МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

КАФЕДРА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКАНАЛЬНОГО ГЕТЕРОДИННОГО АВТОКОМПЕНСАТОРА МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

Для студентов по дисциплинам: радиолокация, радионавигация и радиоэлектронные системы передачи информации.

Минск 2014

**1 Цель работы**

 Целью работы является изучение принципа автоматической компенсации мешающих отражений в РЛС и экспериментальное исследование основных характеристик автокомпенсатора, а также ознакомление с технической реализацией процедуры когерентной компенсации мешающих отражений.

**2 Краткие теоретические сведения**

 Решение всех задач в РТС (обнаружение, распознавание-различение, измерение параметров) всегда затрудняется наличием радиопомех. Радиопомехи – это электромагнитные излучения, затрудняющие или исключающие прием сигналов и извлечение из них полезной информации.

 Помехи классифицируются по различным признакам: по природе

возникновения (естественные или искусственные), способу формирования (активные или пассивные), эффекту воздействия (маскирующие или имитирующие), ширине спектра (прицельные, заградительные или прицельно-заградительные), структуре излучения (непрерывные и импульсные).

 С точки зрения характера воздействия помех на РТС и принципов защиты от них помехи в теории РТС подразделяются на три группы: шумы, мешающие излучения и мешающие отражения.

 Мешающие отражения создаются в результате отражения или переотражения от местных предметов, земной иди морской поверхности, гидрометеоров, от искусственно созданных облаков дипольных отражателей.

 В РЛС обнаружение и сопровождение целей часто осуществляются на фоне мешающих отражений. Поэтому одной из важнейших технических характеристик РЛС является ее помехозащищенность, которая, в свою очередь, определяется уровнем развития науки и радиолокационной техники. В технической документации РЛС все виды мешающих отражений обычно объединяют на основе способа их создания и называют пассивными помехами, а аппаратуру защиты от них - аппаратурой защиты от пассивных помех (АЗПП).

 Рассмотрим сущность и принципы когерентной компенсации сигналов мешающих отражений применительно к импульсной РЛС.

 Внутрипериодная обработка одиночных эхо-сигналов на фоне помех не затрагивает их междупериодной структуры. Это означает, что у сигналов и мешающих отражений сохраняется междупериодная корреляция, т.е. сохраняется гребенчатая структура их энергетических спектров. С другой стороны, существует различие энергетических спектров полезного эхо-сигнала и мешающих отражений. Эти различия обусловлены как доплеровским сдвигом частоты, так и значением флуктуаций сигналов. Именно эти свойства принимаемых сигналов и определяют возможность подавления мешающих отражений путем временного дифференцирования или спектральной режекции и выделения полезных сигналов.

 При временном дифференцировании медленно флуктуирующей комплексной огибающей мешающих отражений происходит их подавление, поскольку величина производной пропорциональна скорости изменения комплексной огибающей. Операция временного дифференцирования помимо подавления мешающих отражений приводит и к их декорреляции, т.е. устранению междупериодной корреляции.

 Операция спектральной режекции предусматривает совмещение зубцов энергетического спектра мешающих отражений (рисунок 2.1,а) с зонами режекции некоторого устройства (рисунок 2.1,6). При этом вместе с подавлением (компенсацией) происходит обеливание (выравнивание энергетического спектра) мешающих отражений, что равнозначно их декорреляции (рисунок 2.1,в). Обеливание мешающих отражений будет полным, если АЧХ устройства когерентной компенсации удовлетворяет условию

$|K\_{I}(ωT\_{П})|^{2}=\frac{1}{S\_{NП}(ωT\_{П})}$ ,

где $S\_{NП}$ - междупериодный энергетический спектр мешающих отражений.

 Из вышеизложенного следует, что процессы подавления, компенсации, декорреляции мешающих отражений являются взаимосвязанными и осуществляются путем временного дифференцирования или спектральной режекции. По содержанию операции временного дифференцирования и спектральной режекции являются одним и тем же преобразованием, но в разном языковом оформлении (на временном и спектральном соответственно).

 Существует два способа когерентной компенсации мешающих отражений - корреляционный и фильтровый. Основным недостатком схем корреляционной компенсации является их многоканальность. Этого недостатка лишены фильтровые схемы, обладающие инвариантностью по времени запаздывания, и их проще технически реализовать.

 В основе построения фильтровых схем компенсации мешающих отражений лежат следующие соображения.

 Если с помощью линий задержки на период повторения $T\_{П}$ совместить во времени сигналы мешающих отражений в двух или нескольких смежных периодах повторения, то ввиду сильной междупериодной корреляции сигналов операция череспериодного вычитания приведет к их взаимной когерентной компенсации, декорреляции и обеливанию во всех элементах разрешения по дальности.

 Однако для этого необходимо осуществить компенсацию доплеровского смещения частоты мешающих отражений или коррекцию доплеровского набега фазы помехи за период повторения. При этом величина нескомпенсированных остатков мешающих отражений после череспериодного вычитания уменьшается по мере приближения коэффициента междупериодной корреляции к единице.

 Известно, что доплеровское смещение частоты сигнала от облака дипольных отражателей$ F\_{Д} $определяется радиальной скоростью $V\_{r} $смещения облака под действием ветра при длине волны λ, т.е.

$F\_{Д}=\frac{2V\_{r}}{λ}$ .



Рисунок 2.1 - Спектральная интерпретация фильтрового способа когерентной компенсации мешающих отражений.

 Под действием случайных порывов ветра энергетический спектр мешающих отражений перемещается по оси частот с изменением скорости и направления ветра, что можно представить как мнимое расширение спектра флуктуаций мешающих отражений. При этом спектральные составляющие мешающих отражений выходят из узких зон режекции, что приводит к ухудшению эффективности когерентной компенсации, так как она в основном определяется уровнем энергетического спектра мешающих отражений вне зон режекции, т.е. в районе спектральных составляющих сигнала. Существует два возможных способа устранения негативного влияния мнимого расширения спектра мешающих отражений на качество их когерентной компенсации.

 Первый способ заключается в преднамеренном расширении зон режекции устройства когерентной компенсации и связан с реализацией устройств многократного череспериодного вычитания. Однако расширению зон режекции сопутствует подавление и полезных сигналов от целей, имеющих радиальную составляющую скорости, равную радиальной скорости ветра (малоскоростные цели или цели, движущиеся по касательной к РЛС).Второй способ заключается в согласованном перемещении узких зон режекции устройства когерентной компенсации вслед за перемещением спектральных составляющих мешающих отражений под действием порывов ветра, и он является более рациональным. Он связан с реализацией гребенчатых режекторных фильтров, самонастраивающихся по параметрам мешающих отражений. Такие устройства получили названия автокомпенсаторов (АКП). В них реализована операция череспериодной автоматической компенсации (ЧПАК) помех, которая обеспечивает непрерывную автоматическую компенсацию скорости ветра, а также автоматическое отключение схемы защиты на участках дальности, не пораженных помехой.

 В простейшем случае схема ЧПАК представляет собой сочетание линии задержки на период повторения и одноканального корреляционною автокомпенсатора (рисунок 2.2). Напряжение помехи $U\_{0}$ поступает непосредственно на сумматор и на линию задержки с $t\_{зад}=T\_{П}$ .



Рисунок 2.2 - Структурная схема одноканального автокомпенсатора.

 С выхода линии задержки сигнал поступает на управляемый смеситель, комплексный коэффициент передачи которого регулируется посредством выходного напряжения цепи корреляционной обратной связи. Подбирая коэффициент передачи, можно обеспечить равенство и противофазность напряжений помехи на входах сумматора, т.е. выполнить условие когерентной компенсации незадержанного помехового сигнала помеховым сигналом, задержанным на период повторения.

 Рассмотрим принцип работы схемы. В первый период повторения (следования) сигнал помехи U0 проходит через сумматор, так как на его второй вход сигнал поступит только во втором периоде следования. Во втором периоде следования на входах коррелятора (совокупность смесителя - перемножителя с интегратором) будут действовать не задержанные и задержанные на период повторения сигналы помехи. Поскольку эти напряжения скоррелированы между собой, то на выходе коррелятора появится напряжение, пропорциональное взаимной корреляционной функции напряжений помехи двух соседних периодов повторения. Степень корреляции помехи двух соседних периодов повторения зависит от радиальной скорости движения облака дипольных отражателей помехи под действием ветра. Кроме того, к фазе помехи добавляется разность начальных фаз зондирующих импульсов между двумя соседними периодами.

 Таким образом, управляемый смеситель должен “довернуть” фазу напряжения помехи в задержанном (вспомогательном) канале на величину, равную сумме фаз за счет движения помехи и разности фаз зондирующих импульсов от периода к периоду. Выходное напряжение коррелятора установит такое значение комплексного коэффициента передачи управляемого смесителя, при котором обеспечиваются равенство и противофазность напряжений помехи на двух входах сумматора, т.е. произойдет компенсация помехи.

 Если же корреляция напряжений в двух смежных периодах повторения отсутствует, то дня таких сигналов реагирующее напряжение на выходе коррелятора равно нулю, коэффициент передачи управляемого смесителя тоже будет равен нулю. Следовательно, вспомогательный канал автоматически отключается и некоррелированное от периода к периоду напряжение проходит по основному каналу через сумматор на выход. Примером этому служит поступление сигналов целей при отсутствии помех. Сигналы движущихся целей слабо коррелированы между собой в соседних периодах повторения, но если сигнал принимается на фоне пассивной помехи, то эта корреляция будет выражена еще более слабо и большая часть энергии сигнала пройдет на выход схемы ЧПАК. Схема ЧПАК осуществляет автокомпенсацию и слабокоррелированных в соседних периодах компонентов полезного сигнала. Для исключения автокомпенсации слабокоррелированных сигналов постоянная времени (время быстродействия) схемы ЧПАК ($τ\_{ЧПАК}$) выбирается в несколько раз больше длительности импульса полезного сигнала$ Т\_{ПС}$ .

 Поскольку коэффициент передачи управляемого смесителя регулируется цепью корреляционной обратной связи по выходному эффекту, т.е. по остатку помехи, то коэффициент передачи будет несколько отличаться от оптимального. Вследствие этого у автокомпенсатора всегда будет какая-то статическая ошибка - нескомпенсированный остаток помехи. Она может быть уменьшена за счет увеличения коэффициента усиления цепи корреляционной обратной связи.

 Ввиду изменения интенсивности пассивной помехи во времени и инерционности схемы ЧПАК имеет место динамическая ошибка, которая тем меньше, чем выше быстродействие автокомпенсатора. Однако, быстродействие должно быть ограничено величиной $τ\_{ЧПАК}$ = (3-4)$τ\_{ПС}$, с тем чтобы не было ослабления полезных сигналов.

 Для одновременного подавления отражений от местных предметов и облачности или многослойной облачности (облака дипольных отражателей) автокомпенсатор должен иметь два вспомогательных канала. Исходя из этого на входах автокомпенсатора необходимо иметь сигналы (рисунок 2.3) незадержанные (0Т), задержанные на период повторения (1Т) и задержанные на два периода повторения (2Т). При этом сигналы 1Т поступают на основной канал, а 0Т и 2Т - на свои вспомогательные каналы. Такое решение обеспечивает наибольшую степень корреляции сигнала основного каната 1Т с сигналами вспомогательных каналов 0Т и 2Т.

 Временные интервалы задержек сигналов между основным каналом и вспомогательными должны составлять один период следования с точностью до 0,07 мкс. Высокая точность совмещения сигналов необходима для исключения ухудшения корреляции сигналов каналов.

 В лабораторной установке конструктивно автокомпенсатор выполнен отдельным блоком КП-03. В своем составе блок содержит два основных устройства: устройство двукратной задержки (УДЗ) и двухканальный автокомпенсатор (ДКА).

УДЗ осуществляет формирование трех сигналов с высокой степенью корреляции и выдает их на соответствующие входы каналов ДКА: незадержанного 0Т, задержанного на один период повторения 1Т и задержанного на два периода повторения 2Т. Для упрощения конструкции и исключения влияния разброса параметров ультразвуковой линии задержки (УЛЗ) в УДЗ для задержки сигналов на один и два периода следования используется одна и та же линия задержки с частотным уплотнением. Сигналы (эхо, помеха, контрольный импульс) на частоте $f\_{1}$=30 МГц поступают на входной усилитель с регулируемым коэффициентом усиления, а с него - как сигнал ОТ на вход ДКА. Сигнал 1Т для основного канала формируется из сигнала 0Т путем преобразования в смесителе 1 на частоту ($f\_{2}=f\_{1}+f\_{Г}$ = 30+6,7 =36,7 МГц) с последующей его задержкой в УЛЗ на период повторения. С выхода линии задержки сигнал через УПЧ-1, настроенный на частоту 36,7 МГц, поступает на вход 1Т ДКА.

 Сигнал второго канала 2Т формируется из сигнала 1Т путем преобразования в смесителе 2 на частоту $f\_{1}$ ($f\_{1}=f\_{2}-f\_{Г}$=36,7+6,7 = 30 МГц) с последующей его задержкой в УЛЗ. С выхода линии задержки сигнал через УПЧ-2, настроенный на частоту 30 МГц, поступает на вход 2Т ДКА.

 Для обеспечения стабильности времени задержки УЛЗ помещена в термостат, где автоматически поддерживается оптимальная температура с точностью 0,2°С. Технологический и дисперсионный разбросы времени задержки УЛЗ компенсируются выравнивающими линиями задержки, которые на структурной схеме не показаны. УПЧ-1 и УПЧ-2 компенсируют затухание сигналов в УЛЗ каналов 1Т, 2Т и обеспечивают поступление на входы ДКА сигналов с требуемой амплитудой. Как указывалось выше, сигнал 1Т поступает на основной, а 0Т и 2Т - на вспомогательные каналы ДКА. Такое решение обеспечивает наибольшую корреляцию сигналов на входе автокомпенсатора в трех периодах следования.

 ДКА осуществляет автоматическую когерентную компенсацию помеховых колебаний в основном канале 1Т коррелированными колебаниями этой же помехи каналов 0Т и 2Т. В схеме ДКА управляемые смесители играют, по существу, ту же роль, что и управляемый смеситель с комплексным коэффициентом передачи в схеме на рисунок 2.2. Функциями управляемых смесителей являются: преобразование сигналов вспомогательных каналов частотой /, в сигналы частоты основного канала $f\_{2}$, уравнивание по амплитуде сигналов помехи во вспомогательном канале с сигна­лом помехи основного канала и обеспечение их противофазности. Все эти операции выполняются подачей на управляемый смеситель управляющего напряжения на частоте гетеродина, поступающего по цепи корреляционной обратной связи. На коррелятор (смеситель-перемножитель с интегратором) через вспомогательный УПЧ (ВУПЧ) поступает задержанный сигнал помехи, а с усилителя обратной связи - ее нескомпенсированный остаток. В результате преобразования этих сигналов на выходе смесителя-перемножителя формируется управляющее гетеродинное напряжение, амплитуда и фаза которого определяются соотношением амплитуд и фаз задержанного помехового сигнала и его нескомпенсированного остатка. Узкополосный кварцевый фильтр (интегратор на рисунке 2.3) выделяет из спектра частот смесителя составляющую частоты гетеродина, которая формируется из коррелированной части входных сигналов смесителя. Под воздействием выходного напряжения коррелятора управляемый смеситель так изменяет амплитуду и фазу помехового сигнала вспомогательного канала, что он будет равным но амплитуде, но противоположным по фазе помеховому сигналу основного канала. Так как корреляционная обратная связь постоянно замкнута и носит отрицательный характер, то процесс минимизации помехи происходит автоматически. Поэтому АКП относится к самонастраивающимся (адаптивным) системам.

 Вспомогательный УПЧ в цепях каналов 0Т и 2Т компенсирует запаздывание сигнала основного канала в цепи обратной связи, и обеспечивается одновременность поступления сигналов на входы корреляторов. Кроме того, нечетным количеством каскадов ВУПЧ сдвигает фазу помехи вспомогательного канала на 180° по отношению к сигналу помехи основного канала, чем и определяется характер корреляционной обратной связи - она становится отрицательной, минимизирующей сигнал помехи на выходе АКП.



Рисунок 2.3 - Структурная схема блока КП-03.

 Особенностью АКП пассивных помех по сравнению с АКП мешающих излучений является то, что управляющее гетеродинное напряжение на выходе интегратора формируется на короткое время, т.е. определяется длительностью помехи. Но из-за инерционности кварцевого фильтра (интегратора) в начале действия помехи управляющее напряжение еще не сформировалось в корреляторе и на выход автокомпенсатора поступает неослабленный сигнал помехи. Спустя время, равное 3...4 $T\_{ПС}$, в корреляторе сформируется управляющее напряжение, цепь корреляционной обратной связи замкнется и в автокомпенсаторе наступит процесс автоматической когерентной компенсации помехового сигнала.

 Таким образом, из-за инерционности кварцевого фильтра, обусловленной его высокой добротностью, автокомпенсатор не компенсирует переднюю кромку помехи. Следует отметить, что именно инерционностью автокомпенсатора обеспечивается прохождение коротких полезных сигналов без ослабления. АКП не полностью подавляет помеху, так как для нормальной его работы необходимо остаточное напряжение. Окончательное подавление сигналов помехи осуществляется схемой автоматической регулировки привязки (APIT) остатков помехи к уровню шумов, которая в функциональном построении представляет быстродействующую автоматическую регулировку усиления (БАРУ). Включение её в работу осуществляется тумблером АРП блока автокомпенсатора.

 Подавление цели на фоне пассивных помех происходит лишь в том случае, когда сдвиг по фазе сигнала цели относительно фазы пассивной помехи от такта к такту не изменяется или изменяется на $2kπ$ радиан, т.е. цель движется со слепой скоростью. Однако вследствие того, что второй частотный подканал РЛС работает на другой частоте, эта скорость цели для него не будет слепой. Таким образом, двухчастотным зондированием воздушного пространства слепые скорости целей смещаются в область высоких скоростей.

 Полагая ,что цель на фоне нескомпенсированных остатков помехи обнаруживается оператором при равенстве их амплитуд, т.е. при коэффициенте различимости, равном единице, определить :

* коэффициент когерентной компенсации мешающих отражений

$v\_{к.к}=\frac{U\_{пвх}}{U\_{ост}}$ ;

* коэффициент подпомеховой видимости

$v\_{п.в}=\frac{U\_{пвх}}{U\_{ост}}$ .

1. **Содержание отчета**

1. Структурная схема лабораторной установки.

2. Осциллограммы напряжений.

3. Результаты расчетов.

4. Выводы.

**4 Контрольные вопросы**

1.Сформулировать и пояснить основные задачи, решаемые в РТС.

2.Дать краткую характеристику помех РТС.

3.Пояснить сущность когерентной компенсации сигналов мешающих отражений.

4.Пояснить способы когерентной компенсации мешающих отражений, их достоинства и недостатки.

5.Пояснить по структурной схеме работу одноканального АКП мешающих отражений.

6.Пояснить состав и работу АКП по структурной схеме,

7.Пояснить состав и работу лабораторной установки по структурной схеме.

8.Пояснить термин '‘слепая скорость” и способы борьбы с ней в РЛС.

Объяснить особенность формирования управляющего напряжения в автокомпенсаторах АЗПП и в аппаратуре защиты от активных шумовых помех.