

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА ДЛЯ ПОЛЕВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УТЕЧЕК ПРИРОДНОГО ГАЗА

Шеховцов Д.А., магистрант; Хламов М.Г., проф., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

С наступлением 21 века человечество столкнулось с проблемой ограниченности природных ресурсов согласно разным прогнозных данных разведанные ресурсы газа нефти будут исчерпаны в ближайшие 30 40 лет этот ставит задачу экономного расхода имеющихся природных ресурсов [1,2]. Разгерметизация трубопровода ведёт к непроизводительным потерям природного газа уменьшение этих потерь сопряжено с контролем трубопровода своевременным обнаружением утечек газа и их устранением. В разрабатываемой системе обнаружения утечек газа точность решения задачи зависит от точного измерения расстояния между аппаратными блоками аппаратуры обнаружения утечек. Прибор измерения дальности включенный в состав такой аппаратуры позволяет существенно повысить точность определения параметров утечек природного газа и на базе этих данных принять необходимые адекватные меры по устранению утечек. Разработка прибора определения дальности для системы определения утечек следует считать необходимой и актуальной.

В данной работе приводится обоснование структурной схемы прибора для измерения дальности «Лазерный дальномер».

Цель данной работы это разработка прибора измерения дальности для обеспечения повышения точности измерения утечек метана из трубопровода, путём учёта длины оптической трассы. Принцип измерения дальности лазерного дальномера заключается измерении фазовых запаздываний между опорной последовательностью импульсов и запаздывающей последовательностью импульсов полученной в ходе измерения длины трассы с преобразованием в интервал времени который в дальнейшем преобразуется в число импульсов, код дальности [3].

Ниже приводится описание структурной схемы лазерного дальномера.

В качестве источника излучения выбирается полупроводниковый лазер с длиной волны $\lambda=0,645$ мкм, что соответствует красному цвету, то есть луч видимый, обеспечивающий визуальный контроль. В качестве приемника используются кремниевые фотодиоды. Для обеспечения эффективного подавления случайной составляющей погрешности результат должен быть получен путем накопления $N \Delta t$, где Δt – это интервал, эквивалентный разности фаз.

Функцию накопления интервалов Δt реализуют с помощью интегратора, обеспечивающего преобразование накопленной суммы интервалов фазового запаздывания в напряжение. Благодаря использованию метода двойного интегрирования накопленное напряжение на интеграторе преобразуется в интервал времени. Интервал времени преобразуется в число импульсов с использованием импульсной последовательности высокой частоты и двоичного счетчика. В устройство следует ввести формирователи импульсов, с помощью которых обеспечивается улучшение фронтов импульсных сигналов. С учетом изложенного структурная схема устройства имеет вид (рис. 1).

Источник излучения – полупроводниковый лазер, работающий в импульсном режиме. Управление режимом работы осуществляется генератором тактовым импульсом (ГТИ). С генератора тактовых импульсов сигнал подается на схему устройство управление полупроводниковым лазером (УУПЛ), далее сигнал подается на схему полупроводникового лазера(ПЛ). Выходной сигнал полупроводникового лазера проходит через полупрозрачное зеркало (ППЗ) и разделяется на 2 потока: основной (выводится в оптическую трассу) и второй поток, величиной 3-5% от исходного, который подается в цепь обратной связи на устройство (ФП1). С помощью обратной связи обеспечивается формирования опорной

последовательности импульсов. Сигнал, отраженный от отражателя L (25-250м), поступает в объектив. Затем на фотодиод (ФП2). Импульсный выходной сигнал тока преобразуется в сигнал напряжения и поступает на триггер формирователь импульсов (ФИ). Выходной сигнал с формирователя импульсов поступает на УФИС. На первый вход УФИС подается сигнал с генератора тактовых импульсов. Пришедший сигнал с ФИ отстает от опорного. Схемой совпадения формируется импульс, длительность которого равна времени запаздывания второго сигнала. Этот сигнал поступает на устройство формирования информационного сигнала (УФИС), а затем на интегратор. А также сигнал со схемы совпадения поступает на устройство управления (УУпр), которое подсчитывает число импульсов.

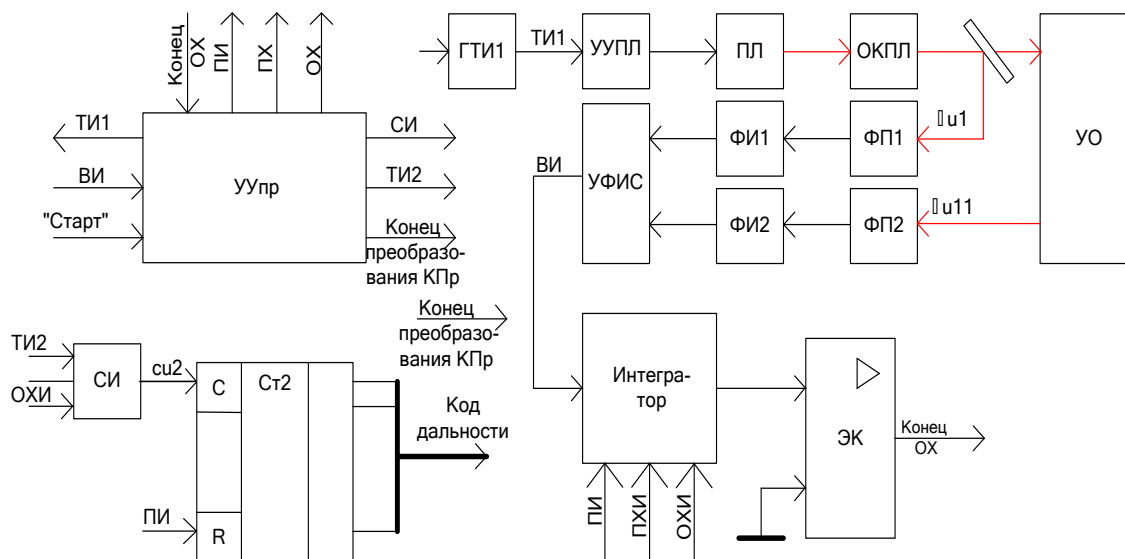


Рисунок 1 – Структурная схема дальномера: СИ - селектор импульсов; ОХИ - обратный ход интегрирования; ПХ - прямой ход интегрирования; ПИ - подготовка интегрирования; ЭК - электронный компаратор; УФИС - устройство формирования информационного сигнала; УО - уголкового отражателя; ОКПЛ - оптический корректор параметров луча

В качестве базовой схемы выбрана схема неинвертирующего интегратора с масштабным усилителем [4]. Схема интегратора рис. 2 построена на основе источника тока, управляемого напряжением. Усиление обеспечивается резисторами R1 и R2, включенными в цепь отрицательной обратной связи.

Передаточную функцию для этой схемы можно записать в виде:

$$U_{\text{вых}}(p) = U_{\text{вх}}(p) \cdot \frac{\left(1 + \frac{R2}{R1}\right)}{p \cdot R3 \cdot C + 1 - \frac{R2 \cdot R3}{R1 \cdot R4}} \quad (1)$$

Для нормального функционирования интегратора согласно (ссылка Щербаков) должно выполняться соотношение:

$$R2 \cdot R3 = R1 \cdot R4 \quad (2)$$

Выполнив это условие, получим:

$$U_{\text{вых}}(p) = U_{\text{вх}}(p) \cdot \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \div pCR3 \quad (3)$$

Очевидно, что при выполнении условия (2) схема будет находиться на границе устойчивости, что потребует применения высокоточных резисторов. Но точность

выполнения условия оказывает влияние на выходное сопротивление источника сигнала. Поэтому на входе необходимо включать повторитель напряжения, который также необходим для уменьшения степени влияния входных цепей коммутации и цепей интегрирования.

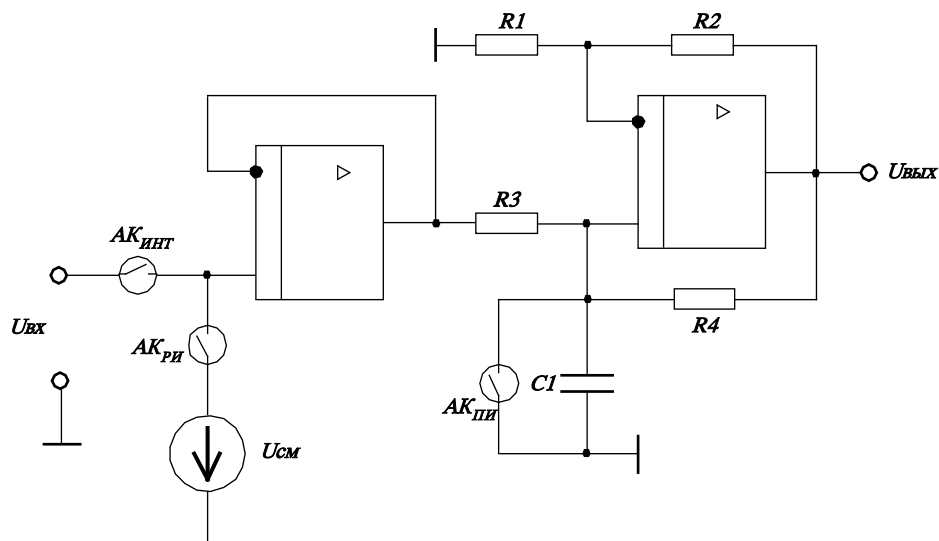


Рисунок 2 – Схема интегратора с аналоговыми ключами, включенными в соответствующих фазах: АКИНТ - интегрировании, АКРИ - разряде интегратора, АКПИ - подготовка интегрирования

Для управления процессом интегрирования параллельно емкости $C1$ включается аналоговый ключ АКпи. Для реализации процедуры двойного интегрирования коммутация входного сигнала обеспечивается аналоговым ключом АКинт, во включенном состоянии обеспечивает режим прямого интегрирования. Процесс разряда интегратора инициируется ключом АКри с источником отрицательного смещения $U_{см}$.

Процесс интегрирования импульсов (см. рис. 3) продолжается в течении поступления 4096 импульсов. После того как на интегратор поступят 4096 импульсов (импульсы считаются счетчиком Сч), он переводится в режим разряда (обратного хода). При этом вход интегратора подключается к общей шине. Устройством управления на первый вход элемента «И» подается сигнал, длительность которого равна времени разряда интегратора.

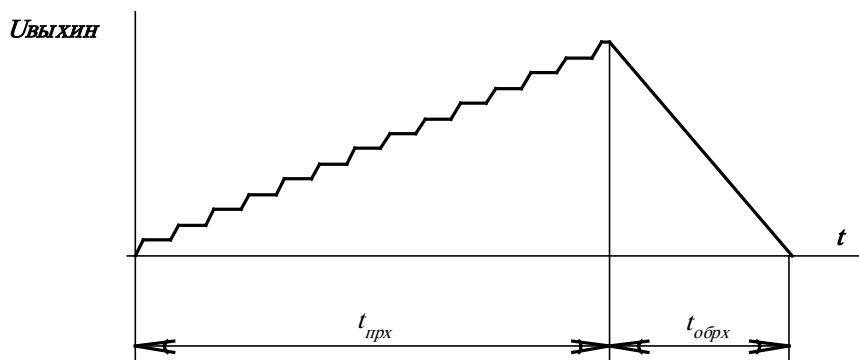


Рисунок 3 – Изменение напряжения на интеграторе в режимах накопления и разряда

На второй вход поступают короткие импульсы с генератора высокой частоты (ГВЧ). Число коротких импульсов, прошедших через «И», подсчитывается двоичным счетчиком Ст2. Момент достижения интегратором напряжения 0 определяется электронным компаратором, на входы которого подаются сигналы:

- 1) с интегратора на первый вход;
- 2) на второй вход – напряжение, равное 0.

Как только разность напряжений меняет знак – на выходе компаратора формируется перепад напряжения от 0 к высокому уровню.

По фронту этого сигнала останавливается подсчет числа импульсов двоичным счетчиком Ст2. Устройством управления на микроЭВМ выдается сигнал «Конец измерений» и двоичный код со счетчика. МикроЭВМ воспринимает сигнал «Конец измерений» и он поступает в систему прерывания микроЭВМ. Обработка прерываний инициирует запуск программы ввода данных. Выходной двоичный код при этом вводится в память микроЭВМ.

Программой обработки переменной «Длительность оптического канала L» присваивается значение двоичного кода. Этой же программой выдается выходной сигнал микроЭВМ (либо «Старт» следующего измерения, либо «Конец измерений»). При «Старт» Ст2 устанавливается в начальное состояние по указанию управляющего устройства. С первым сигналом с генератора синусоидальных сигналов начинается формирование результатов новых наблюдений.

Разработана модель лазерного дальномера выполненная в программе Multisim. В процессе моделирования работы лазерного дальномера схема интегратора выполняет измерение фазовых запаздываний методом двойного интегрирования с преобразованием фазовых запаздываний в величину выходного напряжения интегратора и при обратном ходе интегратора - во временной интервал, который в дальнейшем преобразуется в цифровой код дальности. Моделирование выполнено с целью проверки расчетной модели и оценки метрологических параметров дальномера при его работе в реальных условиях.

Расчётным путём установлено:

При $t_{\text{выкл}}=10$ мс, $S=500$ м, $cc=299792,5 \cdot 10^3$ получено:

$$T\tau_u = 2.1 \text{ мкс};$$

$$\tau\tau_u = 0.42 \text{ мкс}.$$

Время измерения прямого хода:

$$N_{\text{повт}}=4096; t_{\text{пр.хода}} = N_{\text{повт}} \cdot T\tau_u = 8.6 \text{ мс}.$$

Принята разрядность двоичного счетчика ППсч = 15.

Период следования счетных импульсов равен:

$$\tau\tau_{TU} = \frac{t_{\text{обр.ходаmax}}}{2^{\text{ППсч}}},$$

где $t_{\text{обр.ходаmax}} = 10.247$ мс, $\tau\tau_{TU} = 312.7$ нс;

ff_{TU} - частота следования TU; $ff_{TU} = \frac{1}{\tau\tau_{TU}} = 3.1978$ МГц.

Дискретность определения дальности – шаг квантования ΔS :

$$\Delta S = \frac{S^2}{t_{\text{обр.ходаmax}} \cdot ff_{TU}} = 1.52 \text{ см}$$

Моделирование в Multisim подтвердило теоретические расчёты и позволило оценить метрологические параметры лазерного дальномера, а также их зависимость от наиболее существенного влияющего фактора— температуры. Абсолютное значение погрешности измерения дальности при температуре 20⁰С составило $1.4 \cdot 10^{-4}$ м.

Перечень ссылок

1. Уорк, К. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер – Пер. с англ.; под ред. Е. Н. Теворовского. – Москва : Мир, 1980. – 540 с.
2. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. – Москва : Гидрометеиздат 1984. – 376 с.
3. Михеечев, В. С. Геодезические светодальномеры / В. С. Михеечев – Москва : Недра, 1979. - 222 с.
4. Щербаков, В. И. Выбор схемы источника питания / В. И. Щербаков, Г. И. Грездов // Справочник «Электронные схемы на операционных усилителях». – 1983. - С.131-133.