

Белорусская государственная академия авиации



конкурс научных курсантских работ
«Молодая наука академии»

Кафедра технической эксплуатации авиационного и радиоэлектронного
оборудования

Кучинский О.Э.

Радиовысотомер малых высот с амплитудной обработкой сигналов

Научный руководитель

Ст. преподаватель кафедры ТЭА и РЭО Лазовский Л.И.

Минск, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Измерение высоты полета воздушного судна (ВС) является важнейшей задачей навигации, оказывающей решающее влияние на безопасность полетов и сохранение человеческих жизней в гражданской авиации. Существующие методы измерения высот, особенно малых (200 – 1500 м) обеспечивают точность, лежащую в пределах десятков сантиметров [2]. Такая точность не всегда достаточна для осуществления посадки ВС по приборам, особенно в автоматическом режиме.

Поэтому целью данной работы является изучение современных методов реализации точностных характеристик радиовысотомеров (РВ) малых высот, а также исследование методов их улучшения.

Реализуется указанная цель с помощью амплитудных цифровых методов обработки информационных параметров частотных РВ.

Результаты исследований подтверждаются компьютерным моделированием, могут быть использованы для разработки радиовысотомеров нового типа и в учебном процессе БГАА, как материалы для практических и лабораторных работ.

РАЗДЕЛ 1 АНАЛИЗ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНЫХ РАДИОВЫСОТОМЕРОВ

1.1. Частотный метод измерения малых высот при гармонической частотной модуляции излученного сигнала

При частотном методе дальность до объекта измеряется путем применения частотной модуляции излучаемого сигнала и измерения сдвига частот излученного и принятого сигналов. Наиболее широко данный метод применяется в радиовысотомерах.

Пусть частота излученного с борта ЛА сигнала меняется по гармоническому закону (рисунок 1, а).

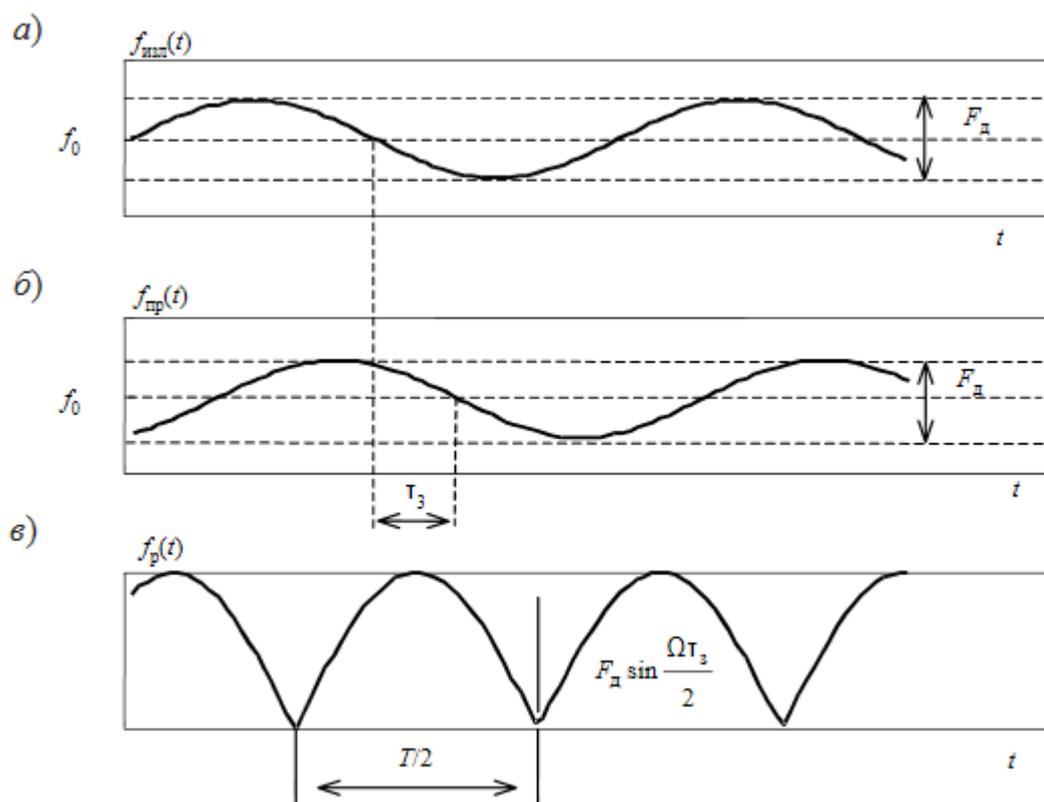


Рисунок 1.1 – Изменение частоты сигнала в радиовысотомере с гармонической частотной модуляцией

$$f_{\text{изл}}(t) = f_0 + \frac{F_{\text{д}}}{2} \sin \Omega t, \quad (1.1)$$

где f_0 – средняя несущая частота;

F_d – девиация частоты;

$\Omega = 2\pi f$ – угловая частота частотной модуляции;

T – период модуляции.

Мгновенная частота принятого сигнала (рисунок 1, б)

$$f_{\text{пр}}(t) = f_0 + \frac{F_d}{2} \sin \Omega(t - \tau_3), \quad (1.2)$$

где $\tau_3 = 2H/c$ – время задержки;

H – высота ЛА над поверхностью.

Разностная частота при этом будет равна

$$f_p(t) = \left| f_{\text{изл}}(t) - f_{\text{пр}}(t) \right| = F_d \frac{\sin \Omega \tau_3}{2} \left| \sin \Omega \left(t - \frac{\tau_3}{2} \right) \right|, \quad (1.3)$$

Примерный вид графика $f_p(t)$ показан на рисунке 1, в. Таким образом, изменение разностной частоты носит периодический характер. Усредняя $f_p(t)$ на периоде ее изменения, получим для среднего значения разностной частоты

$$f_p = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} f_p(t) dt = \frac{2}{T} F_d \frac{\sin \Omega \tau_3}{2}. \quad (1.4)$$

Если $T \gg \tau_3$, то с высокой точностью можно считать, что

$$\frac{\sin \Omega \tau_3}{2} \approx \frac{\Omega \tau_3}{2}.$$

Тогда

$$f_p = \frac{2F_d}{T} \tau_3.$$

Учитывая, что $1/T = F$, получаем

$$f_p = 2F_d F \tau_3; \tau_3 = \frac{f_p}{2F_d F}; H = c\tau_3 = \frac{c}{2F_d F} f_p. \quad (1.5)$$

Таким образом, измеряя среднюю частоту биений излученного и принятого сигналов, можно определить высоту ЛА.

Обозначим $2F_d F = v$ (скорость изменения частоты), тогда множитель $c/2v$ можно считать постоянным. В этом случае ошибка измерения высоты

$$\sigma_H = \frac{c}{2v} \delta f_p. \quad (1.6)$$

СКО ошибки измерения частоты, как известно, определяется отношением сигнал/шум q^2 и длиной интервала наблюдения T_n .

$$\sigma f = \frac{1}{2\pi\sqrt{q^2 T_n^2}}. \quad (1.7)$$

Тогда для СКО измерения высоты окончательно получим

$$\sigma_H = \frac{c}{4\pi v q T_n}. \quad (1.8)$$

Следовательно, для увеличения точности измерения при частотном методе необходимо увеличивать скорость изменения частоты v , интервал наблюдения T_n и отношение сигнал/шум q^2 .

1.2. Частотный метод измерения малых высот при линейной частотной модуляции излученного сигнала

Пусть теперь частота излученного с борта ЛА сигнала $f_{изл.}$ меняется по линейному закону (рисунок 1.2), например, нарастает.

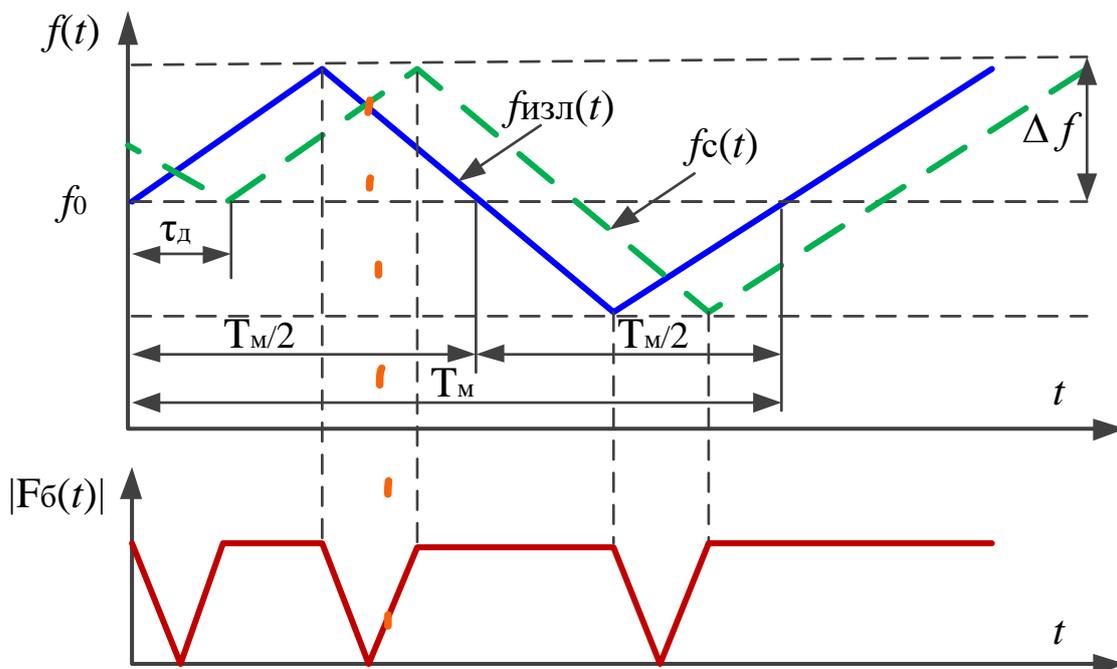


Рисунок 1.2 – Линейное изменение частоты в радиовысотомере

Причем, если скорость нарастания

$$\beta = \frac{df_{\text{изл}}(t)}{dt},$$

то приращение частоты излучаемых колебаний за время распространения

$$\tau_{\text{д}} = \frac{2D}{c}$$

будет равно

$$\Delta f_{\text{изл}}(D) = \beta \tau_{\text{д}} = \beta \frac{2D}{c}. \quad (1.9)$$

Измерив разность частот излучаемого и принимаемого сигналов (частоту биений)

$$F_{\text{б}} = \Delta f_{\text{изл}},$$

можно вычислить высоту по формуле

$$D = \frac{c}{2\beta} \Delta f_{\text{изл}} = \frac{c}{2\beta} F_{\text{б}}. \quad (1.10)$$

На рисунке 2 отображены графические зависимости, отображающие процесс изменения во времени частот излучаемого и принимаемого сигналов, а также частоты биений для одного определенного значения дальности при пилообразной модуляции несущей частоты.

Если выполняется условие, что частота биения $F_{\text{б}}$ намного больше частоты модуляции $F_{\text{м}}$: $F_{\text{б}} \gg F_{\text{м}}$, то можно записать

$$\begin{aligned} \Delta f_{\text{изл}}(t) &= f_0 + \beta t = f_0 + \frac{4\Delta f}{T_{\text{м}}} t; \\ \Delta f_{\text{с}}(t) &= f_0 + \beta(t - \tau_{\text{д}}) = f_0 + \frac{4\Delta f}{T_{\text{м}}} \left(t - \frac{2D}{c}\right); \\ F_{\text{б}} &= f_{\text{изл}}(t) - f_{\text{с}}(t) = \frac{8\Delta f}{cT_{\text{м}}} D, \end{aligned} \quad (1.11)$$

где f_0 – среднее значение частоты излучаемых колебаний;

Δf – девиация частоты;

$f_{\text{с}}(t)$ – частота принимаемых колебаний.

Данное выражение не учитывает уменьшение частоты биений до нуля при равенстве частот излученного и принятого сигнала.

Фактически частотомер будет измерять среднюю частоту биений за период модуляции

$$F_{\text{б ср}} = \frac{8\Delta f}{cT_{\text{м}}} D \left(\frac{T_{\text{м}} - \tau_{\text{д}}}{T_{\text{м}}} \right). \quad (1.12)$$

Поскольку обычно время задержки сигнала намного меньше периода модуляции, то можно считать среднюю частоту биений F_s примерно равной самой частоте биений. Следовательно, формула для расчета дальности (высоты полета) для высотомера с линейной частотной модуляцией может быть записана в виде

$$D = \frac{cF_b}{8\Delta fF_m}. \quad (1.13)$$

В соответствии с этой формулой среднеквадратическая ошибка измерения дальности (высоты) будет равна:

$$\sigma_D = \frac{c}{8\Delta fF_m} \sigma_{F_b}. \quad (1.14)$$

Таким образом, при линейной, как и при синусоидальной модуляции, ошибка измерения дальности прямо пропорциональна ошибке измерения частоты биений, и обратно пропорциональна девиации несущей частоты и частоте модуляции.

Числовые значения ошибок измерения для методов гармонической модуляции рассчитанные по формуле (1.8) и линейной модуляции – по формуле (1.14) для частотных диапазонов и параметров частотной модуляции, реальных радиовысотомеров, используемых на ВС в настоящее время, составляют [15]:

для высот (0 – 60) м: $\Delta H = (0,6 + 0,05H)$ м;

для высот (60 – 750) м: $\Delta H = 0,06H$ м.

Рассчитаем значения зависимостей погрешностей измерений от измеренной высоты $\Delta H = F(H)$ в соответствии с таблицей 1.1.

Таблица 1.1 – Зависимость погрешностей измерений от высоты

H_1 , м	ΔH_{60} , м	H_2 , м	ΔH_{750} , м
1	0,65	60,00	3,6
2	0,70	90,00	5,4
3	0,75	120	7,2
4	0,80	150	9
5	0,85	180	10,8

$H_1, \text{ м}$	$\Delta H_{60}, \text{ м}$	$H_2, \text{ м}$	$\Delta H_{750}, \text{ м}$
6	0,90	210	12,6
7	0,95	240	14,4
8	1,00	270	16,2
9	1,05	300	18
10	1,10	330	19,8
11	1,15	360	21,6
12	1,20	390	23,4
13	1,25	420	25,2
14	1,30	450	27
15	1,35	480	28,8
16	1,40	510	30,6
17	1,45	540	32,4
18	1,50	570	34,2
19	1,55	600	36
20	1,60	630	37,8
21	1,65	660	39,6
22	1,70	690	41,4
23	1,75	720	43,2
24	1,80	750	45
25	1,85		

Зависимость погрешностей измерений для сверхмалых высот (0 – 25) м от высоты приведена на рисунке 1.3.

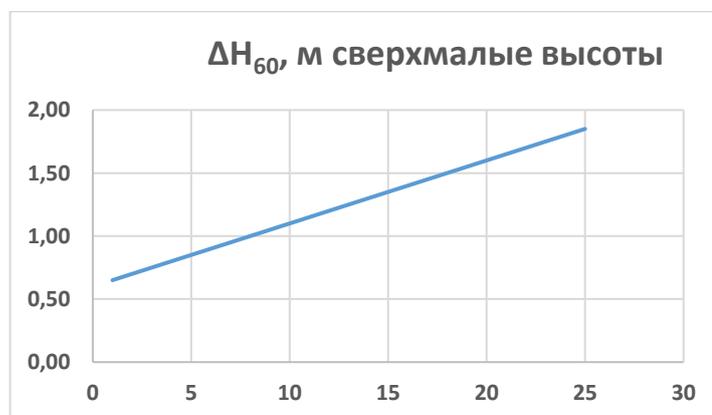


Рисунок 1.3 – Зависимость погрешностей измерений от высоты для сверхмалых высот

Зависимость погрешностей измерений для малых высот (60 – 750) м от высоты приведена на рисунке 1.4.

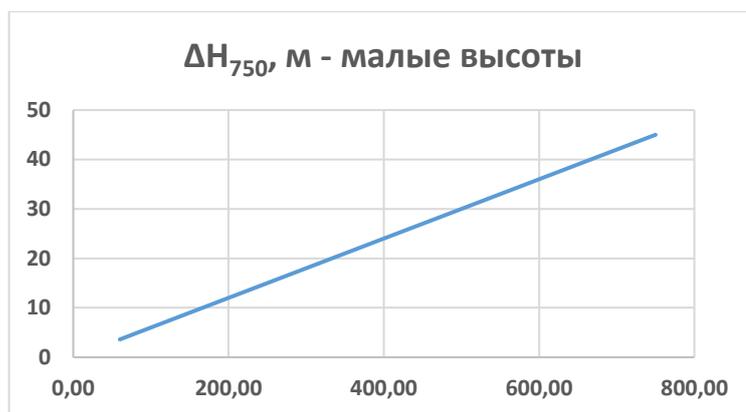


Рисунок 1.4 – Зависимость погрешностей измерений от высоты для малых высот

Вывод: Как видно из приведенных диаграмм, ошибки измерения высоты значительны, что не позволяет использовать такого типа радиовысотомеры малых высот для решения задач автоматической посадки ВС. Предлагаемые исследования нового способа обработки информационного сигнала позволят решить данную задачу.

РАЗДЕЛ 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АМПЛИТУДНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА В ЧАСТОТНОМ РАДИОВЫСОТОМЕРЕ

2.1. Обоснование и разработка структурной схемы радиовысотомера

Структурная схема радиовысотомера изображена на рисунке 2.1. Генератор пилообразного напряжения (ГПН) формирует напряжение, изменяющееся по линейному закону (рисунок 2.3, а), выполняет роль модулятора и управляет работой генератора управляемого напряжения (ГУН).

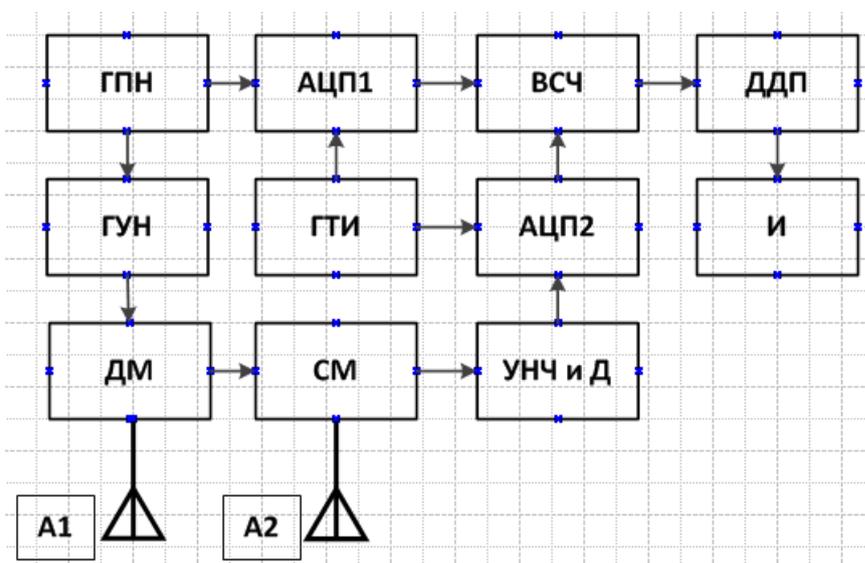


Рисунок 2.2 – Структурная схема радиовысотомера

ГУН вырабатывает частотно-модулированный сигнал на частоте $f_{\text{гун}}$ (рисунок 2.3, б), который через делитель мощности (ДМ) поступает в передающую антенну А1 и излучается к земной поверхности. Отраженный сигнал на частоте $f_{\text{отр}}$ (рисунок 2.3, в) принимается антенной А2 и поступает в смеситель (СМ). На второй вход смесителя через ДМ подается часть сигнала ГУН, который выполняет роль сигнала гетеродина. В результате, на выходе смесителя формируется сигнал разностной частоты F_p (рисунок 2.3, з).

$$F_p = f_{\text{гун}} - f_{\text{отр}} \quad (2.1)$$

Данный сигнал поступает на усилитель низкой частоты с детектором (УНЧ и Д), где усиливается и детектируется. В результате усиления и детектирования на выходе УНЧ и Д формируется линейно изменяющееся напряжение, по форме повторяющее напряжение ГПН, только отстающее от него на время, пропорциональное измеряемой высоте.

После этого указанное напряжение поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП2), где преобразуется в цифровой код (рисунок 2.3, з) и поступает на вычитающую схему, представляющую собой вычитающий двоичный счетчик (ВСЧ) на его счетный вход. На второй вход ВСЧ поступают импульсы с АЦП1, представляющие собой оцифрованный пилообразный сигнал ГПН.

В результате на выходе вычитающей схемы формируется двоичный код, пропорциональный измеренной высоте. Этот код поступает на двоично-десятичный преобразователь (ДДП), где преобразуется в десятичное число и поступает на индикатор (И). На индикаторе высвечивается десятичное число, равное измеренной высоте.

2.2. Обоснование и разработка модели радиовысотомера

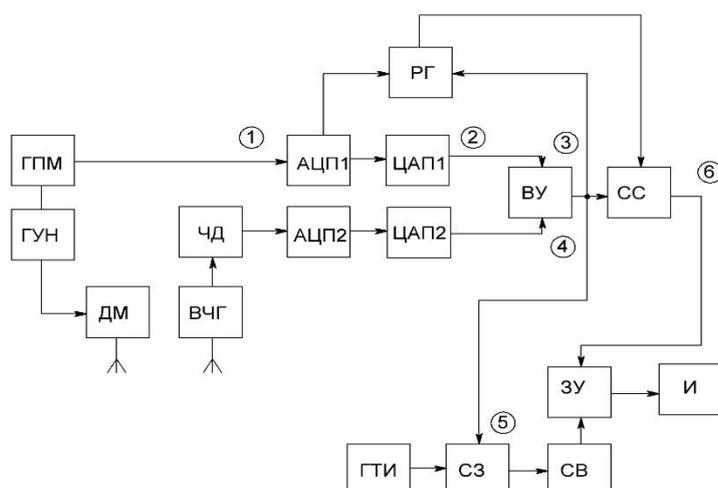


Рисунок 2.4 – Структурная схема радиовысотомера

На данной структурной схеме:

ГПМ генератор модулирующего колебания пилообразной формы. Данный генератор используется для дальнейшей модуляции ЛЧМ импульса, а также сигнал будет использован в дальнейшем непосредственно в подсчёте высоты.

ГУН генератор, управляемый напряжением. Генератор формирующий сигнал с частотой пропорциональной напряжению, подаваемому с выхода ГМ. Используется для формирования ЛЧМ сигнала, используемого непосредственно для измерения высоты.

Д детектор. Детектирует и демодулирует принимаемый сигнал. Использован для выделения модулирующего колебания из принятого сигнала с целью использования в дальнейшем для определения высоты.

АЦП1, АЦП2 аналогово цифровые преобразователи для модулирующего колебания излучаемого сигнала и принятого соответственно. Используются для оцифровки модулирующих колебаний и преобразования каждого мгновенного напряжения в цифровой код в соответствии с частотой дискретизации и порядком дискретизации и квантования для дальнейшего восстановления в блоках АЦП. Также АЦП1 используется для записи значения «точки нуля» (расшифровка данного определения будет предоставлена в описании сути метода вычисления высоты) в регистр, а кодовые последовательности с АЦП2 используются в схеме сравнения со значением «точки нуля».

ЦАП1, ЦАП2 – цифро-аналоговые преобразователи для модулирующего колебания излученного сигнала и принятого соответственно. Используется для восстановления колебаний по кодовым-бинарным последовательностям, полученным от АЦП, также для использования в вычислительном устройстве для контроля «точки нуля».

ВУ – вычислительное устройство. Используется для вычитания значений принятого сигнала из передаваемого. Схема определяет место

пересечения временных диаграмм сигналов и выдаёт импульс при значениях по модулю больше потенциала земли 0В импульс продолжается до момента как принимаемый сигнал пересечётся с осью времени и цикл счёта начнётся заново.

СС – схема сравнения. Используется для выработки импульса непосредственно в момент пересечения временных диаграмм и импульса при совпадении кодовых комбинаций, записанных в РГ и комбинаций, полученных от АЦП2. Данный импульс в свою очередь используется для записи значений, полученных на счётчике высоты в ЗУ (запоминающее устройство).

ЗУ – запоминающее устройство. Используется для записи и хранения значений, подсчитанных на счётчике высоты и передачи их на индикатор в десятичной системе счисления.

ГТИ – генератор тактовых импульсов. Вырабатывает импульсы прямоугольной формы с частотой пропорциональной измеряемой высоте как пример: 1метр 1 импульс. Импульсы, вырабатываемые в данном генераторе, используются для их подсчёта в счётчике высоты.

СЗ – схема записи. Используется для того чтобы открыть или закончить цикл счёта и сбросить регистры в начальное состояние (состояния где на всех выходах формируются сигналы низкого потенциала).

СВ – счётчик высоты. Осуществляет подсчёт импульсов, приходящих от ГТИ.

И – индикатор. Вывод, подсчитанных на счётчиках значений, преобразованный из бинарного кода в десятичный эквивалент.

Цифрами помечены зоны откуда выходят сигналы, помеченные на временных диаграммах соответствующей цифрой.

2.4 Объяснение принципа работы

Принцип работы данного устройство основан на сравнении значений напряжений в характерных точках схемы и измерение времени между ними. В качестве характерных точек выступают точки пересечения временных диаграмм излученных сигналов и значение отраженных сигналов, полученные через время

$$T = nt_3, \quad (1)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$

В данных точках их мгновенные значения должны быть равны, как и их оцифрованный эквивалент. На графиках, приведенных на рисунке 2 изображены временные диаграммы принципиально необходимых сигналов для осуществления данного метода.

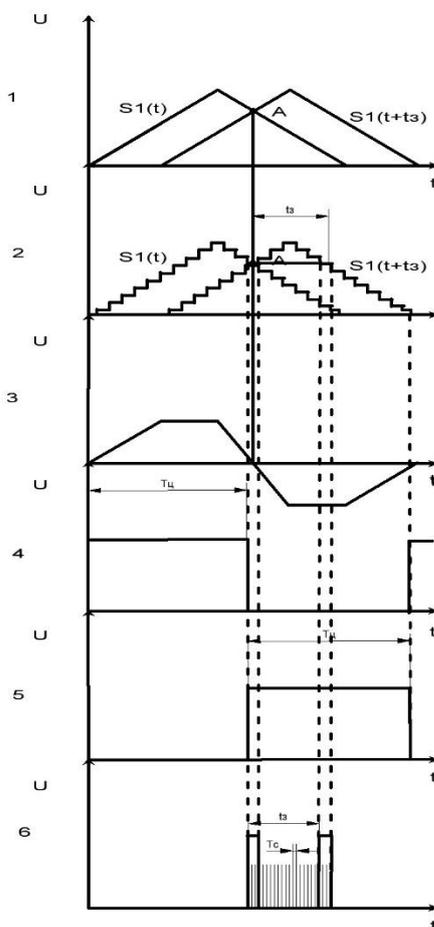


Рисунок 2.5 – Временные диаграммы сигналов

Диаграммы отмечены номером и, если обратиться к структурной схеме, можно определить откуда снимаются данные диаграммы. В следующем пункте всё будет продемонстрировано на виртуальных осциллограммах, полученных при моделировании в программной среде *Multisim*.

Первая характерная точка определена буквой «А» на диаграмме 1 и представляет собой пересечение пилообразных сигналов, полученных с выхода ГПМ и детектора. Данная точка называется «точкой нуля» так как в ней у обоих сигналов одновременно совпадают мгновенные значения напряжений и соответствующие им бинарные кодовые последовательности, а, следовательно, разность этих значений даёт ноль. Точка «А» является началом отсчёта в данном методе, по бинарному коду, полученному в ней будет осуществляться сравнение кодовых комбинаций, полученных с выхода АЦП2 (не сложно заметить, что сигнал номер один уже прошел свой максимум и идёт на спад соответственно более на нём не встретиться точно такой же комбинации в то время как второй сигнал наоборот нарастает и во время спада на нём появиться точно такая же комбинация что и послужит второй характерной точкой).

На диаграмме 2 изображены эти же аналоговые сигналы, но уже оцифрованные. На этой диаграмме также отмечена первая характерная точка и тоже буквой «А». Диаграмма номер 3 показывает сигнал, который получен на выходе вычитающего устройства, предусмотренного в вычислительном устройстве, более подробно её смысл описывается в пункте комментария к модели.

На диаграмме номер 5 изображён импульс после ВУ. Используется данный импульс в качестве разрешающего сигнала для начала работы счётчика высоты (СВ), как видно из данной диаграммы сигнал начинается ровно в момент прохождения «точки нуля» и заканчивается в момент

достижения сигнала номер два нулевого значения. Более подробно применение этого импульса описывается в пункте комментария к модели.

На диаграмме номер 6 изображены два важнейших сигнала для работы данной схемы. Данные импульсы отстоят друг от друга по времени, которое пропорционально измеряемой высоте ведь это время и есть время задержки между излученным и принятым сигналом. Практическое применение этих импульсов: первый импульс сигнализирует о прохождении «точки нуля» записывает подсчитанные на счётчиках значения (так как до этого счётчики не работали по причине отсутствия импульса присутствующего на диаграмме под номером 5 в регистры запишутся нулевые значения и на индикаторах появиться характерное количество нулей), второй импульс сигнализирует о совпадении комбинации «точки нуля» записанной в регистр с комбинацией полученной через время t_3 поступает на ЗУ где запишется подсчитанное значение высоты и передастся на индикатор (всё время от первого и до второго импульса работает счётчик высоты и ведет подсчёт измеряемой величины).

На диаграмме 4 изображён запирающий счётчики импульс. Данный импульс является инверсным для сигнала на диаграмме 5 и они жёстко взаимосвязаны. Дело в том, что пока сигналы не пройдут «точку нуля» на выходе вычислительного устройства будет присутствовать сигнал потенциала земли или уровень лог. 0, соответственно, данный сигнал после инверсии становится высокого уровня (уровня лог. 1) и подаётся на вход сброса счётчика высоты тем самым не давая начать работу раньше времени, также данный сигнал после окончания цикла счёта вернёт счётчик в нулевое состояние, однако, значения высоты останутся в памяти ЗУ и будут транслироваться на индикаторах до следующего цикла счёта.

2.5. Презентация модели *Multisim*

Модели модулирующих колебаний передаваемого и принимаемого сигналов представлены в виде двух генераторов пилообразного сигнала заданной длительности и амплитуды. Первый генератор установлен без задержки и начинает формировать сигнал сразу же при включении модели, второй включается с задержкой пропорциональной подсчитываемой высоте. После каждого генератора стоит блок АЦП (аналог-цифрового преобразователя) и ЦАП (цифроаналогового преобразователя) выполняют функции дискретизации и квантования сигнала по уровню в соответствии с выбранной разрядностью (8-ми разрядные АЦП и ЦАП способны каждый выбирать 256 разных значений напряжения каждому в соответствие ставить цифровую комбинацию в бинарном коде и по комбинациям восстанавливать аналоговую форму сигнала). К АЦП и ЦАП подключены генераторы прямоугольного сигнала (с заданной частотой дискретизации) и источник опорного постоянного напряжения. С первого АЦП также данные поступают в 8-ми битный регистр для записи цифровой кода напряжения на котором временные диаграммы сигналов «пересекаются». Данный код далее используется в схеме сравнения.

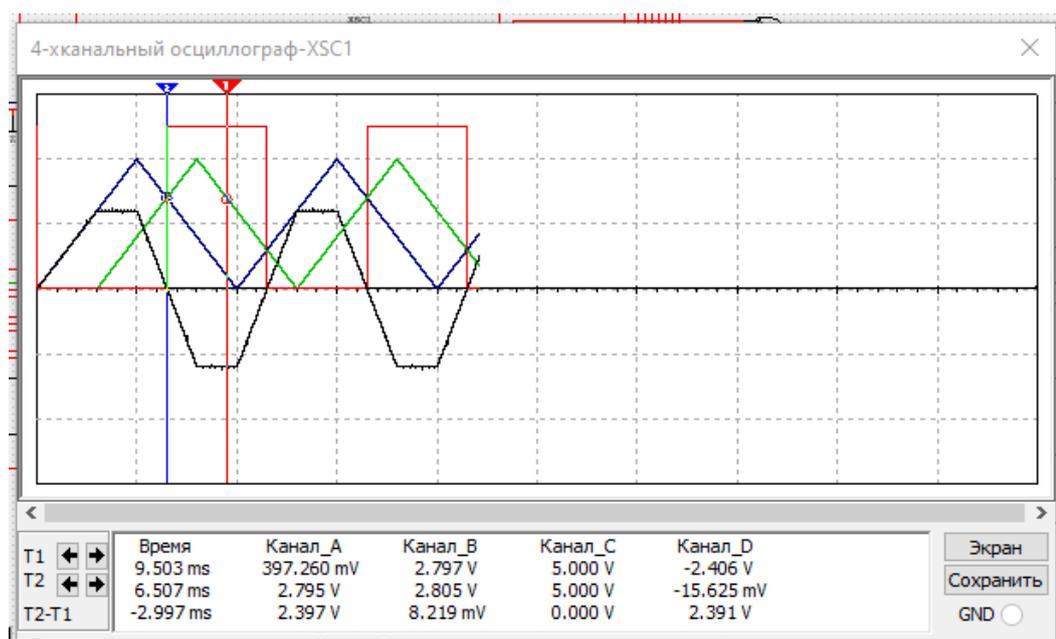


Рисунок 2.6 – Данные снятые с осциллографа 1.

Где:

Синим цветом отмечен сигнал с ГПМ

Зелёным цветом отмечен сигнал С ЧД

Чёрным цветом отмечен сигнал на выходе вычитающего устройства.

Красным цветом отмечен сигнал разрешающий работу счётчика на выходе компаратора.

После блока АЦП и ЦАП установлено вычитающее устройство, спроектированное на операционном усилителе. Вычитающее устройство используется для определения «места» (напряжения) на котором временные диаграммы сигналов пересекутся. На вычитающее устройство подаются оцифрованные сигналы с обоих ЦАП и вычитаются на всём временном интервале до пресечения или до образования сигнала нулевого потенциала. Сигнал, который снимается с выхода вычитающего устройства показан на осциллограмме рисунок № чёрным цветом (также на данной осциллограмме изображены временные диаграммы сигнала 1 (синий) сигнала 2 (зелёный) и прямоугольный импульс снимаемый с выхода компаратора (красный)). Далее установлен компаратор для контроля по нулю (если значения, поступающие после компаратора меньше нуля вырабатывается импульс прямоугольной формы, соответствующий напряжению логической единицы 5В который продолжается до следующего пересечения сигналов). Данный импульс используется сразу для нескольких целей, основная: непосредственно как разрешающий сигнал для срабатывания в счётчиков высоты рассмотренной далее и импульс записи кодовой последовательности, соответствующей значению мгновенного напряжения, на котором графики пересекутся, по уровню данного сигнала также осуществляется запираение и сброс счётчиков в нулевое состояние.

После компаратора установлена схема сравнения, представленная в виде 8-ми (в соответствии с разрядностью АЦП (цифрового кода)) логических элементов «сравнивающее или-не» на верхний вход каждого элемента подключаются выходы регистра, на нижние соответствующие

номеру выхода выходы АЦП, преобразующего принимаемый сигнал (сигнал с запаздыванием). При совпадении на входе потенциалов данный элемент вырабатывает сигнал потенциала логической единицы соответственно комбинации совпадут в тот момент когда каждый элемент на выходе сформирует сигнал логической единицы сравнение происходит именно со вторым сигналом так как значения первого сигнала уже не повторятся а второй сигнал всё ещё продолжает идти соответственно после прохождения «точки нуля» (места где сигналы пересекутся) первый сигнал уже будет идти на спад а второй только подходить к точке максимума напряжения и после ее прохода будет убывать причём параллельно первому. Соответственно через некоторый промежуток времени появиться комбинация соответствующая записанной в регистр, время от «точки нуля» и до значения сравниваемой комбинации и будет пропорционально высоте. После все сигналы, выходящие с каждого элемента «сравнивающее или-не» поступают на логический элемент «8-И», если на данный элемент поступает хотя бы один логический ноль на выходе элемента будет формироваться потенциал, соответствующий логическому нулю (как было описано комбинации совпадут только в случае если все XOR на выходе сформируют сигнал потенциала логической единицы) и не разрешит дальнейшую работу устройства. Основная функция данного устройства сформировать сигнал записи комбинаций с каждого декадного счётчика в соответствующие регистры и подачи записанных данных на ЖК индикаторы (отмечен на осциллограмме № коротким импульсом красного цвета).

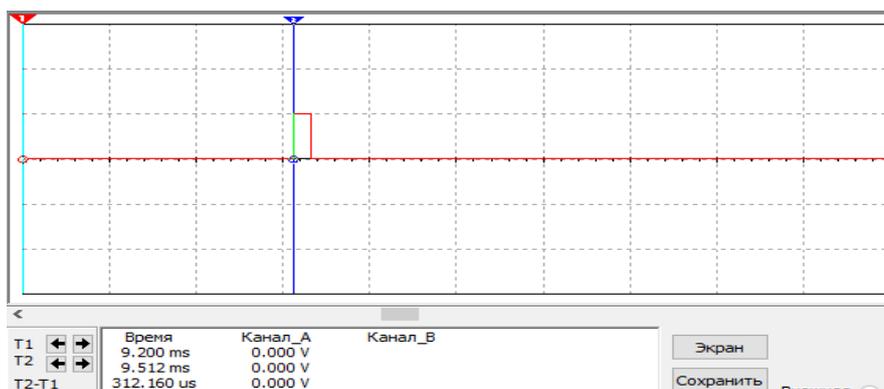


Рисунок 2.7 Данные снятые с осциллографа 2.

Схема подсчёта импульсов рассматривается отдельно. Генератор тактовых импульсов с частотой пропорциональной подсчитываемой высоте генерирует прямоугольные импульсы (на осциллограмме отмечены синим цветом), далее подсчитываемые в декадных счётчиках. Выходной сигнал с данного генератора поступает на один из входов элемента «2И» на второй вход подается сигнал с выхода компаратора. Если хотя бы один сигнал на входе данного элемента имеет уровень логического нуля на выходе тоже будет формироваться потенциал нуля но, если на входе от компаратора появляется уровень лог. единицы то сигнал на выходе будет меняться в соответствии с поступающими импульсами от генератора тактовых импульсов (при поступлении от генератора высокого уровня при наличии сигнала от компаратора высокого уровня сигнал на выходе будет тоже высокого уровня, при низком уровне сигнала от генераторе на выходе формируется сигнал нулевого уровня) далее сигналы с элемента «2И» (на осциллограмме помечен зелёным цветом) подаются на первый декадный счётчик подсчитывающий количество единиц измеряемой величины.

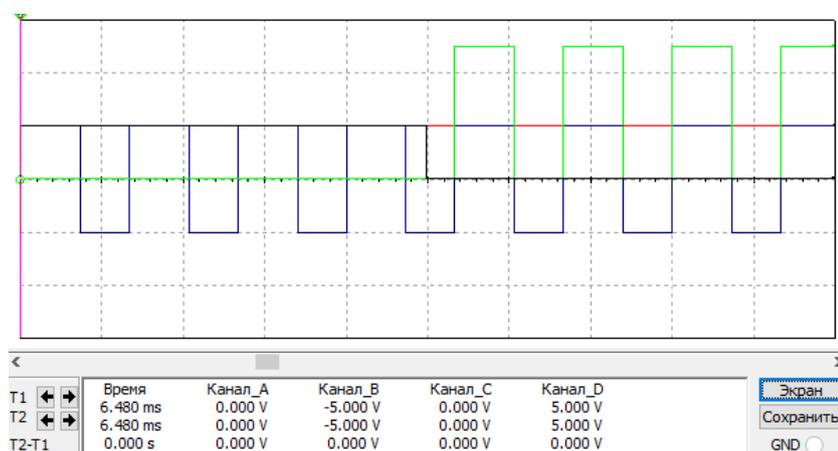


Рисунок 2.8 данные снятые с осциллографа 3

Где:

Синим цветом помечен сигнал от ГТИ;

Чёрным цветом помечен сигнал сброса и перезаписи счётчика высоты;

Зелёным цветом помечены импульсы, подсчитываемые в СВ;

Красным цветом помечен разрешающий работу СВ импульс.

Первый и четвертый выход счётчика в свою очередь подключаются к своему элементу «2И» для осуществления контроля заполнения, сигнал с выхода данного счётчика подается на счётный вход следующего. Также все выходы счётчиков подключаются к регистрам, на которые при положительном потенциале от элемента «2И» в схеме сравнения запишется последнее значение и сразу же направится на индикатор. Элемент «НЕ» на вход которого подключен сигнал от компаратора (когда с компаратора снимается значение низкого потенциала на выходе элемента (выходной сигнал на осциллограмме отмечен чёрным цветом) присутствует сигнал высокого потенциала, подаваемый на входы сброса счётчика и не дающий им начать подсчёт самостоятельно) после прохождения «точки нуля» сигнал меняет потенциал с высокого на низкий и таким образом разрешает работу счётчиков. После того как сигнал на выходе компаратора снова станет низкого потенциала на выходе элемента сформируется уровень высокого потенциала счётчики сбросятся в начальное состояние и не станут работать до следующего цикла счёта (до следующей «точки нуля»).

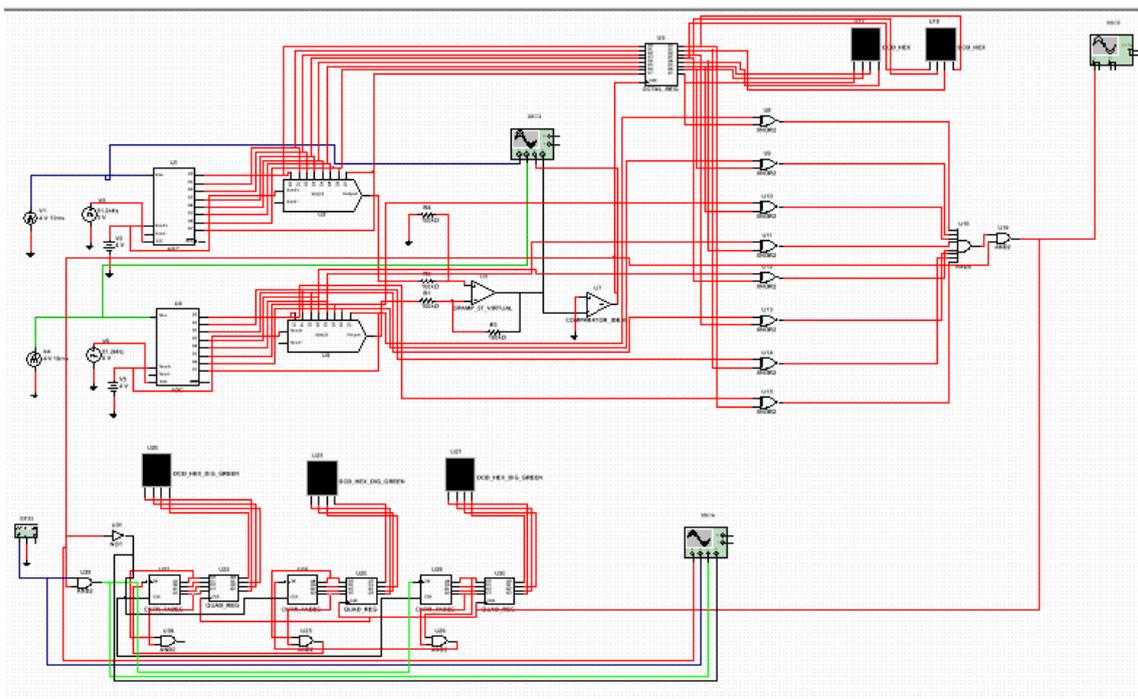


Рисунок 2.8 Модель, разработанная в среде *Multisim*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

ОСНОВНАЯ:

1. Скрыпник, О.Н. Радионавигационные системы воздушных судов: учебник / О.Н. Скрыпник. – М.: ИНФРА-М, 2021. – 436 с.
2. Монаков, А.А. Теоретические основы радионавигации: учебное пособие / А.А. Монаков. – СПб: ГУАП. СПб, 2002. – 70 с.
3. Данилов, С. Н. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: учебное пособие / С. Н. Данилов, А. В. Иванов. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – 88 с.
4. Беляевский, Л.С. Основы радионавигации: учебник для вузов / Л.С. Беляевский, В.С. Новиков, П.В. Олянюк. М.: Транспорт, 1982. – 288 с.
5. Яценков, В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС / В.С. Яценков. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 272 с.
6. Бакулев, П.А. Радиолокационные системы: учебник для вузов / П.А. Бакулев. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

СПРАВОЧНАЯ:

7. Авиационная радионавигация: справочник / И.А. Хаймович [и др.]; под общ. ред. А.А. Сосновского. – М.: Транспорт, 1990. – 264 с.
8. Белавин, О.В. Основы радионавигации: учеб. пособие для вузов / О.В. Белавин. – М.: Сов. Радио, 1977. – 320 с.
9. Беляевский, Л.С. Основы радионавигации: учебник / Л.С. Беляевский, В.С. Новиков, П.В. Олянюк. – М.: Транспорт, 1982. – 288 с.
10. Сосулин, Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: учеб. пособие для вузов / Ю.Г. Сосулин. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
11. Чердынцев, В.А. Радиотехнические системы: учебник / В.А. Чердынцев. – Мн.: Вышэйшая школа, 1988. – 370 с.

12. Ярлыков, М.С. Авиационные радионавигационные устройства и системы: учебник / М.С. Ярлыков, В.А. Болдин, А.С. Богачев. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1980. – 195 с.

13. Шивринский, В.Н. Бортовые вычислительные комплексы навигации и самолетовождения: конспект лекций / В.Н. Шивринский. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 148 с.

СПРАВОЧНАЯ:

14. Сосновский, А.А. Авиационная радионавигация: справочник / А.А. Сосновский, И.А. Хаймович, Э.А. Лутин, И.Б. Максимов; Под ред. А.А. Сосновского. – М.: Транспорт, 1990. – 264 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ:

15. Радиовысотомер малых высот А-037. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 1997 – 198 с.