МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

КАФЕДРА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

«ЧАСТОТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ДАЛЬНОСТИ»

Для студентов по дисциплинам: радиолокация,радионавигация и РЭЗИ.

Минск 2014

**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

1.1.Изучение физических принципов, лежащих в основе частотного метода измерения дальности.

1.2.Ознакомление с технической реализацией частотного метода измерения дальности на базе радиовысотомера РВ-5.

1.3.Экспериментальное исследование точностных характеристик частотной дальнометрии.

**2 КРАТКИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА**

Физическими основами измерения дальности в дальномерных радио­технических системах являются конечность и постоянство скорости распространения электромагнитных волн в свободном пространстве, а также прямолинейность их траекторий.

Сущность метода измерения дальности заключается в определении времени запаздывания отраженного сигнала относительно излучаемого. Оценка этого времени запаздывания в зависимости от вида используемого сигнала производится намерением либо фазового, либо частотного, либо непосредственно временного сдвига принимаемого отраженного сигнала относительно излучаемого. В связи с этим различают фазовый, частотный или импульсный (временной) методы определения дальности. Иногда используют их комбинацию.

В данной лабораторной работе исследуется частотный метод измерения дальности (высоты), в основу которого положено измерение изменения частоты колебаний частотно-модулированного сигнала передатчика за время распространения электромагнитной волны до цели и обратно. Сказанное поясняется рисунок 1, который выполнен в предположении, что частота излучаемых колебаний изменяется непрерывно по линейному закону.

Из ∆ABL следует, что ∆fn равно tgαt3. Так как t3 равно - , то

∆fn = tgα .

Отсюда ,

где tgα = - скорость изменения частоты сигнала передатчика.

С другой стороны ∆fn равно ∆fn2 - ∆fn1 и равно ∆fl2 – fl1, где fc - частота принятых колебаний. Таким образом, измеряя разность частот излучаемых и принимаемых колебаний, можно вычислитьдальность до цели. Разность частит этих колебаний называется маститей биений fБ и равна ∆аm , абсолютная величина которой несет информацию о дальности (высоте).

.

Однако на практике получить непрерывное линейное измерение частоты невозможно. Поэтому применяют периодическую модуляции. Наибольшее применение находят два вида модуляции: пилообразная (симметричная и нессиметричная) и синусоидальная (рисунке 2). На рисунке обозначены fnmax, fnmin диапазоны измерения частоты колебаний передатчика; fn0 – среднее значение частоты колебаний передатчика; Тм - период модуляции и ∆fм- диапазон изменения частоты.

Периодическая модуляция вносит существенные особенности в работу частотного дальномера. Рассмотрим принцип измерения дальности с учетом этих особенностей в случае симметричной пилообразной модуляции. С этой целью воспользуется эпюрами, представленными на рисунке 3. На рисунке 3, а изображены законы изменения частоты излучаемых fn(t) и принимаемых колебаний fc(t). На рисунке 3, б, в представлены соответственно закон измерения частоты биений и его модуль.

На интервале 0-1fБ растет, на интервале 1-2 остается постоянной, на интервале 2-4 уменьшается, на интервале 4-5 остается постоянной. Далее процесс повторяется. Частота биений, которая в течение периода модуляции Тм остается постоянной, называется основной и обозначается fБО. Как следует из рисунка I, fБO, равно ∆fn , tgαt3 и равно - . Переходя к конечным приращениям (см. рисунок 2, а),

,

получаем fБО равно t3. Так как t3 равно, то fБО  равно (3)

Отсюда (4)

Однако частотомер, работающий по принципу счета числа периодов (временной метод), измеряет не fБO, а среднее значение fбcp (с учетом провалов). Средняя частота биений fбcp определяется как высота прямоугольника, равновеликого плошали огибающей частоты биений (см. рисунок 3,в). Огибающая частоты биений представляет собой трапецию. Площадь трапеции:

(5)

Площадь равновеликого прямоугольника:

(6)

Приравнивая правые части выражений (5) и (6) и решая относительно , получаем

. (7)

Отсюда ошибка измерения частоты биений

. (8)

Данная ошибка относится к разряду методических ошибок и обусловливает абсолютную погрешность в измерении дальности на величину

. (9)

Соответственно относительная ошибка измерения дальности

. (10)

Как следует из выражения (10), прямопропорциональна t3 и FM.

Таким образом, чем больше t3 и FM, тем больше

Максимальная задержка t3max и максимальная частота модуляции £м; к<ы выбираются из условия обеспечения однозначного измерения дальностей во всем диапазоне изменения рабочих дальностей. При t3max , равном ,max равно . В результате максимальная дальность

(11)

Вторая причина, вызывающая ошибку измерения дальности, является дискретность отсчета.

Так, в случае применения для измерения FБО спектра-анализатора дискретность отсчета обусловлена дискретностью спектра преобразованного сигнала.

Поясним сказанное. Вначале рассмотрим преобразованный сигнал (сигнал на выходе смесителя) без учета скачкообразного изменения фазы на 180° через равные промежутки времени (гипотетический случай). В этом случае длительность импульса τи равна периоду модулирующей функции Тм (рисунок 4, а). Амплитудно-частотный спектр такого сигнала будет состоять из одной спектральной линии. Остальные спектральные линии, кратные FM, совпадают с нулевыми значениями огибающей спектра (считаем, что радиоимпульс является прямоугольным) (рисунок 4, б). Изменение дальности будем приводить к дискретному смещению fБО по оси частот. Минимальный интервал, через который может быть зафиксировано следующее значение частоты биений, равен FM. Это обстоятельство и является причиной ошибки в измерении дальности. Кроме того, это обстоятельство накладывает ограничения и на fmmin которые равны FM . В результате

. (12)

В случае применения частотомера для измерения fm дискретность обусловлена счетом числа импульсов, полученных из частоты биений.

При симметричной пилообразном законе модуляции число импульсов за период модуляции Тм равно

. (13)

Для того, чтобы изменилось показание частотомера, необходимо, чтобы число импульсов изменилось по крайней мере на один. Из выражения (13) нетрудно видеть, что nT будет равно единице при

. При ∆fM = 100∙106 Гц; ∆D = 0,75м.

Таким образом, частотомер зафиксирует изменение высоты, если последняя изменяется на 0,75м.

В основу способа уменьшения ошибок измерения дальности, обуслов­ленной дискретностью счета, может быть положено использование сложной модулирующей функции, состоящей из нескольких функций. В радиовысотомера РВ-5 она состоит из двух функций: FM1 основной и Fm2 дополнительной. FM1>> FM2

В результате использования FMl и FM2 результирующий модулирующий сигнал приобретает сложную формулу (рисунок 5), период повторения которого определяется методом вспомогательной функции FM2. Вследствие этого интервал между спектральными линиями спектра преобразованного сигнала будет равен Fm2. В результате ошибок измерения дальность уменьшается во столько раз, во сколько FM1 > FM2 и может быть оценена с помощью следующего выражения:

. (14)

Измерение частоты биений методом счета числа импульсов, из нее полученных, широко используется в радиовысотомерах малых высот (РВ-3, РВ- ЗМ, РВ-5 И РВ-5М).

Настоящая лабораторная установка поставлена на базе радиовысотомера РВ-5.

**3 НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РАДИОВЫСОТОМЕРА** **РВ-5**

Радиовысотомер РВ-5 предназначен для измерения высоты полета самолета (вертолета) над поверхностью суши (моря). Он представляет собой радиолокационную станцию непрерывного действия с линейной частотной модуляцией колебаний.

Принцип действия РВ-5 заключается в следующем (рисунок 6). Генератор СВЧ вырабатывает высокочастотные колебания, частота, которых пе­риодически изменяется по линейному закону. Этот закон задается функцией, поступающей с модулятора (см. рисунок 5). Основная часть энергии высокочастотных колебаний передавшей антенной излучается по направлению к земной (водной) поверхности. Часть энергии высокочастотных колебаний поступает непосредственно в балансный смеситель. Отраженная от земли энергия попадает на приемную антенну, а затем поступает в балансный смеситель. В балансном смесителе образуются колебания разностной частоты. Частота этих колебания равна величине, на которую изменилась частота генератора СВЧ за время распространения электромагнитной энергии до земли (воды) и обратно. Таким образом, разностная частота пропорциональна времени запаздывания отраженного сигнала относительно излученного, которое однозначно связано с высотой. Колебания разностной частоты после усиления и преобразования поступают на частотомер, величина напряжения на выходе котором пропорциональна fБCP. Под действием этого напряжения стрелка указатели высоты повернется на угол, соответствующий текущему значению высоты.

**4 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ**

Лабораторная установка включает в себя:

- лабораторный макет;

- генератор сигналим низкочастотный ГЗ-109;

- осциллограф CI-65A.

Лабораторный макет выполнен на базе радиовысотомера РВ-5. Его функциональная схема представлена на рисунке 7. Она содержит два канала: канал формирования и передачи зондирующего сигнала и канал приема и обработки отраженного, сигнала. Состав каналов указан на схема. Взаимодействие элементов каналов при определении высоты сводится к следующему.

На стабилизатор-интегратор одновременно поступают прямоугольные импульсы, вырабатываемые генераторами FM1 (генератор основной частоты модуляции) и FM2 (генератор дополнительной частоты модуляции). Основная частота модуляции FM1 = 150 Гц, а дополнительная FM2 = 20 Гц. Последняя используется для уменьшения погрешности измерения, обусловленной дискретностью спектра сигнала. Генератор FM1 подключен к стабилизатору-интегратору через модулятор, в котором осуществляется управление амплитудой импульсов с целью уменьшения погрешности измерения за счет нестабильности ∆fM.

В стабилизаторе-интеграторе формируется сложная модулирующая функция (см. рисунок 5), по закону которой изменяется частота колебаний, вырабатываемых генератором СВЧ. Диапазон генерируемых частот составляет при этом 4200-4400 МГц.

Высокочастотные колебания с выхода генератора СВЧ, которые в дальнейшем будем называть зондирующим, сигналом, через вентиль I, направленные ответвители и вентиль 2 поступают в передающую антенну. Передающей антенной зондирующий сигнал излучается в направлении земной, водной поверхности.

Отраженный от земли (воды) сигнал, принятый приемной антенной, через вентиль 3 поступает на балансный смеситель 2. На второй вход этого смесителя поступает часть энергии зондирующего импульса. Этот сигнал является гетеродинным и его частота отличается от частоты принятого сигнала на величину, пропорциональную времени распространения электромагнитной энергии до земли и обратно, именуемую временем задержки t3. Время задержки однозначно связано с высотой. Поэтому на выходе балансного смесителя образуются колебания разностной частоты (биения), по значению которой можно судить о высоте полета. Следовательно, чтобы определить высоту полета, необходимо измерить значение разностной частоты. Для этой цели может быть использован анализатор спектра (частотный метод). В случае же одиночной цели используется простой частотомер, работающий по принципу счета числа периодов (временный метод). Последний нашел применение в РВ-5. Поэтому, дальнейшая техническая реализация радиовысотомера обусловлена выбранным метолом измерения разностной частоты.

Колебания разностной частоты с выхода балансного смесителя 2 поступает на предварительный усилитель разностной частоты ПУРЧ-5, в задачу которого входит компенсация ослабления отраженного сигнала при увеличении высоты полета. С этой целью формируется частотная характеристика с подъемом на высоких частотах около 6 дБ на октаву. После предварительного усиления колебания разностной частоты поступают на усилитель разностной частоты УРЧ-5, где помимо основного усиления полезного сигнала осуществляется ослабление вредного воздействия шумов и паразитных сигналов. Эта задача решается фильтрами верхних и нижних частот, а также интегратором,

Переключение частотных характеристик и фильтров в зависимости от высоты (Н≥30 м) полета осуществляется специальным устройством, состоящим из схемы переключения частотных характеристик, схем переключения и отключения фильтра. Управление осуществляется напряжением высоты, поступающим с УПГ.

При полетах на высоте меньше 30 м включается интегратор, пред­ставляющий собой PC фильтр нижних частот. Схема управления интегратором состоит из усилителя-ограничителя и счетчика.

Отраженный сигнал с выхода интегратора поступает на схему заграждения шумов, которая улучшает работу радиовысотомера в случае воздействия большого уровня паразитных сигналов.

Формирование напряжения, величина которого пропорциональна высоте полета, осуществляется с помощью счетчика и УПТ.

Для исключения влияния нестабильности ∆fM на точность измерения высоты в РВ-5 предусмотрена автоматическая подстройка постоянной радиовысотомера. Постоянная радиовысотомера k=4∆fмFм/С стабилизируется путем управления полосой модуляции за счет изменения в модуляторе амплитуды импульсов, вырабатываемых генератором Fм1.

Эта задача решается устройством автоподстройки постоянной радиовысотомера, состав которого указан на схеме. Имитация задержки отраженного сигнала осуществляется JI3-1, которая задерживает колебания генератора СВЧ на время, эквивалентное высоте 15м. В балансном смесителе I образуются колебания разностной частоты, которые далее усиливаются и преобразуются в импульсы, поступаете на счетчик частоты контроля. В счетчике импульсы преобразуются в ток, пропорциональный высоте Le4. Одновременно на счетчик поступает опорный ток Lon, пропорциональный эквиваленту высоты линии задержки. В УПТ пропорционально разности этих токов формируйся напряжение, управлявшее работой модулятора. Если ∆fM есть const, то Li4 равно ion. В этом случае UУПТ равно UУПТ40М и амплитуда импульсов генератора, FM1 в модуляторе не меняется.

При переменной ∆fM Le4 не равно ion . В результате UУПТ не равно UУПТ40М. Это приведет к изменению амплитуды импульсов FM1 на такую величину, чтобы обеспечить постоянство ∆fM.

С целью удобства выполнения работы на лицевой панели макета представлена несколько упрощенная функциональная схема (рисунок 8). Снятие временных диаграмм осуществляется с помощью осциллографа CI-65A, подключаемого поочередно к гнездам, установленным на выходе отдельных каскадов. Подключение генератора низкочастотного сигнала ГЗ-109. осуществляется к клеммам "ЗГ".

**5 ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ**

Студенты до прибытия в лабораторию для выполнения работы обязаны:

- изучить частотный метод измерения дальности и его реализацию в радиовысотомере;

- ознакомиться с методическими указаниями на данную лабораторную работу;

- заготовить в отчете таблицы 1-2 для построения зависимостей ∆Н=f(t3) при различных значениях FM1 (ошибки обусловлены непостоянством частоты биений в пределах периода повторения модулирующей функции FM1), и таблицы 3-4 для построения зависимостей ∆Н = f(FM) при различных значениях (ошибки обусловлены дискретностью отсчета).

Таблица 1 – FM1=45Гц; Hзад=100м; fБО=90кГц.

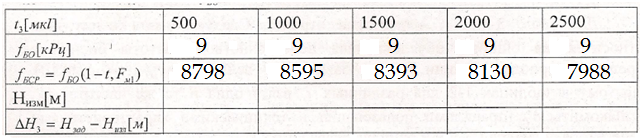


Таблица 2 – FM1=190Гц; Hзад=100м; fБО=9кГц.

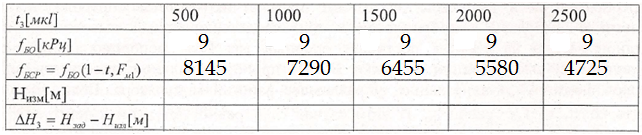


Таблица 3 – Hзад=50м; fБО=4,5кГц.

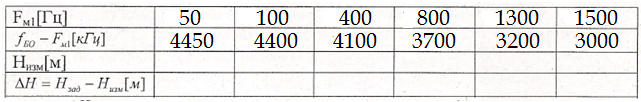
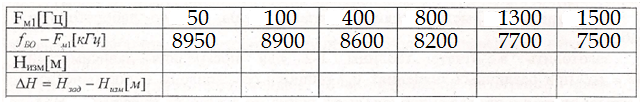


Таблица 4 – Hзад=100м; fБО=20кГц.



Произвести расчеты:

- для табл. 1-2 fБCP (третья строка);

- для табл. 3-4 fБО – FM1 (вторая строка). Следует иметь ввиду, что относительная ошибка, обусловленная непостоянством частоты биений в пределах периода функции FM1, не зависит от величины fБО (см. выражение 10). Поэтому в таблицах 1-2 для различных t3 взята одна и та же частота fБО. Ознакомиться с правилами пользования и техническими характеристиками генератора сигналов ГЗ-109 и осциллографа CI-65A.

**6 ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ**

В процессе занятия студентами выполняются следующие виды работы:

- снятие осциллограмм в контрольных точках, указанных на лицевой панели макета;

- определение ошибок измерения высоты, обусловленных непостоян­ством частоты биений в пределах периода функции FM1 (таблицы 1-2) и дискретностью отсчета (таблицы 3-4).

**7 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

7.1.Включение лабораторной установки.

Включение лабораторной установки осуществляется установкой тумблеров "Сеть", расположенных на передней панели макета, генератора и осциллографа в положение "Вкл.", а также преобразователя напряжения 115В 400 Гц с разрешения преподавателя.

7.2.Снятие осциллограмм в контрольных точках.

Снятие осциллограмм производить осциллографом CI-65A в конт­рольных гнездах, установленных на передней панели макета. Синхронизация осциллографа внутренняя при снятии эпюр напряжений до смесителя. После смесителя синхронизация внешняя с гнезда, установленного на выходе генератора FM1. Перед зарисовкой эпюр необходимо удостовериться их соответствию физическим процессам.

7.3.Определение величины ошибки измерения высоты от времени задержки отраженного сигнала при различных значениях частоты генератора FM1 (ошибки обуславливающие измерения fБСР).

С этой целью необходимо:

7.3.1.Соединить клеммы "Выход" генератора сигнала ГЗ-109 с клеммами "ЗГ" макета.

7.3.2.Устанавливая значения частоты генератора 13-109, равные fБСР, указанные в таблице 1-2, снять показания высотомера и занести их в строчку 4 названных таблиц соответственно.

7.3.3.Исходя из Нзад и Низм, рассчитать абсолютную ∆Н - ошибку измерения высоты при различных FM1.

7.3.4.Построить зависимости ∆Н от t3 при различных значениях FM1 полученных расчетом и экспериментальным путем.

7.3.5.Определение величины ошибки, обусловленной дискретностью отсчета, при различных значениях высоты.

С этой целью необходимо:

7.4.1.Установить значения частоты генератора равные fБOFM1 указанные в таблицах 3-4, снять показания высотомера и занести их в строку 3 названных таблиц соответственно.

7.4.2.По заданным значениям высоты Нзад = 50 , 100 м соответственно для таблиц 3,4 и измеренным Низм рассчитать абсолютную ∆Н и построить зависимости ∆Н от FM1 различных значениях H.

**8 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

8.1.Зарисовки осциллограмм в контрольных точках лабораторной установки.

8.2.Таблицы с внесенными расчетными и экспериментальными данными.

8.3.Семейство графиков ошибок измерения высота, обусловленные измерением среднего значения частоты биения при различных FM1.

8.4.Семейство графиков ошибок измерения высоты, обусловленных дискретностью отсчета при различных Н.

8.5.Выводы по работе.

**9 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1.Перечислить методы измерения дальности, их преимущества и недостатки.

2.Пояснить принцип частотного метода измерения дальности.

3.Пояснить смысл ошибок метода измерения высоты в РВ-5.

4.Какие ограничения накладываются на выбор значений ∆fM и FM1

5.Чем определяется расстояние между спектральными линиями в спектре периодического сигнала?

6.Пояснить, какая из составляющих ошибок измерения высоты уменьшается при применении FM2 и почему?

7.Изменятся ли показания высотомера с изменением ∆fм и FM1 ?

8.Почему счетчик измеряет среднее значение частоты биений, а не FБ0 ?

9.Изобразить огибающую частоты биений при наличии τv2

10.Почему в преобразованном сигнале через равные промежутки времени происходит скачкообразное изменение фазы колебаний 180°

11.Чем определяется Dmin Dmax разрешающая способность?

12.Почему частотный измеритель дальности, использующий для измерения метод счета импульсов, не обладает разрешающей способ­ностью по дальности?

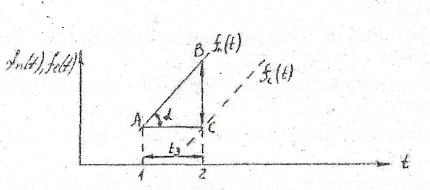


Рисунок 1 – Линейное искажение частоты

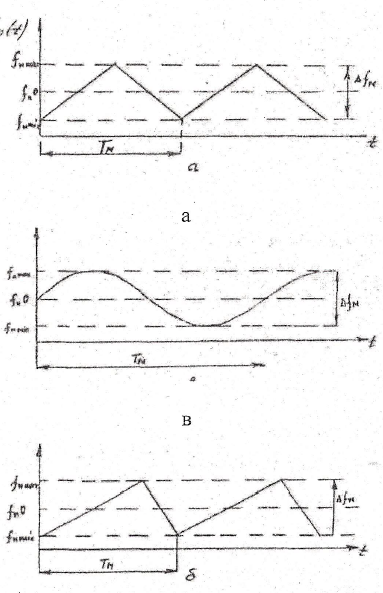


Рисунок 2 – Виды модуляции

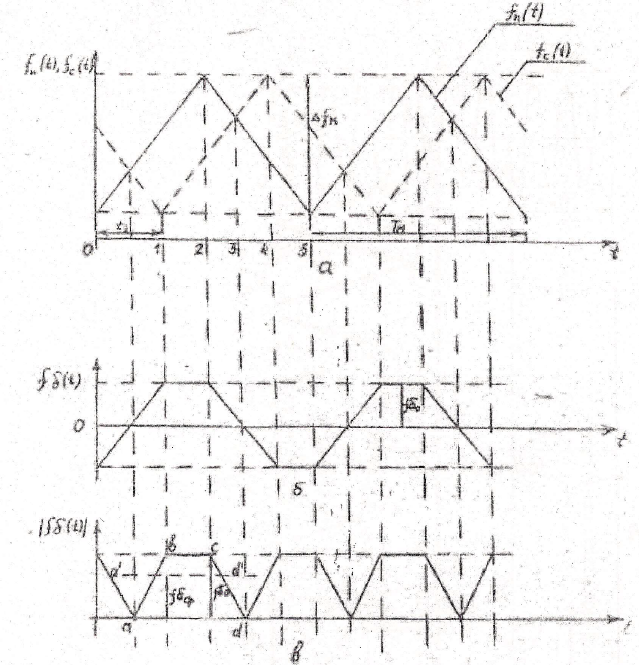


Рисунок 3 – Временные диаграммы с периодической модулирующей функцией

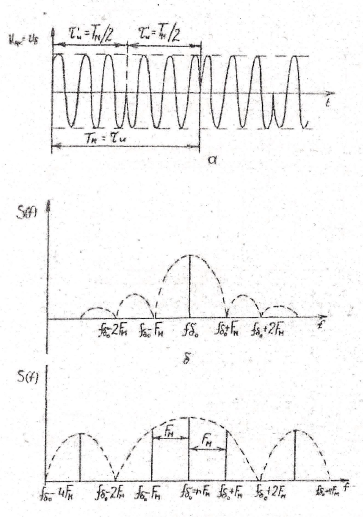
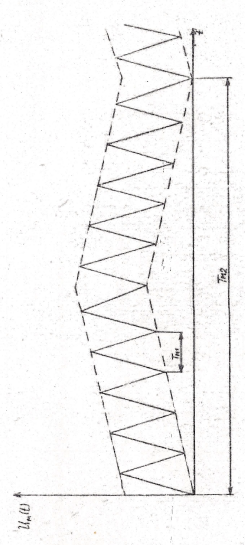
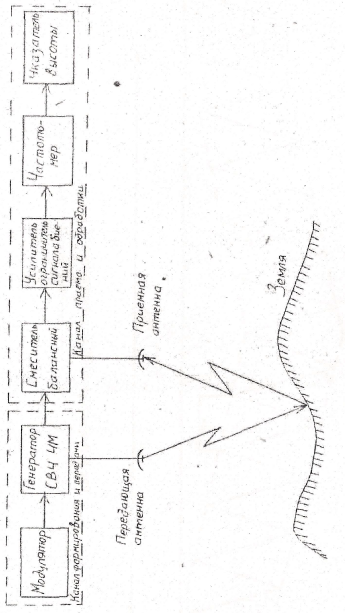


Рисунок 4 – Преобразование сигнала и его спектра

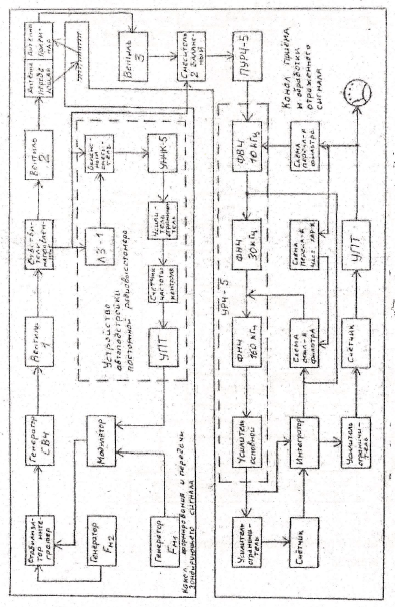
|  |
| --- |
| Рисунок 5 – Результирующий модулирующий сигнал |



|  |
| --- |
| Рисунок 6 – Схема электрическая структурная РВ-5 |



|  |
| --- |
| Рисунок 7 – Схема электрическая функциональная |



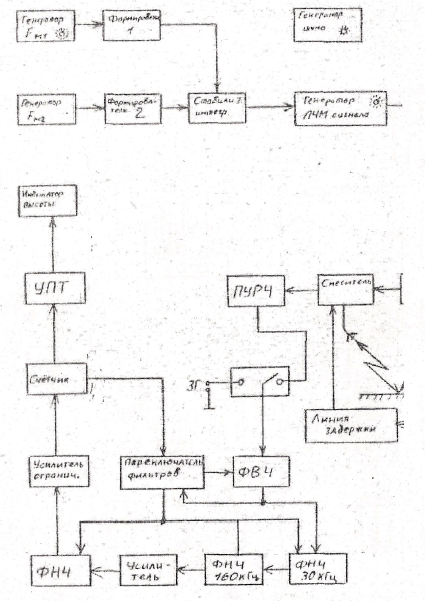


Рисунок 8 – Схема электрическая функциональная упрощенная лабораторного макета