суммарного сигнала после УПЧ (точка 2 рис. 1). Видно, что УПЧ как согласованный фильтр обладает фильтрующими свойствами, а именно, усиливает наиболее интенсивные спектральные составляющие сигнала и подавляет слабые составляющие. Для того чтобы провести анализ структуры спектра, нужно растянуть горизонтальную ось частот. На рисунке 7 показан участок спектра вблизи центральной спектральной составляющей, т.е. вблизи промежуточной частоты. Учитывая, что спектр суммы сигналов равен сумме их спектров, на рисунке 7 показаны разными цветами спектры мешающих отражений (синий) и полезного сигнала (красный), образующие спектр суммарного сигнала.

Как видно, спектральные составляющие отраженного полезного сигнала от цели, сдвинуты по частоте относительно спектральных составляющих мешающих отражений на три разрешаемых элемента, что соответствует частоте Доплера цели.



Рисунок 7 – Участок спектра принимаемых сигналов.

Сигналы после УПЧ подаются на фазовый детектор ФД, на второй вход которого поступает опорное напряжение от когерентного гетеродина КГ с фазой прямого сигнала (рис. 1). Временные графики сигналов после фазового детектора (точка 3 рис. 1) показаны на рисунке 8, а их спектр на рисунке 9.

Фазовый детектор является умножителем. Известно, что произведение гармонических функций можно представить в виде суммы двух гармоник с разностной и суммарной частотой. Это хорошо видно на спектре (рис. 9). Спектральные составляющие суммарных частот располагаются вблизи удвоенной промежуточной частоты, равной 4, а составляющие разностных частот вблизи нуля. Разностные частоты равны доплеровскому смещению полезных сигналов и помех. Рассмотрим более подробно временные графики на рисунке 8.

Необходимо обратить внимание на то, что амплитуда импульсов мешающих отражений одинакова (верхняя эпюра синего цвета). Это обусловлено тем, что разность фаз прямого сигнала и отражений от неподвижной земной поверхности от импульса к импульсу не меняется. В то же время отраженный сигнал от движущейся цели смещен на частоту Доплера, что приводит к изменению разности фаз yos и yps в каждом периоде повторения. В результате амплитуда импульсов полезных сигналов на выходе фазового детектора изменяется с частотой Доплера (средняя эпюра красного цвета). Амплитуда суммарного сигнала на выходе ФД (нижняя эпюра) также изменяется.

Отметим также, что вершина импульсов на выходе ФД промодулирована из-за наличия в спектре составляющих суммарных частот (рис. 9).



Рисунок 8 – Временные графики сигналов после фазового детектора.



Рисунок 9 – Спектр суммарного сигнала после фазового детектора.

На практике суммарные частоты не проявляются, так как полоса пропускания видеоусилителя ВУС (рис.1) после фазового детектора ограничена. Другими словами ВУС обладает фильтрующими свойствами и подавляет верхние частоты. При моделировании принято, что амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) ВУС имеет прямоугольную форму и ограничена верхней частотой 1/τи = 1. На рисунке 10 показана АЧХ видеоусилителя (зеленый цвет) и спектр суммарного сигнала на его выходе.



Рисунок 10 – Спектр суммарного сигнала после видеоусилителя.

Временные графики сигналов, прошедших ВУС (точка 4 на рис. 1) приведены на рисунке 11.



Рисунок 11 – Временные графики сигналов после видеоусилителя.

Рассмотрим подробнее спектр сигналов на выходе ВУС. Для этого необходимо растянуть ось частот и выделить составляющие спектра. На рисунке 12 спектральные составляющие мешающих отражений показаны синим цветом, а полезного сигнала – красным. Очевидно, для того, чтобы избавиться от спектральных составляющих мешающих отражений, нужно сформировать АЧХ с провалами на частотах им соответствующих. Эту задачу решает гребенчатый фильтр подавления ЦГФП (рис. 1). Амплитудно-частотная характеристика ЦГФП приведена на рисунке 13. На рисунке 14 показан спектр на выходе ЦГФП (точка 5 на рис. 1). Как видно, после ЦГФП остались только спектральные составляющие полезного сигнала, т.е. помеха подавлена.

Рисунок 12 – Спектры полезного и мешающего сигналов после видеоусилителя.

Рисунок 13 – АЧХ гребенчатого фильтра подавления.



Рисунок 14 - Спектр суммарного сигнала после ЦГФП.



Рисунок 15 – Временные графики сигналов после ЦГФП.

На рисунке 15 представлены временные графики раздельного прохождения сигналов через ЦГФП (точка 5 на рис. 1). Как видно помеха (синий цвет) не проходит, а графики прохождения только полезного сигнала (красный цвет) и смеси полезного сигнала с помехой – идентичны. Временные графики также подтверждают факт подавления мешающих отражений.

**Заключение**

В результате обработки в гребенчатом фильтре накопления ЦГФН (рис. 1), энергия импульсов, прошедших ЦГФП, суммируется. Сигнал с выхода ГФН может быть использован для обнаружения цели и измерения её координат.

Реализация ЦГФП и ЦГФН (рис. 1) может быть осуществлена при помощи специализированных сигнальных процессоров.

На рисунке 14 показан спектр на выходе ЦГФП (точка 5 на рис. 1). Как видно, после ЦГФП остались только спектральные составляющие полезного сигнала, т.е. помеха подавлена. Временные графики также подтверждают факт подавления мешающих отражений.