

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П. Королёва

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО СЛЕДЯЩЕГО
ДАЛЬНОМЕРА С ДВОЙНЫМ ИНТЕГРИРОВАНИЕМ

Методические указания
к лабораторной работе

Куйбышев 1990

Составители: В.И.Михайков, А.И.Махов

УДК 621.396.982 . *

Исследование импульсного следящего дальномера с двойным интегрированием: Метод. указ. к лаборатор. работе; Куйбышев. авиац. ин-т. В.И.Михайков, А.И.Махов. Куйбышев, 1990. 19 с.

Приводятся сведения о принципе действия, особенностях работы и построения импульсного следящего измерителя дальности с двумя интеграторами, даются указания по проведению его экспериментальных исследований.

Указания составлены на кафедре "Радиотехнические устройства"; предназначены для студентов, обучающихся по специальности 23 01, изучающих курс "Радиотехнические системы".

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика П.Д.Королева

Рецензенты: Ю.Н.Стеблев, В.В.Мотов

Ц е л ь р а б о т ы: изучение принципа действия, особенностей и построения импульсного следящего измерителя дальности (СИД) путем его экспериментального исследования.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

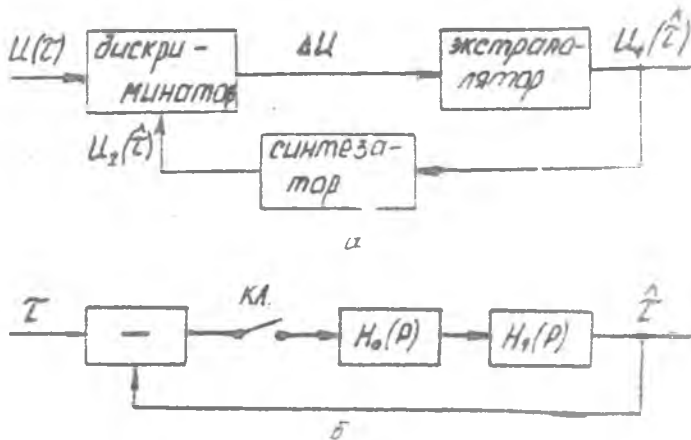
Принцип действия и построение следящего измерителя дальности

Н а з н а ч е н и е: следящий измеритель дальности (дальномер) предназначен для непрерывного измерения дальности в режиме автоматического слежения за целью.

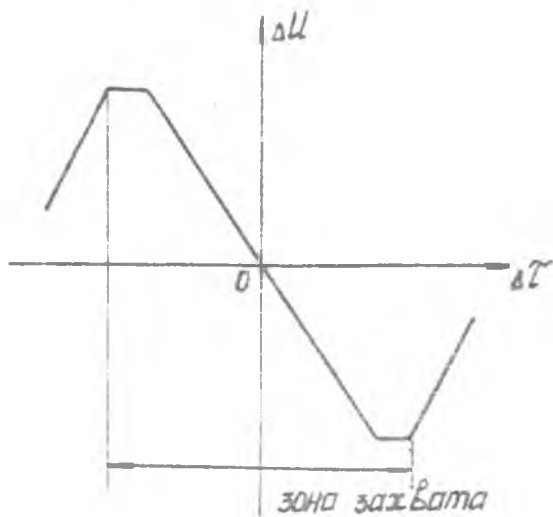
Принцип действия следящих измерителей

Следящий измеритель какого-либо параметра сигнала является замкнутой автоматической системой управления (рис. 1,а). Измеритель содержит дискриминатор (различитель), экстраполятор (устройство управления) и синтезатор (исполнительное устройство) [1]. В дискриминаторе производится сравнение параметров τ сигнала $U(\tau, \hat{\tau})$ с оценкой этого параметра $\hat{\tau}$, вырабатываемой внутри системы. При отклонении оценки $\hat{\tau}$ от измеряемого параметра τ на выходе дискриминатора возникает сигнал рассогласования ΔU , пропорциональный рассогласованию $\Delta \tau = \hat{\tau} - \tau$. Для обеспечения фиксации знака рассогласования характеристика дискриминатора (зависимость ΔU от $\Delta \tau$) выбирается нечетной функцией от $\Delta \tau$ (рис.2). В качестве дискриминатора могут использоваться различные устройства сравнения сигналов (вычитатели, логические схемы, фазовые детекторы и т.п.), в состав дискриминатора могут входить коррелторы, фильтры.

Экстраполятор создает эквивалент (аналог) оценки измеряемого параметра $U_i(\hat{\tau})$, осуществляет сглаживание случайных флуктуации параметра и обеспечивает динамические характеристики следящей системы. Чтобы в установившемся режиме ($\Delta U = 0$) существовал ненулевой сигнал $U_i(\hat{\tau})$, а в переходном режиме ($\Delta U \neq 0$) он изменялся с изменением ΔU , экстраполятор должен быть интегрирующим устройством [1,2].



Р и с.1. Структурные схемы следящего измерителя



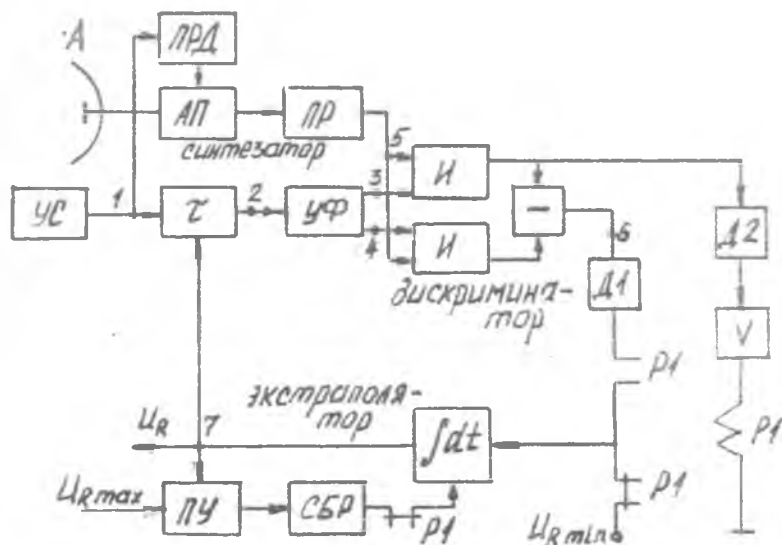
Р и с.2. Дискриминационная характеристика следящего измерителя

Практически применяется одно- или двухкратное интегрирование. Соответственно различают следующие измерители с астатизмом первого и второго порядка. В СДД в основном используются электронные и цифровые интеграторы.

Синтезатор выполняет функцию преобразования выходного сигнала экстраполятора $U_1(\tau)$ в сигнал $U_2(\tau)$, подаваемый на дискриминатор для сравнения с сигналом $U(\tau)$.

Принцип построения и структурная схема импульсного СДД

Структурная схема импульсного следящего дальсмера (рис. 3) со-

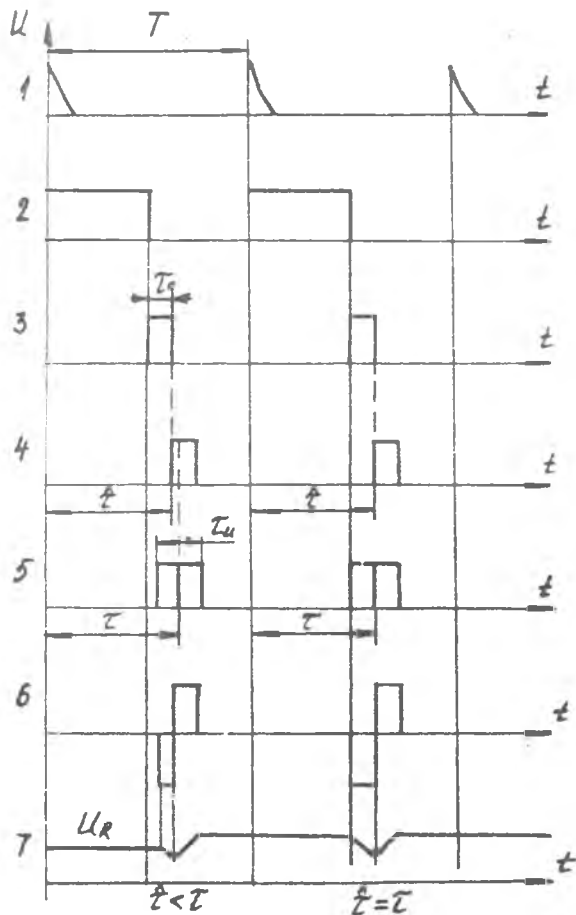


Р и с. 3. Структурная схема импульсного дальсмера

держит устройство синхронизации УС; передатчик ПРД, через антенны переключатель Д1 подключенный к антенне А; приемник ПР; синтезатор, состоящий из схемы регулируемой временной задержки τ и устройства формирования следящих импульсов УФ; дискриминатор, состоящий из двух схем со-

падения И, и устройства вычитания и пикового детектора Д1; экстраполятор-интегратор; схему поиска, состоящую из схемы совпадения И (одна из вышеуказанных схем), пикового детектора Д2, усилителя, реле захвата Р1, порогового устройства ПУ и генератора импульсов сброса СБР.

Дальномер имеет два режима работы: поиска и автоспровождения. Работа дальномера происходит следующим образом. Устройство синхронизации УС генерирует импульсы синхронизации I (рис.4) с периодом повто-



Р и с.4. Эпюры напряжений в контрольных точках схемы дальномера по рис. .

рения Т. Эти импульсы синхронизируют передатчик ПРД, а также поступают на синтезатор. На выходе синтезатора формируются следящие импульсы 3,4 (рис.4), примыкающие друг к другу. Их длительность определяется требуемой формой дискриминационной характеристики, а задержка относительно синхроимпульса I — напряжением U_R интегратора.

Следящие импульсы 3,4 поступают на схемы совпадения И, на другие входы которых подается сигнал 5 с приемника ПР. При отсутствии сигнала цели схема работает в режиме поиска: сигналы на выходе схем совпадения отсутствуют, реле PI обесточено, вход интегратора подключен к постоянному напряжению U_{Rmax} , обеспечивающему нарастание напряжения U_R на выходе. По достижении U_R напряжения максимальной дальности U_{Rmax} срабатывает пороговое устройство ПУ, и интегратор переводится в положение, соответствующее минимальной дальности. Далее процесс нарастания и спада U_R повторяется, при этом следящие импульсы перемещаются по временной оси — происходит поиск импульса цели. При появлении импульса цели в зоне поиска и совпадении его со следящим импульсом 3 срабатывает реле захвата PI, интегратор отключается от схемы сброса, а вход его подключается к дискриминатору. Схема переходит в режим автосопровождения.

В дискриминаторе осуществляется сравнение временного положения импульса цели 5 и следящих импульсов 3,4. При совпадении медианы импульса цели с серединой "ворот" из следящих импульсов ($\tau = \tau_c$) среднее напряжение на выходе дискриминатора ΔU равно нулю, и выходное напряжение интегратора не изменяется. При смещении импульса цели относительно середины "ворот" в ту или другую сторону возникает напряжение рассогласования ΔU на выходе дискриминатора, которое изменяет напряжение на выходе интегратора в сторону уменьшения рассогласования. Таким образом, середина "ворот" из следящих импульсов постоянно следит за медианой импульса цели. С точки зрения теории оценок здесь реализуется оптимальный метод измерения дальности — метод медиачи, тем самым достигается точность измерения, близкая к потенциальной. Задержка следящих импульсов является оценкой $\hat{\tau}$ задержки τ импульса цели, а напряжение U_R — аналогом измеряемой дальности.

Особенности импульсного СИД с двойным интегрированием

Изучаемый СИД является импульсной (дискретной) системой управления. Такую систему можно представить в виде структурной схемы (рис. 1, б). Схема содержит устройство сравнения, ключ КД, запоминающее устройство с передаточной функцией $H_0(p)$ (в схеме рис. 3 роль запоминающего устройства выполняет пиковый детектор Д1) и звено с передаточной функцией $H_1(p)$, являющееся произведением передаточных функций дискриминатора, экстраполатора и синтезатора.

Ключ КД периодически (с периодом T следования зондирующих импульсов) замыкает на короткое время, определяемое длительностью совпадения импульса цели и следящих импульсов. Полученный сигнал рассогласования (длительность его значительно меньше периода T) фиксируется запоминающим устройством и далее обрабатывается звеном $H_1(p)$ до следующего момента сравнения.

Анализ передаточных функций системы позволяет отметить следующие особенности. Если система имеет один интегратор, то она устойчива при двух составляющих движения цели (положение, скорость) и имеет погрешность по скорости $\varepsilon_1 = v_0' / K$, где v_0' - скорость движения цели, K - коэффициент передачи интегратора.

Если система имеет два интегратора, то она сохраняет устойчивость при трех составляющих движения цели (положение, скорость, ускорение) и имеет погрешность только по ускорению $\varepsilon_2 = v_0'' 2T / (K_1 T + 2K_2)$, где v_0'' - ускорение движения цели, K_1 , K_2 - коэффициенты передачи соответственно первого и второго интеграторов.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В качестве лабораторной установки используется аппаратура самолетной станции РЛ-9А (дальномерный блок) и макет имитатора цели.

Н а з н а ч е н и е д а л ь н о м е р а

Дальномер РЛ-9А предназначен для поиска, обнаружения цели и непрерывного измерения ее дальности и скорости в режиме автоматического сопровождения по дальности. Кроме того, он формирует селекторные импульсы для стробирования приемника.

Тактико-технические характеристики дальномера

Дальность действия	25 км
Диапазон поиска начальный	10...25 км
Диапазон поиска при потере цели в режиме автосопровождения	3 км
Длительность импульса цели	1 мкс
Погрешность измерения дальности	3%
Память дальномера	0,3 с
Время поиска - захвата	0,6 с

С о с т а в л а б о р а т о р н о й у с т а н о в к и

1. Дальномер, состоящий из трех субблоков: МД (модулятор дальности), ОД (отработка дальности), ПД (поиск дальности).

2. Имитатор цели.

3. Осциллограф.

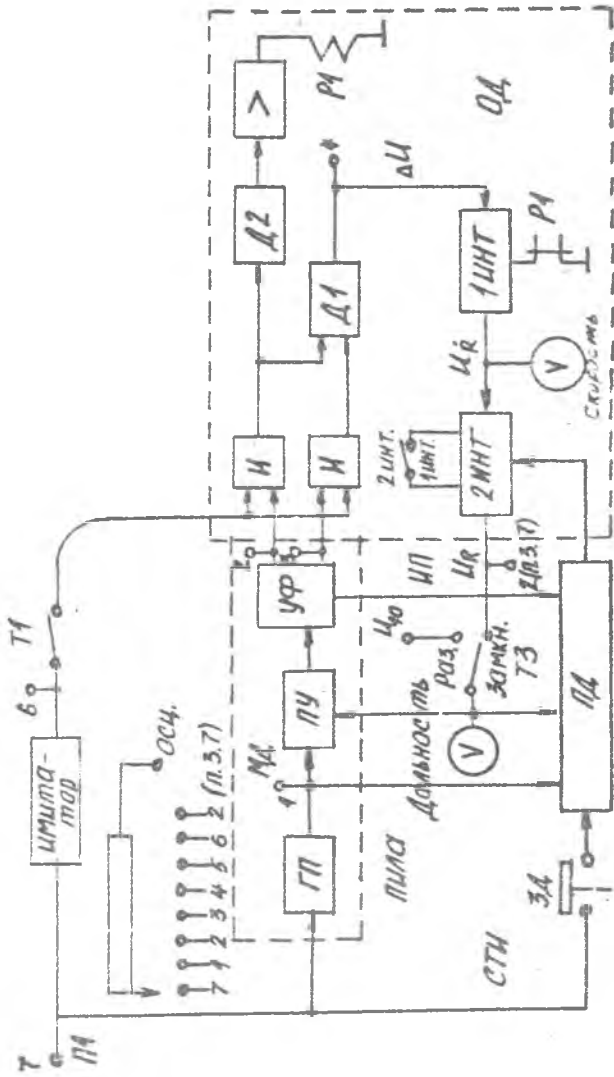
Схема взаимодействия блоков установки представлена на рис. 5.

Все они (кроме осциллографа) смонтированы в одном корпусе.

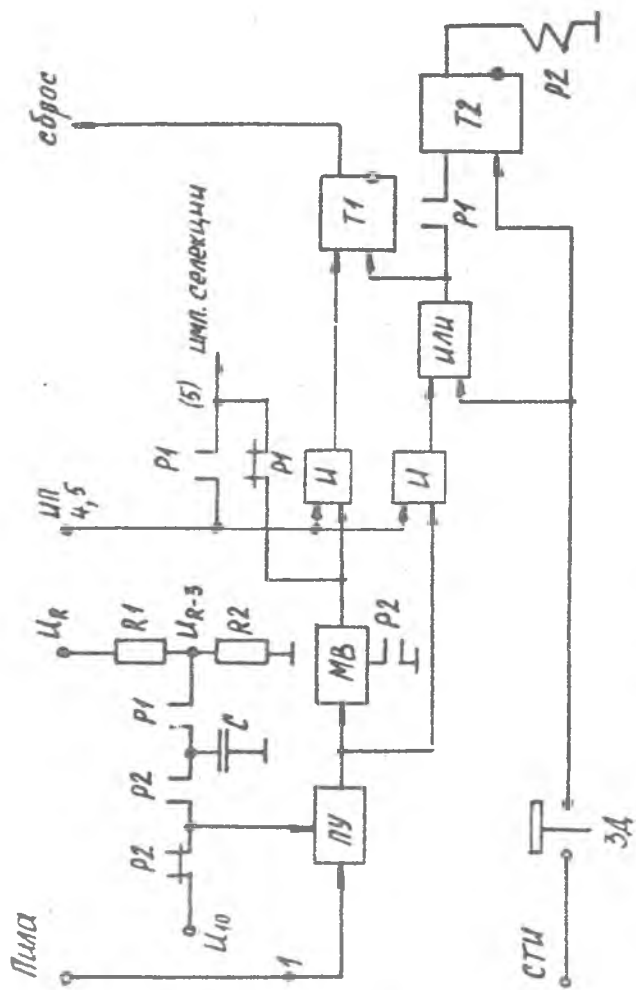
Функциональная схема лабораторной установки

Функциональная схема установки представлена на рис. 5 и содержит имитатор цели и блоки дальномера: МД, состоящий из генератора пилообразного напряжения ПП, порогового устройства ПУ и устройства формирования УФ следящих импульсов; ОД, состоящий из двух схем совпадения И, балансного пикового детектора Д1, двух интеграторов (экстраполятор), пикового детектора Д2, усилителя и реле захвата Р1; ПД (рис. 6).

Работа схемы в режиме автосопровождения (Р1 - включено) рассмотрена выше. Наличие двух интеграторов позволяет уменьшить погрешность сопровождения движущейся цели и измерить скорость последней. Назначение тумблеров: Т1 - включает импульс цели, Т3 - размыкает и замыкает контур следящей системы. Кнопка ЗД служит для запуска дальномера после включения сети и выхода из режима захвата цели. Тумблер Т4 при своем замыкании переводит 2-й интегратор в усилительный режим, при этом исследуется дальномер с одним интегратором. На схеме указаны контрольные точки, выходящие с соответствующим их номером положением выключателя П1 на осциллограф.



Р и с. 5. Функциональная схема лабораторной установки



Р и с . 6. Функциональная схема блока поиска дальности ПД

Блок поиска дальности ПД

Блок ПД предназначен для организации режимов поиска цели (два режима) и формирования импульсов селекции. В него входят (см. рис. 6): пороговое устройство ПУ, мультивибратор МВ, две схемы совпадения, триггер T_1 сброса интегратора, триггер T_2 включения реле Р2, запоминающее устройство - емкость С и делитель напряжения $R1-R2$, создающий напряжение U_{R-3} , эквивалентное дальности 3 км. Кнопка ЗД используется для начальной установки триггеров T_1 и T_2 .

С помощью порогового устройства ПУ и мультивибратора МВ под действием напряжения пилы создаются два импульса, определяющие границы зоны поиска и поступающие на схемы совпадения И. Зона поиска определяется значением порога и длительностью импульса мультивибратора и составляет 60...160 мкс (10...25 км).

При включении дальномера (тумблер СЕТЬ) и нажатии кнопки ЗД реле Р1 и Р2 обесточены, первый интегратор находится в состоянии, при котором напряжение на выходе второго интегратора U_R растет. С ростом U_R следящие импульсы и импульс поиска ИП, соответствующий середине "ворот", перемещаются вправо по оси времени. При совпадении импульса ИП с импульсом верхней границы зоны триггер T_1 переключается в единичное состояние, сбрасывая интегратор в положение минимального U_R , импульс поиска сравнивается с импульсом нижней границы зоны, триггер возвращается в начальное положение, и процесс поиска повторяется. При этом следящие импульсы ИВБ, 2ИВБ, ИП перемещаются по временной оси медленно вправо и быстро влево. При появлении импульса цели в зоне поиска происходит захват цели - срабатывает реле Р1 (см. рис. 5), и дальномер переходит в режим автосопровождения. При этом включается в работу первый интегратор, на выход ИМП СЕЛЕКЦИЕЙ подается короткий импульс ИП и отключается широкий импульс мультивибратора; емкость С подключается к напряжению, соответствующему текущей дальности 3 км; подготавливается схема включения реле Р2. При уменьшении расстояния до 10 км импульс поиска ИП совпадает с импульсом нижней границы зоны (10 км) и вызывает включение реле Р2. При этом напряжение U_{10} (соответствующее 10 км) отключается от порогового устройства и к тому подключается напряжение U_{R-3} с делителя $R1-R2$, а постоянная времени мультивибратора уменьшается до 40 мкс (3 км). Теперь, где бы ни находился импульс цели в процессе автосопровождения, при потере его (сброс цели) схема переходит во

второй режим поиска в границах текущей дальности цели 3 км. Память текущей дальности обусловлена наличием емкости С (отключенной от делителя) и составляет приблизительно 3 с. Переход из этого режима поиска в начальный (10...25 км) осуществляется с помощью кнопки ЗД.

Имитатор цели

Имитатор цели предназначен для синхронизации дальномера, формирования импульса цели с регулируемой задержкой по дальности и импульсов синхронизации осциллографа, измерения погрешности автосопровождения цели, измерения времени поиска-захвата цели и памяти дальномера.

Функциональная схема имитатора (рис.7) содержит:

узлы формирования импульсов синхронизации и импульса цели: генератор Г, переключаемый регистр RG , схему регулируемой временной задержки Z , тактовый генератор ТГ, 2 счетчика емкости $N = 640$, устройство записи, триггер T_1 , логические схемы И и устройства формирования импульсов $ИИ$;

узлы измерения погрешности автосопровождения: триггеры T_2 и T_3 , 2 счетчика емкости $N = 128$ и $N = 1000$, дешифратор ДИ и индикатор на три десятичных разряда;

узлы измерения времени поиска-захвата и памяти: дифференцирующие цепочки ДУ (реагирующие на положительные и отрицательные фронты), триггер T_4 , логические схемы, счетчик $N = 1000$ с дешифратором ДИ и индикатором.

С помощью переключателя П2 изменяется скорость движения импульса цели и частота следования зондирующих импульсов. Тумблеры: T_4 - включает-отключает импульс цели, T_5 - включает движение импульса цели, T_6 - (двойной) переключает режим измерения, T_7 - переключает синхронизацию осциллографа (1 - быстрая, 2 - медленная). Кнопки: СБРОС - обнуляет счетчики и устанавливает триггер T_4 в нулевое состояние, ПУСК-СТОП - запускает цикл измерения, а также включает-выключает движение импульса цели.

Параметры имитатора: частота генератора Г - 400 Гц, регулировка ручной задержки $Z = 10...100$ мкс (1,5 - 15 км), частота тактового генератора ТГ с целью более точного измерения погрешности автосопровождения выбрана 20 МГц (дискрет по времени $\Delta t = 0,05$ мкс, по дальности - 7,5 м), область движения цели составляет 32 мкс (4,8 км). Диапазон имитируемых скоростей 3,0; 1,5; 0,75 км/с.

С целью повышения точности измерение погрешности автосопровождения производится с усреднением по 640 реализации. На индикаторе погрешность индицируется в сотых долях микросекунд. При измерении времени поиска-захвата и памяти индикация производится в сотых долях секунды.

Имитатор может работать в двух режимах: ручной регулировки дальности до цели и имитации движения цели. Первый режим организуется при отключенных тумблерах T_5 и T_6 . При этом число в быстрый счетчик $M = 640$ не записывается, он считает всегда до обнуления, регулировка дальности осуществляется измерением времени задержки вручную в пределах 42...132 мкс (6,3...19,8 км).

Режим движения импульса цели организуется при включенном тумблере T_5 (T_6 в положении 2). При этом в быстрый счетчик с каждым стартовым импульсом записывается число из медленного счетчика, который меняет свое содержимое (в сторону уменьшения) от импульса к импульсу, и каждый последующий импульс цели формируется на такт (0,05 мкс) раньше предыдущего. Таким образом имитируется движение цели в пределах 32 мкс.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включение установки и наблюдение режима поиска цели:

Перед включением установить положения тумблеров: T_1 - "ОТКЛ", T_2 - "ЗАМКН.", T_3 - "2 ИНТ.", T_4 - "2 ИНТ.", T_5 - "ОТКЛ", T_6 - "2", T_7 - "1", переключателей: $П1$ - "1", $П2$ - "1". Включить установку тумблерами СВЕТ на блоке питания, имитатор - тумблером 220 В на установке. Наблюдать на экране осциллографа импульс пилы в режиме поиска. Зарисовать в двух крайних положениях. Установить $П1$ в положение "2", "3" или "6". Наблюдать и зарисовать следящие импульсы в двух крайних положениях. Определить диапазон поиска в микросекундах и километрах.

2. Исследование режима автосопровождения при ручном режиме регулировки дальности

Включить импульс цели: тумблер T_1 в положение "ВКЛ", переключатель $П1$ - "2" или "6". Ручкой ДАЛЬНОСТЬ установить импульс цели в зону поиска, наблюдать захват цели (остановка следящих импульсов, установление значения дальности на стрелочном приборе ДАЛЬНОСТЬ, загорание лампочки ЗАХВАТ).

Установить задержку импульса цели менее 60 мкс (10 км). Отключить импульс цели. Наблюдать второй режим поиска. Зарисовать следящие импульсы в двух крайних положениях.

Включить импульс цели. Установить задержку более 60 мкс (10 км).
Отключить импульс цели. Записать следующие импульсы в двух крайних
положениях. Сравнить с режимом поиска по п. 1 и объяснить полученные
результаты. Нажать кнопку ЭД.

3. Измерение времени поиска-захвата и памяти.

Произвести захват цели по п. 2. Нажать кнопку СБРОС. Отключить
импульс цели. Записать показания цифрового индикатора (время памяти).
Нажать кнопку СБРОС. Включить импульс цели. Записать показания цифро-
вого индикатора (время поиска-захвата).

4. Исследование режима автосопровождения при движении цели.

Произвести захват цели по п. 2. Установить импульс цели на мак-
симальную дальность (ручкой ДАЛЬНОСТЬ). Включить тумблер T_5 . наблю-
дать сопровождение цели при ее движении в различных положениях "П2".
Проанализировать наблюдения.

5. Измерение погрешности автосопровождения при двух интеграторах.

Произвести захват цели по п. 2. Установить импульс цели на мак-
симальную дальность: T_6 - в положение "1", П2 - в положение, указан-
ное преподавателем. Нажать кнопку СБРОС. Нажать кнопку ПУСК. Отметить
показания цифрового индикатора $\Delta \mathcal{U}_1$. Включить движение цели тумбле-
ром T_7 . Нажать кнопку СБРОС. Нажать кнопку ПУСК. Отметить показания
цифрового индикатора $\Delta \mathcal{U}_2$. Определить погрешность автосопровожде-
ния за счет движения цели $\Delta \mathcal{U}_2 - \Delta \mathcal{U}_1$. Повторить измерения при дру-
гих положениях "П2".

6. Измерение погрешности автосопровождения при одном интеграторе.

Произвести захват цели по п.2. Установить импульс цели на даль-
ность 10 км (60 мкс). Тумблер T_4 установить в положение ГИИТ. Произ-
вести измерение погрешности по п.5 в тех же двух положениях П2. Срав-
нить результаты с полученными в п. 5.

7. Наблюдение дискриминационной характеристики дальзомера.

Развязать следящую систему (T_3 - РАССМЛ.). При этом следящий
импульс анализируется на дальности порядка 10 км. Установить по-
ложения: П2 - "1", T_6 - "2" П1 - "0", T_5 - "ВЫЛ.", T_7 - "1". Устано-
вить ручкой ДАЛЬНОСТЬ верхнюю границу движения импульса цели на 5 -
10 км больше следящих импульсов. Установить тумблер T_8 в положе-

ние "2" (медленная развертка), переключатель П1 - в положение "2п3.7". Подбором времени развертки осциллографа в пределах 0,5...1 с получить на экране дискриминационную характеристику и зарисовать ее.

б. Выключение установки.

Выключение установки осуществить после выполнения программы работы и проверки результатов преподавателем. Тумблерами СЕТЬ на блоке питания и "220В" на установке отключить установку и имитатор.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Функциональная схема дальномера (см.рис.6).
2. Осциллограммы сигналов по п. 1.
3. Диапазон поиска.
4. Результаты измерения времен поиска-захвата и памяти по п. 3.
5. Погрешности автосопровождения для двух скоростей по п. 5.
6. Погрешности автосопровождения для двух скоростей по п. 6.
7. Дискриминационная характеристика дальномера по п. 7.
8. выводы по работе: анализ результатов, сравнение их между собой и с паспортными данными, обсуждение результатов.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и принцип действия СД.
2. Система дальномера как следящей системы.
3. Чем определяется быстродействие СД?
4. "Динамическая" погрешность.
5. Статистическая погрешность.
6. Что такое коэффициент передачи СД, какие элементы схемы определяют его величину?
7. Какие элементы схемы определяют память СД по дальности, по скорости?
8. Чем определяется время памяти СД?
9. Отличие между двумя режимами поиска в изучаемой СД.
10. Рассказать о методе измерения погрешности автосопровождения, применяемом в данной работе.
11. Рассказать о методе измерения времени поиска-захвата и памяти, применяемом в данной работе.

12. Рассказать о методе визуализации дискриминационной характеристики дальномера, применяемом в данной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические основы радиолокации /Под ред. В.Б.Дулевича. М.: Сов.радио, 1978. С. 321-337.
2. Пестряков В.Б., Кузенков В.Д. Радиотехнические системы. М.: Радио и связь, 1985. С. 246-250.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО СЛЕДАТЕГО
ДАЛЬНОМЕРА С ДВОЙНЫМ ИНТЕГРИРОВАНИЕМ

Составители: М и х а й к о в Виктор Иванович,
М а х о в Анатолий Иванович

Редактор Е.Д.А н т о н о в а
Техн.редактор Н.М.К а л е н я к
Корректор Е. Г. Ф и л и п о в а

Подписано в печать 15.08.90 г.
Формат 60x84¹/16. Бумага оберточная.
Почта оперативная. Уч.-изд.л. I, I
Усл.п.л. I, I6. Усл.кр.-отт. I, I6.
Т. 180 экз. Заказ 309. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева.
443086, Куйбышев, Московское шоссе, 34.

Участок оперативной полиграфии Куйбышевского
авиационного института. 443001, Куйбышев,
ул. Ульяновская, 18.