

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



ИССЛЕДОВАНИЕ ДОПЛЕРОВСКОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ОБЪЕКТОВ

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине "Радиоэлектронные системы"
для студентов дневной и заочной форм обучения
специальности "Радиотехника"

Севастополь – 2009

УДК 621.396.96

Исследование доплеровского метода измерения скорости объектов: Методические указания к лабораторной работе по дисциплине "Радиоэлектронные системы"/ Сост. И.Л. Ветров, А.Г. Лукьянчук. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. – 19 с.

Целью методических указаний является помощь студентам в изучении доплеровского метода измерения скорости на примере измерителя скорости транспортных средств серии "Барьер" с непрерывным излучением СВЧ сигнала. Изложены принципы построения измерителей, приводятся функциональные схемы, временные диаграммы, назначение органов управления РЛС. Представлена методики расчета и экспериментального исследования погрешностей измерения скорости.

Указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения специальности "Радиотехника"

Методические указания рассмотрены и утверждены на методическом семинаре и заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: А.В. Мельников, канд. техн. наук, доцент.

Ответственный за выпуск: Гимпилевич Ю.Б., доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой радиотехники и телекоммуникаций.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить принципы построения доплеровских измерителей скорости объектов с непрерывным излучением.

Рассчитать и теоретически исследовать погрешности измерения скорости.

Экспериментально исследовать погрешности измерения скорости в различных режимах.

2. ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ОБЪЕКТОВ

Эффект Доплера заключается, как известно, в изменении частоты наблюдаемых колебаний если источник их излучения и наблюдатель движутся относительно друг от друга (приближаются или удаляются).

На рисунке 1 показана неподвижная РЛС облучающая объект, движущийся относительно РЛС со скоростью V . В полярной системе координат вектор скорости движения объекта V можно разложить на две взаимно перпендикулярные составляющие:

- радиальную скорость $V_p = V \cos \alpha$, направленную вдоль радиуса-вектора в полярной системе координат;
- трансверсальную скорость $V_T = V \sin \alpha$, направление которой совпадает с касательной к окружности, описываемой радиусом-вектором.

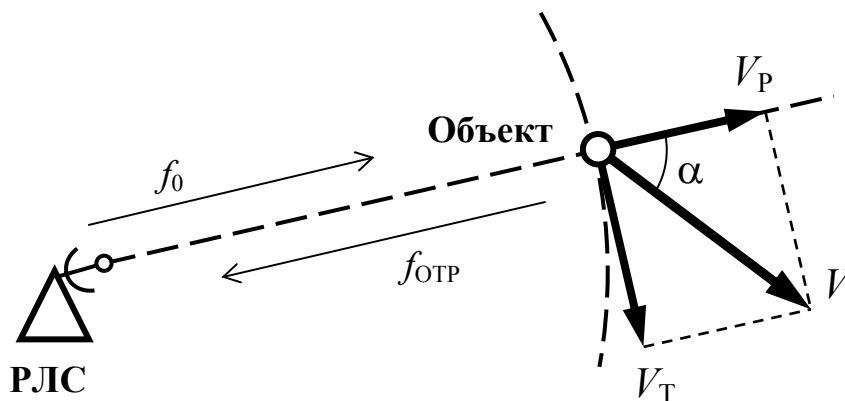


Рисунок 1 – К определению радиальной составляющей скорости объекта

При постоянной радиальной скорости V_p объекта дальность D до него изменяется линейно во времени

$$D(t) = D_0 + V_p t . \quad (1)$$

Это изменение вызывает линейное изменение фазового запаздывания отраженного сигнала, которое выражается в смещении частоты принимаемого сигнала. Величина этого смещения называется доплеровской частотой.

Доплеровская частота F_d определяется величиной радиальной V_p составляющей скорости объекта. Если РЛС облучает движущийся объект радиосигналом с

частотой f_0 , то частота радиосигнала $f_{\text{ОТР}}$, отраженного от объекта и поступающего на вход приемника РЛС, будет отличаться на величину:

$$F_{\text{Д}} = |f_0 - f_{\text{ОТР}}| = 2 |V| \frac{f_0}{c} \cos \alpha = \frac{2 |V_{\text{Р}}|}{\lambda}, \quad (2)$$

где c – скорость распространения радиоволн, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с;

λ – рабочая длина волны РЛС, $\lambda = c / f_0$.

Если цель удаляется от РЛС, то частота радиосигнала, отраженного от объекта и принимаемого РЛС, ниже, чем излученного. При приближении цели частота отраженного сигнала больше, чем частота излученного. Таким образом,

$$\begin{aligned} f_{\text{ОТР}} &= f_0 - F_{\text{Д}} && \text{при } V_{\text{Р}} > 0 \text{ (удаление объекта),} \\ f_{\text{ОТР}} &= f_0 + F_{\text{Д}} && \text{при } V_{\text{Р}} < 0 \text{ (сближение с объектом).} \end{aligned}$$

Зависимость доплеровской частоты от направления движения объекта относительно РЛС, характеризуется полярной диаграммой, показанной на рисунке 2. На диаграмме направление радиуса-вектора соответствует направлению движения объекта, а его длина – значению доплеровской частоты.

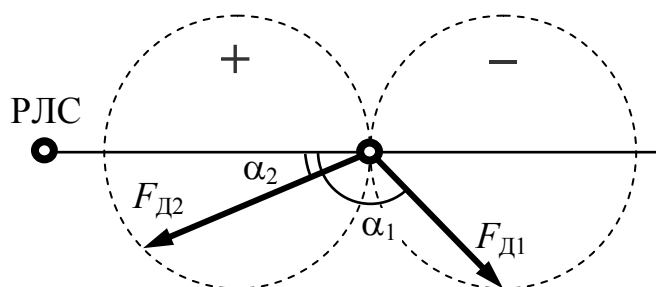


Рисунок 2 – Полярная диаграмма доплеровских частот при различных направлениях движения объекта

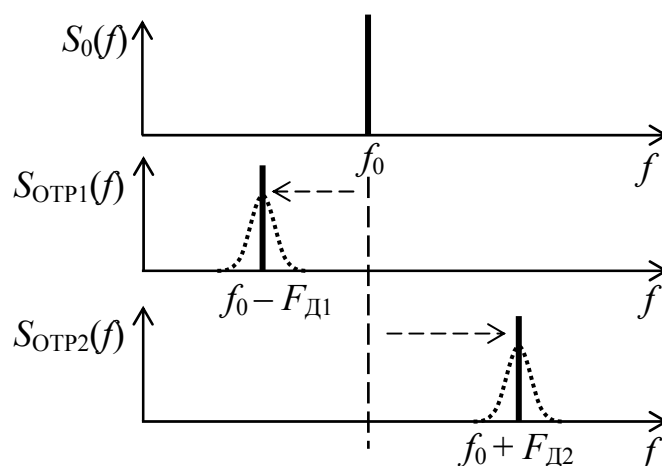


Рисунок 3 – Спектры сигналов, отраженных от движущихся объектов

Эффект Доплера приводит к смещению частотного спектра отраженного сигнала относительно излученного. При гармоническом сигнале бесконечной длительности частотный спектр представляется одной спектральной линией (Рисунок 3). Удаление или приближение точечного объекта вызывает соответствующий сдвиг спектральной линии. Таким образом, задача определения скорости объекта сводится к измерению частоты доплеровского сдвига. При неограниченном времени анализа теоретически за счет накопления энергии отраженного сигнала можно обеспечить сколь угодно малую потенциальную среднеквадратическую погрешность измерения частоты.

При ограниченных времени измерения $T_{\text{ИЗМ}}$ или времени облучения объекта $T_{\text{ОБЛ}}$ смещение спектральных линий отраженного сигнала не изменяется, но происходит расширение спектра, которое показано на рисунке 3 пунктирными линиями. При этом ширина спектра сигнала ΔF_C может быть приблизительно оценена как

$$\Delta F_C \approx 1/T_{\text{ИЗМ}} \approx 1/T_{\text{ОБЛ}} . \quad (3)$$

Другой причиной расширения спектра доплеровских частот является наличие ускорения объекта. Если цель движется с радиальным ускорением a_P , то дальность уже не является линейной функцией времени подобно (1), а изменяется по закону

$$D(t) = D_0 + V_P t + \frac{a_P}{2} t^2 . \quad (4)$$

По этой причине радиальная скорость за время облучения изменится на величину $\Delta V_P = 2 a_P T_{\text{ОБЛ}}$, а расширение спектра отраженного сигнала за счет ускорения цели можно принять равным изменению (девиации) доплеровской частоты за время облучения объекта

$$\Delta F_C \approx \frac{2 a_P}{\lambda} T_{\text{ОБЛ}} . \quad (5)$$

Оценка ширины спектра отраженного сигнала в доплеровских РЛС с непрерывным немодулированным излучением сигнала необходима потому что **потенциальная среднеквадратическая погрешность измерения радиальной скорости** объекта определяется шириной спектра сигнала доплеровской частоты и отношением сигнал-шум [4, 5, 6] :

$$\sigma_{\text{ПОТ}}(V_P) \approx \frac{\Delta F_C \lambda}{2 \sqrt{2 E_C / N_0}} , \quad (6)$$

где ΔF_C – ширина спектра сигнала доплеровской частоты;

$\sqrt{2 E_C / N_0}$ – отношение сигнал-шум по напряжению (параметр обнаружения).

3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ДОПЛЕРОВСКОЙ РЛС С НЕПРЕРЫВНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Доплеровские РЛС с непрерывным (немодулированным) излучением применяются для измерения скорости движения автомобильного транспорта, путевой скорости и скорости подъема самолета, скорости ветра и т. д.

Структура простейшей доплеровской РЛС показана на рисунке 4. Передатчик вырабатывает немодулированные непрерывные колебания с частотой f_0 , которые через прямой канал развязывающего устройства поступают в антенну и излучаются в направлении объекта. Кроме того, ослабленный сигнал передатчика отводится на вход смесителя приемника. Отраженный сигнал с частотой $f_{\text{ОТР}} = f_0 - F_D$ поступает через антенну на вход смесителя, где смешивается с ослабленным сигналом передатчика. При этом на выходе смесителя возникают биения с доплеровской частотой F_D амплитуды высокочастотного сигнала.

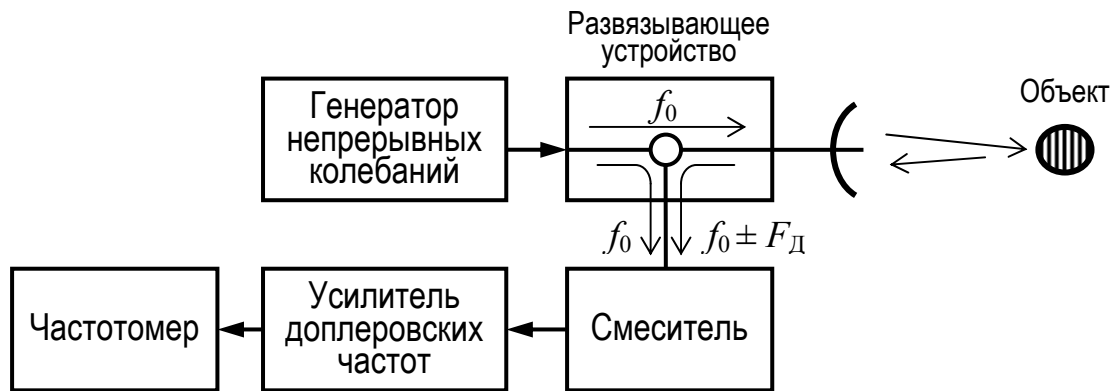


Рисунок 4 – Структурная схема доплеровской РЛС с непрерывным излучением

Процесс смешения двух непрерывных колебаний и выделения сигнала доплеровской частоты наглядно иллюстрируется с помощью векторной и временных диаграмм, изображенных на рисунке 5.

Сдвиг фаз $\varphi(t)$ между излучаемым сигналом U_0 и отраженным сигналом $U_{\text{отр}}$ определяется дальностью до объекта и если объект неподвижен ($D_0 = \text{const}$), то и $\varphi_0(t)$ – не изменяется во времени. При движении объекта из-за изменения дальности D фазовый сдвиг $\varphi(t)$ между излученным U_0 и отраженным $U_{\text{отр}}$ сигналами изменяется во времени. Это соответствует вращению вектора $\dot{U}_{\text{отр}}$ и приводит к изменению величины результирующего вектора $\dot{U}_{\text{рез}}$. Например, в моменты времени t_1 и t_3 сигналы U_0 и $U_{\text{отр}}$ синфазны и амплитуда $U_{\text{рез}}$ максимальна, а в моменты времени t_2 и t_4 сигналы U_0 и $U_{\text{отр}}$ противофазны, что вызывает уменьшение амплитуды сигнала на выходе смесителя.

Изменение результирующей амплитуды сигнала доплеровской частоты:

$$\Delta U = U_{\text{отр}} \cos \varphi(t) = U_{\text{отр}} \cos \left(2\pi F_D t + \frac{2\pi}{\lambda} 2D_0 \right). \quad (6)$$

При этом результирующий вектор $\dot{U}_{\text{рез}}$ испытывает "покачивания" с доплеровской частотой, обусловленные изменением $\varphi_{\text{рез}}(t)$, что приводит к дополнительной частотной модуляции выходного сигнала смесителя. Однако на практике уровень прямого сигнала U_0 значительно превышает уровень отраженного сигнала $U_{\text{отр}}$ и влиянием паразитной ЧМ можно пренебречь.

После выделения огибающей в усилителе доплеровских частот при коэффициенте передачи k_y , получаем выходные колебания доплеровской частоты:

$$u_{\text{вых}} = k_y U_{\text{отр}} \cos (2\pi F_D t + \varphi_0), \quad (7)$$

позволяющие измерить радиальную скорость цели.

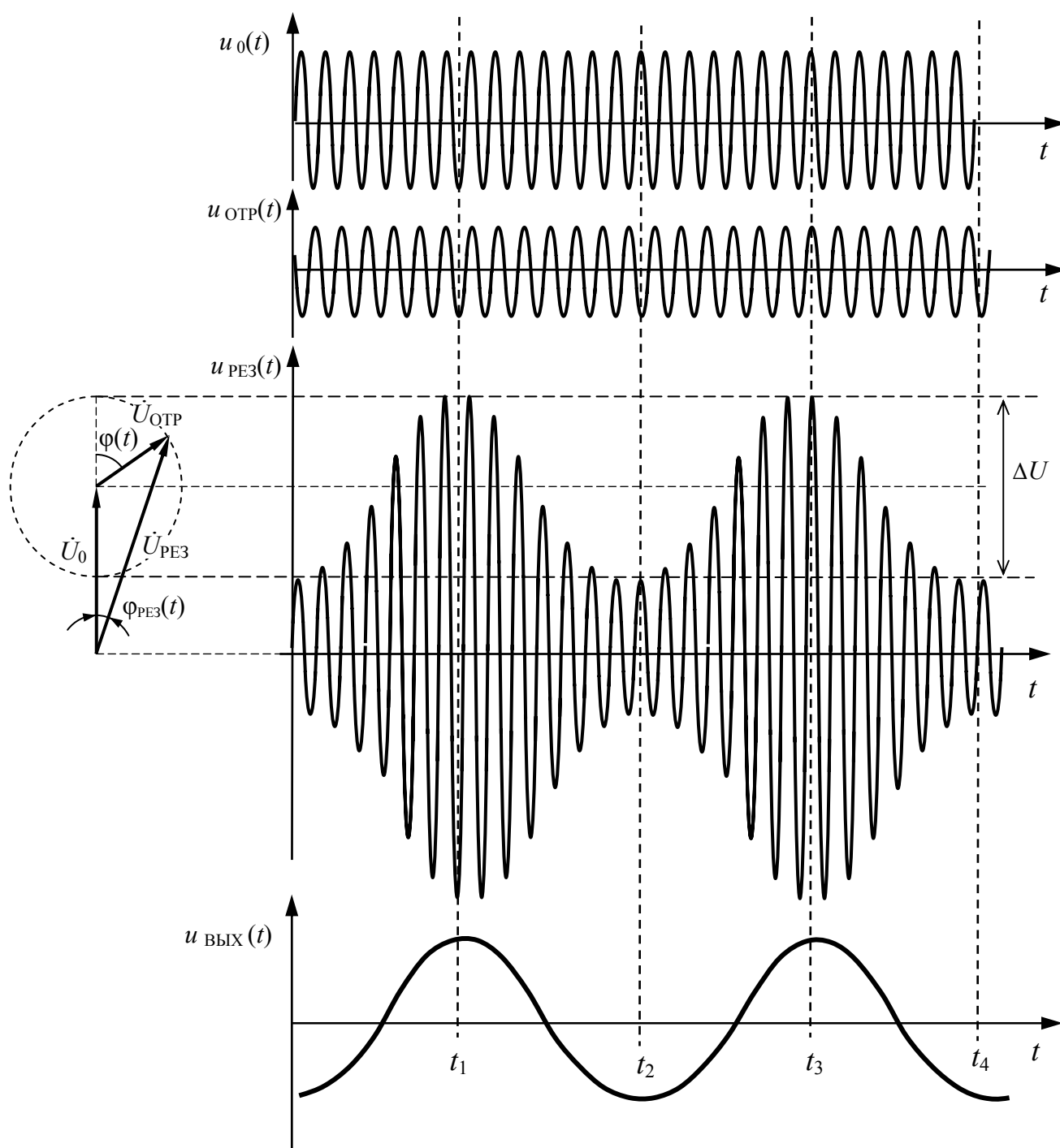


Рисунок 5 – Временные и векторные диаграммы, поясняющие процесс выделения сигнала доплеровской частоты

Усилитель доплеровских частот (УДЧ) является фактически усилителем низкой частоты. Частотная характеристика УДЧ должна иметь спад в области низких частот для подавления отражения от неподвижных и малоподвижных целей. Граница спада АЧХ УДЧ в области высоких частот выбирается из условия измерения максимальной скорости движения объекта. Индикатором может служить частотомер, проградуированный в значениях скорости объекта.

Разрешающая способность по скорости это минимальное отличие в скорости одновременно облучаемых объектов, при котором сигналы, отраженные от них, могут быть выделены отдельно. Если по техническим условиям разрешения по скорости не требуется (то есть облучается только одна цель), то на выходе УДЧ (рисунок 5) устанавливается простой частотомер и оценка скорости производится по измеренному значению F_d на основании выражения (2). При этом УДЧ должен иметь широкую полосу пропускания, обеспечивающую одинаковое усиление во всем диапазоне ожидаемых доплеровских частот.

При наличии нескольких целей, движущихся с разными скоростями, в частотном спектре колебаний на выходе УДЧ присутствует соответствующее число составляющих с разными доплеровскими частотами. Для их разделения, то есть разрешения объектов по скорости, необходимо произвести спектральный анализ принимаемого сигнала.

Параллельный спектральный анализ осуществляется с помощью набора из нескольких полосовых фильтров (рисунок 6). Для обеспечения наилучшей разрешающей способности и максимального отношения сигнал-шум полоса пропускания каждого из фильтров ΔF_Φ должна быть согласована с шириной спектра сигнала, отраженного от одиночной цели. При этом количество фильтров n , требуемых для параллельного анализа,

$$n = \Delta f / \Delta F_\Phi, \quad (8)$$

где Δf – общая полоса ожидаемых доплеровских частот;

ΔF_Φ – полоса пропускания отдельного фильтра.

При таком параллельном анализе за счет одновременного "просмотра" всего диапазона возможных доплеровских частот обеспечивается минимальное время измерения без потерь энергии сигнала $T_{\text{ПАР. ИЗМ}} \approx T_{\text{ОБЛ}} \approx 1/\Delta F_\Phi$.

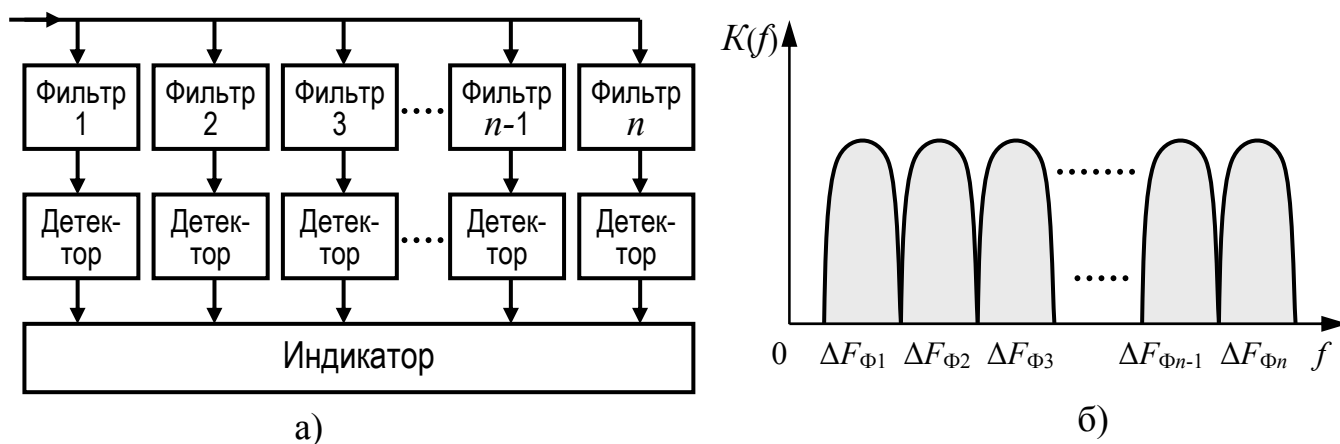


Рисунок 6 – Структурная схема (а) и АЧХ (б) параллельного спектрального анализа

При последовательном спектральном анализе используется один фильтр, перестраиваемый с определенной скоростью в диапазоне ожидаемых доплеровских частот. Время воздействия сигнала на такой фильтр гораздо меньше, чем его общая

длительность, что равносильно потерям полезной энергии в n раз (8). Для обеспечения энергетических соотношений, свойственных параллельному анализу, необходимо уменьшать скорость перестройки частоты фильтра, что приводит к увеличению в n раз времени измерения.

3. ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ "БАРЬЕР"

Измеритель скорости "Барьер-2" предназначен для дистанционного измерения скорости движения транспортных средств. При контроле скоростного режима группы транспортных средств измеритель скорости измеряет значение скорости транспортного средства, движущегося с наибольшей скоростью в группе.

Технические характеристики измерителя "Барьер 2":

- диапазон рабочих частот X -диапазон (~ 10 ГГц);
- диапазон измеряемых скоростей от 20 до 199 км/ч;
- основная погрешность измерения скорости ± 1 км/ч;
- время измерения не более 2 с;
- дополнительная погрешность, вызванная изменением температуры от -30°C до $+50^\circ\text{C}$ не более ± 1 км/ч;
- дополнительная погрешность, вызванная изменением напряжения питания от 11 В до 15 В не более ± 1 км/ч;
- дальность действия по легковому автомобилю не менее 300 м ;
- напряжение питания 13 ± 2 В.

Источником питания прибора является батарея аккумуляторов автомобиля.

Структурная схема измерителя представлена на рисунке 7. Конструктивно измеритель "Барьер-2" выполнен в виде двух блоков: измерительного блока и блока обработки информации. Конструктивное расположение элементов измерительного блока приводится в приложении на рисунке А1.

Измерительный блок предназначен для генерирования и направленного излучения СВЧ колебаний в сторону движущегося объекта, приема отраженных сигналов, а также для визуализации измеренного значения скорости на цифровом табло.

Непрерывные немодулированные гармонические СВЧ колебания трехсантиметрового диапазона создаются в измерительном блоке генератором, выполненном на диоде Ганна типа АФ 001А.

Дополнительный стабилизатор напряжения $+8,5$ В предназначен для питания СВЧ генератора, а также содержит схему индикации разряда источника питания. Кроме того, на плате стабилизатора установлена кнопка включения генератора СВЧ колебаний.

Гармонические СВЧ колебания излучаются в направлении транспортного средства с помощью рупорной антенны с круглым раскрытием диаметром 9 см.. Ши-

рина диаграммы направленности антенны составляет около 20 градусов по уровню половинной мощности.

На вход смесителя приемника, собранного на диоде типа Д405АП, одновременно поступают два непрерывных гармонических СВЧ сигнала:

- сигнал, поступающий непосредственно от передатчика;
- сигнал, отраженный от движущегося объекта.

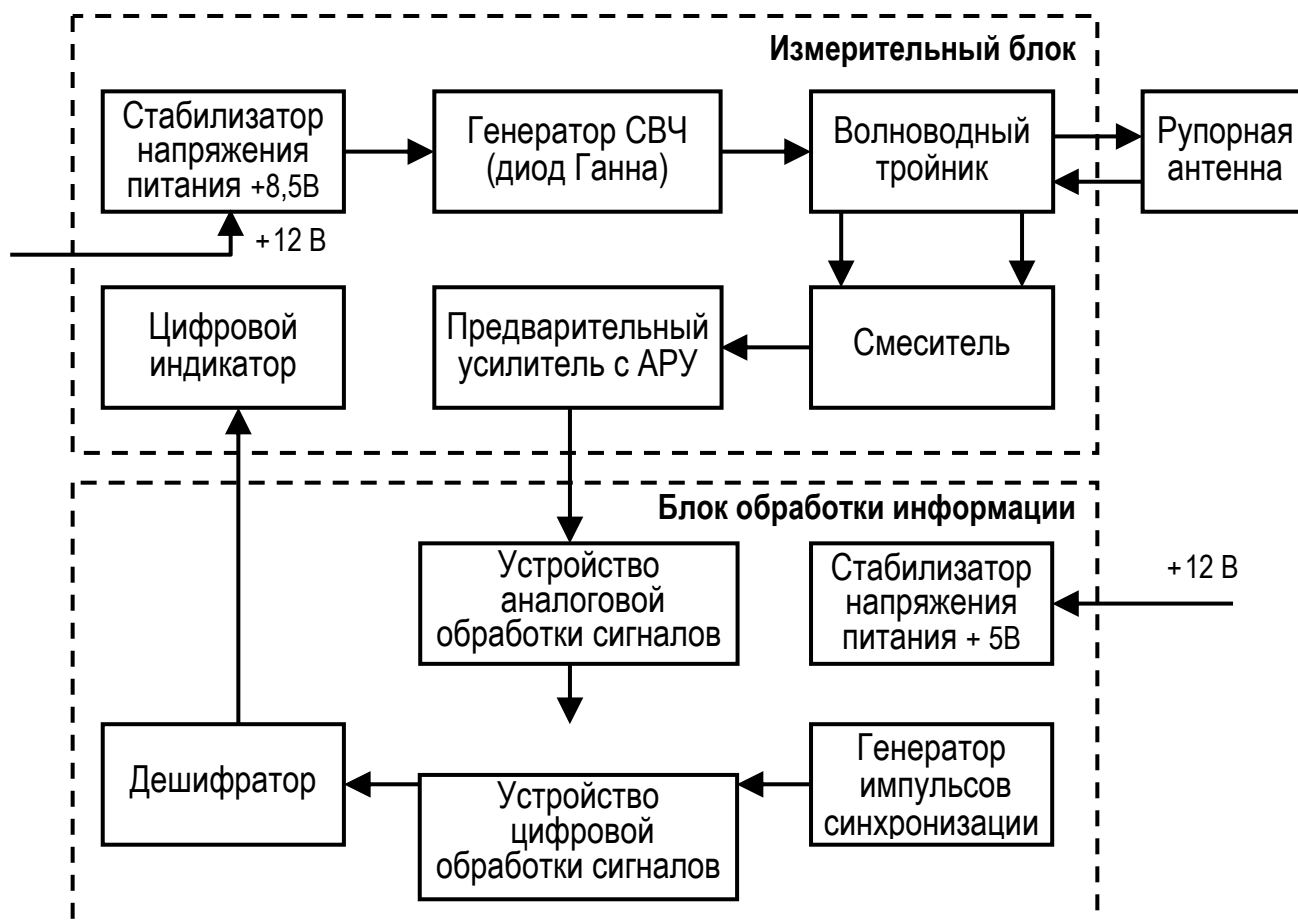


Рисунок 7 – Структурная схема измерителя скорости "Барьер-2"

На выходе смесителя возникает ряд напряжений с комбинационными частотами, в том числе и напряжение с частотой F_d , несущее информацию о скорости объекта.

Это низкочастотное напряжение выделяется и усиливается в предварительном усилителе, в котором для расширения динамического диапазона применена автоматическая регулировка усиления (АРУ). В этом усилителе производится предварительная селекция спектра доплеровских частот, соответствующих всему диапазону измеряемых скоростей.

С выхода предварительного усилителя сигнал через соединительный кабель поступает на вход блока обработки информации. Блок обработки информации включает генератор импульсов синхронизации, устройства аналоговой и цифровой обработки сигнала.

В процессе аналоговой обработки обеспечивается:

- повышение отношения сигнал /шум и защита обрабатываемого сигнала от воздействия импульсных помех за счет дополнительной частотной фильтрации;
- формирование из аналогового квазигармонического сигнала последовательности прямоугольных импульсов фиксированной длительности;
- приоритет для выделения сигнала, отраженного от объекта, движущегося с наибольшей скоростью, в случае приема сигналов, отраженных от группы объектов, движущихся с различными скоростями.

Для этого в соответствии с формулой (8) схема частотной селекции включает восемь идентичных каналов логической и цифровой обработки сигналов, отличающихся друг от друга частотами в пределах всего спектра доплеровских частот. Конструктивно эти восемь идентичных каналов отличаются только номиналами элементов селективных фильтров. Диапазоны частотных полос пропускания каждого канала приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры селективных фильтров измерителя

Номер канала	Граничные частоты канала селекции по уровню 3 дБ
1	3200...4000 Гц
2	2500...3200 Гц
3	2000...2500 Гц
4	1600...2000 Гц
5	1250...1600 Гц
6	1000...1250 Гц
7	800...1000 Гц
8	400... 800 Гц

После усиления и ограничения сигнал, представляющий последовательность прямоугольных импульсов с частотой F_d поступает на платы цифровой обработки, где производится подсчет количества импульсов с частотой F_d за фиксированный интервал времени, который задается генератором импульсов синхронизации.

После подсчета количества импульсов производится запоминание полученного числа в позиционном двоично-десятичном коде, который после дешифрирования высвечивается на цифровом индикаторе измерительного блока. На индикаторе измерительного блока отображается следующая информация:

- о включении питания измерителя скорости
(светится сегмент "запятая" младшего разряда индикатора);
- о включении СВЧ генератора на излучение
(светятся сегменты "запятая" всех трех разрядов индикатора);

- о скорости движущихся объектов
(светятся цифровые значения трех разрядов);
- о разряде батареи аккумуляторов ниже допустимого уровня
(светится буква "Р" в старшем разряде индикатора).

Главным органом управления измерителя "Барьер-2" является кнопка "ВКЛ" на ручке измерительного блока. При нажатой кнопке "ВКЛ" осуществляется излучение высокочастотного сигнала, поэтому в процессе выполнения лабораторной работы в паузах между измерениями эта кнопка должна находиться в отжатом положении.

Отличительной особенностью последующей модификации измерителя "Барьер 2-2М" является его конструктивное выполнение в виде одного блока с использованием современной элементной базы. Конструкция измерителя "Барьер 2-2М" представлена в приложении на рисунке А2.

В измерителе "Барьер 2-2М" улучшена разрешающая способность по скорости, так скорость транспортного средства, движущегося с наибольшей скоростью в группе, фиксируется при разности их скоростей – 5 км/час. Улучшение этого параметра достигается за счет использования схемы фильтрации с перестраиваемой полосой пропускания и микропроцессорных схем цифровой обработки.

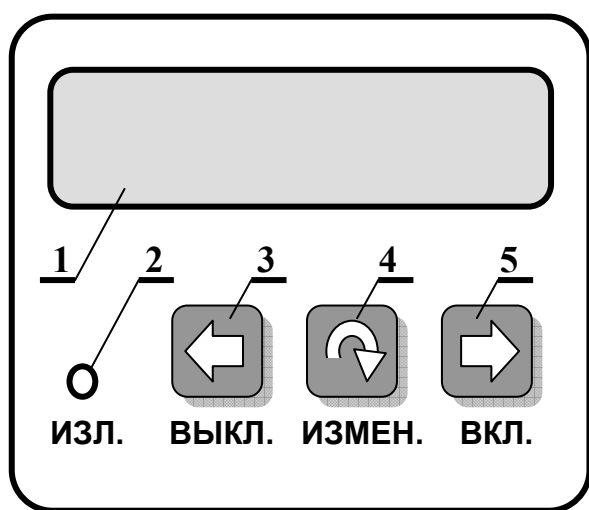


Рисунок 8 – Органы управления измерителя "Барьер 2-2М"

Кроме того, в измерителе "Барьер 2-2М" расширены функции управления. На рисунке 9 изображены органы управления измерителем. После включения измерителя кнопкой 5 на индикаторе 1 с помощью кнопки 4 устанавливается значение порога скорости. Кнопки 3 и 5 предназначены для перемещения курсора. Затем кнопкой 4 измеритель переводится в режим "Готовность".

При нажатии кнопки на ручке измерителя включается излучение СВЧ сигнала, которое сопровождается вспышками сигнального светодиода 2.

При направлении рупора на движущееся транспортное средство, скорость которого превышает установленный ранее порог, на индикаторе 1 высвечивается и запоминается измеренное значение скорости и срабатывает прерывистый звуковой сигнал. Для повторного измерения нажимается кнопка на ручке измерителя.

Выключение измерителя производится нажатием на кнопку 3.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка для исследования характеристик доплеровского измерителя скорости включает в себя следующее оборудование:

- комплект аппаратуры измерителя "Барьер";
- безэховую камеру ТУ 25-06;
- источник питания Б5-47;
- генераторы низкочастотных колебаний ГЗ-110;
- частотомер ЧЗ-38;
- прибор универсальный В7-22А.

Структурная схема установки изображена на рис.8.

Безэховая СВЧ камера представляет собой экранированное закрытое пространство, внутренние стенки которого покрыты поглощающим материалом.

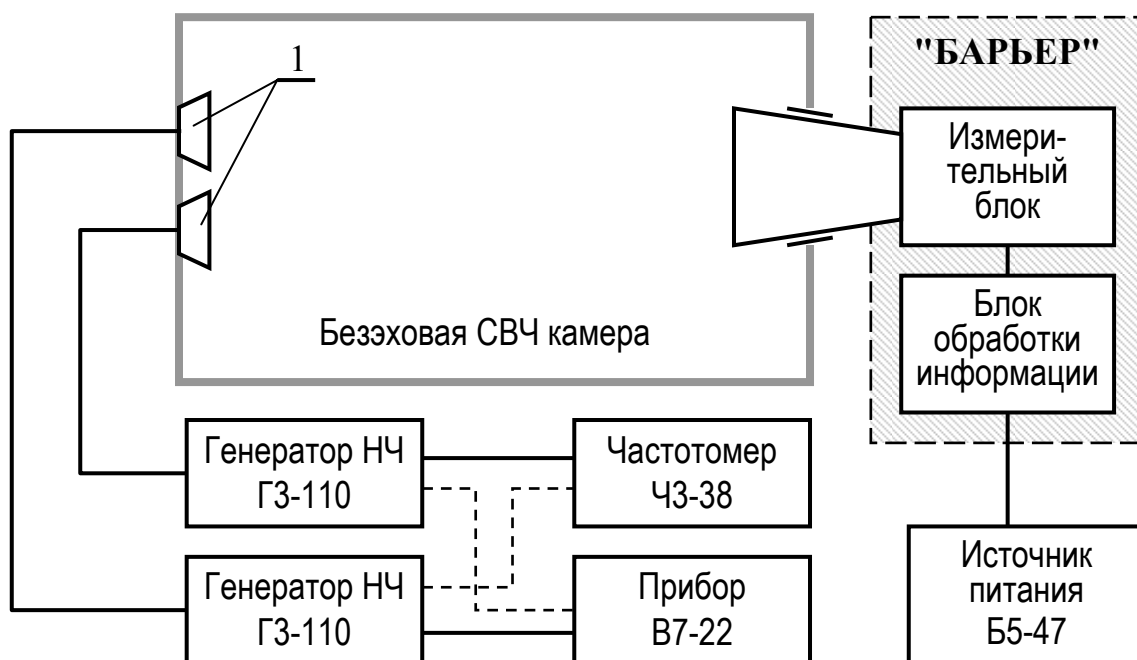


Рисунок 8 – Схема лабораторной установки для проверки диапазона и погрешностей измерения скорости

С правой стороны камеры в специальный ложемент устанавливается измерительный блок исследуемого устройства. На противоположной стенке камеры установлены диффузоры 1 двух датчиков-имитаторов скорости движения, каждый из которых подключен к отдельному генератору низкой частоты ГЗ-110.

При подаче сигнала от ГНЧ на датчики их металлизированные диффузоры колеблются, имитируя движение объекта, и создают частотную модуляцию СВЧ сигнала, отраженного от диффузоров.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

5.1. Подготовка оборудования и приборов. Измеритель скорости установить в ложемент безэховой камеры и подать на него питающее напряжение от источника Б5-47 (13 В). Кнопка "ВКЛ" на ручке измерительного блока должна быть отжата.

Включить генераторы Г3-110 и измерительные приборы для прогрева в течение 10 минут.

5.2. Определение значения максимальной измеряемой скорости производится следующим образом:

- подключить генератор Г3-110 к одному из датчиков-имитаторов скорости движения объекта;

- установить на выходе генератора Г3-110 частоту сигнала 3,8 кГц при уровне выходного сигнала 60 мВ. При этом будет слышен характерный звук датчика-имитатора движения, установленного в безэховой камере. Контроль установки частоты производить частотомером ЧЗ-38 с погрешностью ± 1 Гц.

- включить измеритель на излучение нажатием кнопки "ВКЛ" на ручке измерительного блока, зафиксировать показания измерителя и занести в таблицу;

- плавно увеличивать частоту сигнала Г3-110 до момента срыва показаний доплеровского измерителя и зафиксировать максимальные значения.

- выключить СВЧ излучение, отжав кнопку "ВКЛ" на ручке измерительного блока.

5.3. Определение значения минимальной измеряемой скорости производится следующим образом:

- подключить генератор Г3-110 к одному из датчиков-имитаторов скорости движения объекта;

- установить на выходе генератора Г3-110 частоту сигнала 450 Гц при уровне выходного сигнала 60 мВ;

- включить измеритель на излучение нажатием кнопки "ВКЛ" на ручке измерительного блока, зафиксировать показания измерителя и занести в таблицу;

- плавно уменьшать частоту сигнала Г3-110 до момента срыва показаний доплеровского измерителя и зафиксировать полученные значения частоты и скорости.

- выключить СВЧ излучение, отжав кнопку "ВКЛ" на ручке измерительного блока.

На основании результатов, полученных при выполнении пп.5.2 и 5.3 по формуле (2), рассчитать рабочую частоту и длину волны излучения измерителя.

5.5. Определение основной погрешности измерения:

- подключить генератор ГЗ-110 к одному из датчиков-имитаторов скорости движения объекта;
- установить на выходе генератора ГЗ-110 уровень выходного сигнала 60 мВ;
- включить измеритель на излучение нажатием кнопки "ВКЛ" на ручке измерительного блока;
- осуществлять перестройку частоты генератора с шагом 200...400 Гц от минимального до максимального значений, полученных при выполнении пп. 5.2 и 5.3.
- выключить СВЧ излучение, отжав кнопку "ВКЛ" на ручке измерительного блока;
- результаты измерений занести в таблицу и представить в виде графика. Оценить максимальные отклонения графика от линейной зависимости и определить погрешность измерения;
- сравнить полученные значения погрешностей с результатами расчета потенциальной погрешности по формулам (3, 5, 9) при следующих условиях:
 - время измерения 0,5...1 с;
 - максимальное ускорение объекта 4...6 м/с;
 - отношение сигнал-шум (3...5).

5.6. Оценка уровня приоритета выделения сигнала отраженного от объекта, движущегося с наибольшей скоростью:

- подключить два генератора ГЗ-110 к двум датчикам-имитаторам скорости движения,
- установить на выходе одного генератора ГЗ-110 частоту, соответствующую скорости движения 75 км/час, и уровень выходного сигнала 60 мВ (соответствует дальности до объекта – 300 м);
- установить на выходе второго генератора ГЗ-110 частоту, соответствующую скорости движения 55 км/час, и уровень выходного сигнала 60 мВ;
- включить измеритель на излучение нажатием кнопки "ВКЛ" зафиксировать показания измерителя (измеритель должен регистрировать наибольшую скорость – 75 км/час);
- плавно увеличивать уровень сигнала второго генератора ГЗ-110 до момента нарушения правильных показаний измерителя скорости.
- выключить СВЧ излучение, отжав кнопку "ВКЛ" на ручке измерительного блока;
- определить отношение уровней сигналов генераторов и оценить отличие в дальностях до двух имитируемых объектов. Сделать выводы.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о лабораторной работе должен включать:

- структурную схему доплеровского измерителя;
- основные характеристики измерителя;
- формулы и результаты теоретической оценки частоты излучения и потенциальной погрешности;
- результаты экспериментального исследования, таблицы, графики;
- выводы по работе.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните принцип измерения радиальной скорости объекта на основе эффекта Доплера.
2. Влияет ли на несущую частоту отраженного радиосигнала наличие трансверсальной составляющей скорости движения объекта?
3. Изобразите полярную диаграмму доплеровских частот и поясните влияние величины угла α на значение F_D .
4. Перечислите и поясните причины, вызывающие расширение спектра доплеровских частот. На какую характеристику РЛС влияет это расширение?
5. Изобразите структурную схему доплеровской РЛС с непрерывным излучением и поясните назначение отдельных узлов и блоков.
6. Оцените ширину диаграммы направленности измерителя "Барьер", если раскрыв круглого рупора составляет 9 см.
7. Объясните процедуру выделения и измерения доплеровской частоты в РЛС с непрерывным излучением СВЧ сигнала.
8. Какими параметрами сигнала определяются разрешающая способность по скорости и потенциальная ошибка измерения скорости?
9. Поясните назначение цепочки селективных фильтров в измерителе "Барьер-2".
10. Предложите и поясните принцип цифрового измерения доплеровской частоты.
11. Опишите процедуру экспериментального исследования характеристик доплеровского измерителя скорости "Барьер".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник: Навч. посібник/ За ред. Ю. Л. Мазора, Є. А. Мачуського, В. І. Правди. – К.: Вища шк., 1999. – 838 с.
2. Багдасарян С.И., Маляренко А.И., Ширман Я.Д. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: Справочник / Под ред. Я.Д. Ширмана – М. "Радиотехника", 2007. – 512 с.
3. Радиотехнические системы: Учебник для вузов / Под ред. Ю.М. Казаринова.– М.: Высш. школа, 1990. – 496 с.
4. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы: Учебное пособие для вузов, – Минск: Выш. школа, 1988. – 369 с.
5. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации: Учебное пособие для вузов. – М: Радио и связь ,1983. – 536 с.
6. Васин В.В., Степанов Б.М. Справочник-задачник по радиолокации. – М.: Сов. радио, 1977. – 320 с.
7. Измеритель скорости движения транспортных средств дистанционный "Барьер-2": Техническое описание. – Запорожье, Токмак, 1996. – 34 с.
8. Измеритель скорости движения транспортных средств дистанционный "Барьер 2-2М": Техническое описание. – Запорожье, "Запорожприбор", 2005. – 29 с.

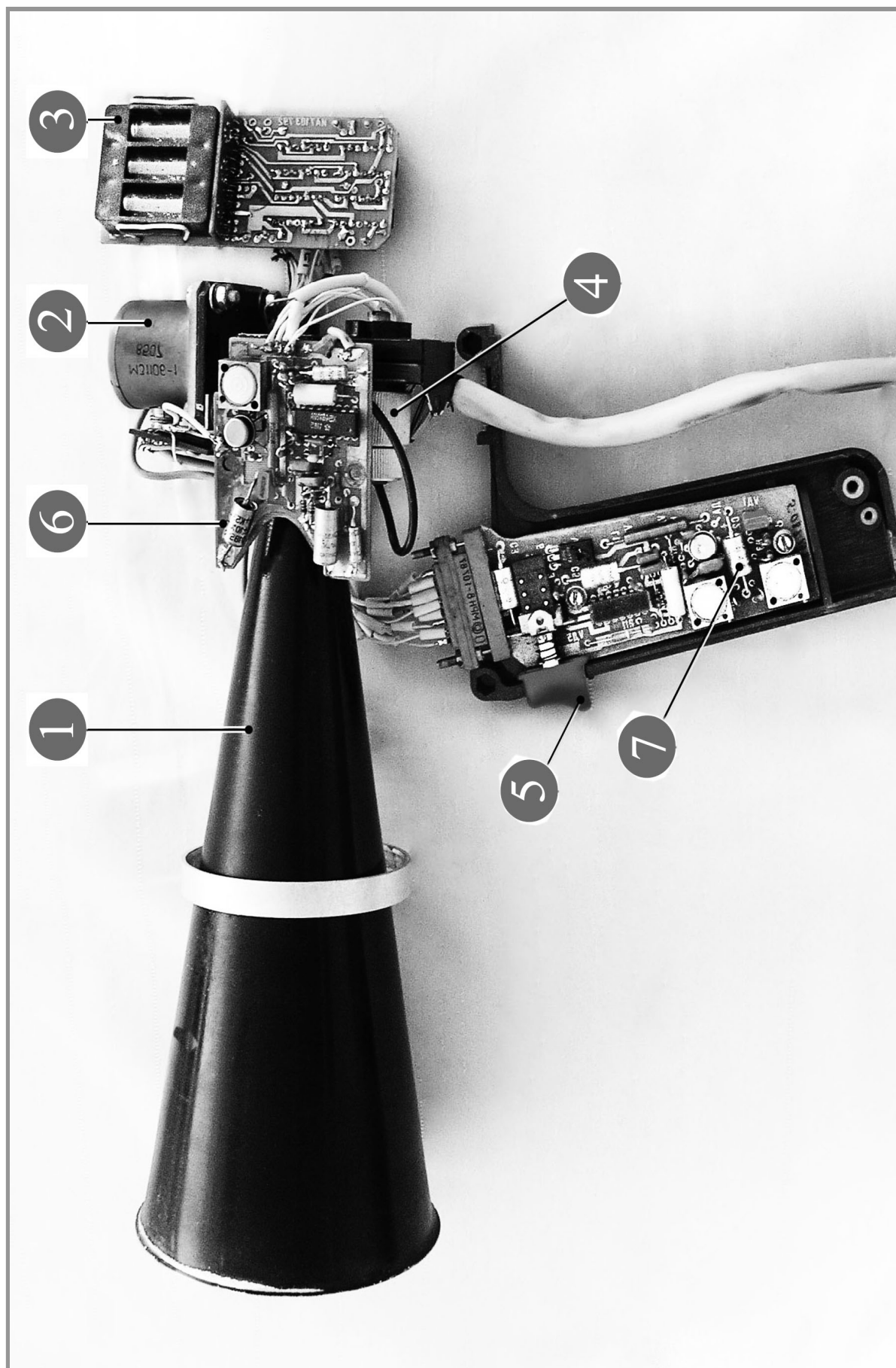


Рисунок А1 – Конструкция измерительного блока прибора "Барьер-2"

1 – рупорная антенна; 2 – генератор СВЧ на диоде Ганна; 3 – плата индикации; 4 – смесительный диод;
5 – кнопка включения излучения; 6 – усилитель с АРУ; 7 – стабилизатор напряжения питания.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

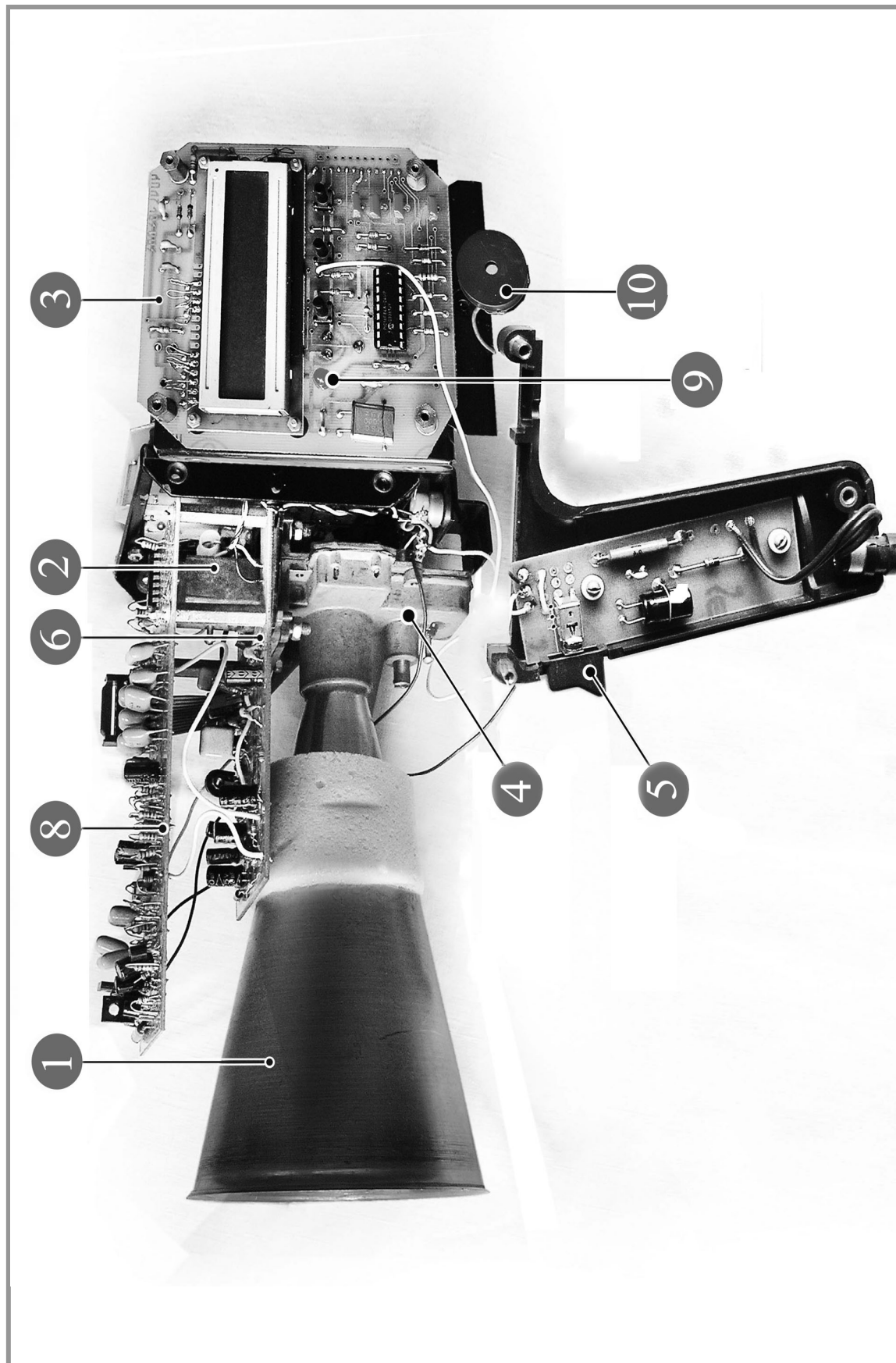


Рисунок А1 – Конструкция измерительного блока прибора "Барьер 2-2М"

1 – рупорная антенна; 2 – генератор СВЧ на диоде Ганна; 3 – плата управления и индикации;
 4 – смесительный диод; 5 – кнопка включения излучения; 6 – усилитель с АРУ;
 8 – плата обработки сигналов; 9 световой индикатор СВЧ излучения;
 10 – звуковой индикатор превышения порога.