

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій і технічного захисту інформації

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерної радіоінженерії та систем технічного захисту інформації

(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
другий (магістерський)

«Дослідження та удосконалення інфрачервоного засобу охорони
об'єктів» _____

(тема)

Виконав:

студент VI курсу, групи СТЗІАзм-18-1

Подпорін Є.В.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 125

«Кібербезпека» _____

Тип програми освітньо-професійна _____

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системи технічного захисту
інформації, автоматизація її обробки

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Стрельницький О.Є. _____

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Антіпов І.Є.

(прізвище, ініціали)

2019 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій і технічного захисту інформації
 Кафедра Комп'ютерної радіоінженерії та систем технічного захисту інформації
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 125 «Кібербезпека»
 (код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
 (освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системи технічного захисту інформації, автоматизація її обробки
 (повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
 (підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Подпоріну Євгенію Вікторовичу
 (прізвище, ім'я по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження та удосконалення інфрачервоного засобу охорони об'єктів» затверджено наказом по університету від 12 _____ 11 _____ 2019 р. № 1604 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10 грудня 2019 р.
3. Вихідні дані до проекту:

– діапазон робочої довжини хвилі охоронного пристрою $\lambda_p = 3 \div 4$ мкм,

– дальність дії 8 - 10м,

– живлення однополярне 10-16 В,

– діапазон робочих температур 10 ÷ 45° С,

– ширина зони виявлення $2\theta_{0,5} \leq 90^\circ$,

– пристрій має бути захищений від сонячної засвітки,

– експериментально дослідити характеристики охоронного пристрою.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

1 Вступ

2 Огляд аналогічних конструкцій

3 Розробка і опис схеми електричної структурної ПЧ пасивного пристрою охорони об'єктів

4 Розробка і розрахунок схеми електричної принципіальної ПЧ пасивного пристрою охорони об'єктів

5 Експериментальне дослідження ПЧ пасивного пристрою охорони об'єктів

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

1 Принцип роботи ІК датчика руху – 1л. ф. А4 _____

2 Конфігурація зони охорони ІК датчика руху – 1л. ф. А4 _____

3 Перетин охоронюваної зони – 1л. ф. А4 _____

4 Структурна схема пасивного ІК датчика руху – 1л. ф. А4 _____

5 Шаблон коефіцієнта передачі ФНЧ – 1л. ф. А4 _____

6 Схема електрична принципова моделюваного фільтра нижніх частот з розрахованими номіналами елементів – 1л. ф. А4 _____

7 Результати математичного моделювання АЧХ розрахованого ФНЧв додатку OrCad 9.2– 1л. ф. А4 _____

8 Схема електрична принципова розробленого ІК-датчика руху– 1л. ф. А4 _____

9 Фото лабораторної установки для експериментального дослідження ІК-датчика руху – 1л. ф. А4 _____

10 Структурна схема електроживлення ІЧ мішені - 1л. ф. А4 _____

11 Структурна схема установки для вимірювання ДС пасивного ІЧ -Датчик руху- 1л. ф. А4 _____

12 Експериментально знята діаграма спрямованості ІЧ датчика руху в горизонтальній площині - 1л. ф. А4 _____

13 Експериментально знята діаграма спрямованості ІЧ датчика руху у вертикальній площині - 1л. ф. А4 _____

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів роботи | Терміни виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---------------------------------|----------|
| 1 | Огляд літератури | 05.11.19 | |
| 2 | Розробка схем пристрою захисту об'єктів | 15.11.19 | |
| 3 | Вирішення проблеми захисту пристрїя від сонячної завади | 18.11.19 | |
| 4 | Проведення експериментальних досліджень пристрїя | 25.11.19 | |
| 5 | Оформлення графічних робіт | 30.11.19 | |
| 6 | Представлення АР на кафедрі | 10.12.19 | |

Дата видачі завдання _____ 20__ р.

Студент _____

(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Атестаційна робота магістра 103 с., 31 рис., 12 табл., 13 джерел.

ПАСИВНИЙ ІЧ ОХОРОННИЙ ПРИСТРІЙ, ФІЛЬТР НИЖНІХ ЧАСТОТ, ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, СОНЯЧНА ЗАВАДА, ДВОХДИАПАЗОННИЙ МЕТОД, ПОМИЛКОВЕ СПРАЦЬОВУВАННЯ.

Об'єкт дослідження - інфрачервоний пасивний охоронний пристрій з підвищеною захищеністю від помилкових спрацьовувань.

Предмет дослідження- розробка й розрахунок електричної принципової схеми інфрачервоного пасивного охоронного пристрою.

Метод дослідження - системний підхід, електричний розрахунок, моделювання схем інфрачервоного пасивного датчика руху.

За допомогою моделювання схем пасивної ІК системи отримані необхідні параметри для розрахунку фільтра нижніх частот, диференціального підсилювача й ключового каскаду. Показано вплив схеми побудови ІК пасивного датчика руху на частоту помилкових спрацьовувань.

Прогнозне припущення про розвиток об'єкта дослідження - пошук оптимальної схеми побудови системи інфрачервоного пасивного охоронного пристрою.

РЕФЕРАТ

Магистерская аттестационная работа 103 с., 31 рис., 12табл., 13 источников.

ПАССИВНОЕ ИК ОХРАННОЕ УСТРОЙСТВО, ФИЛЬТР НИЖНИХ ЧАСТОТ, ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ, СОЛНЕЧНАЯ ПОМЕХА, ДВУХДИАПАЗОННЫЙ МЕТОД, ЛОЖНОЕ СРАБАТЫВАНИЕ.

Объект исследования – инфракрасное пассивное охранное устройство с повышенной защищенностью от ложных срабатываний.

Предмет исследования – разработка и расчет электрической принципиальной схемы инфракрасного пассивного охранного устройства, экспериментальные исследования его технических характеристик.

Метод исследования – системный подход, электрический расчет, моделирование схем инфракрасного пассивного охранного устройства.

С помощью моделирования схем пассивной ИК системы получены необходимые параметры для расчета фильтра нижних частот, дифференциального усилителя и ключевого каскада. Показано влияние схемы построения ИК пассивного охранного устройства на частоту ложных срабатываний.

Прогнозное предположение о развитии объекта исследования – поиск оптимальной схемы построения системы инфракрасного пассивного охранного устройства.

ABSTRACT

Master's certification work 103 p., 31 fig., 12tabl., 13 sources.

PASSIVE IR SAFETY DEVICE, LOW FREQUENCY FILTER, DIFFERENTIAL AMPLIFIER, SUNNY INTERFERENCE, TWO-DIABLE METHOD, FALSE

The object of the study is an infrared passive security device with increased protection against false alarms.

The subject of the study is the development and calculation of the electrical concept of an infrared passive security device, experimental studies of its technical characteristics.

The research method is a systematic approach, electrical calculation, modeling of circuits of infrared passive security device.

The simulation of passive IR circuits provides the necessary parameters to calculate the low pass filter, differential amplifier and key stage. The influence of the scheme of constructing an IR passive security device on the frequency of false positives is shown.

The predictive assumption about the development of the object of study - the search for the optimal scheme for the construction of a system of infrared passive security device.

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ,
СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ

| | |
|------|-----------------------------------|
| АО | Амплитудный ограничитель |
| АУ | Апериодический усилитель |
| ДУ | Дифференциальный усилитель |
| ИКСО | Инфракрасное средство обнаружения |
| ОУ | Операционный усилитель |
| СО | Средство обнаружения |
| УМ | Усилитель мощности |
| ЭК | Электронный ключ |
| ФНЧ | Фильтр нижних частот |
| ЭП | Эмиттерный повторитель |

СОДЕРЖАНИЕ

| | | |
|------|---|----|
| | РЕФЕРАТ | 4 |
| | ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ, СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ | 7 |
| | ВВЕДЕНИЕ | 10 |
| 1 | ОБЗОР АНАЛОГИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ | 11 |
| 1.1 | Характеристики современных пассивных ИКСО | 11 |
| 1.2 | Принцип действия пассивных ИКСО | 15 |
| 1.3 | Помехи в пассивных ИКСО | 23 |
| 1.4 | Методы повышения помехоустойчивости пассивных ИКСО | 26 |
| 2 | РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ИК – ПАССИВНОГО ОХРАННОГО УСТРОЙСТВА | 35 |
| 2.1 | Пирозлектрический датчик ИК – излучений | 35 |
| 2.2 | Структурная схема пиросенсорного датчика движения | 43 |
| 2.3 | Расчет входного дифференциального усилителя | 46 |
| 2.4 | Расчет ключевой схемы | 51 |
| 2.5 | Расчет согласующего каскада | 52 |
| 2.6 | Расчет схемы компаратора | 57 |
| 2.7 | расчет схемы фильтра | 59 |
| 2.8 | Топологическая модель фильтра | 64 |
| 2.9 | Расчет элементов схемы фильтра | 65 |
| 2.10 | Моделирование схемы фильтра нижних частот | 67 |
| 2.11 | Методика настройки и регулировки фильтра | 69 |
| 3 | ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ПАССИВНОГО ДАТЧИКА ДВИЖЕНИЯ | 70 |
| 3.1 | Экспериментальное определение температуры срабатывания ИК | 70 |

| | | |
|-----|--|----|
| | датчика движения | |
| 3.2 | Экспериментальное снятие диаграммы направленности ИК пассивного датчика движения в горизонтальной плоскости | 72 |
| 3.3 | Экспериментальное снятие диаграммы направленности ИК датчика движения в вертикальной плоскости | 75 |
| | ВЫВОДЫ | 77 |
| | ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК | 79 |
| | Приложение А. Комплект графических документов | 81 |
| | Приложение Б. Тезисы доклада на XXV конференцию «Электроника и молодежь в XXI веке»: «ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЗАЩИЩЕННОГО ОТ ЛОЖНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ ИНФРАКРАСНОГО ПАССИВНОГО ДАТЧИКА ОХРАНЫ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ» | 89 |
| | Ведомость аттестационной работы | 92 |

ВВЕДЕНИЕ

Оптические средства обнаружения (СО) получили широкое распространение и являются одними из основных средств сигнализации для защиты объемов помещений, проходов, коридоров, периметров. Десятки фирм многих стран мира производят сотни модификаций этих приборов, общий выпуск которых по оценкам западных экспертов ежегодно превышает миллион экземпляров [5].

Пассивные инфракрасные СО (ИКСО) являются в последнее время одним из наиболее распространенных видов СО, используемых при охране помещений. Это обусловлено тем, что современные пассивные ИКСО обладают высокими показателями обнаружения и помехоустойчивости, широким разнообразием конфигураций зон обнаружения (объемные, линейные, поверхностные), удобны в эксплуатации, экономичны, экологически безопасны и не создают помех другим средствам электронной техники. ИКСО дешевле других средств, предназначенных для блокирования помещений (микроволновых, ультразвуковых и т.д.).

Принцип действия ИКСО основан на регистрации собственного теплового излучения нарушителя (пассивные ИКСО).

Активные ИКСО чаще применяются для охраны протяженных рубежей и периметров; для охраны помещений и отдельных предметов предпочтение отдается пассивным ИКСО. Именно поэтому при создании комбинированных СО, в котором один из каналов обнаружителя – радиолучевой, второй канал, как правило инфракрасный датчик движения. Разработке ИКСО канала и посвящена данная работа.

1 ОБЗОР АНАЛОГИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1 Характеристики современных пассивных ИКСО

Современные пассивные ИКСО характеризуются большим разнообразием возможных форм диаграмм направленности. Зона чувствительности ИКСО представляет собой набор лучей различной конфигурации, расходящихся от СО по радиальным направлениям в одной или нескольких плоскостях. В связи с тем, что в ИКСО используются вдвоенные пироприемники, каждый луч в горизонтальной плоскости расщепляется на два. Пироприемник ИК-излучений – это прибор, измеряющий тепловое излучение. Однако для повышения вероятности правильного определения факта нарушения охраняемой зоны с помощью ИКСО измеряются дифференциальные величины – разности показателей пироприемников, применяемых в ИКСО.

На рис.1.1 представлены графические модели различных вариантов зон чувствительности ИКСО:

- одного или нескольких узких лучей, сосредоточенных в малом угле;
- нескольких узких лучей в вертикальной плоскости (лучевой барьер);
- одного широкого в вертикальной плоскости луча (сплошной занавес) или в виде многовеерного занавеса;
- нескольких узких лучей в горизонтальной или наклонной плоскости (поверхностная одноярусная зона);
- нескольких узких лучей в нескольких наклонных плоскостях (объемная многоярусная зона).

При этом можно изменять протяженность зоны чувствительности от 1 до 50 м, угол обзора – от 3 до 180° (для потолочных ИКСО – до 360°), угол наклона каждого луча – от 0 до 90°, число лучей может составлять от одного

до нескольких десятков. Многообразие и сложная конфигурация форм зоны чувствительности обусловлены в первую очередь следующими факторами:

-стремлением разработчиков обеспечить универсальность при оборудовании различных по конфигурации помещений – небольшие комнаты, длинные коридоры, формирование зоны чувствительности специальной формы, например, с зоной нечувствительности (аллеей) для домашних животных вблизи пола, и т.п.;

- необходимостью обеспечения равномерной по охраняемому объему чувствительности.

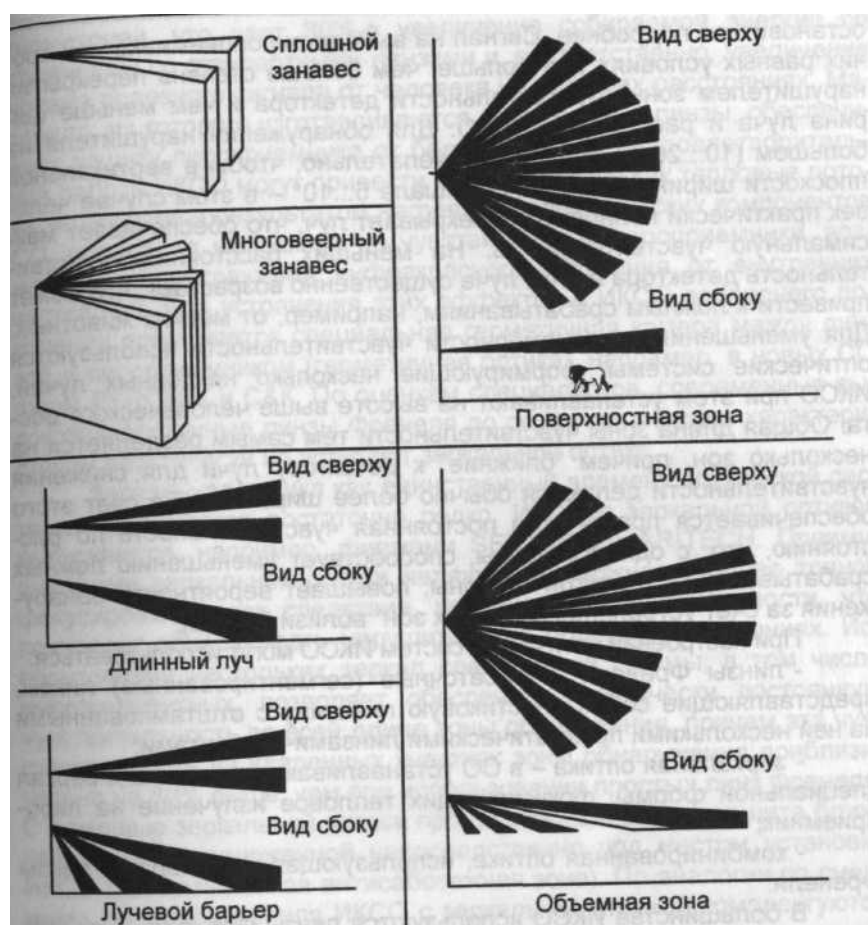


Рисунок 1.1 – Варианты зон чувствительности ИКСО

На требовании равномерной чувствительности целесообразно остановиться подробнее. Сигнал на выходе пироприемника при прочих равных условиях тем больше, чем больше степень перекрытия нарушителем зоны чувствительности детектора и чем меньше ширина луча и расстояние до

СО. Для обнаружения нарушителя на большом (10...20 м) расстоянии желательно, чтобы в вертикальной плоскости ширина луча не превышала $5...10^\circ$ - в этом случае человек практически полностью перекрывает луч, что обеспечивает максимальную чувствительность. На меньших расстояниях чувствительность детектора в этом луче существенно возрастает, что может привести к ложным срабатываниям, например, от мелких животных. Для уменьшения неравномерности чувствительности используются оптические системы, формирующие несколько наклонных лучей. ИКСО при этом устанавливаются на высоте выше человеческого роста. Общая длина зоны чувствительности тем самым разделяется на несколько зон, причем «ближние» к детектору лучи для снижения чувствительности делаются обычно более широкими. За счет этого обеспечивается практически постоянная чувствительность по расстоянию, что, с одной стороны, способствует уменьшению ложных срабатываний, а с другой стороны, повышает вероятность обнаружения за счет устранения «мертвых зон» вблизи СО [2].

При построении оптических систем ИКСО могут использоваться:

- линзы Френеля – фасеточные (сегментированные) линзы, представляющие собой пластиковую пластину с отштампованными на ней несколькими призматическими линзами-сегментами;
- зеркальная оптика – в СО устанавливаются несколько зеркал специальной формы, фокусирующих тепловое излучение на пироприемник;
- комбинированная оптика, использующая и зеркала, и линзы Френеля.

В большинстве ИКСО используются линзы Френеля. К их достоинствам относятся:

- простота конструкции СО на их основе;
- низкая стоимость;
- возможность использования одного СО в различных приложениях при использовании сменных линз.

Обычно каждый сегмент линзы Френеля формирует свой луч диаграммы направленности. Использование современных технологий изготовления линз позволяет обеспечить практически постоянную чувствительность СО по всем лучам за счет подбора и оптимизации параметров каждой линзы-сегмента: площади сегмента, угла наклона и расстояния до пироприемника, прозрачности, отражающей способности, степени дефокусировки. В последнее время освоена технология изготовления линз Френеля со сложной точной

геометрией, что дает 30%-е увеличение собираемой энергии по сравнению со стандартными линзами и, соответственно, увеличение уровня полезного сигнала от человека на больших расстояниях. Материал, из которого изготавливаются современные линзы, обеспечивает защиту пироприемника от белого света. К неудовлетворительной работе ИКСО могут привести такие эффекты как тепловые потоки, являющиеся результатом нагревания электрических компонентов СО, попадания насекомых на чувствительные пироприемники, возможные переотражения инфракрасного излучения от внутренних частей СО. Для устранения этих эффектов в ИКСО последнего поколения применяется специальная герметичная камера между линзой и пироприемником (герметичная оптика), например, в новых СО фирм PYRONIX и C&K. По оценкам специалистов, современные высокотехнологичные линзы Френеля по своим оптическим характеристикам практически не уступают зеркальной оптике.

Зеркальная оптика как единственный элемент оптической системы применяется достаточно редко. ИКСО с зеркальной оптикой выпускаются, например, фирмами SENTROL и ARITECH. Преимуществами зеркальной оптики являются возможность более точной фокусировки и, как следствие, увеличение чувствительности, что позволяет обнаруживать нарушителя на больших расстояниях. Использование нескольких зеркал специальной формы, в том числе многосегментных, позволяет обеспечить практически

постоянную чувствительность по всей длине зоны обнаружения, причем эта чувствительность на удаленных участках зоны обнаружения приблизительно на 60% выше, чем при использовании простых линз Френеля. С помощью зеркальной оптики проще обеспечивается защита ближней зоны, расположенной непосредственно под местом установки ИКСО (так называемая антисаботажная зона). По аналогии со сменными линзами Френеля ИКСО с зеркальной оптикой комплектуются сменными отстегивающимися зеркальными масками, применение которых позволяет выбирать требуемую форму зоны чувствительности и дает возможность адаптировать СО к различным конфигурациям защищаемого помещения.

В современных высококачественных ИКСО используется комбинация линз Френеля и зеркальной оптики. При этом линзы Френеля используются для формирования зоны чувствительности на средних расстояниях, а зеркальная оптика – для формирования антисаботажной зоны под датчиком и для обеспечения очень большого расстояния обнаружения.

1.2 Принцип действия пассивных ИКСО

Принцип действия пассивных ИКСО основан на регистрации сигналов, порождаемых тепловым потоком, излучаемым объектом обнаружения. Полезный сигнал на выходе безынерционного одноплощадочного приемника излучения определяется выражением:

$$S(t) = S_u \Delta\Phi(t), \quad (1.1)$$

где S_u - вольтовая чувствительность приемника излучения, $\Delta\Phi(t)$ - изменение величины теплового потока, падающего на входное окно оптической системы и вызванное движением объекта в зоне обнаружения.

Максимальное значение $\Delta\Phi(t)$ соответствует случаю, когда объект полностью попадает в поле зрения ИКСО. Обозначим это значение как $\Delta\Phi$.

Считая, что потери в оптической системе настолько малы, что ими можно пренебречь, выразим $\Delta\Phi$ через параметры объекта и фона (под фоном понимается поверхность стен, пола, потолка и других предметов, расположенных в зоне обнаружения ИКСО). Пусть в пределах фона, поверхность которого обладает абсолютной температурой T_ϕ и излучательной способностью E_ϕ , появляется объект, абсолютная температура которого $T_{об}$, а излучательная способность $E_{об}$ (рис.1.2.). Площадь проекции объекта на плоскость, перпендикулярную направлению наблюдения, обозначим $S_{об}$, а площадь проекции фона в поле зрения - S_ϕ . Тогда (без учета поглощения в атмосфере) величина теплового потока, падающего на входное окно оптической системы до появления объекта, определяется выражением:

$$\Phi_\phi = L_\phi \frac{S_\phi S_{ex}}{l_\phi^2}$$

где l_ϕ - расстояние от входного окна до фоновой поверхности; L_ϕ - яркость фона; S_{ex} - площадь входного окна оптической системы.

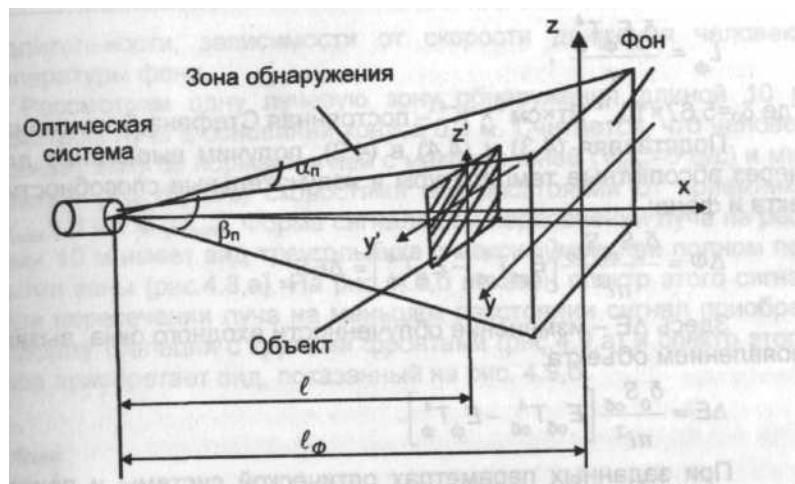


Рисунок 1.2 – К пояснению принципа действия пассивных ИКСО

Величина теплового потока, создаваемого объектом, определяется аналогичным образом:

$$\Phi_{об} = L_{об} \frac{S_{об} S_{ex}}{l^2},$$

где l - расстояние от ИКСО до объекта; $L_{об}$ - яркость объекта.

При наличии объекта тепловой поток, падающий на входное окно создается объектом и той частью фоновой поверхности, которая не экранируется объектом, откуда суммарный тепловой поток

$$\Phi_{\Sigma} = L_{об} \frac{S_{об} S_{ex}}{l^2} + L_{\phi} \frac{S_{ex}}{l_{\phi}^2} \left(S_{\phi} - \frac{S_{об}}{l^2} l_{\phi}^2 \right)$$

Тогда изменение теплового потока $\Delta\Phi$ записывается в виде:

$$\Delta\Phi = \frac{S_{ex} S_{об}}{l^2} (L_{об} - L_{\phi}). \quad (1.2)$$

Считая, что для объекта и фона справедлив закон Ламберта [106], выразим яркости $L_{об}$ и L_{ϕ} через излучательные способности и абсолютные температуры:

$$L_{об} = \frac{\delta_0 E_{об} T_{об}^4}{\pi}, \quad (1.3)$$

$$L_{\phi} = \frac{\delta_{\phi} E_{\phi} T_{\phi}^4}{\pi}, \quad (1.4)$$

где $\delta_0 = 5,67 \times 10^{-12} \text{ Вт} \times \text{см}^{-2} \times \text{К}^4$ - постоянная Стефана-Больцмана.

Подставляя (1.3) и (1.4) в (1.2), получим выражение для $\Delta\Phi$ через абсолютные температуры и излучательные способности объекта и фона:

$$\Delta\Phi = \frac{\delta_0 S_{ex} S_{об}}{\pi l^2} [E_{об} T_{об}^4 - E_{\phi} T_{\phi}^4] = \Delta E S_{ex}.$$

Здесь ΔE - изменение облученности входного окна, вызванное появлением объекта:

$$\Delta E = \frac{\delta_0 S_{об}}{\pi l^2} [E_{об} T_{об}^4 - E_{\phi} T_{\phi}^4] \quad (1.5)$$

При заданных параметрах оптической системы и приемника излучения значение сигнала в соответствии с (1.1) полностью определяется изменением облученности ΔE .

Излучательная способность кожи человека очень высока, в среднем она составляет 0,99 относительно абсолютно черного тела (для которого излучательная способность равна 1) на длинах волн больше 4 мкм [3]. В ИК области спектра оптические свойства кожного покрова близки к характеристикам черного тела. Температура кожи зависит от теплообмена между кожей и окружающей средой. Измерения, проведенные с помощью тепловизора «Ага-750», показали, что при температуре воздуха +25°C температура по поверхности ладони человека изменяется в пределах +32...+34°C, а при температуре воздуха +19°C – в пределах +28...+30°C. Наличие одежды уменьшает яркость объекта, так как температура одежды ниже, чем температура обнаженной кожи. При температуре окружающей среды +25°C измеренная средняя температура поверхности тела одетого в костюм человека составила +26°C. Излучательная способность одежды также может быть иной, чем у обнаженной кожи.

Другие параметры, входящие в выражение (1.5), могут принимать различные значения в зависимости от конкретной обстановки и/или оперативной задачи.

Рассмотрим подробнее процесс сигналообразования и основные виды помех, влияющих на ложное срабатывание пассивных ИКСО.

Сигналообразование. Для лучшего понимания методов и алгоритмов повышения помехоустойчивости ИКСО необходимо иметь представление об

основных параметрах сигнала – форме, амплитуде, длительности, зависимости от скорости движения человека и температуры фона.

Рассмотрим одну лучевую зону обнаружения длиной 10 м с диаметром луча в основании конуса 0,3 м. Считается, что человек пересекает зону по нормали к ней с максимальной ($V_{max}=5$ м/с) и минимальной ($V_{min}=0,1$ м/с) скоростями при расстоянии от приемника 10 (D_{max}), 5 и 1 м (D_{min}). Форма сигнала при пересечении луча на расстоянии 10 м имеет вид треугольника с максимумом при полном перекрытии зоны (рис.1.3,а). На рис. 1.3,б показан спектр этого сигнала. При пересечении луча на меньшем расстоянии сигнал приобретает форму трапеции с крутыми фронтами (рис.1.4.а) и спектр этого сигнала приобретает вид, показанный на рис. 1.4,б.

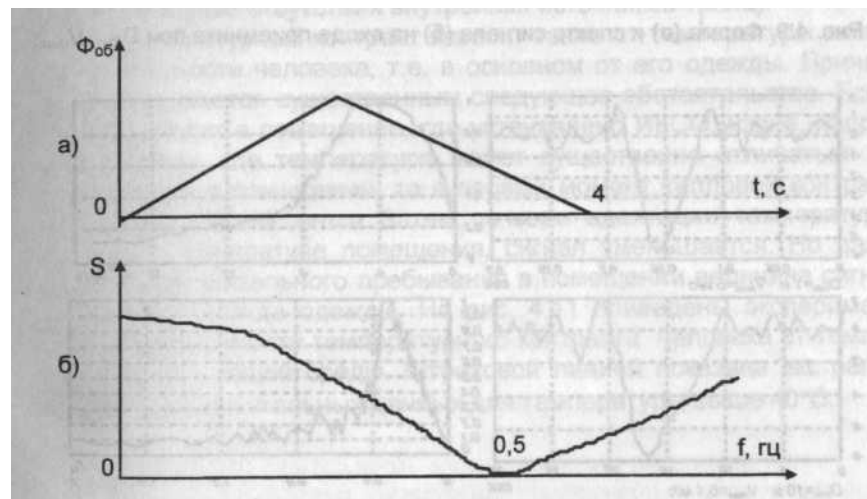


Рисунок 1.3 – Форма (а) и спектр сигнала (б) на входе приемника

Очевидно, что длительность сигнала обратно пропорциональна скорости движения и расстоянию до приемника.

Реальный сигнал отличается от идеальной картины за счет искажений, вносимых трактом усиления и наложением хаотических шумов, создаваемых температурными флуктуациями фона. Записи реальных сигналов, полученные с использованием отечественного пироприемника ПМ2Д, приведены на рис. 1.4. Здесь же представлены его спектральные

характеристики, полученные пропусканьем реально записанных сигналов через спектроанализатор фирмы «BRYEL & KJ/ER».

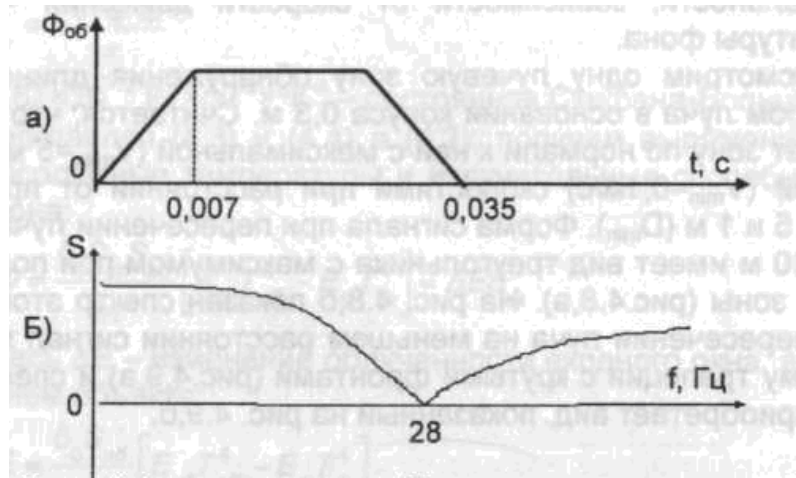


Рисунок 1.4 – Форма (а) и спектр сигнала (б) на входе приемника

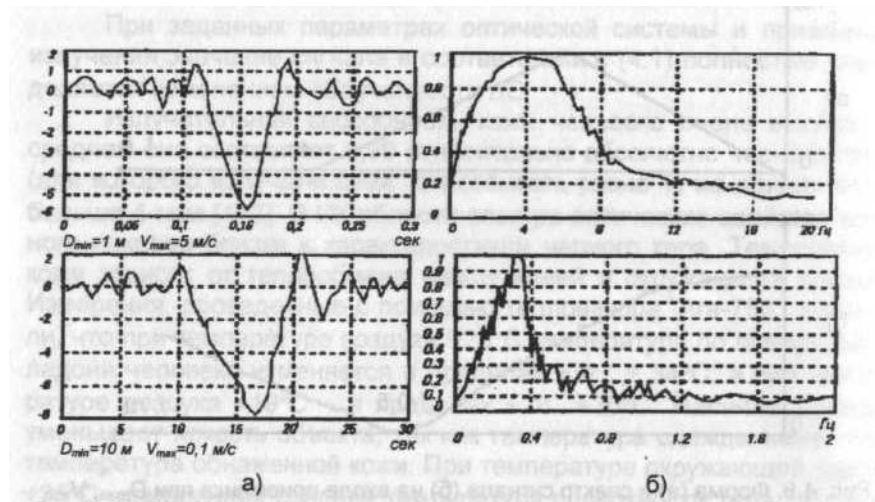


Рисунок 1.5 – Отображение реальных сигналов, полученное с использованием пироприемника ПМД2 (а) и спектроанализатора (б) фирмы BRYEL & KJ/ER

Анализ записей позволяет определить спектральное «окно» (диапазон по спектру), необходимое для пропускания сигналов, образующихся при пересечении зоны в любом месте во всем диапазоне скоростей от 0,1 до 15 Гц. При этом на краях диапазона возможно ослабление сигнала, так как пироприемник имеет амплитудно-частотную характеристику со спадом в области 5... 10 Гц. Для его компенсации необходимо введение в тракт

обработки сигнала специального корректирующего усилителя, обеспечивающего подъем АЧХ в области 5...20 Гц [13].

Температурный контраст. Амплитуда сигнала, как уже говорилось, определяется температурным контрастом между телом (или одеждой) человека и фоном, на который направлен луч. Так как температура фона меняется вслед за изменением температуры в помещении, то и сигнал, пропорциональный их разности, также меняется.

В точке, где температура человека и фона совпадают, значение выходного сигнала равно нулю. В области более высоких температур сигнал меняет знак.

Температура фона в помещении (стен, пола, мебели) отражает состояние воздуха вне помещения с некоторым запаздыванием, обусловленным тепловой инерцией конструктивных материалов здания (в случае отсутствия внутренних источников тепла).

Температурный контраст зависит также от температуры внешней поверхности человека, т.е. в основном от его одежды. Причем здесь оказывается существенным следующее обстоятельство. Если человек входит в помещение, где установлено ИКСО, извне, например с улицы, где температура может существенно отличаться от температуры в помещении, то в первый момент тепловой контраст может быть значительным. Затем, по мере «адаптации» температуры одежды к температуре помещения, сигнал уменьшается. Но даже после продолжительного пребывания в помещении величина сигнала зависит от вида одежды. На рис. 1.5 приведены экспериментальные зависимости температурного контраста человека от температуры окружающей среды. Штриховой линией показана экстраполяция экспериментальных данных для температуры выше 40°C.

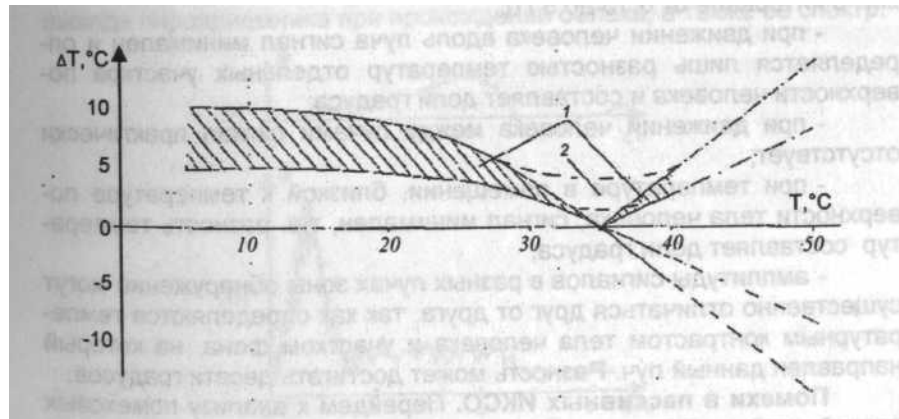


Рисунок 1.6 – Зависимость температурного контраста человека от температуры окружающей среды

Заштрихованная область 1 — это диапазон контрастов в зависимости от формы одежды, типа фона, размеров человека и скорости его движения.

Важно отметить, что переход величины температурного контраста через ноль происходил только в том случае, если в области температур 30...39,5°C измерения проводились после адаптации человека в нагретом помещении в течении 15 мин. В случае же вторжения в зону чувствительности СО человека находившегося до этого в помещении с температурой ниже 30°C или на открытом воздухе с температурой 44°C, уровни сигналов в диапазоне температур 30...39,5°C лежат в области 2 и не достигают нулевого значения.

Распределение температуры по поверхности человека не равномерно. Наиболее близка она к 36°C на открытых частях тела –лице и руках, а температура поверхности одежды ближе к фону помещения. Поэтому сигнал на входе пироприемника зависит от того, какой частью тела перекрывается лучевая зона чувствительности.

Рассмотрение процесса сигналообразования позволяет сделать следующие выводы:

- амплитуда сигнала определяется температурным контрастом поверхности человека и фона, который может составлять от долей градуса до десятков градусов;

- форма сигнала имеет треугольный или трапецеидальный вид, длительность сигнала определяется местом пересечения лучевой зоны и при движении по нормали к лучу может составлять от 0,05 до 10 с. При движении под углом к нормали длительность сигнала увеличивается. Максимум спектральной плотности сигнала лежит в интервале от 0,15 до 5 Гц;

- при движении человека вдоль луча сигнал минимален и определяется лишь разностью температур отдельных участков поверхности человека и составляет доли градуса;

- при движении человека между лучами сигнал практически отсутствует;

- при температуре в помещении, близкой к температуре поверхности тела человека, сигнал минимален, т.е. разность температур составляет доли градуса;

- амплитуды сигналов в разных лучах зоны обнаружения могут существенно отличаться друг от друга, так как определяются температурным контрастом тела человека и участком фона, на который направлен данный луч. Разность может достигать десяти градусов.

1.3 Помехи в пассивных ИКСО

Перейдем к анализу помеховых воздействий, вызывающих ложное срабатывание пассивных ИКСО. Под помехой будем понимать любое воздействие внешней среды или внутренние шумы приемного устройства, не связанные с движением человека в зоне чувствительности СО.

Существует следующая классификация помех:

- тепловые, обусловленные нагреванием фона при воздействии на него солнечного излучения, конвекционных потоков воздуха от работы радиаторов, кондиционеров, сквозняков;

- электрические, вызываемые наводками от источников электро и радиоизлучений на отдельные элементы электронной части СО;
- собственные, обусловленные шумами пироприемника и тракта усиления сигнала;
- посторонние, связанные с перемещением в зоне чувствительности СО мелких животных (собаки, кошки, птицы) или насекомых по поверхности входного оптического окна СО.

Наиболее значительной и "опасной" помехой является тепловая, вызываемая изменением температуры участков фона, на который направлены лучевые зоны чувствительности. Воздействие солнечного излучения приводит к локальному повышению температуры отдельных участков стены или пола помещения. При этом постепенное изменение температуры не проходит через схемы фильтрации прибора, однако, сравнительно резкие и "неожиданные" ее колебания, связанные, например, с затенением солнца проходящими облаками или проездом транспорта, вызывают помеху, аналогичную сигналу от прохождения человека. Амплитуда помехи зависит от инерционности фона, на который направлен луч. Например, время изменения температуры голой бетонной стены намного больше, чем деревянной или оклеенной обоями.

На рис.1.6 приведена запись типичной солнечной помехи на выходе пироприемника при прохождении облака, а также ее спектр.

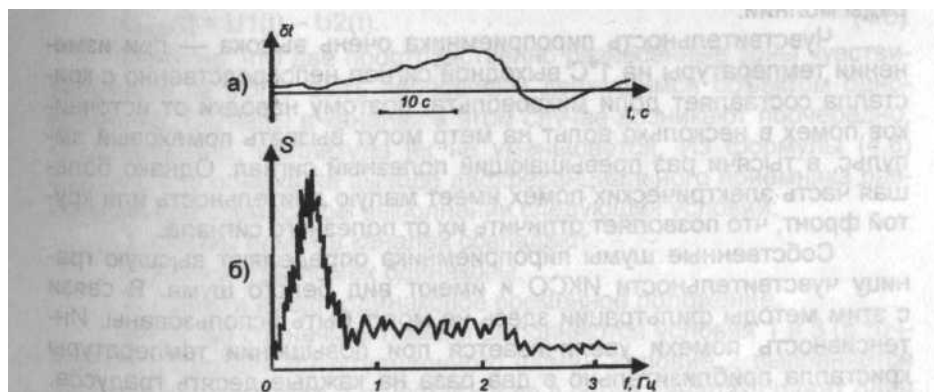


Рисунок 1.7 – Форма (а) и спектр (б) солнечной помехи на выходе пироприемника при прохождении облака

При этом изменение температуры при солнечных помехах достигает $1,0...1,5^{\circ}\text{C}$, особенно в тех случаях, когда луч направлен на малоинерционный фон, например на деревянную стену или штору из ткани. Длительность таких помех зависит от скорости затенения и может попасть в диапазон скоростей, характерных для движения человека. Необходимо отметить одно существенное обстоятельство, которое позволяет бороться с такими помехами. Если два луча направлены на соседние участки фона (при расстоянии между ними $0,5... 1,0$ м), то вид и амплитуда помехового сигнала от воздействия солнца практически одинаковы в каждом луче, т.е. налицо сильная корреляция помех. Это позволяет соответствующим построением схемы подавить их за счет вычитания сигналов,

Конвективные помехи обусловлены воздействием перемещающихся потоков воздуха, например сквозняков при открытой форточке, щелей в окне, а также бытовых отопительных приборов -радиаторов и кондиционеров. Потоки воздуха вызывают хаотическое флуктуационное изменение температуры фона, амплитуда и частотный диапазон которого зависят от скорости потока воздуха и характеристик фоновой поверхности.

В отличие от солнечной засветки конвективные помехи от различных участков фона, воздействующие даже на расстоянии $0,2...0,3$ м, слабо коррелированы между собой и их вычитание не дает эффекта.

Электрические помехи возникают при включении любых источников электро и радиоизлучения, измерительной и бытовой аппаратуры, освещения, электродвигателей, радиопередающих устройств, а также при колебаниях тока в кабельной сети и линиях электропередач. Значительный уровень помех создают также разряды молний.

Чувствительность пироприемника очень высока — при изменении температуры на 1°C выходной сигнал непосредственно с кристалла составляет доли микровольта, поэтому наводки от источников помех в несколько вольт на метр могут вызвать помеховый импульс, в тысячи раз

превышающий полезный сигнал. Однако большая часть электрических помех имеет малую длительность или крутой фронт, что позволяет отличить их от полезного сигнала.

Собственные шумы пироприемника определяют высшую границу чувствительности ИКСО и имеют вид белого шума. В связи с этим методы фильтрации здесь не могут быть использованы. Интенсивность помехи увеличивается при повышении температуры кристалла приблизительно в два раза на каждые десять градусов. Современные пироприемники имеют уровень собственных шумов, соответствующих изменению температуры на $0,05...0,15^{\circ}\text{C}$ [12].

Далее рассмотрим несколько классических методов повышения помехоустойчивости пассивных ИКСО.

1.4 Методы повышения помехоустойчивости пассивных ИКСО

Дифференциальный метод приема ИК-излучения получил довольно широкое распространение. Сущность этого метода заключается в следующем: с помощью двухплощадочного приемника формируются две пространственно разнесенные зоны чувствительности. Сигналы, формирующиеся в обоих каналах, взаимно вычитаются:

$$U_{\text{вых}}(t) = U1(t) - U2(t) \quad (1.6)$$

Понятно, что две пространственно разнесенные зоны чувствительности не могут быть пересечены движущимся объектом одновременно. Сигналы в каналах в этом случае возникают поочередно, следовательно, амплитуда их не уменьшается. Из формулы (1.6) следует, что помеха на выходе дифференциального приемника равна нулю при совместном выполнении следующих условий:

1. Формы помех в каналах совпадают.
2. Амплитуды помех одинаковы.

3. Помехи имеют одинаковое временное положение.

В случае солнечной помехи выполняются условия 1 и 3 (с точностью до уровня флуктуационного шума). Условие 2 выполняется только в случае, когда в качестве фона в обоих каналах служит один и тот же материал или углы падения солнечной энергии на фон одинаковы в обоих каналах или в обоих каналах поток солнечного и излучения попадает на всю площадь фона, ограничивающего зоны чувствительности. На рис. 1.8 показана зависимость амплитуды помехи на выходе дифференциального каскада от амплитуды помехи на его входе.

Параметром является отношение амплитуд помеховых воздействий в каналах. В этом случае имеется в виду, что условия 1 и 3 выполняются.

Из рис. 1.8 видно, что при достаточно хорошем совпадении амплитуд помеховых воздействий в каналах $\left(\frac{U_{вх1}}{U_{вх2}} = 1,2 \dots 1,1 \right)$ достигается 5...10

кратное подавление этих помех. При значениях $\frac{U_{вх1}}{U_{вх2}} > 1,2$ подавление

помехи уменьшается и характеристика $U_{вых} = f(U_{вх})$ стремится к аналогичной характеристике одиночного приёмника.

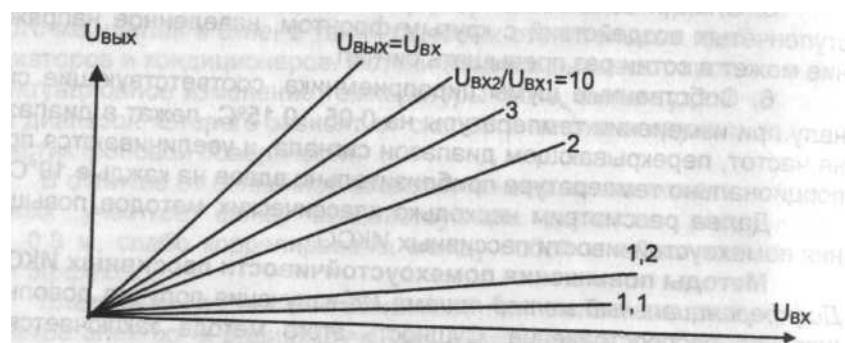


Рисунок 1.8 – Зависимость амплитуды помехи на выходе дифференциального каскада от амплитуды помехи на его входе

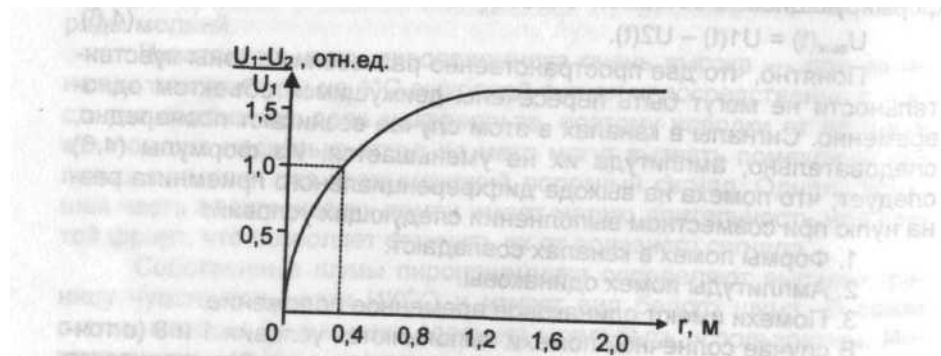


Рисунок 1.9 – Зависимость коэффициента подавления конвективной помехи от расстояния между участками фона

При воздействии конвективной помехи степень ее подавления дифференциальным приемником определяется степенью корреляции ее в пространственно-разнесенных точках фоновой поверхности. Оценка степени пространственной корреляции конвективной помехи может быть проведена путём измерения ее интенсивности при дифференциальном и обычном методах приема. Результаты некоторых измерений показаны на рис. 1.9.

Оптимальная частотная фильтрация. Эффективное подавление помех этим методом возможно при существенном различии в частотных спектрах сигналов и помех. Из приведенных выше данных следует, что такого различия в нашем случае нет. Поэтому использование этого метода для полного подавления помех не представляется возможным.

Основным видом шума, определяющим чувствительность ИКСО, является собственный шум приемника. Поэтому оптимизация полосы пропускания усилителя в зависимости от спектра сигнала и характера шума приемника позволяет реализовать предельные возможности приемной системы.

Оптическая спектральная фильтрация. Сущность метода оптической спектральной фильтрации такая же, как и в случае оптимальной частотной фильтрации. При спектральной фильтрации помеха подавляется за счет различий в оптических спектрах сигналов и помех. Эти различия практически отсутствуют (без учета тонкой структуры спектров) для

конвективной помехи и для составляющей солнечной помехи, возникающей за счет изменения температуры фона под действием солнечного излучения, однако спектр отраженной от фона составляющей солнечной помехи в значительной мере отличается от спектра сигнала. Спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела определяется формулой Планка:

$$M(\lambda, T) = 2nc^2 h \lambda^{-5} \left(e^{ch/k\lambda T} - 1 \right)^{-1},$$

где λ - длина волн; k - постоянная Больцмана; T - температура тела; h - постоянная Планка; c - скорость света.

Графическое изображение функции, пронормированной по $M(\lambda, T)$ для контрастного излучения объекта и солнечного излучения представлено на рис. 1.8.

Согласно классической теории линейной оптимальной фильтрации для обеспечения максимального отношения сигнал/помеха (имеется ввиду "солнечная помеха") спектральная полоса пропускания оптического фильтра должна быть согласована со спектром контрастного излучения объекта и иметь вид, показанный на рис. 1.8.

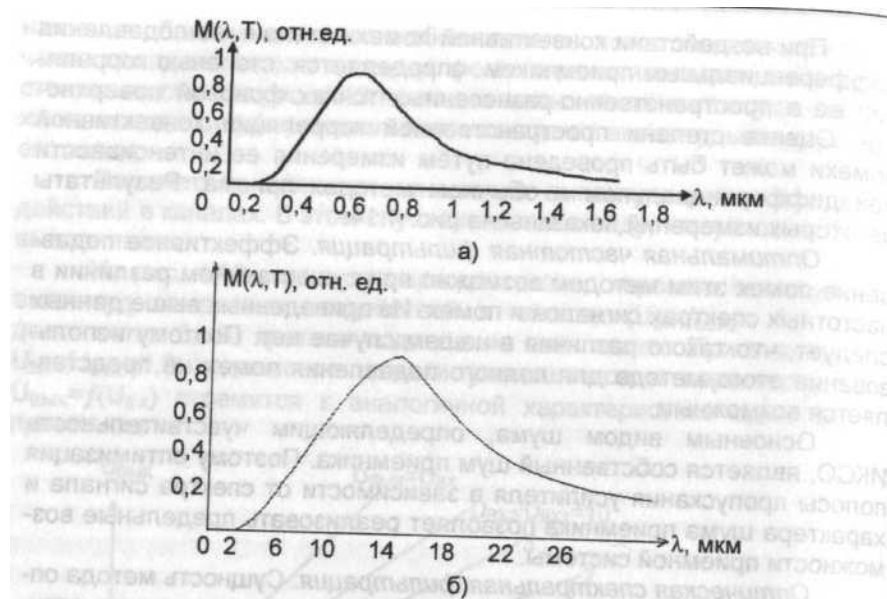


Рисунок 1.10 – Спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела в зависимости от длины волны:
 а – для $T=6000$ К (Солнце); б – для $T=300$ К (объект)

Наиболее полно этому условию из серийно выпускаемых материалов удовлетворяет бескислородное стекло ИКС-33.

Степень подавления солнечной помехи указанными фильтрами для различных фонов показана в табл. 1.1. Из таблицы видно, что наибольшее подавление солнечной помехи достигается фильтром ИКС-33. Черная полиэтиленовая пленка несколько уступает ИКС-33.

Таким образом, даже при использовании фильтра ИКС-33 солнечная помеха подавляется всего в 3,3 раза, что не может привести к радикальному улучшению помехоустойчивости пассивного оптического средства обнаружения.

Оптимальная пространственно-частотная фильтрация. Известно, что характеристики обнаружения в условиях оптимальной линейной фильтрации однозначно связаны с величиной отношения сигнал/помеха. Для их оценки и сравнения удобно пользоваться величиной

$$\mu = \frac{U^2}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|S(\omega)|^2}{G(\omega)} d\omega, \quad (1.7)$$

где U - амплитуда сигнала; $S(\omega)$ - спектральная плотность мощности сигнала; $G(\omega)$ - спектральная плотность мощности помехи.

Таблица 1.1. Степень подавления солнечной помехи различными фильтрами для различных фонов

| Материал фильтра | | Фон | | |
|------------------|-------------------------|--------|-------------------|-----------------------------|
| Линолиум | Ткань красного цвета | Дерево | Бетонная стена | Средний коэф- фициент |

| | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------------|
| | | | | | подавления |
| Полиэтилен черный | 0,4 | 0,68 | 0,4 | 0,34 | 0,45 |
| Оптическая керамика КО- 41 | 0,96 | 1,0 | 0,98 | 0,98 | 0,98 |
| Инфракрасное стекло ИКС-27 | 0,5 | 0,43 | 0,57 | 0,67 | 0,54 |
| Инфракрасное стекло ИКС-33 | 0,38 | 0,27 | 0,4 | 0,18 | 0,3 |

По физическому смыслу величина μ представляет собой отношение энергии сигнала к спектральной плотности мощности помехи. Очевидно, что при изменении телесного угла элементарной зоны чувствительности меняется интенсивность помехи, излучаемой фоном и попадающей в приемный канал. В то же время амплитуда сигнала зависит от геометрической формы (конфигурации) элементарной зоны чувствительности. Выясним, при какой конфигурации элементарной зоны чувствительности величина μ достигает максимального значения, для чего рассмотрим простейшую модель обнаружения (см. рис. 1.7). Пусть зона чувствительности ИКСО неподвижна относительно фона, а обнаруживаемый объект движется с угловой скоростью $V_{об}$ относительно точки наблюдения. Зона чувствительности и объект в нормальной к оптической оси плоскости прямоугольны, а угловые размеры объекта $\alpha_{об}, \beta_{об}$ и поля зрения α_n, β_n настолько малы, что с достаточной степенью точности можно считать

$$Y_{об} = \alpha_{об} \beta_{об}$$

$$Y_n = \alpha_n \beta_n$$

где $Y_{об}$ - телесный угол, под которым виден объект; Y_n - телесный угол зоны чувствительности; $\alpha_{об}, \beta_{об}$ - угловой размер объекта соответственно в

горизонтальной и вертикальной плоскостях; α_n, β_n -угловой размер зоны чувствительности соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях;

Энергетическая яркость объекта $B_{об}$ одинакова по всей его поверхности, а спектральная плотность энергетической яркости фонового шума $B_{\phi}(\omega)$ одинакова по всей поверхности фона. Сигнал и фоновая помеха аддитивны. Движение объекта происходит равномерно в плоскости угла α_n . Приемник энергии безынерционный, квадратичный (по мощности). Сигнал с приемника подается на перестраиваемый оптимальный фильтр. Тогда спектральная плотность мощности фоновой помехи на выходе приемника будет определяться выражением:

$$G(\omega) = B_{\phi}(\omega) K_{онт} K_T \alpha_{\Pi} \beta_{\Pi} K^2, \quad (1.8)$$

где $K_{онт}$ - коэффициент передачи оптической системы; K_T - коэффициент передачи трассы распространения сигнала; K_{Π} - чувствительность приемника.

При пересечении поля зрения объектом на выходе приемника формируется сигнальный импульс, форма которого и спектр, в случае когда $\alpha_{об} \leq \alpha_{\Pi}$ и $\beta_{об} \leq \beta_{\Pi}$, определяются выражениями:

$$U(t) = \frac{U_{max}}{U_0} U_0(t) = B_{об} K_{онт} K_T \alpha_{об} \beta_{об} K_n U_0(t), \quad (1.9)$$

$$S(\omega) = \frac{U_{max}}{U_0} S_0(\omega) = B_{об} K_{онт} K_T \alpha_{об} \beta_{об} K_n S_0(\omega), \quad (1.10)$$

где $U_0(t)$ - сигнальный импульс единичной амплитуды; $S_0(\omega)$ - спектр сигнального импульса единичной амплитуды.

Для фона, излучающего помеху, спектральная плотность мощности которой имеет вид $B_{\phi}(\omega) = \frac{B_{\phi}}{\omega}$ величина $G(\omega)$ на выходе

безынерционного приемника в соответствии с выражением (1.8) определяется как

$$G(\omega) = \frac{B_\phi}{\omega} K_{onm} K_T \alpha_n \beta_n K^2.$$

Характер зависимости величины μ от α_n и β_n имеет вид, показанный на рис. 1.9. Из вышеизложенного следует, что для обеспечения максимального отношения сигнал/фоновая помеха форма зоны чувствительности должна быть сопряжена с формой объекта.

Для случая флуктуационной фоновой помехи максимальное значение отношения сигнал/фоновая помеха достигается при совпадении геометрической формы элементарной зоны чувствительности с формой объекта. Этот вывод применим и для случая импульсной солнечной помехи. Подтверждением тому является очевидный факт, что при увеличении телесного угла зоны чувствительности от значения, равного телесному углу, под которым виден объект, амплитуда сигнала не меняется, а амплитуда

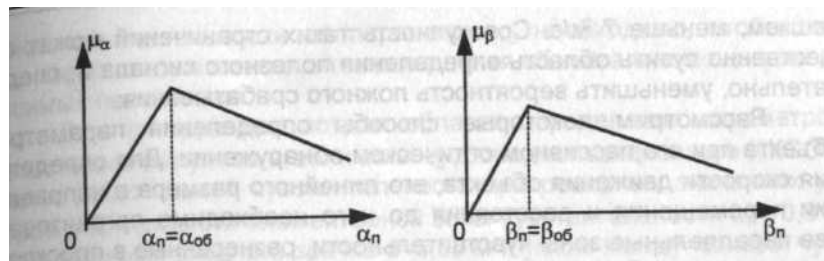


Рисунок 1.11 – Зависимость μ от углов зрения α_n и β_n

солнечной помехи растет пропорционально телесному углу зоны чувствительности. То есть метод оптимальной пространственно-частотной фильтрации позволяет повысить помехоустойчивость пассивного оптического средства обнаружения как к конвективной, так и к солнечной помехам.

Двухдиапазонный метод приема ИК излучений. Сущность этого метода заключается во введении в ИКСО второго канала, обеспечивающего прием

ИК излучений в видимом или ближнем ИК диапазонах, с целью получения дополнительной информации, отличающей сигнал от помехи. Использование такого канала в совокупности с основным (тепловым) каналом в условиях одного помещения малоэффективно, поскольку как сигнал, так и помеха при наличии освещенности формируются в обоих спектральных диапазонах (видимом и тепловом). Значительно более эффективным является использование канала видимого диапазона при его установке вне охраняемых помещений, в местах, недоступных для блокировки этого канала искусственными источниками света. В этом случае при изменении солнечной освещенности канал формирует сигнал, запрещающий возможное срабатывание ИКСО под воздействием солнечной помехи. При такой организации двухдиапазонный метод позволяет полностью ликвидировать ложные срабатывания ИКСО, возможные за счет возникновения солнечных помех. Возможность блокировки теплового канала на время действия помехи очевидна.

2 РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ИК – ПАССИВНОГО ОХРАННОГО УСТРОЙСТВА

2.1 Пироэлектрический датчик ИК – излучений

Пироэлектрический датчик ИК - излучений размещается в металлическом корпусе ТО-5, что обеспечивает хорошее экранирование и защиту от окружающей среды. Окошко, пропускающее излучение, обычно изготавливается из кремния. Внутреннее пространство корпуса часто заполняется сухим воздухом или азотом. Обычно используют два чувствительных элемента, соединенных последовательно или параллельно навстречу друг другу, для лучшей компенсации быстрых изменений тепловых потоков и механических нагрузок, возникающих из-за акустических шумов и вибраций. Иногда один из элементов покрывается красителем, а второй экранируется от излучений, а для улучшения его отражающей способности на него наносится слой золота. Иногда пироэлектрический чувствительный элемент изготавливается из нихромовых электродов, нанесенных с двух сторон пироэлектрика. Нихром обладает высокой излучающей (поглощающей) способностью, и поэтому электроды из него выполняют сразу две функции: поглощают тепловое излучение и собирают электрические заряды. При использовании таких детекторов в датчиках движения излучение воздействует через окошко на оба пироэлектрических элемента. Двойной элемент часто изготавливается на одной подложке из кристаллического материала (рис. 2Б). Металлические электроды, нанесенные с двух сторон материала, формируют два последовательно соединенных конденсатора C_1 и C_2 . На рис. 2В показана эквивалентная схема двойного пироэлектрического элемента. Такая

конструкция дает возможность хорошо отбалансировать оба элемента и, следовательно, устранить все синфазные помехи.

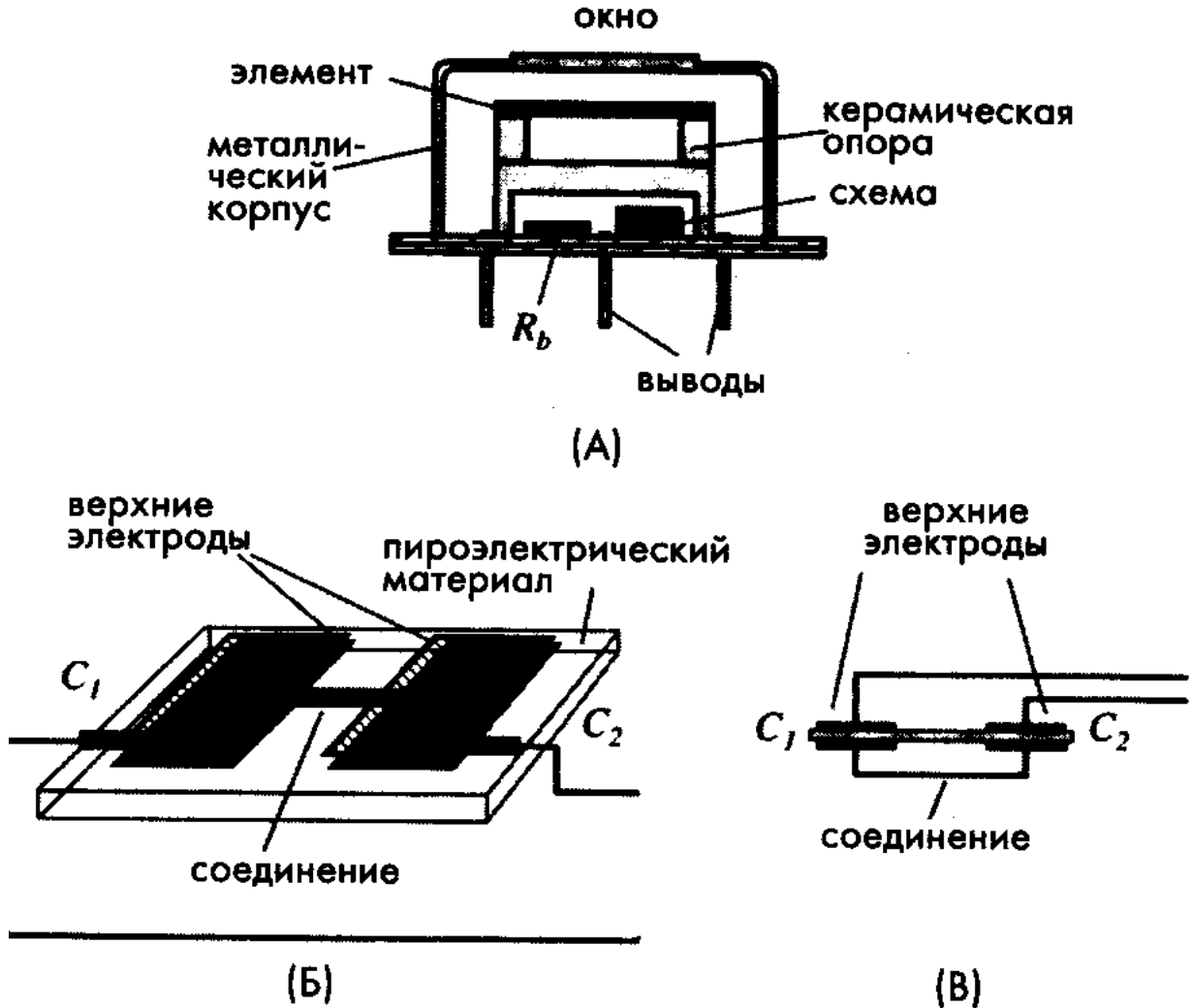


Рисунок 2.1 - Двойной пироэлектрический датчик: А- конструкция датчика в металлическом корпусе, Б — металлические электроды нанесены на противоположные стороны материала, В — эквивалентная схема двойного элемента для увеличения поглощающей способности,

Следует отметить, что чувствительные зоны расположены только в пространстве между электродами, остальная часть пироэлектрического материала, непокрытая электродами, в генерации полезного сигнала не участвует. Пироэлектрические детекторы очень чувствительны к

механическим нагрузкам и вибрациям, что очень осложняет их проектирование. В дополнение к этому все пироэлектрики также являются и пьезоэлектриками, поэтому для них характерен так называемый микрофонный шум. Для борьбы с такими помехами кристаллический элемент отделяют от внешних частей детектора, особенно важно обеспечить отсутствие механических связей между пироэлектриком и металлическим корпусом, а также между ним и выводами.

Пироэлектрический элемент, состоящий из кристалла пироэлектрика с двумя электродами, можно представить в виде конденсатора, включенного параллельно с резистором утечки. Величина этого резистора составляет порядка $10^{12} \dots 10^{14}$ Ом. На практике датчик подсоединяется к схеме, в состав которой входит резистор смещения R_b и преобразователь импеданса (на рис. 1 А эта схема так и называется «схема»). В качестве преобразователя может использоваться либо повторитель напряжения (например, на основе полевого транзистора), либо преобразователь ток-напряжение. Повторитель напряжения (рис. 2.2А) преобразует высокий выходной импеданс датчика (параллельное соединение емкости C и резистора R_b в выходное сопротивление повторителя (в нашем примере определяемое резистором 47 кОм и межэлектродной проводимостью транзистора). Достоинствами такой схемы являются простота, невысокая стоимость и низкий уровень шума. Однако у нее есть и два серьезных недостатка. Первый недостаток — зависимость быстродействия схемы от так называемой *электрической постоянной времени*, которая определяется как произведение емкости датчика C и резистора смещения R_b :

$$\tau_e = CR_b.$$

Например, если двойной датчик имеет следующие характеристики: $C=40$ пФ, $R_b = 50$ ГОм, его $\tau_e=2$ с, что соответствует частотной характеристике системы первого порядка с частотой среза на уровне 3 дБ, равной 0.08 Гц, что является очень низким значением. По этой причине повторители

напряжения могут применяться только в тех случаях, когда быстродействие не является определяющим фактором, например, при детектировании движения людей. Вторым недостатком схемы является большое напряжение смещения на выходном резисторе. Это напряжение зависит от типа транзистора и температуры. Таким образом, выходное напряжение определяется суммой двух напряжений: напряжения смещения, которое может достигать нескольких вольт, и переменного пьезоэлектрического напряжения порядка милливольт.

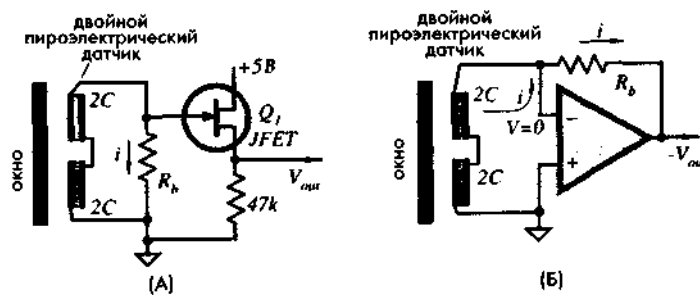


Рисунок 2.2 - Преобразователи импеданса для пьезоэлектрических датчиков:
 А - повторитель напряжений на полевом транзисторе, Б - преобразователь
 ток-напряжение на ОУ

Преобразователь ток-напряжение является более дорогой, но также и более эффективной схемой подключения пьезоэлектрического детектора (рис. 2.2)

Его преимущества - лучшее быстродействие и нечувствительность к емкости электрического элемента. Датчик подключается к инвертирующему входу обладающему свойствами так называемой виртуальной земли, поэтому напряжение на этом входе является постоянным и практически равным напряжению на неинвертирующем входе, который в данном случае заземлен. Таким образом, назначение цепи заключается в поддержании напряжения на датчике, равным нулю. Выходное напряжение в этом случае отслеживает

электрический ток (поток зарядов), вырабатываемый датчиком. Такое включение датчика обеспечивает очень низкий уровень тока смещения ОУ (порядка 1 нА). Три основных достоинства такой схемы:

1. Быстродействие;
2. Нечувствительность к емкости датчика;
3. Низкое напряжение смещения.

Однако преобразователь ток-напряжение имеет не только широкую полосу пропускания, но и обладает более высоким уровнем шума. На очень низких частотах обе рассмотренные схемы преобразуют пирозлектрический ток i_p в выходное напряжение, определяемое законом Ома:

$$V_{out} = i_p R_b$$

Например, если $i_p = 10$ пА, а $R_b = 50$ ГОм, выходное напряжение составляет 500 мВ. Обе схемы должны обеспечивать во всем температурном диапазоне входной ток смещения I_B , поэтому предпочтительнее использовать КМОП транзисторы и ОУ, поскольку их токи смещения составляют порядка 1 пА.

Следует отметить, что выходные сигналы обоих преобразователей МОИ довольно разнообразной формы (рис. 2.3).

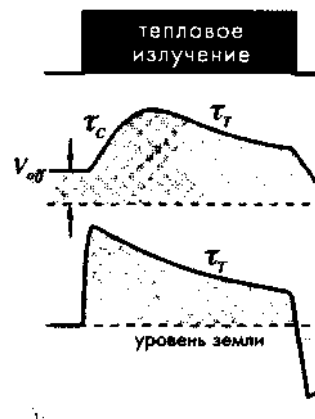


Рисунок 2.3 - Выходные сигналы повторителя напряжения (А) и преобразователя ток напряжение (Б) при подаче на них прямоугольного импульса теплового излучения

Выходное напряжение повторителя отслеживает напряжение на чувствительном элементе и R_b (рис. 1.3А). Оно характеризуется двумя наклонами: передним наклоном, определяемым электрической постоянной времени $\tau_e = CR_b$, и задним наклоном, зависящим от тепловой постоянной времени τ_T . Напряжение на чувствительном элементе в схеме с преобразователем ток-напряжение в отличие от схемы с повторителем всегда поддерживается близким к нулю, а входной импеданс этой схемы имеет очень низкое значение. Другими словами, повторитель напряжений работает как вольтметр, а преобразователь ток-напряжение - как амперметр. Поэтому выходной сигнал преобразователя $I-V$ имеет очень резкий передний фронт, определяемый паразитной емкостью в цепи резистора R_b , в то время как его задний фронт также задается τ_T . Отсюда видно, что выходное напряжения преобразователя $I-V$ отслеживает форму тока пироэлектрического чувствительного элемента (рис. 1.3Б) Изготовление гигаомных резисторов является очень непростой задачей. Такие резисторы высокого качества должны обладать хорошей устойчивостью к факторам окружающей среды, низким температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), низким коэффициентом сопротивления по напряжению (КСН), который определяется как:

$$\xi = \frac{R_1 - R_{0.1}}{R_{0.1}} \times 100\%$$

где R_1 и $R_{0.1}$, — сопротивления, измеренные при 1 и 0.1 В. Обычно КСН бывают отрицательными. Это означает, что при увеличении напряжения на резисторе его сопротивление падает (рис. 2.4А).

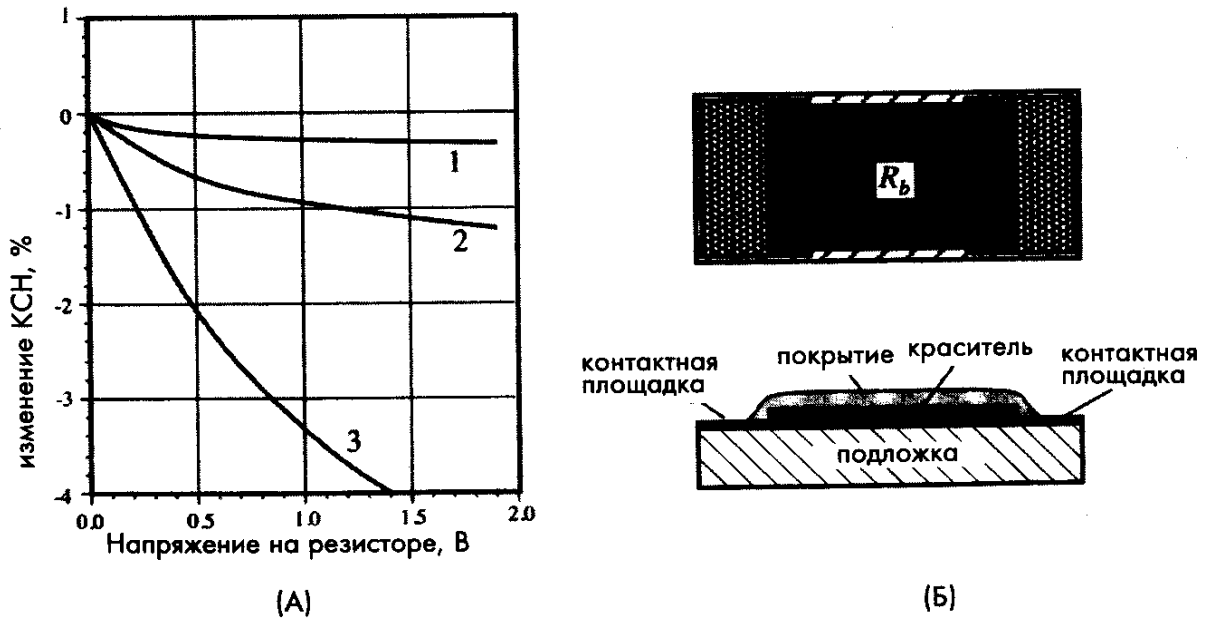


Рисунок 2.4 - Высокоимпедансный резистор: А — КСН для трех типов резисторов, Б — структура резистора на алюминиевой подложке

Поскольку выходной сигнал пирозлектрического датчика пропорционален произведению пирозлектрического тока на сопротивление резистор смещения, величина КСН влияет на нелинейность общей передаточной функции и датчика, и интерфейсной схемы. Высокоимпедансные резисторы изготавливаются методом нанесения тонкого слоя полупроводниковых красителей на керамическую (либо из оксида алюминия) подложку, обжигания полученной структуры в печи с последующим нанесением на нее защитного покрытия. Такое гидрофобное покрытие толщиной не менее 50 мкм помогает защитить резистор от влаги, поскольку даже очень небольшое количество молекул воды способны окислить полупроводниковый слой, что приведет к значительному повышению сопротивления и ухудшению долговременной стабильности. На рис. 2.4Б показана структура типового высокоимпедансного резистора.

В приложениях, где не требуется высокая точность измерений, например, в детекторах движения, резистор смещения может быть заменен на один или два кремниевых диода с нулевым смещением, включенных навстречу, друг другу.

На практике при детектировании тепловых излучений, как правило, применяются два вида пироэлектрических датчиков, рассчитанных для работы в разных условиях

1. *Быстродействующие* детекторы, измеряющие излучения высокой интенсивности, но очень короткой длительности лазерных импульсов (порядка наносекунд), повторяющихся с частотой порядка 1 МГц. Такие датчики, обладающие высокой линейностью, изготавливаются из монокристаллических пироэлектриков, таких как танталат лития. В состав таких детекторов обычно входят теплоотводы.

2. *Чувствительные* детекторы, определяющие тепловые излучения низкой интенсивности, но изменяющиеся со сравнительно низкой скоростью. Примеры — ИК термометры и датчики движения [8-10]. Для обеспечения высокой чувствительности такие датчики должны иметь хорошую тепловую связь с источником излучений. Для этих целей используются такие оптические устройства, как фокусирующие линзы и волноводы. При этом необходимо минимизировать передачу тепла в окружающую среду, для чего требуется очень внимательно проектировать корпуса таких детекторов. При соответствующем проектировании чувствительность данных детекторов приближается к чувствительности квантовых датчиков с криогенным охлаждением [7]. Серийно выпускаемые пироэлектрические датчики изготавливаются на основе монокристаллов, таких как LiTaO_3 и TGS, или на базе PZT керамики. Иногда применяются и пленки из PVDF, поскольку они дают возможность реализовать датчики, обладающие высоким пространственным разрешением и хорошим быстродействием.

2.2 Структурная схема пиросенсорного датчика движения

Структурная схема пиросенсорного датчика движения представлена на рис. 2.5.

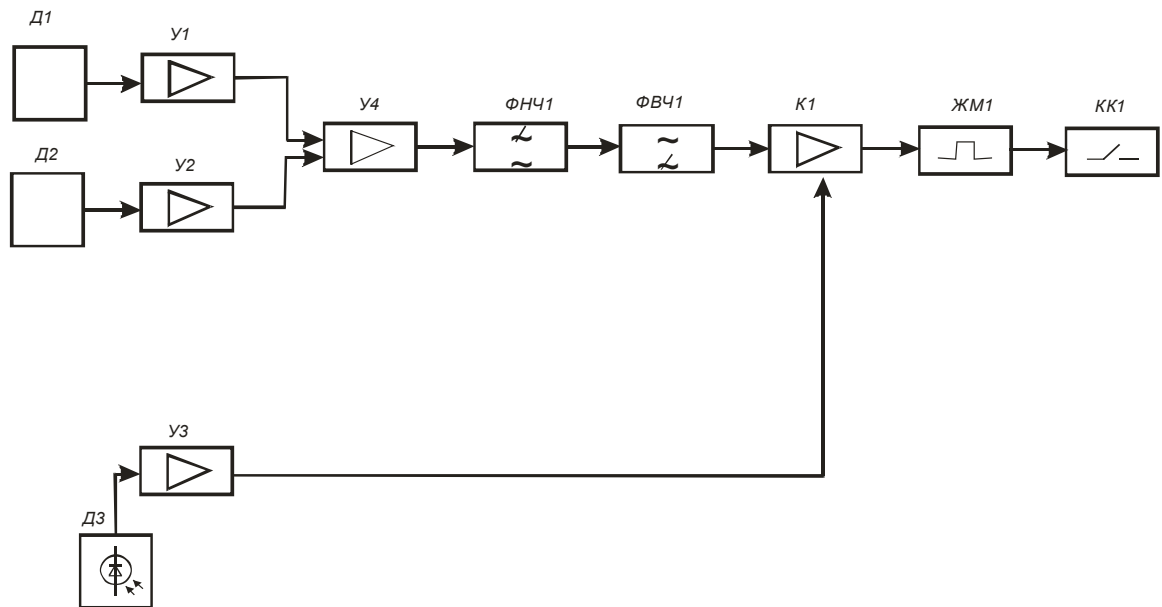


Рисунок 2.5 - Структурная схема пиросенсорного датчика движения

Структурная схема пиросенсорного датчика движения основана на дифференциальном методе приема ИК-излучения, который получил довольно широкое распространение. Сущность этого метода заключается в следующем: с помощью двух пироэлектрических датчиков Д1 и Д2 формируются две пространственно разнесенные зоны чувствительности. Сигналы, формирующиеся в обоих каналах, усиливаются в МШУ У1 и У2 и затем поступают на дифференциальный усилитель У3, где взаимно вычитаются:

$$U_{\text{вых}}(t) = U1(t) - U2(t) \quad (1.6)$$

Понятно, что две пространственно разнесенные зоны чувствительности не могут быть пересечены движущимся объектом одновременно. Сигналы в каналах в этом случае возникают поочередно, следовательно, амплитуда их не уменьшается. Из формулы (1.6) следует, что помеха на выходе

дифференциального приемника равна нулю при совместном выполнении следующих условий:

1. Формы помех в каналах совпадают.
2. Амплитуды помех одинаковы.
3. Помехи имеют одинаковое временное положение.

В случае солнечной помехи выполняются условия 1 и 3 (с точностью до уровня флуктуационного шума). Условие 2 выполняется только в случае, когда в качестве фона в обоих каналах служит один и тот же материал или углы падения солнечной энергии на фон одинаковы в обоих каналах или в обоих каналах поток солнечного и излучения попадает на всю площадь фона, ограничивающего зоны чувствительности.

Из рис. 1.8 (раздел 1) видно, что при достаточно хорошем совпадении амплитуд помеховых воздействий в каналах $\left(\frac{U_{ex1}}{U_{ex2}} = 1, 2 \dots 1, 1 \right)$ достигается

5...10 кратное подавление этих помех. При значениях $\frac{U_{ex1}}{U_{ex2}} > 1, 2$ подавление

помехи уменьшается и характеристика $U_{вых} = f(U_{вх})$ стремится к аналогичной характеристике одиночного приёмника.

При воздействии конвективной помехи степень ее подавления дифференциальным приемником определяется степенью корреляции ее в пространственно-разнесенных точках фоновой поверхности. Оценка степени пространственной корреляции конвективной помехи может быть проведена путём измерения ее интенсивности при дифференциальном и обычном методах приема.

Для еще более эффективной борьбы с солнечной помехой в схеме ИК – датчика движения использован двухдиапазонный метод приема ИК излучений. Сущность этого метода заключается во введении в ИКСО второго канала, обеспечивающего прием ИК излучений в видимом или ближнем ИК

диапазонах, с целью получения дополнительной информации, отличающей сигнал от помехи. Использование такого канала в совокупности с основным (тепловым) каналом в условиях одного помещения малоэффективно, поскольку как сигнал, так и помеха при наличии освещенности формируются в обоих спектральных диапазонах (видимом и тепловом). Значительно более эффективным является использование канала видимого диапазона при его установке вне охраняемых помещений, в местах, недоступных для блокировки этого канала искусственными источниками света. В этом случае при изменении солнечной освещенности канал формирует сигнал с датчика ДЗ, который усиливается усилителем УЗ и подается на второй вход компаратора К1, запрещающий возможное срабатывание ИКСО под воздействием солнечной помехи. При такой организации двухдиапазонный метод позволяет полностью ликвидировать ложные срабатывания ИКСО, возможные за счет возникновения солнечных помех. Возможность блокировки теплового канала на время действия помехи очевидна.

В разделе 1 мы определили спектральное «окно» (диапазон по спектру), необходимое для пропускания сигналов, образующихся при пересечении зоны в любом месте во всем диапазоне скоростей от 0,1 до 15 Гц. При этом на краях диапазона возможно ослабление сигнала, так как пироприемник имеет амплитудно-частотную характеристику со спадом в области 5... 10 Гц. Для обеспечения «спектрального окна» и подавления помех вне полосы полезного сигнала в тракт обработки сигнала введены ФНЧ 1 и ФВЧ 1, построенные на операционных усилителях. Далее сигнал поступает на компаратор К1, где он сравнивается с порогом, который автоматически меняется в соответствии с уровнем освещенности солнечным светом.

Выходной сигнал компаратора запускает ждущий мультивибратор ЖМ1, который управляет работой электронного ключевого каскада КК1. Ждущий мультивибратор ЖМ1 вырабатывает импульс длительностью порядка 1 мин. Этот импульс управляет работой электронного ключевого каскада КК1,

который подает питание на генератор микроволнового датчика. Это позволяет снизить вероятность ложных срабатываний средства обнаружения и одновременно повышает коэффициент полезного действия всего устройства (СВЧ генератор – основной потребитель электрической энергии работает только в момент обнаружения злоумышленника).

2.3 Расчет входного дифференциального усилителя

Выбор схемы усилителя

- высокое входное сопротивление;
- способность подавлять синфазные помехи;
- низкий уровень собственных шумов;
- обеспечение заданного динамического диапазона и полосы пропускания;
- минимальные габариты и высокая экономичность.

В значительной мере большинству требований удовлетворяют интегральные микросхемы. Схема построения усилителя в плане оптимизации параметров должна максимально подавлять синфазные помехи, иметь низкий уровень собственных шумов, большое $R_{вх}$. Этим условиям отвечает дифференциальная конфигурация схемы. По частотным требованиям ОУ заведомо удовлетворяют требованиям, так как усилители с ОС имеют полосу выше 10 кГц.

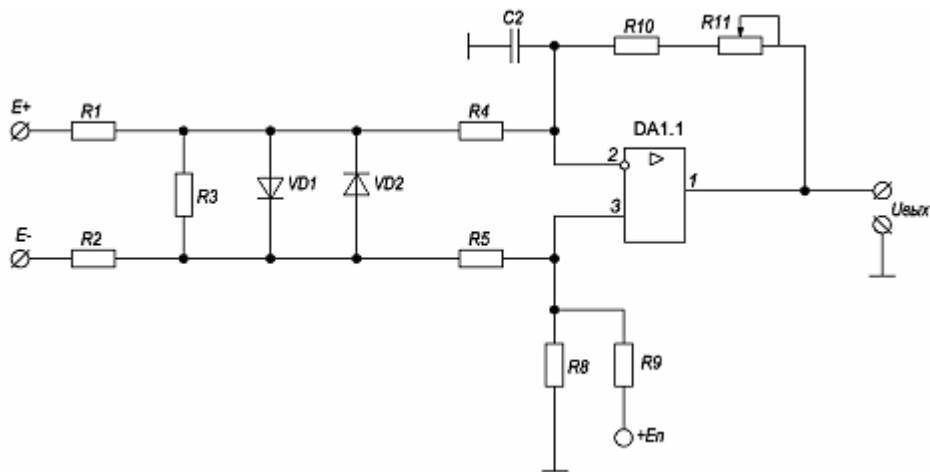


Рисунок 2.6 – Схема электрическая принципиальная дифференциального усилителя

Учитывая изложенное, выбрана схема дифференциального усилителя, представленная на рис. 2.6. Резисторы R_1 , R_2 , R_3 представляют собой высокоомный делитель, напряжение с которого поступает на два входа: инвертирующий вход ОУ через R_4 и неинвертирующий – через R_5 . Так как сигнал ЭКГ имеет напряжение отрицательной и положительной полярности, а схема питания ОУ выбрана несимметричной (один источник питания $+E_{п}$), то вводится смещение выходного напряжения $U_{вых}$ при помощи делителя R_8 , R_9 . ООС обеспечивается резистором R_{10} .

Диоды VD_1 , VD_2 повышают динамические характеристики усилителя, предотвращая перегрузку входов дифференциальной схемы ОУ.

Расчет элементов схемы

Эквивалентная схема подключения источника входного сигнала представлена на рис. 2.7.

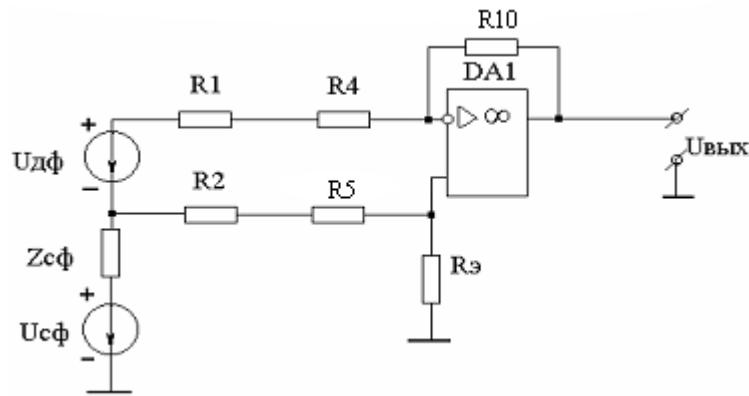


Рисунок 2.7- Эквивалентная схема подключения источника входного сигнала

Здесь сопротивление $R_y = \frac{R8 \cdot R9}{R8 + R9}$.

Передаточная функция для этой схемы имеет вид:

$$U_{\text{вых}} = -\frac{R10}{R4 + R1} \cdot U_{\text{дф}} + U_{\text{экс}} \cdot \left(1 - \frac{R10}{R4 + R1} \cdot \frac{R5 + R2}{R_y} \right), \quad (2.1)$$

$$\text{где, } U_{\text{экс}} = \frac{R_y \left[(R4 + R1) \cdot U_{\text{сф}} - Z_{\text{сф}} \cdot U_{\text{дф}} \right]}{(R4 + R1)(R5 + R_y + R2) + Z_{\text{сф}}(R4 + R5 + R1 + R2)},$$

где $U_{\text{сф}}, U_{\text{дф}}$ – синфазное и дифференциальное напряжения соответственно;

$R1, R2$ – компенсационные сопротивления;

$Z_{\text{сф}}$ – импеданс источника синфазной помехи.

Если выполнить условие (2.2)

$$(R4 + R1) R3 = R10 (R5 + R2), \quad (2.2)$$

то получим

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{дф}} R_{10}/(R_4 + R_1), \quad (2.3)$$

и синфазная помеха подавляется. Коэффициент подавления синфазной помехи определяется коэффициентом отрицательной обратной связи самого ОУ и классом точности резисторов, но его величина должна быть рассчитана.

Спектр сигнала на выходе ИК датчика движения равен [4]:

- по полосе частот $\Delta f = 0,1 \dots 15$ Гц;
- по амплитудному диапазону $\Delta U_{\text{дф}} = 0,1 \dots 1,5$ мВ.

Для получения заданного значения $U_{\text{вых max}} = 25$ мВ необходимо обеспечить коэффициент усиления

$$K = \frac{U_{\text{вых max}}}{U_{\text{дф max}}} = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 16,6, \quad (2.4)$$

при этом $U_{\text{вых min}} = 16,6 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} = 1,66 \cdot 10^{-3}$ В.

Зададим значения сопротивлений $R_1 = R_2 = 10$ кОм, а из требования превышения на порядок входного сопротивления усилителя над межэлектродным

$R_4 = R_5 = 150$ кОм.

Тогда сопротивление R_{10} будет равно:

$$R_{10} = \left| \frac{u_{\text{вых}} \cdot (R_4 + R_1)}{u_{\text{дф}}} \right| = |K \cdot (R_4 + R_1)| = 16,6 \cdot (150 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3) = 2,656 \text{ МОм} \quad (2.5)$$

Сопротивление R_9 :

$$R_9 = \frac{R_{10}(R_5 + R_2)}{(R_4 + R_1)} = R_{10} = 2,656 \text{ МОм}. \quad (2.6)$$

Обеспечим смещение выходного напряжения на уровне $U_{см} = 4В$ и из уравнения (2.7)

$$U_{см} = E_n \cdot \frac{R8}{R8 + R9} = \frac{E_n \cdot R_9 \cdot (R8 + R9)}{(R8 + R9)R9} = \frac{E_n \cdot R_9}{R9}, \quad (2.7)$$

найдем R9:

$$R9 = \frac{E_i \cdot R_9}{U_{\bar{m}i}} = \frac{9 \cdot 2.656 \cdot 10^6}{4} = 5.976 МОм. \quad (2.8)$$

Сопротивление R8:

$$R8 = \frac{U_{см} \cdot R9}{E_n - U_{см}} = \frac{4 \cdot 5.976 \cdot 10^6}{9 - 4} = 4.78 МОм. \quad (2.9)$$

Входное сопротивление по инвертирующему входу:

$$R_{ex\ i} = R4 + \frac{R4 \cdot R_9}{R5} = R4 + R_9 = 2.8 МОм. \quad (2.10)$$

Входное сопротивление по неинвертирующему входу:

$$R_{ex\ n} = R5 + R_9 = 2.8 МОм. \quad (2.11)$$

Выходное сопротивление:

$$R_{вых} = \frac{R_{выхОУ}}{\left(1 + K_{ус} \cdot \frac{R4}{R4 + R10}\right)} = \frac{R_{выхОУ}}{1 + 0.0536 \cdot K_{ус}}, \quad (2.12)$$

где $K_{ус}$ – коэффициент усиления ОУ.

Для осуществления регулировки коэффициента передачи сопротивление $R5$ составим из двух сопротивлений: резистор $R10=2,2$ МОм и переменный резистор $R11=470$ кОм.

Входная емкость $C_{вх}$ ОУ с сопротивлением внешних цепей образует фазосдвигающую цепь. Для компенсации фазового сдвига включаем в цепь отрицательной обратной связи параллельно $R10$ емкость $C2$, величина которой определяется типом выбранного ОУ (емкость компенсации C_k).

Выбор операционного усилителя [19]

Конкретный тип ОУ выбирают исходя из конкретных требований к проектируемому устройству. В настоящее время разработаны определенные классы ОУ, применяемые для специального назначения, что сужает процесс поиска типа ОУ.

В проектируемом устройстве определяющими являются параметры:

- источник питания: один источник положительного напряжения +9В;
- потребляемый ток: микромощный вариант;
- относительное ослабление синфазного сигнала: более 90 дБ;

Выбираем ОУ типа К1401УД2А, аналог LM324.

2.4 Расчет ключевой схемы

Ключевая схема управляется напряжением с выхода компаратора и предназначена для запираания входа усилителя модулирующего сигнала.

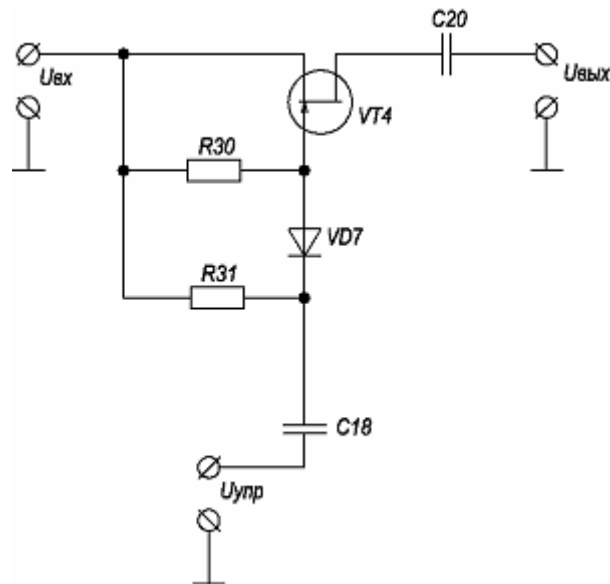


Рисунок 2.8 – Схема электрическая принципиальная ключа

В качестве ключевого устройства выбираем вариант схемы на полевом транзисторе. Эта схема (рис.2.8) отличается умеренной точностью и хорошим быстродействием.

Когда $U_{упр} = +7В$, диод VD7 закрыт, а затвор VT4 подсоединяется к стоку, VT4 с n- каналом включается и $U_{вх}$ поступает на выход.

Так как резистор R31 включен в разделительную цепь C18 R31, то

$$\tau_p = C18 R31 > 10 t_u . \quad (2.14)$$

Отсюда, задавшись $R31=200$ кОм, находим $C18=0,47$ мкФ. В таком случае выбираем $R30 = 150$ кОм.

2.5 Расчет согласующего каскада

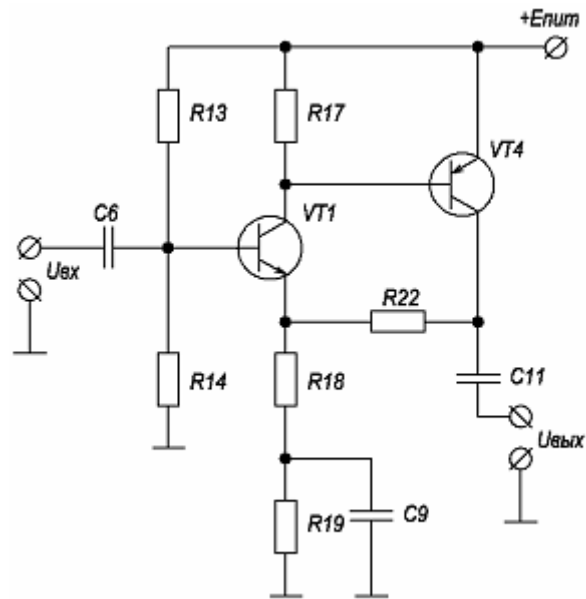


Рисунок 2.9 – Схема электрическая принципиальная согласующего каскада

Основными требованиями к такому каскаду является высокое входное сопротивление. Выполним двухкаскадный усилитель с отрицательной обратной связью, которая вводится с выхода в цепь эмиттера первого каскада с помощью резистивного делителя R18, R22 (рис.2.9) [16].

Кроме того в схеме работает местная ООС. Исходя из принципа надежности ($U_{к доп} < E_{п}$, $I_{к доп} < I_{к макс}$) и быстродействия ($f_{г} > f$) выбираем транзистор VT1 типа КТ315Д, VT3 –КТ361Б.

Транзисторы VT1 и VT4 представляют собой составной транзистор, работающий в каскаде сложного эмиттерного повторителя. Резистор R17 искусственно увеличивает долю тока VT1 в режиме усиления с целью получения от него более высокого β , а в режиме покоя снижает начальный ток составного транзистора.

Зададим значение $R17 = 47 \text{ кОм}$, напряжение на сопротивлении $R18 + R19$ равным $U_э = 6,5 \text{ В}$, сопротивление $R22 = 100 \text{ кОм} \geq (20 \dots 40) R_{н}$.

Зададим микрорежимный вариант работы каскада. $I_э = 45 \text{ мкА}$, тогда

$$R18 + R19 = \frac{U_3}{I_3} = \frac{6.5}{45 \cdot 10^{-6}} = 144 \text{ кОм}. \quad (2.15)$$

Основными элементами, задающими в каскаде ток I_k (I_3) являются напряжение делителя R13, R14 и резисторы R18+ R19= R₃. Наклон нагрузочной характеристики определяется сопротивлением R₀ = R17+ R18+ R19=47+144=191 кОм. Для микротоков из характеристик КТ315Д получаем ток базы $I_6 \leq 0,05 \text{ мА}$, напряжение смещения $U_6 = U_3 + U_{63} = 6,4 \text{ В}$.

Исходя из условий эмиттерной стабилизации, определим R13 и R14, задав

$$R_6 = R13 // R14 = 180 \text{ кОм}:$$

$$R13 = R_6 \cdot \frac{E_n}{U_6} = 150 \cdot 10^3 \cdot \frac{9}{6.4} = 253 \text{ кОм}; \quad (2.16)$$

$$R14 = \frac{1}{\frac{1}{R_6} - \frac{1}{R13}} = \frac{1}{\frac{1}{150 \cdot 10^3} - \frac{1}{253 \cdot 10^3}} = 370 \text{ кОм}. \quad (2.17)$$

ООС вводится в цепь эмиттера VT1 с помощью делителя так, чтобы не нарушить режим его по постоянному току. Требуемое значение R18 равно

[21]:

$$R18 = \frac{1}{\frac{1}{R22} \cdot \left[\frac{K_y}{T_{\text{общ}} \left(1 + \frac{R_6}{R_{\text{ex}}}\right)} - 1 \right] - \frac{1 + \beta_1}{h_{113} + R_6}}, \quad (2.18)$$

где $T_{общ} = K_y \cdot \frac{R18 // h_{11\delta}}{R22 + R18 // h_{11\delta}};$

$R_{тр} = \frac{(h_{11\epsilon} + R_{\delta})}{(1 + \beta_1)}$ – входное сопротивление транзистора VT1;

$\beta_1 = \sqrt{\beta_{\min} \cdot \beta_{\max}}$ – среднее значение статического коэффициента усиления.

Поскольку $h_{11\epsilon} = 500 \text{ Ом}; h_{11\delta} = \frac{h_{11\epsilon}}{(1 + \beta_1)} = \frac{500}{43} = 11,36.$

K_y – коэффициент усиления $U_2/U_{\delta\epsilon 1} \approx 100.$

Подставим численные значения:

$$\beta_1 = \sqrt{20 \cdot 90} = 43,42;$$

$$R_{mp} = \frac{(500 + 150 \cdot 10^3)}{(1 + \sqrt{20 \cdot 90})} = 3,47 \text{ кОм};$$

$$T_{общ} = \frac{100(100 \cdot 10^3 // 11,36)}{100 \cdot 10^3 + (100 \cdot 10^3 // 11,36)} = 10.$$

Полагая сопротивление связи $R_{ce} = \frac{R22 \cdot R18}{R18 + R22} = 50 \text{ кОм}$ рассчитаем

входное сопротивление транзистора с ОС:

$$R_{\epsilon\epsilon} = h_{11\epsilon} + R_{ce}(1 + \beta) = 500 + 500 \cdot 10^3(1 + 43) = 2200,5 \text{ кОм}. \quad (2.19)$$

Подставим численные значения в (2.18), получим

$$R18 = \frac{1}{\left\{ \frac{1}{100 \cdot 10^3} \left[\frac{100}{3 \left(1 + \frac{150 \cdot 10^3}{2200 \cdot 10^3} \right)} - 1 \right] - \frac{1 + 43}{500 + 150 \cdot 10^3} \right\}} = 100 \text{кОм.}$$

(3.19 б)

Тогда, R19=44кОм.

Эквивалентный коэффициент усиления по току ($\beta_1 - \beta_2$):

$$\beta_{\text{экв}} = \beta_1(1 + \gamma \cdot \beta_2) = 43(1 + 0.997 \cdot 43) = 1886, \quad (2.20)$$

$$\text{где } \gamma = \frac{R17}{R17 + h_{11\beta}} = \frac{150 \cdot 10^3}{150 \cdot 10^3 + 500} = 0.997.$$

Коэффициент передачи усилителя от базы VT1 к R_H

$$K_\beta = \frac{T_{\text{общ}}}{\beta_{\text{св}}(1 + T_{\text{св}})} = \frac{10}{0.2(1 + 10)} = 4.5. \quad (2.21)$$

Определяем емкость разделительного конденсатора:

$$C6 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_H (R13 // R14)} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 30 \cdot 250 \cdot 10^3 \cdot 390 \cdot 10^3} \geq 0.034 \text{мкФ.} \quad (2.22)$$

Выбираем C6=0,05 мкФ.

Определяем емкость блокировки C9:

$$C9 \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_H (R18 + rЭ)} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 30 \cdot 100 \cdot 10^3} = 0.055 \text{мкФ,} \quad (2.23)$$

$$\text{где } r_s = \frac{25}{I_s [\text{mA}]} = \frac{25}{45 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ Ом.}$$

2.6 Расчет схемы компаратора

Исходные данные: разрешающая способность по амплитуде $\Delta U = 0,2 \text{ В}$ [16, 21].

Схема принципиальная электрическая компаратора приведена на рис. 2.10.

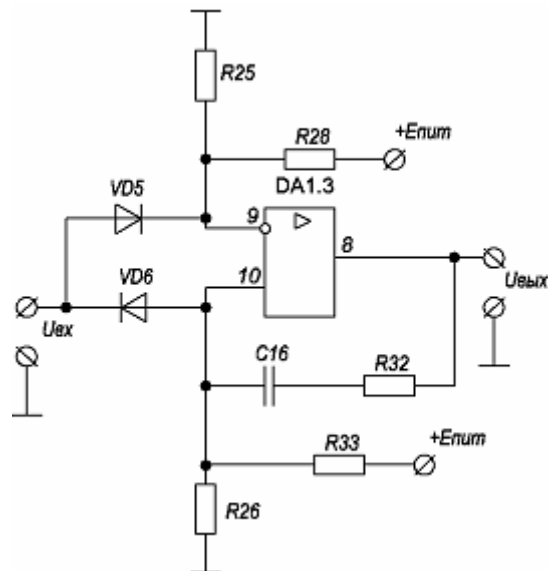


Рисунок 2.10 – Схема электрическая принципиальная компаратора

Элементная база: в качестве активного элемента выбираем маломощный ОУ типа LM324 с одним источником питания, у которой скорость нарастания

$V = 0,05 \text{ В/мкс}$, $f_{cp} = 0,1 \text{ МГц}$.

Выбираем $U_- = 0,5 \text{ В}$ и $R_{25} = R_{28} = 200 \text{ кОм}$, т.е. $U_+ = E_{п} R_{26} / (R_{26} + R_{33}) = 4,7 \text{ В}$ и, если $R_{26} = 200 \text{ кОм}$, то $R_{33} = R_{26} (E_{п} / U_- - 1) = 200 \cdot 10^3 (9 / 4,7 - 1) = 182,9 \text{ кОм}$.

Резисторы R25, R26, R28, R33 выбираем прецизионные тип С2–29В из ряда E24 с допуском $\pm 1\%$.

В схеме закрытый вход C_p , поэтому VD5 и VD6 смещены разностью потенциалов $U_+ - U_- = 0,2$ В и закрыты.

При поступлении на вход сигнала от датчика видимого света $U_{\text{вх}} > U_-$, напряжение на инвертирующем входе измениться скачкообразно, а напряжение на неинвертирующем входе будет изменяться по экспоненциальному закону, так как цепочка C16R32, образующая ПОС, по отношению к входному импульсу является интегрирующей, а по отношению к выходному – дифференцирующей. Так как в пределе всегда $U_+ > U_-$, то за время действия входного сигнала могут возникнуть две ситуации: $U_+ < U_-$ и $U_+ > U_-$.

Длительность $t_{\text{зд}}$ определяется выражением:

$$t_{\text{зд}} = \tau \cdot \ln \left[\frac{u_{\text{вх}}^+ - u_{\text{вх}}}{-u_{\text{вх}} + u'_-} \right], \quad (2.24)$$

$$\text{где } \tau = C16 \cdot R32, U_- = U_{\text{вх}} \cdot \frac{R28 / R25}{R28 / R25 + R_g} + U_-.$$

Определим напряжение U_- в предположении, что $U_{\text{вх}} = \Delta U = 0,2$ В,

$$R_g \ll R28 / R25.$$

$$U_- = 0,2 \frac{100 / 100}{100 / 100 + R_g} + 4,5 = 4,7 \text{ В}. \quad (2.25)$$

Длительность $t_{\text{и вых}}$ определяется постоянной времени $\tau = C16 \cdot R32$ и разрядом конденсатора C16 с постоянной времени $C16(R32 + R26 / R33)$. Для нормального функционирования схемы необходимо выполнить условие $t_{\text{и вых}} \approx 14$ мс.

Полагая в пределе $t_{и\ вых} \approx 3C16(R32 + R26/334)$ и задав $R32= 300$ кОм, определим $C16$:

$$C16 = \frac{t_{и\ вых}}{3(R32 + R26/R33)} = \frac{14 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot (300 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3)} = 0.012 \cdot 10^{-6} \Phi = 0.012_{мк\Phi}. \quad (2.26)$$

Тогда,

$$t_{p\partial} = 0.012 \cdot 10^{-6} \cdot 300 \cdot 10^3 \ln \frac{7 - 0.2}{4.7 - 0.2} \approx 1.44 \text{ мс.}$$

Полученный результат $t_{зд}=1,44$ мс меньше заданного $t_{зд}=1,6$ мс и удовлетворяет требованию.

2.7 расчет схемы фильтра

Расчёт порядка фильтра

Шаблон передаточной функции ФНЧ для заданных значений K и f показан на рис.2.11.

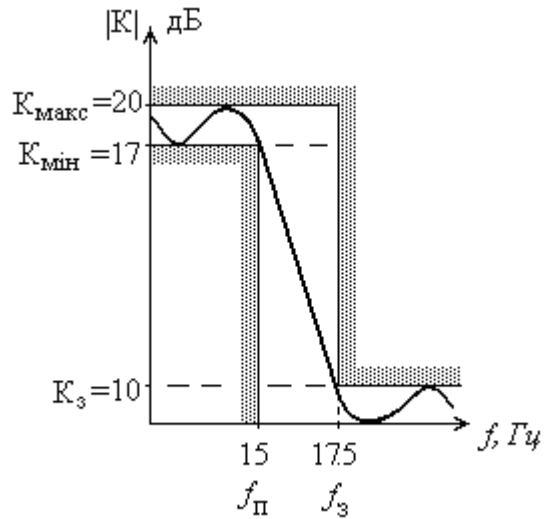


Рисунок 2.11 – Шаблон коэффициента передачи фильтра

Рассчитаем нормированные коэффициенты передачи и граничные частоты схемы:

$$K_{н\max} = K_{\max} - K_{\min} = 20 - 17 = 3 \text{ (ДБ)}; \quad K_{н\min} = K_{\max} - K_{з} = 20 - 10 = 10 \text{ (ДБ)};$$

$$f_{пн} = f_{п} / f_{п} = 1; \quad f_{зн} = f_{з} / f_{п} = 17,5 / 15 = 1,167.$$

Определим порядок проектируемого фильтра из следующей формулы:

$$n = \frac{\text{Arch}\left(\frac{10^{0,1K_{н\min}} - 1}{10^{0,1K_{н\max}} - 1}\right)}{\text{Arch}(f_{зн})} = \frac{\text{Arch}\left(\frac{10^1 - 1}{10^{0,3} - 1}\right)}{\text{Arch}(1,167)} = 5,07 \quad (2.27)$$

Округлив до большего целого значения, окончательно получим порядок фильтра $n=6$.

Передаточная функция устройства

Передаточная функция нормированного фильтра выглядит так:

$$W(p) = \frac{N(p)}{D(p)} \quad (2.28)$$

Из таблиц полиномов фильтра Чебышева находим значения числителя и знаменателя передаточной функции для фильтра 6 порядка. Подставим их в выражение 2.28:

$$W(p) = \frac{0,0313}{(p^2 + 0,0763p + 0,955)(p^2 + 0,209p + 0,522)(p^2 + 0,285p + 0,0887)} \quad (2.29)$$

Перейдём обратно от нормированного ФНЧ к проектируемому, для чего рассчитаем передаточную функцию проектируемого фильтра:

$$W_1(p) = \frac{N_1(p)}{D_1(p)} \quad (2.30)$$

Найдём числитель функции по формуле:

$$N_1(p) = N(p)e^{0,05 \ln 10 K_{\max}} = 0,5e^{0,05 \ln 200} = 0,04 \quad (2.31)$$

Чтобы определить знаменатель функции, рассчитаем значение частоты $w_n=2\pi fn=94.2$ [рад/с]. Сделаем замену в полиноме $D_I(p)$: $p \rightarrow p/w_n$. Окончательно передаточная характеристика будет выглядеть так:

$$W(p) = \frac{0,04}{\left(\frac{p^2}{w_n^2} + 0,0763 \frac{p}{w_n} + 0,955\right)\left(\frac{p^2}{w_n^2} + 0,209 \frac{p}{w_n} + 0,522\right)\left(\frac{p^2}{w_n^2} + 0,285 \frac{p}{w_n} + 0,0887\right)} = \frac{0,04 w_n^6}{(p^2 + 0,0763 p w_n + 0,955 w_n^2)(p^2 + 0,209 p w_n + 0,522 w_n^2)(p^2 + 0,285 p w_n + 0,0887 w_n^2)} \quad (2.32)$$

Переход от передаточной функции к схеме

Так как порядок всего фильтра равен 6, для его создания будем использовать три звена второго порядка.

Представим передаточную функцию ФНЧ-6 в виде сомножителей второго порядка:

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) \quad (2.33)$$

Определим $W(p)$ для каждого звена:

$$W_1(p) = \frac{0,04 w_n^2}{p^2 + 0,0763 p w_n + 0,955 w_n^2} \quad (2.34)$$

$$W_2(p) = \frac{w_n^2}{p^2 + 0,209 pw_n + 0,522 w_n^2} \quad (2.35)$$

$$W_3(p) = \frac{w_n^2}{p^2 + 0,285 pw_n + 0,0887 w_n^2} \quad (2.36)$$

Таким образом, граф Мезона для всей схемы будет представлен в виде последовательного соединения ФНЧ- II, как на рис. 2.12:



Рисунок 2.12 – Структурная схема графа Мезона

Выбор схемного решения

Схемным решением для данного устройства будет фильтр низкой частоты второго порядка с многопетлевой обратной связью, т.к. он обеспечивает небольшую чувствительность к отклонению номиналов элементов. Используем 3 таких звена, соединённых последовательно.

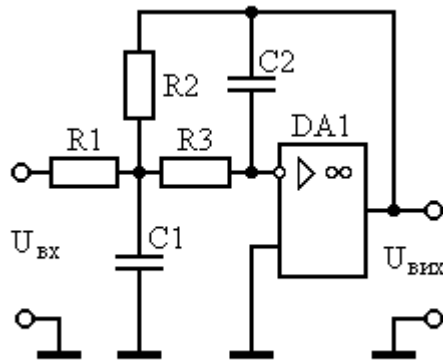


Рисунок 2.13 – ФНЧ-II с многопетлевой обратной связью

2.8 Топологическая модель фильтра

Граф Мезона ФНЧ- II.

Изобразим граф Мезона для одного звена схемы.

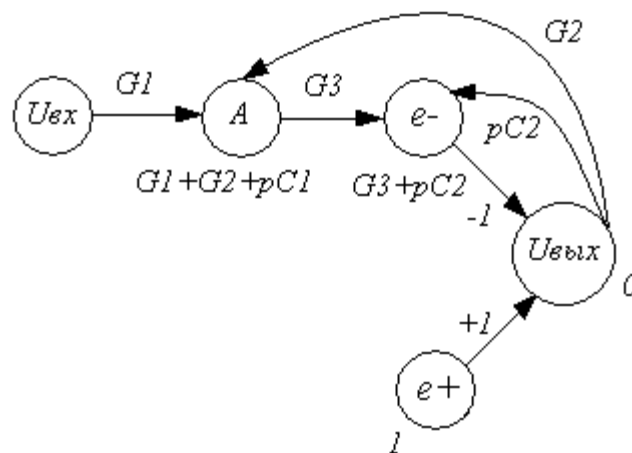


Рисунок 2.14 – Граф Мезона ФНЧ-II

По формуле Мезона рассчитаем передаточную функцию:

$$\begin{aligned}
 W(p) &= \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{-G_1 G_3}{p C_2 (G_1 + G_2 + G_3 + p C_1) + G_2 G_3} = \\
 &= \frac{1}{p^2 + p \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \frac{1}{C_1} + \frac{1}{R_2 R_3 C_1 C_2}}
 \end{aligned} \tag{2.37}$$

Сопоставим с её канонической формулой для ФНЧ-II:

$$W(p) = \frac{K_n w_0^2}{p^2 + \frac{w_0}{Q_f} p + w_0^2} \tag{2.38}$$

Откуда получим:

$$K = R_2 / R_1; \tag{2.39}$$

$$w_{cp} = \frac{1}{\sqrt{R_2 R_3 C_1 C_2}}; \tag{2.40}$$

$$Q_f = \frac{\sqrt{C_1 / C_2}}{\sqrt{R_3 / R_2} + \sqrt{R_2 / R_3} + \sqrt{R_2 R_3 / R_1^2}}. \tag{2.41}$$

2.9 Расчет элементов схемы фильтра

В соответствии с полученными передаточными функциями, рассчитываем значения элементов для каждого звена по следующему алгоритму.

Выбираем значение ёмкости C_2 равную 200 нФ. Определяем добротность фильтра по формуле $Q_f = \frac{\sqrt{A}}{B}$, где A и B – числовые значения перед ω_n^2 и $\rho\omega_n$ в знаменателе $W^1(p)$. Находим ёмкость C_2 из соотношения $C_1 > [4(|K| + 1)Q_f^2]C_2$. Определяем два значения R_2 (для разных знаков перед корнем):

$$R_2 = \frac{1}{2Q_f \omega_0 C_2} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{4(K+1)Q_f^2 C_2}{C_1}} \right] \quad (2.42)$$

Рассчитываем по два значения для R_1 и R_3 :

$$R_1 = R_2/K, \quad R_3 = 1/\omega_0^2 C_1 C_2 R_2.$$

Выбираем из двух полученных наиболее подходящий ряд сопротивлений R_1, R_2, R_3 .

1-е звено

$$Q_f = 12.8; \quad \omega_0 = 92.05 \text{ рад/с};$$

$$C_1 > 136 \text{ мкФ}; \quad C_1 = 150 \text{ мкФ};$$

$$R_{2_1} = 2762.7 \text{ Ом}; \quad R_{1_1} = 69067.5 \text{ Ом}; \quad R_{3_1} = 1423.96 \text{ Ом};$$

$$R_{2_2} = 1480.92 \text{ Ом}; \quad R_{1_2} = 37022.9 \text{ Ом}; \quad R_{3_2} = 2656.44 \text{ Ом};$$

Выбираем первый ряд сопротивлений.

2-е звено

$$Q_f=3,46; \quad \omega_0=68.06 \text{ рад/с};$$

$$C1 > 19.154 \text{ мкФ}; \quad C1=20 \text{ мкФ};$$

$$R2_1=12799 \text{ Ом}; \quad R1_1=12799 \text{ Ом}; \quad R3_1=4216,77 \text{ Ом};$$

$$R2_2=8433.55 \text{ Ом}; \quad R1_2=8433.55 \text{ Ом}; \quad R3_2=6399,5 \text{ Ом};$$

Выбираем первый ряд сопротивлений.

3-е звено

$$Q_f=1,05; \quad \omega_0=28.055 \text{ рад/с};$$

$$C1 > 1.764 \text{ мкФ}; \quad C1=1,8 \text{ мкФ};$$

$$R2_1=96869,4 \text{ Ом}; \quad R1_1=96869,4 \text{ Ом}; \quad R3_1=36432,6 \text{ Ом};$$

$$R2_2=72865,3 \text{ Ом}; \quad R1_2=72865,3 \text{ Ом}; \quad R3_2=48434,7 \text{ Ом};$$

Выбираем первый ряд сопротивлений.

Согласуем номера элементов в звене с нумерацией в схеме фильтра, а номиналы сопротивлений – с рядом E24:

$$C2=C4=C6=200 \text{ нФ};$$

$$C1=150 \text{ мкФ}; \quad C3=20 \text{ мкФ}; \quad C5=1,8 \text{ мкФ};$$

$$R1=68 \text{ кОм}; \quad R2=2,7 \text{ кОм}; \quad R3=1,5 \text{ кОм};$$

$$R4=13 \text{ кОм}; \quad R5=13 \text{ кОм}; \quad R6=4,3 \text{ кОм};$$

$$R7=100 \text{ кОм}; \quad R8=100 \text{ кОм}; \quad R9=36 \text{ кОм};$$

2.10 Моделирование схемы фильтра нижних частот

Моделирование схемы фильтра нижних частот проведем с помощью программы ORCAD 9.2.

Исходные данные для моделирования фильтра нижних частот:

- схема электрическая принципиальная моделируемого фильтра нижних частот, рис. 2.15;

-

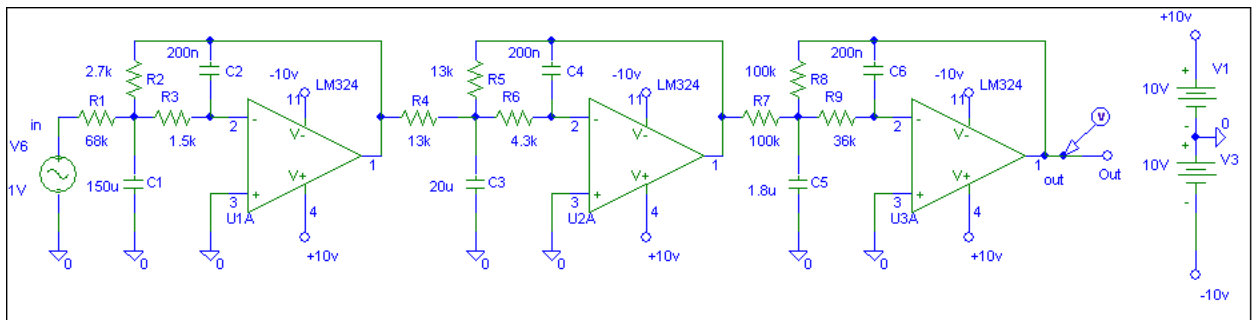


Рисунок 2.15 - Схема электрическая принципиальная моделируемого фильтра нижних частот с рассчитанными номиналами элементов

- амплитуда входных сигналов 1 В;
- частота 0 ÷ 20 Гц;

В результате моделирования получены амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра нижних частот. Результаты моделирования подтверждают правильность выполненных расчетов фильтра нижних частот.

Снимаем АЧХ фильтра для полученных значений элементов.

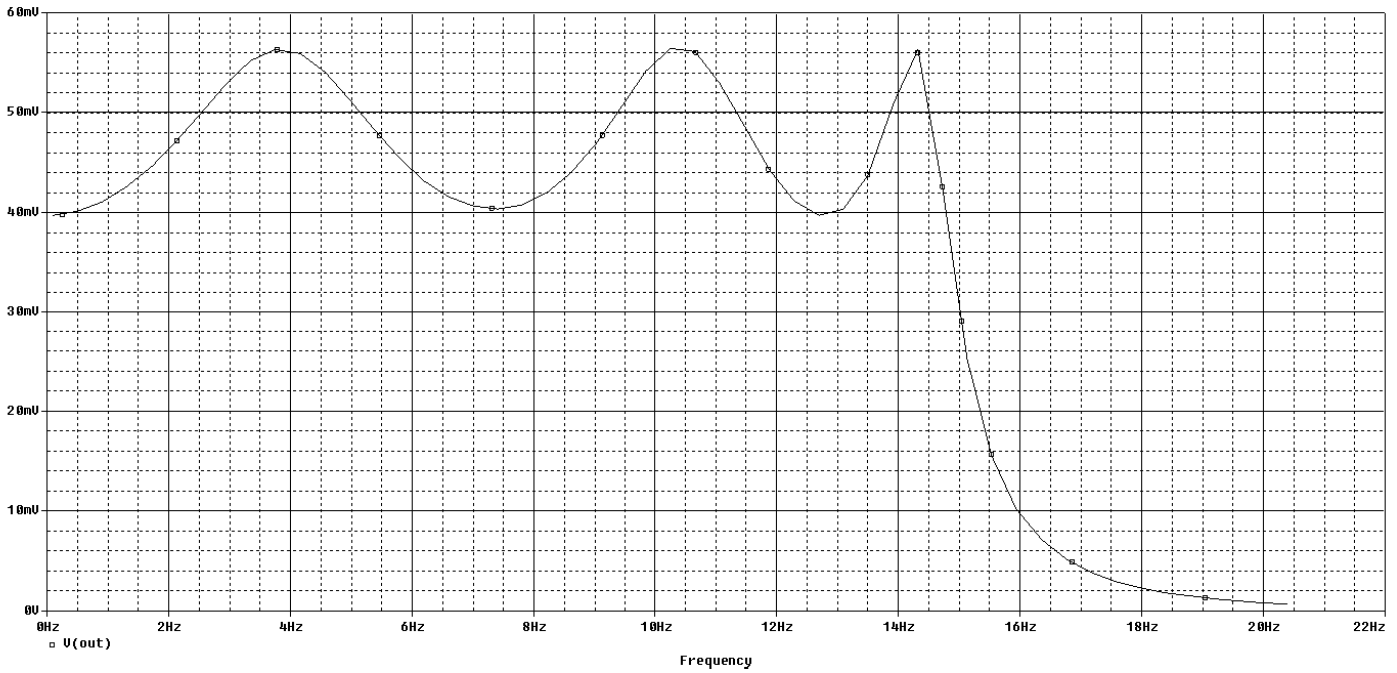


Рисунок 2.16 – АЧХ проектируемого фильтра

2.11 Методика настройки и регулировки фильтра

Коэффициент усиления фильтра можно настроить при помощи резисторов R_2 и R_1 :

$$K=R_2/R_1; \quad (2.43)$$

Но при этом нужно учитывать, что R_2 вносит своё влияние и на граничную частоту ω_0 . Также эту частоту можно настроить изменением элементов R_3 , C_1 и C_2 :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_2 R_3 C_1 C_2}} \quad (2.44)$$

Настройка граничной частоты затруднена тем, что каждый каскад вносит на неё своё влияние, поэтому, для её перестройки необходимо изменять элементы во всех каскадах.

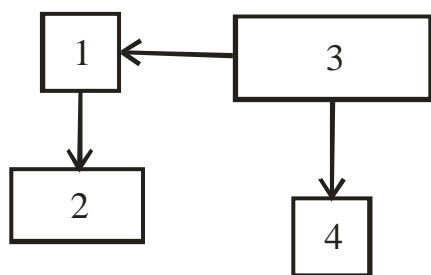
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ПАССИВНОГО ДАТЧИКА ДВИЖЕНИЯ

3.1 Экспериментальное определение температуры срабатывания ИК датчика движения



Фото 3.1 – Экспериментальная установка по исследованию характеристик пассивного датчика движения

1-ИК мишень, 2 – Цифровой измеритель температуры, 3 – ИК пассивный датчик движения, 4 – Стойка поворотного механизма, 5 – Универсальный источник питания, 6 – Прецизионный вольтметр.



- 1 ИК мишень
- 2 Цифровой термометр
- 3 Универсальный источник питания
- 4 Прецизионный вольтметр

Рисунок 3.2 - Структурная схема питания ИК мишени

Эксперимент по определению температуры срабатывания датчика сводится к изменению напряжения питания ИК-мишени (представляет собой проволочный резистор ПЭВ) на 1В. После чего необходимо делать выдержку 5мин, чтобы ИК-мишень прогрелась и температура установилась.



Фото 3.3 - Экспериментальная установка по исследованию характеристик пассивного датчика движения (лицевая часть)

Если, ИК-датчик движения не сработал, то необходимо снова повысить температуру на 1В. И так до тех пор, пока не сработает ИК- датчик

движения. Далее все экспериментальные исследования проводятся при напряжении питания ИК- мишени, которое соответствует температуре срабатывания ИК- датчика движения.

Как видно на фото 3.3 на лицевой части экспериментальной установки по исследованию характеристик пассивного датчика движения имеется верньер для поворота ИК- мишени и нониусная шкала для считывания угла поворота алюминиевой стрелы, на которой установлена ИК-мишень.

3.2 Экспериментальное снятие диаграммы направленности ИК пассивного датчика движения в горизонтальной плоскости

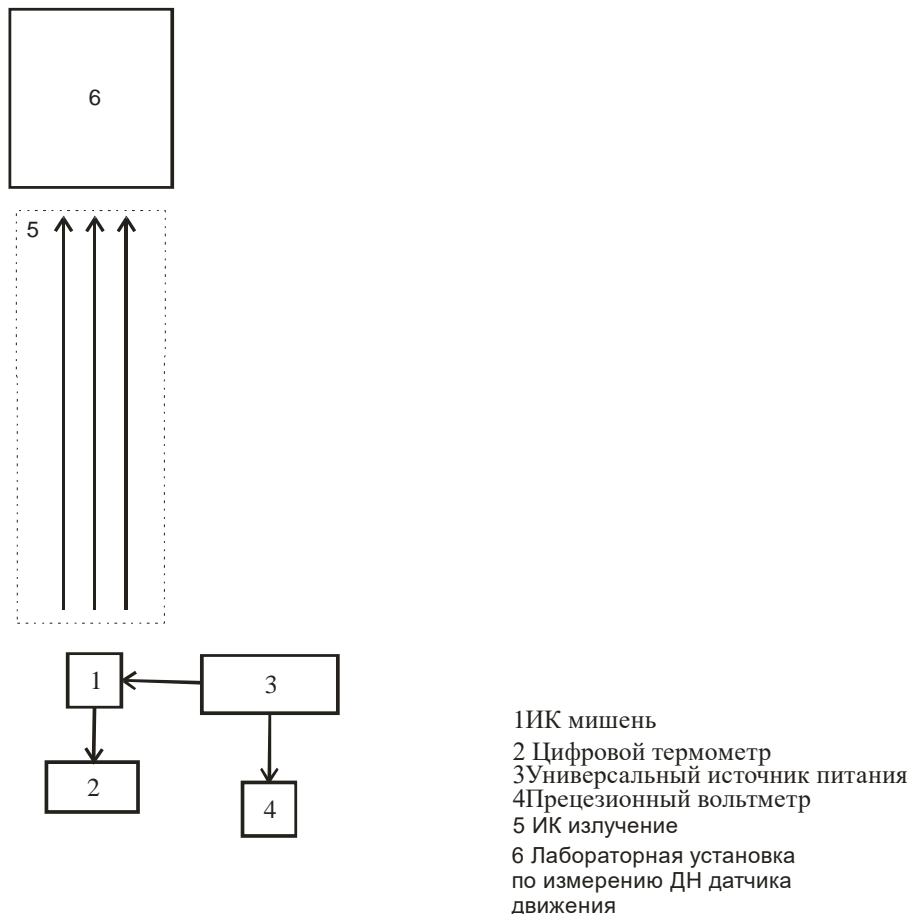
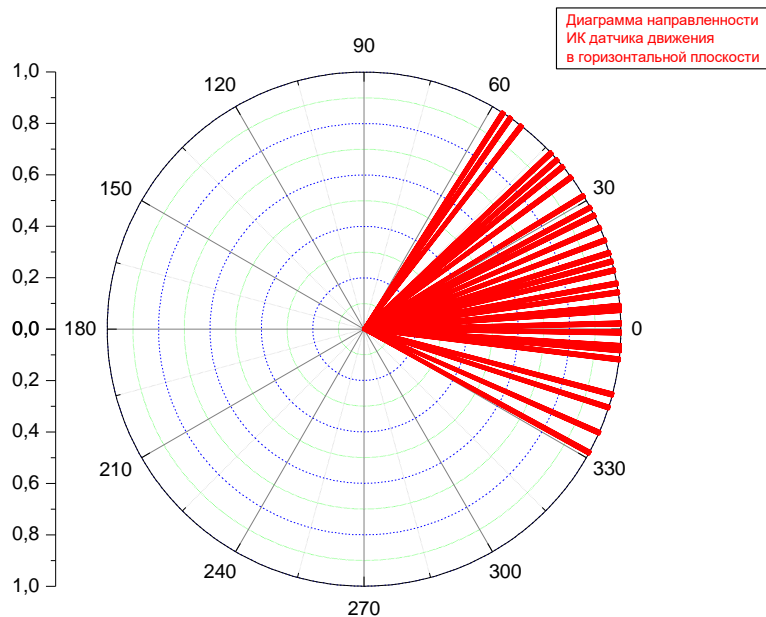


Рисунок 3.4 – Структурная схема установки по измерению ДН датчика движения

Итак, мы определили температуру срабатывания ИК-пассивного датчика движения (в общем случае она зависит от температуры окружающей среды, по этому мы ее не называем). Далее мы переходим к экспериментальному определению диаграммы направленности ИК-пассивного датчика движения в горизонтальной плоскости.

Снятие диаграммы направленности происходит следующим образом. С помощью верньера вращаем стрелу, с установленной на ней ИК-мишенью. Излучение нагретого резистора ПЭВ улавливается через линзу Френеля пиросенсорным датчиком движения. При повороте мишени она последовательно пересекает два соседних «луча», что приводит к срабатыванию датчика, о чем сигнализирует светодиод на передней панели установки (смотри фото 3.2). Почему я написал слово лучи в кавычка? Да потому, что датчик пассивный, и значит, он ничего не излучает. Воображаемые лучи конфигурирует линза Френеля, установленная перед пиросенсором. Положение стрелы датчика с ИК-мишенью при срабатывании считываем с нониусной поворотной шкалы экспериментальной установки (смотри фото 3.2). Экспериментально полученные данные обо всех лучах диаграммы направленности пассивного датчика движения заносим в компьютер в приложение ORIDGIN 6.10 и строим график.



Рисунок

3.5 - Экспериментально измеренная диаграмма направленности пассивного датчика движения в горизонтальной плоскости

Для чего потребовалось создавать установку, чтобы экспериментально определять диаграмму направленности датчика движения? Ведь производители датчиков не указывают в технической документации на датчик ее вид.

А делаем мы это для того, чтобы знать куда будут направлены «лучи» датчика движения. Если лучи будут направлены, например, на раструб кондиционера или на электрообогреватель и.т.п. то мы получим ложное срабатывание при включении этого оборудования. Непонятные ложные срабатывания пассивного ИК датчика движения приводят, как известно, к стрессам обслуживающего персонала. Производители устройства, исходя из шкурных финансовых соображений, готовы прийти на помощь пользователям. Сейчас мы раскрыли «нюанс», который позволит обойтись без лишних трат и привлечения специалистов по установке пассивного ИК-

датчика движения. Обычно лучи направленные на источник помех заклеивают с обратной стороны зоны Френеля непрозрачным скотчем.

3.3 Экспериментальное снятие диаграммы направленности ИК датчика движения в вертикальной плоскости

Для того, чтобы экспериментально измерить диаграмму направленности ИК датчика движения в вертикальной плоскости необходимо лишь изменить положение датчика движения с вертикального на горизонтальное. Стойка, на которой установлен ИК-датчик движения позволяет легко это сделать. Остается лишь повторить действия изложенные в подразделе 3.2. В результате проведенного эксперимента мы получили следующую диаграмму направленности в вертикальной плоскости.

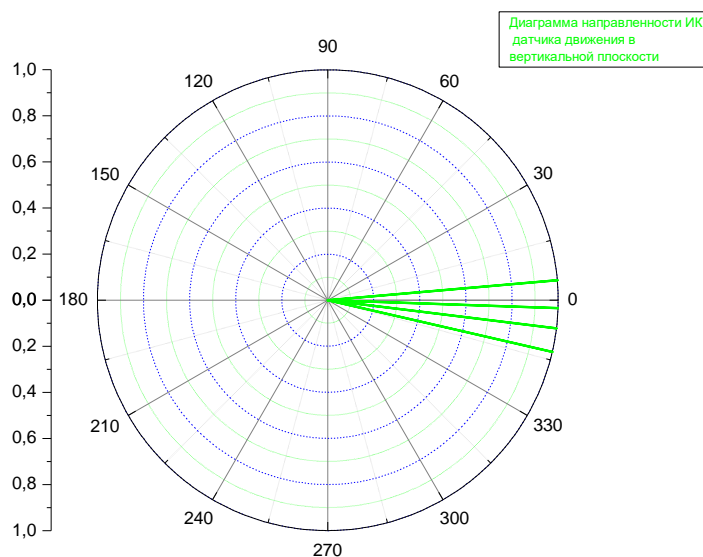


Рисунок 3.6 - Экспериментально измеренная диаграмма направленности пассивного датчика движения в вертикальной плоскости

Необходимость измерения диаграммы направленности пассивного датчика движения в вертикальной плоскости обусловлена следующим: возможно, что в квартире, где установлена сигнализация с пассивным ИК-датчиком движения находятся домашние животные. Пассивные датчики

движения часто устанавливаются в промышленных закрытых помещениях и ангарах. Часто охрана дублируется с помощью служебных собак. Служебные собаки, как известно, на месте не сидят, а бегают по помещению, чутко прислушиваясь к посторонним звукам. Температура тела собаки на два градуса выше, чем температура тела человека, а это может привести к ложным срабатываниям датчика движения. Поэтому потребуется корректировка угла установки датчика движения для того, чтобы создать зону, где служебные собаки будут перемещаться, не создавая ложных срабатываний.

ВЫВОДЫ

1. Принцип действия ИКСО основан на регистрации собственного теплового излучения нарушителя (пассивные ИКСО) или изменении параметров ИК-излучения при пересечении луча нарушителем (активные ИКСО).

2. Развитие ИКСО идет главным образом в направлении повышения помехоустойчивости за счет совершенствования оптических систем, алгоритмов обработки сигналов, широкого применения методов цифровой обработки сигналов с использованием специализированных микроконтроллеров и процессоров.

3. При выборе типов и количества СО для обеспечения охраны конкретного объекта следует учитывать возможные пути и способы проникновения нарушителя, требуемый уровень защиты, расходы на приобретение, монтаж и эксплуатацию СО, особенности объекта, соответствие тактико-технических характеристик СО предполагаемым условиям эксплуатации.

4. Особенностью ИКСО является их универсальность. С их использованием возможно блокирование проникновения в самые разнообразные помещения и блокирование подходов к различным конструкциям и предметам.

5. Общий принцип использования ИКСО заключается в том, что лучи зоны чувствительности должны быть перпендикулярны предполагаемому направлению движения нарушителя. Место установки СО следует выбирать так, чтобы минимизировать "мертвые зоны", вызванные наличием в охраняемом помещении крупных предметов, перекрывающих лучи.

6. К ложным срабатываниям ИКСО могут привести помехи теплового, светового, электромагнитного, вибрационного характера. Несмотря на то, что современные ИКСО имеют высокую степень защиты от указанных воздействий, все же целесообразно придерживаться следующих рекомендаций:

- не рекомендуется размещать СО в непосредственной близости от источников воздушных потоков (вентиляция, открытое окно);

- следует избегать прямого попадания на ИКСО солнечных лучей и яркого света; при выборе места установки должна учитываться возможность засветки в течение непродолжительного времени рано утром или на закате (когда солнце низко над горизонтом) или засветки фарами проезжающего снаружи транспорта;

- на время постановки на охрану целесообразно отключать возможные источники мощных электромагнитных помех, в частности отключать люминесцентные, неоновые, ртутные, натриевые лампы;

- для снижения влияния вибраций целесообразно устанавливать ИКСО на капитальных или несущих конструкциях;

- не рекомендуется направлять ИКСО на источники тепла (радиатор, печь), колеблющиеся предметы (растения, шторы) и в сторону мест нахождения домашних животных.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Алексеев В.Н. Современная концепция комплексной защиты. Технические средства защиты. - М.: МИФИ, 1994. - 38 с.
2. Андреев С.П. ИК-пассивные датчики охранной сигнализации. // Специальная техника. - 1998. - N 1. - С. 23-28.
3. Андреев А.И., Зорин А.С., Сапожников Г.П. Маскировка и скрытая установка аппаратуры охранной сигнализации. // Техника охраны. - 1994. -N1.-С. 85-88.
4. Батанов А.М. Объемный охранный ИК-извещатель "Фотон-4". // Техника охраны. - 1994. - N 1. - С. 64-66.
5. Пастухов Н.А., Членов А.Н. Состояние и перспективы развития извещателей для охраны помещений. // Техника охраны. - 1994. - N 1. - С 42-46.
6. Свирский Ю.К. ИК-датчики: методы повышения помехоустойчивости. // Системы безопасности связи и телекоммуникаций. - 1997. - № 3. -С.12-16.
7. Шеленцов Б.Н. Комбинированный извещатель "Сокол-Г. // Техника охраны. - М.: НИЦ "Охрана" ВНИИПО МВД РФ. - 1994. - N1. - С.67-68.
8. Андреев С. П. Комбинированные датчики охранной сигнализации. // «Солон-Р», М., 2001, 192с.
9. Лернер З.Д. Управление временными параметрами импульсов в мультивибраторе Роера. Изв. Вузов. Приборостроение.–1988. Т31,№8.– с.53–55.
10. Шумилин М.С., Козырев В.Б., Власов В.А. Проектирование транзисторных каскадов передатчиков. Учебное пособие для техникумов. – М.: Радио и связь, 1987.– 320 с.

11. Тепляков И.М. Радиотелеметрия.– М.: Сов. радио, 1966.– 310 с.
12. Фолкенберри Л. Применения операционных усилителей и линейных ИС: Пер.с англ .– М.: Мир,1985.– 572с.
13. Ногин В.Н. Аналоговые электронные устройства : Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь,1972.– 307с.