



**Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический
университет**

Методические указания

**к выполнению лабораторных работ 14Ф – 15Ф
на оборудовании фирмы «FESTO»
по дисциплине
«Преобразующие устройства приборов»
для студентов специальности 7.090901
«Приборы точной механики»
дневной и заочной форм обучения**

Часть 4

**“Потенциометрические и
ультразвуковые преобразователи”**

**Севастополь
2008**

УДК 64.5.09

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Преобразующие устройства приборов»: в 4 ч. / Разраб. докт. техн. наук, проф. В.Я. Копп, канд. техн. наук, доц. А.П. Васютенко, инженер В.В. Поливцев. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. – Ч.4: Потенциометрические и ультразвуковые преобразователи. – 28с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении лабораторных работ.

В качестве лабораторных стендов представлены узлы и блоки измерительных преобразователей фирмы «FESTO». Приведены электрические схемы обработки сигналов измерительной информации. Представлены методики построения статических характеристик измерительных преобразователей. Приведены основные теоретические зависимости для расчета потенциометрических и ультразвуковых преобразователей и необходимые справочные данные.

Методические указания предназначены для студентов технических вузов приборостроительных специальностей дневной и заочной форм обучения.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Автоматизированные приборные системы» 2 июня 2008 г., протокол №9.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Рецензент: О.В. Филипович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматизированные измерительные системы».

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа 14Ф «Изучение линейных потенциометров».....	4
2. Лабораторная работа 15Ф «Изучение ультразвукового преобразователя»	13
Библиографический список	26

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 14Ф

ИЗУЧЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ПОТЕНЦИОМЕТРОВ

1. Цель работы: изучить принцип работы линейных потенциометров, схемы их включения и методы расчёта параметров и погрешности. Исследовать статическую характеристику потенциометра.

2. Основные сведения.

2.1. Конструкция потенциометров.

Потенциометрические (реостатные) преобразователи служат для преобразования угловых или линейных механических перемещений в соответствующие изменения сопротивления R , напряжения U или тока I .

Конструктивно потенциометрический преобразователь (потенциометр) представляет собой переменный резистор (реостат), включённый по схеме делителя напряжения, подвижный контакт которого перемещается под воздействием механического усилия.

Широкое применение в устройствах автоматики получили проволоочные потенциометрические преобразователи непрерывной намотки. Они состоят из каркаса, обмотки и подвижного контакта (ползуна).

Каркас выполняется из изоляционного материала (текстолита, стеклотекстолита, пластмассы) или металла (алюминиевого сплава), покрытого слоем изоляции. По форме каркасы бывают плоскими, цилиндрическими и кольцевыми.

Для обмоточного провода используются сплавы с высоким удельным сопротивлением: манганин, константан, нихром. Для преобразователей с малым удельным давлением и повышенной износостойкостью применяют сплавы из благородных металлов: платины с иридием и др. Диаметр обмоточного провода в зависимости от необходимой точности и величины сопротивления составляет $0,03 \dots 0,1$ мм для преобразователей высокого класса точности и $0,3 \dots 0,4$ мм для преобразователей низкого класса точности. В таблице 1 приведены основные свойства материалов, используемых для изготовления потенциометров.

Таблица 1 – Материалы потенциометрических преобразователей

Наименование и состав материала (сплава)	Удельное электрическое сопротивление при 20°C , ρ , Ом·м	Максимальная рабочая температура, $^\circ\text{C}$
Манганин МНц 3-12 (Cu, Mn, Ni+Co)	$4,3 \cdot 10^{-7}$	60
Константан МНМц 40-1,5 (Cu, Ni+CoMn)	$5 \cdot 10^{-7}$	500
Нейзильбер МНц 15-20 (Cu, Zn, Ni+Co)	$3,3 \cdot 10^{-7}$	200
Нихром Х15Н60 (Fe, Ni, Cr)	$1,12 \cdot 10^{-6}$	1100
Фехраль ОХ23Ю5 (Fe, Cr, Al)	$1,3 \cdot 10^{-6}$	1200
Платина-иридий (Pt, Ir)	$10 \cdot 10^{-8}$	540
Серебро-палладий (Ag, Pd)	$3,8 \cdot 10^{-8}$	150
Вольфрам (W)	$5,5 \cdot 10^{-8}$	1000

Подвижный контакт выполняют в виде двух-трех параллельных проволок или пластинчатых щеток из сплавов платина-иридий, платина-бериллий или серебра, фосфористой бронзы и др. Для надежной работы обеспечивается поджим щетки к обмотке с контактным усилием $(0,5..15) \cdot 10^{-2}$ Н.

Если по всей длине каркас имеет одинаковые высоту и ширину, а обмоточный провод – одинаковые диаметр и удельное электрическое сопротивление, то такой преобразователь обеспечивает линейный закон распределения сопротивления.

Проводящие пластиковые потенциометры сопротивления.

Сопротивление линейного потенциометра покрыто токопроводящим пластиковым слоем. На нем – скользящий контакт, где можно измерить напряжение, которое пропорционально подаваемому напряжению. Главные преимущества этого потенциометра: большое разрешение, малая нелинейность и умеренная цена. Недостатки: изнашивание противодействующего слоя и скользящего контакта, а так же возможные дефекты контакта в результате механического повреждения.

Эксплуатационные критерии линейного потенциометра.

Ошибка линейности означает максимальную разницу измерительной кривой потенциометра от идеально прямой линии. При определении линейности измеряемое напряжение потенциометра сравнивается с идеальным делителем напряжения [2].

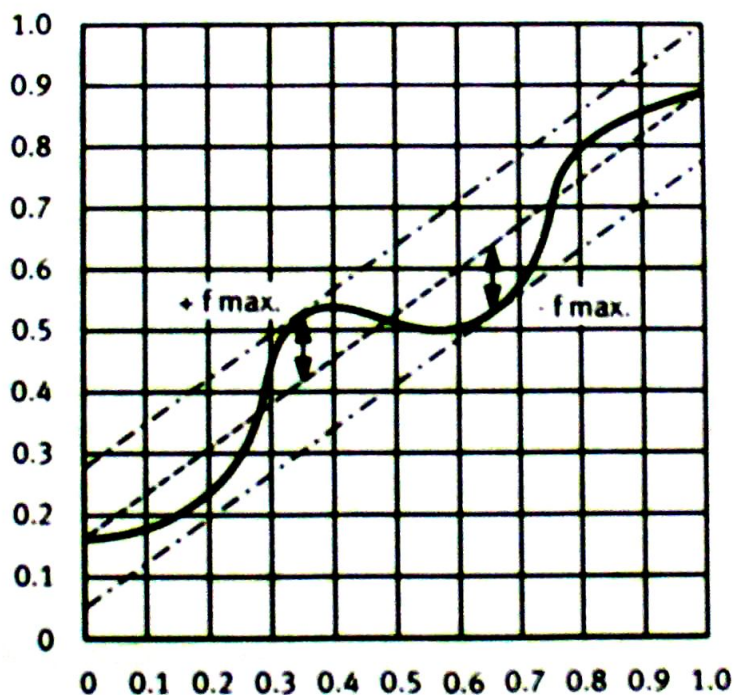


Рисунок 1 – Характеристика проводящего пластикового потенциометра

2.2. Электрические схемы потенциометрических преобразователей.

Потенциометрические преобразователи делятся на одноконтные и двухконтные.

Одноконтный (непрерывный) преобразователь (рисунок 2а) дает возможность измерять перемещение x ползуна только одного знака и имеет статическую характеристику управления при работе в режиме холостого хода, представляющую собой линейную зависимость между выходным напряжением $U_{\text{вых}}$ и перемещением ползуна x (рисунок 2б).

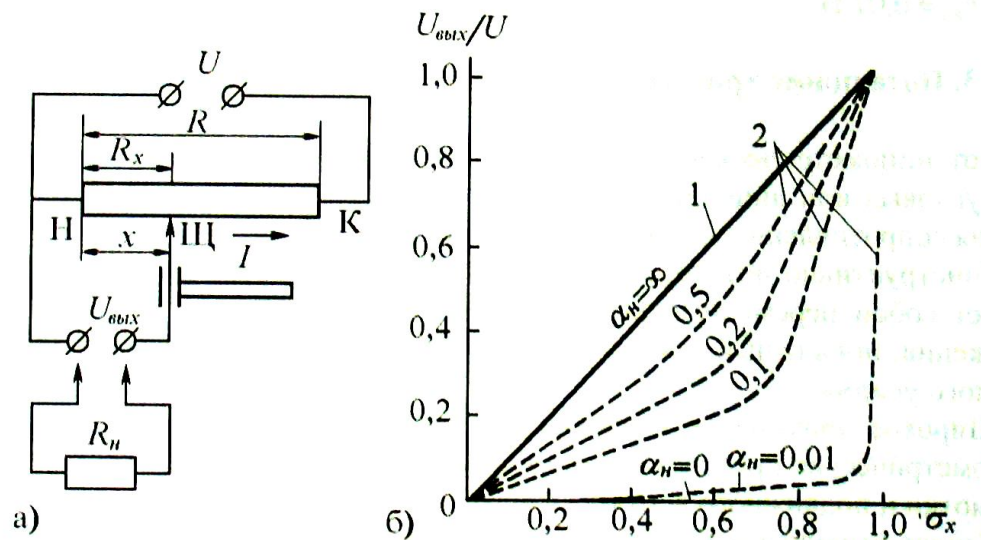


Рисунок 2 – Однотактный преобразователь

Двухтактные (реверсивные) преобразователи (рисунок 3а), реагирующие на знак перемещения ползуна, имеют характеристику управления, представленную на рисунке 3б.

К зажимам Н и К ненагруженного потенциометра с максимальным сопротивлением R прикладывается постоянное или переменное напряжение U . При этом сопротивление потенциометра между зажимом Н и щеткой Ц изменяется по закону

$$R_x = Rf(x),$$

где R_x – сопротивление участка x , Ом; $f(x)$ – функция линейного или углового перемещения движка потенциометра.

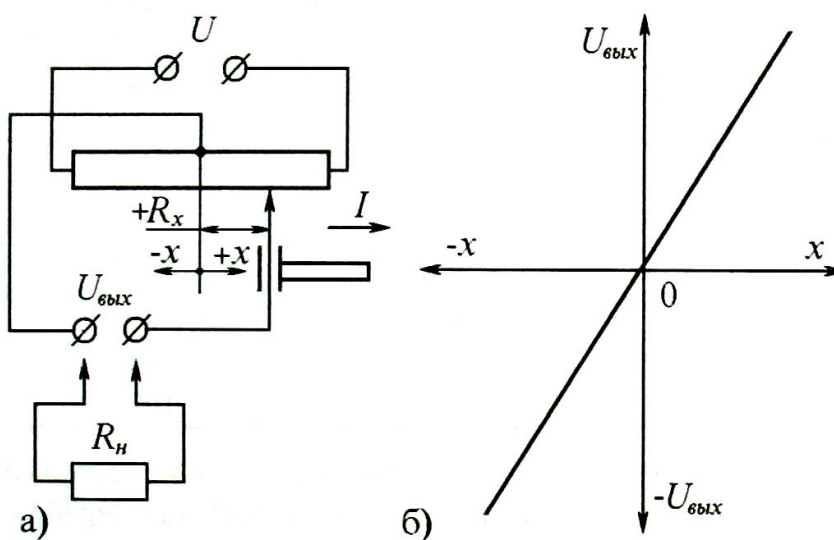


Рисунок 3 – Двухтактный преобразователь

Выходное напряжение кривых снимается с резистора R_x и, следовательно, зависит от перемещения движка. Таким образом осуществляется преобразование входной величины (перемещение) в выходную величину (напряжение). При смещении движка вправо от точки Н на величину x выходное напряжение потенциометра в режиме холостого хода ($R_H = \infty$)

$$U_{xx} = IR_x = R_x U / R, \quad (1)$$

или для любой заданной функции $f(x)$

$$U_{xx} = Uf(x).$$

При линейном законе распределения сопротивления по длине потенциометра

$$U_{xx} = R_x U / R = x U / L_0 = \sigma_x U, \quad (2)$$

где $\sigma_x = x / \ell$ – относительное перемещение движка; L_0 – длина намотки по каркасу, м.

Характеристика управления такого потенциометра в режиме холостого хода линейна (рисунок 2б) и прямая 1 соответствует формуле (2). Однако при наличии нагрузки ($R_H \neq \infty$) характеристика становится нелинейной (кривые 2) и в работе потенциометра появляются погрешности.

Максимальное сопротивление обмотки линейного потенциометра

$$R = 4\rho \ell \omega / (\pi d^2) = 4\rho \ell_{cp} L_0 / (\pi f d^3), \quad (3)$$

где ρ – удельное сопротивление материала провода, Ом·м; ℓ_{cp} – средняя длина одного витка намотки, м; $L_0 = \omega d_1$ – длина намотки по каркасу, м; $f = (1,05 \dots 0,15) = d_1 / d$; d_1 и d – диаметры провода, соответственно, с изоляцией и без изоляции, м; ω – число витков обмотки.

Если задано сопротивление R потенциометра, то диаметр провода на основании равен

$$d = \sqrt{4\rho \ell_{cp} L_0 / (\pi f R)}. \quad (4)$$

Допустимая мощность рассеяния P в обмотке при нагреве ее током должна удовлетворять условию

$$P \leq \alpha_T S_{охл} \Delta t,$$

где α_T – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·град; $S_{охл}$ – площадь поверхности охлаждения обмотки, м²; $\Delta t = t - t_{0 \max}$ – допустимое повышение температуры обмотки при нагреве ее током, град; t – верхний предел температуры нагрева обмотки при максимальной температуре окружающей среды, град; $t_{0 \max}$ – максимальная температура окружающей среды, град. Это условие может быть выражено в другом виде

$$4\rho \ell_{cp} I^2 / (\pi d^2) \leq \alpha_T \xi \pi \ell_{cp} d \Delta t,$$

Отсюда

$$I \leq I_{дон} = \sqrt{\alpha_T \xi \pi d^3 \Delta t / 4\rho},$$

где I – ток в обмотке, А; ξ – коэффициент, учитывающий, что часть поверхности провода соприкасается ни с окружающей средой, а с каркасом.

Для обмотки в воздухе $\alpha_T = (0,1 \dots 1,4) \cdot 10^{-3}$ Вт/(см²·град) = (1,0...14)

Вт/(см²·град), значение ξ лежит в пределах $0,5 < \xi < 1$.

Допустимая плотность тока в обмотке зависит от материала провода и условий его охлаждения. Обмоточный провод из манганина и константана допускает плотность тока: при пластмассовом каркасе до 10 А/мм²; при металлическом каркасе до 25...30 А/мм². При этом температура не должна превышать 40...50°C.

Обмоточный провод из благородных металлов при металлическом каркасе допускает плотность тока порядка 40...50 А/мм² и температуру 70...80°C [2].

2.3. Погрешности потенциметрических преобразователей.

Основными источниками погрешностей потенциметров являются: зона нечувствительности, технологические погрешности (непостоянство диаметра провода, шага намотки и др.), люфты, трение, эксплуатационные факторы (влияние температуры, механических усилий и др.).

Зона нечувствительности обусловлена дискретным изменением сопротивления при перемещении щетки с витка на виток. В пределах зоны нечувствительности перемещение щетки не вызывает изменения выходного сигнала, поэтому сигнал изменяется скачкообразно или ступенями. Ступенчатая характеристика линейного потенциометра представлена на рисунке 4; ширина ступеньки равна шагу $\ell_{ш}$ намотки провода, а высота сопротивлению R_0 витка.

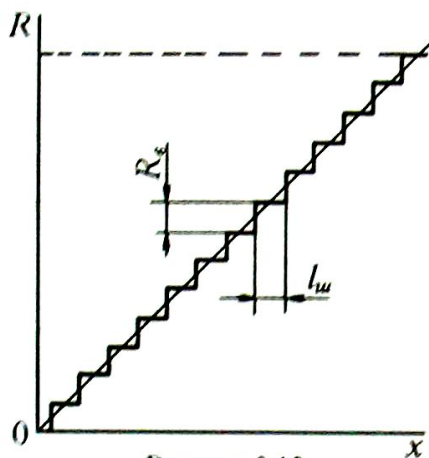


Рисунок 4 – Ступенчатая характеристика линейного потенциометра

Если для линейного потенциометра за идеальную характеристику принять прямую, проходящую через середины ступенек, то зона нечувствительности или абсолютная погрешность в единицах сопротивления составит

$$\Delta R_B = \pm R/2\omega, \quad (5)$$

где R – максимальное сопротивление потенциометра, Ом; ω – полное число витков.

Относительная погрешность

$$\delta c = \pm \Delta R_c / R = \pm 1/2\omega. \quad (6)$$

Выходное напряжение нагруженного потенциометра зависит от характера и величины нагрузки R_H (рисунок 2а). В случае чисто активной нагрузки

$$U_{\text{вых}} = I_H R_H, \quad I_H = U_{\text{xx}} / (R_i + R_H),$$

где I_H – величина тока в нагрузке, А; R_i – внутреннее сопротивление схемы

$$R_i = (R - R_x) R / R = (1 - \sigma_x) \sigma_x R.$$

Следовательно, с учетом (2)

$$U_{\text{вых}} = \sigma_x U_{\alpha_n} / [\sigma_x (1 - \sigma_x) + \alpha_n], \quad (7)$$

где $\alpha_n = R_H / R$ – коэффициент нагрузки; $\sigma_x = R_x / R$.

Характеристики потенциометра, соответствующие выражению (7), нанесены на рисунке 2б пунктиром. Таким образом, при чисто активной нагрузке возникает дополнительная нелинейность характеристики управления.

Для уменьшения погрешности потенциометра от нагрузки целесообразно иметь коэффициент нагрузки достаточно большим ($\alpha_n > 10$) или выполнять потенциометр с нелинейным распределением сопротивления вдоль каркаса, обеспечиваю-

щим при заданной нагрузке линейную характеристику управления (функциональный потенциометр).

Для измерения переменных величин потенциометрические преобразователи могут быть использованы, если частота не превышает 5 Гц [2].

2.4. Техническая характеристика пластикового потенциометра со специальным резистивным покрытием.

1. Допускаемое рабочее напряжение – $13 \div 20$ В
2. Сопротивление потенциометра – 5 кОм
3. Допуск сопротивления - ± 20 %
4. Рекомендованное значение тока - ≤ 1 мА
5. Диапазон перемещений – $0 \div 304$ мм
6. Выходное напряжение – $0 \div 10$ В
7. Диапазон рабочих температур – $-30 \div +70$ °С
8. Нелинейность характеристики – $\pm 0,07$ %
9. Разрешающая способность – $\leq 0,01$ мм
10. Защита от смены полярности – да
11. Сопротивление изоляции – 100 мОм

3. Содержание работы.

3.1. Изучить принцип работы и методики расчета потенциометрических преобразователей и их погрешностей.

3.2. Изучить конструкцию преобразователя, назначение и конструкцию узлов и блоков лабораторного стенда.

3.3. Собрать лабораторную установку.

3.4. Снять статическую характеристику потенциометрического преобразователя и построить график.

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Собрать электромеханический модуль лабораторного стенда согласно рисунка 5.

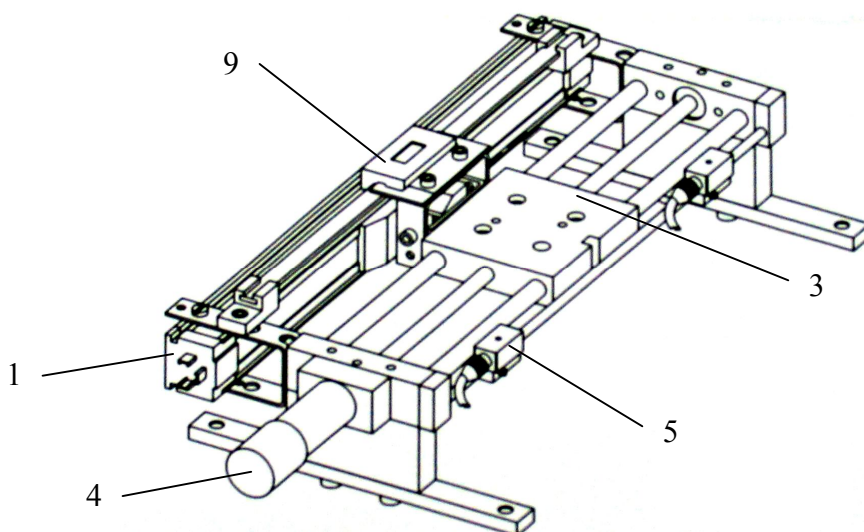


Рисунок 5 – Общий вид установки

Комплект оборудования приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Комплект оборудования

№ элемента	Количество	Наименование
1	1	Аналоговый линейный потенциометр
2	1	Контроллер двигателя
3	1	Подвижная каретка с винтовым приводом
4	1	Мотор-редуктор
5	2	Бесконтактный индуктивный путевой выключатель
6	1	Адаптер для РР
7	1	Адаптер для установки высоты
8	1	Аналоговая соединительная плата
9	1	Емкостной преобразователь для линейных перемещений
10	1	Переключатель сигналов
11	1	Цифровой мультиметр

4.1.1. Описание конструкции электромеханического модуля.

Подвижная каретка 3 установлена на двух направляющих штангах и снабжена винтовой передачей для ее перемещения. Приводом служит редукторный электродвигатель 4. Максимальное перемещение каретки 260 мм. С целью предотвращения поломки привода каретки и ограничения величины ее хода в модуле предусмотрены два бесконтактных путевых выключателя 5, которые подключаются к контроллеру двигателя 2. Для снятия статической характеристики исследуемого потенциометра используется емкостное устройство, включающее в себя подвижный ползунок с цифровым отсчетным устройством. Техническая характеристика емкостного преобразователя представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Техническая характеристика емкостного преобразователя

Параметр	Значение
Пределы измерения	286 мм
Предельная величина погрешности измерения	$\pm 0,03$ мм
Вариация показаний	$\pm 0,01$ мм
Скорость перемещения подвижного ползунка	$< 1,5$ м/с
Потребляемая мощность	1,5 МВт
Рабочая температура	$0 \div +40^{\circ}\text{C}$
Источник питания	Батарея 1,5 В
Срок службы батареи	12 мес

При перемещении каретки 3 синхронно перемещаются ползунки линейного потенциометра 1 и емкостного преобразователя 9. Потенциометр подключен к аналоговой соединительной плате [1].

4.2. Собрать электрическую схему лабораторной установки согласно рисунку 6,7.

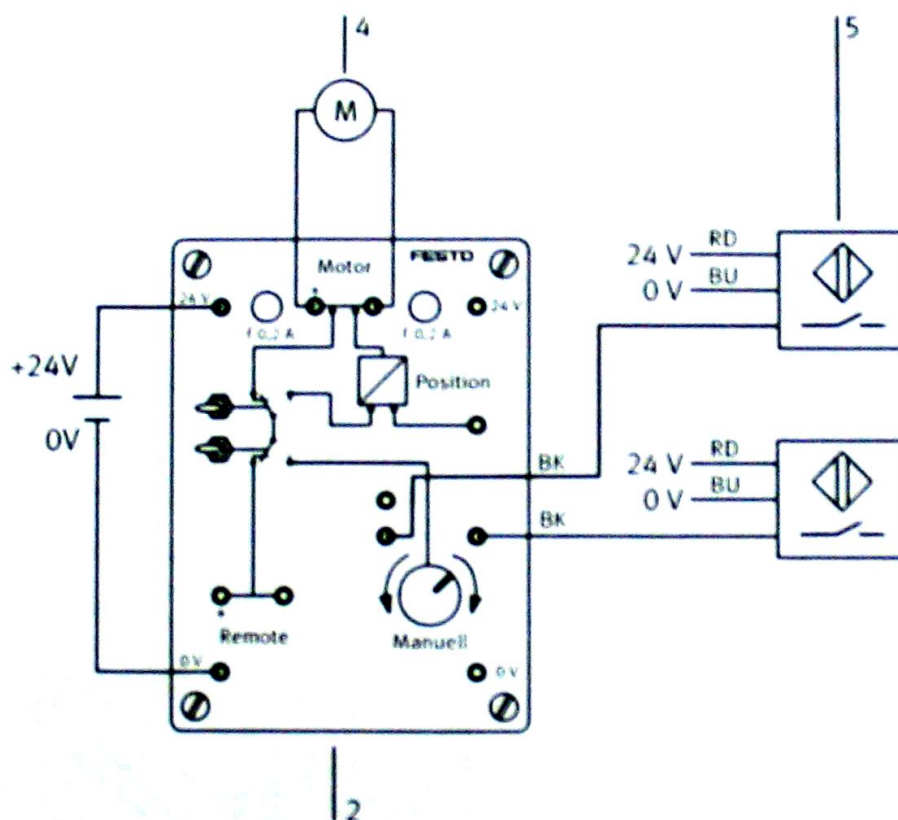


Рисунок 6 – Схема подключения электродвигателя и путевых выключателей

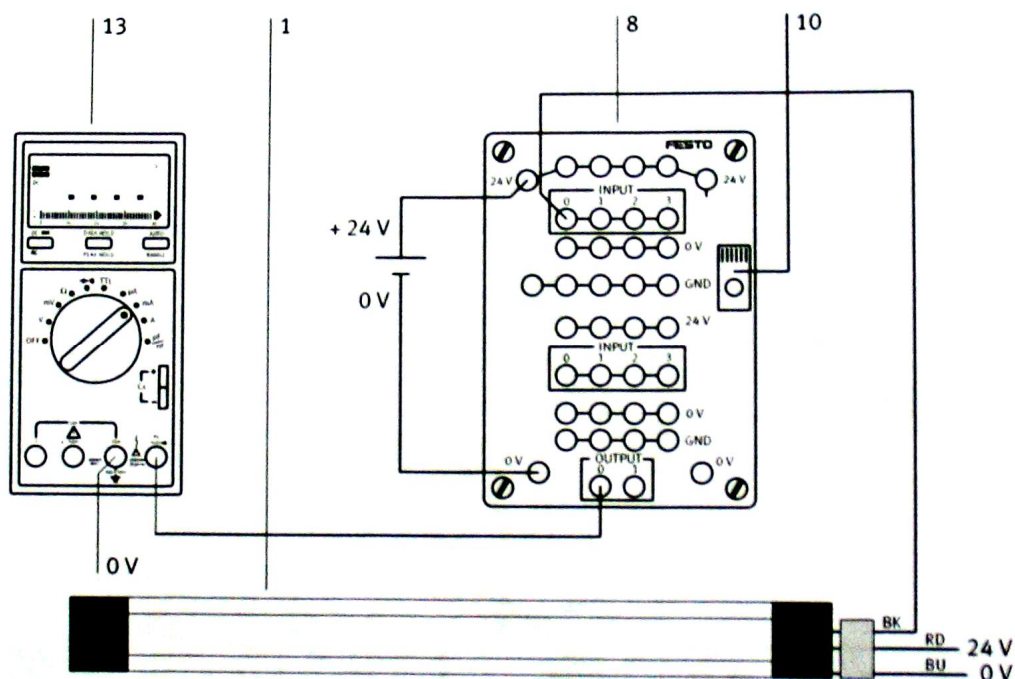


Рисунок 7 – Схема подключения потенциометра и мультиметра

4.3. Снятие статической характеристики потенциометра.

4.3.1. Установить верхний тумблер контроллера двигателя в положение «слева», а нижний тумблер в положение «справа».

4.3.2. Передвинуть подвижную каретку посредством электромеханического привода к ближайшему бесконтактному путевому выключателю. Мультиметр дол-

жен показывать 2 В, а на экране подвижного измерительного ползунка емкостного преобразователя должно установиться показание равное 0.

4.3.3. Переместить подвижную каретку на 10 мм по показаниям емкостного преобразователя.

4.3.4. Снять показания с потенциометрического преобразователя по мультиметру и занести в таблицу 4.

4.3.5. Повторить пункты 4.3.3 и 4.3.4 с дискретностью 10 мм в диапазоне 0÷210 мм.

4.3.6. Построить статическую характеристику (рисунок 8).

Таблица 4 – Результаты измерений

S, мм	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
U, В											
S, мм	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
U, В											

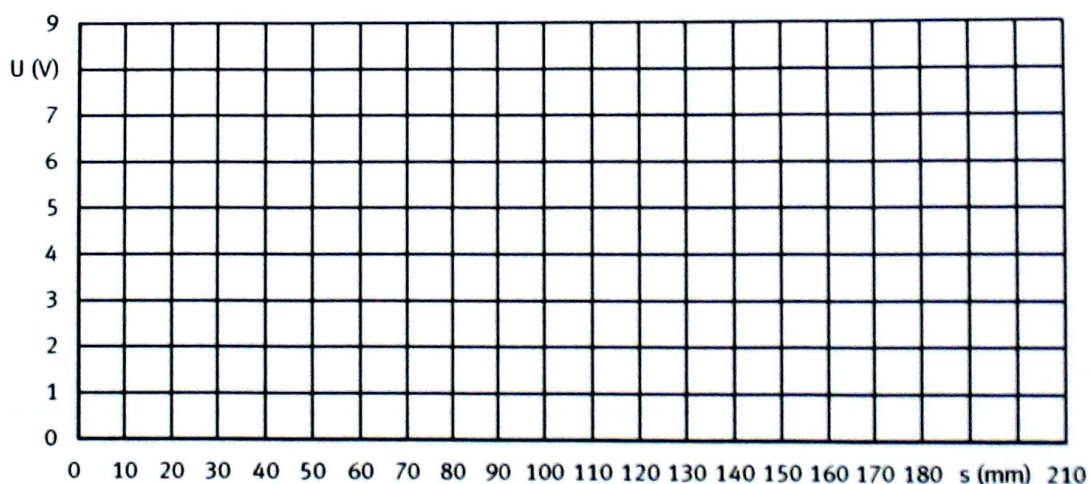


Рисунок 8 – Статическая характеристика потенциометра

5. Содержание отчета.

- 5.1. Основные теоретические сведения.
- 5.2. Техническая характеристика потенциометрического преобразователя.
- 5.3. Схема экспериментальной установки.
- 5.4. Таблица результатов эксперимента.
- 5.5. Статическая характеристика преобразователя.

6. Контрольные вопросы.

- 6.1. Конструкции потенциометров.
- 6.2. Схемы включения потенциометров.
- 6.3. Погрешности потенциометрических преобразователей.
- 6.4. Достоинства пластиковых потенциометров с резистивным покрытием.
- 6.5. Назначение путевых выключателей.
- 6.6. Какова методика проведения исследований.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 15Ф

ИЗУЧЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

1. Цель работы: изучение принципа действия ультразвукового преобразователя для измерения линейных перемещений, оценка влияния температуры и влажности воздуха на скорость распространения звука. Изучение конструкции и технических характеристик ультразвуковых преобразователей. Исследование статической характеристики преобразователя.

2. Основные сведения.

2.1. Теоретические положения.

В зависимости от частоты генерации звук делится на ряд диапазонов:

- слышимый звук (нижний порог восприятия человеческого уха – 16 Гц, верхний колеблется от 10 кГц до 20 кГц).
- ультразвук (диапазон частот свыше 20 кГц)
- инфразвук (колебания частотой ниже 16 Гц)
- гиперзвук (диапазон частот от 10^{10} Гц and 10^{13} Гц)

Распространение звука является результатом распространения механических волн, которое определяется как периодическое изменение плотности, ведущее к сжатию и разрежению передающей среды. Оно невозможно в вакууме. Скорость распространения меняется в зависимости от среды, в которой он распространяется.

Скорость распространения звука в твердых телах можно высчитать по формуле

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

где E – модуль упругости; ρ – плотность вещества.

В жидкостях – по формуле

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}},$$

где K – модуль компрессии (давления); ρ – плотность вещества.

В газообразных веществах – по формуле

$$c = \sqrt{\frac{p \cdot \kappa}{\rho}} = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T},$$

где P – давление;

K – показатель адиабаты;

ρ – плотность вещества;

R – газовая постоянная;

T – температура.

Ультразвуковые волны, в силу своей небольшой длины, могут концентрироваться так же, как и световые волны. Закон оптической геометрии «Угол падения равен углу отражения» верен также и для ультразвуковых волн.

Качество поверхности объекта имеет большое значение, поскольку принимается во внимание зеркальное отражение. Если шероховатость поверхности составляет $1/4$ - $1/6$ длины звуковой волны, волны отражаются рассеянно, в то время как

гладкие поверхности имеют максимальный угол приблизительно в $\pm 5^\circ$. При определении объектов с неопределенной структурой, например, сыпучих веществ, угол может достигать примерно $\pm 45^\circ$.

Длина волны высчитывается по формуле

$$\lambda = \frac{v}{\nu},$$

где v – Скорость звука;

ν – Частота звука.

Большинство ультразвуковых преобразователей работают на частоте от 30 до 250 кГц. Исходя из того, что, с учетом длины звуковой волны, при скорости распространения звука приблизительно в 340 м/с и частоте в 200 кГц, получается

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{340 \text{ м/с}}{200 \cdot 10^3 \text{ Hz}} = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1.7 \text{ мм}.$$

Скорость распространения звука в различных средах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Скорость распространения звука

Твердые вещества (при температуре 20°C)	v(м/с)
Алюминий	5110
Олово	1200
Железо	5180
Золото	2000
Резина	54
Пробка	500
Медь	3800
Латунь	3500
Сталь	5100
Жидкости (при температуре 20 °C)	v(м/с)
Бензол	1320
Хлороформ	1000
Глицерин	1923
Нефть	1320
Ртуть	1415
Четыреххлористый углерод	943
Дистиллированная вода	1483
Газы (при t= 0°C и при давлении в	v(м/с)

101.3 кПа)	
Нашатырь	415
Аргон	308
Гелий	971
Углекислый газ	258
Угарный газ	337
Воздух	332
Водород	1286

2.2. Способы получения ультразвуковых колебаний.

Есть три различных способа получения ультразвука:

- механический;
- магнитный;
- электрический.

2.2.1. Магнитострикция.

При магнитострикционной генерации звуков используется физическое явление, открытое Дж. Джоулем в 19 веке. Он заметил, что при намагничивании брусок из ферромагнитного материала изменяет свою длину.

При так называемой магнитострикции внутри катушки, по которой течет переменный ток, проходит намагничивающийся стержень. Он намагничивается, усиленный частотой переменного тока и таким образом меняет свою длину с той же частотой. Относительное изменение длины составляет $\frac{\Delta l}{l} \approx 10^{-5}$

Резонанс достигается тогда, когда частота переменного тока совпадает с естественной частотой механических колебаний стержня.

При помощи этого метода можно генерировать очень мощные ультразвуковые колебания до 50 кГц, где звуковые волны преломляются прямо на конце стержня. Невозможно достичь большей мощности, т.к. катушку невозможно намагничивать быстрее.

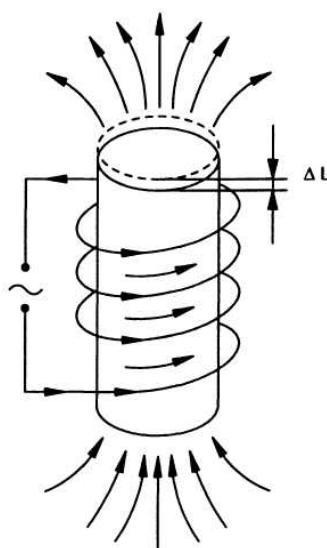


Рисунок 1 – Магнитострикция

2.2.2. Пьезоэлектрический эффект.

Также как и магнитострикция, пьезоэлектрический эффект был открыт в 19-ом веке. Заметили, что в кристаллах с полярными осями, например, кварце, на концах полярных осей из-за давления и растяжения вырабатывается электрическое напряжение.

Наоборот, этот кристалл подвергается механическим разрушениям под воздействием переменного электрического поля, когда его направление совпадает с полярной осью. Кристалл подводится к разъемам, соединенным с источником переменного напряжения. Кристалл начинает вибрировать. Когда частота переменного напряжения и естественная частота колебаний совпадают, т.о. получается резонанс, колебания достигают максимальной амплитуды. Используя этот метод можно достичь колебаний, превышающих 100 МГц.

Сегодня вместо кристаллов кварца для генерации ультразвука часто используют пьезоэлектрические кислородные материалы, известные также как пьезоксиды. (напр. Вальво). Эти материалы из сплава свинца. Циркония и титаната. Более того, в области сенсорных технологий используется также пьезоэлектрическая пластиковая пленка (например – в микрофонах.)

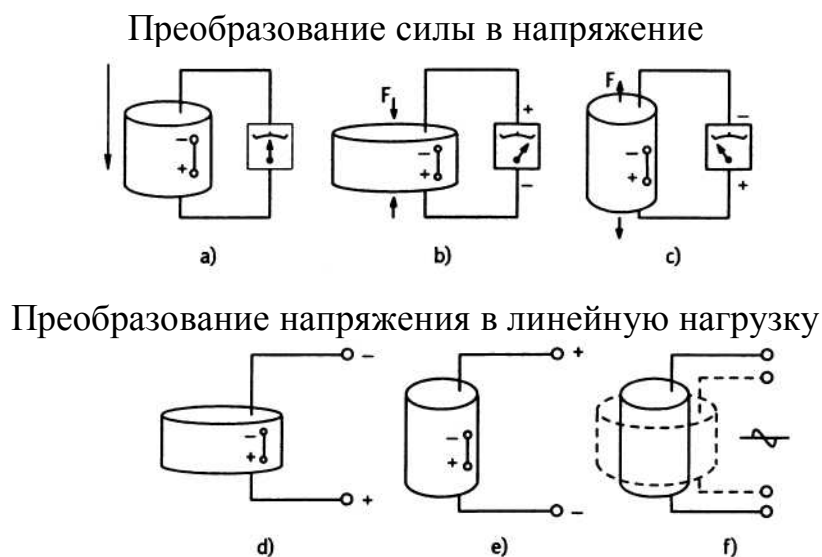


Рисунок 2 – Пьезоэлектрический эффект

- a) ненагруженный объект;
- b) сжимающее напряжение;
- c) растягивающее напряжение;
- d) постоянный ток, обратная полярность;
- e) постоянный ток, та же полярность;
- f) переменный ток, вызывает смену стадий расширения и сжатия

2.3. Ультразвуковой приемник

Большинство ультразвуковых приемников работают по принципу, обратному работе передатчика. Встроенная контрольная электроника определяет время генерации звука, выполняет подачу сигнала датчика, измерение эхосигнала, а также дополнительную задачу по переключению между подачей и приемом сигнала.

2.3.1. Импульсный режим

Импульсный режим используется в основном для того, чтобы определять присутствие объекта, а также для измерения расстояния до него.

Этот типичный способ, при котором датчик генерирует и испускает короткие импульсы с кратким восстановлением между сигналами. Если объект, отражающий их, находится на расстоянии действия датчика, звуковые волны отражаются в виде эхосигналов, которые поступают в приемник после задержки распространения сигнала. Эта задержка пропорциональна расстоянию между датчиком и определяемым объектом. Таким образом, при помощи этого измерения определяется абсолютное расстояние до объекта.

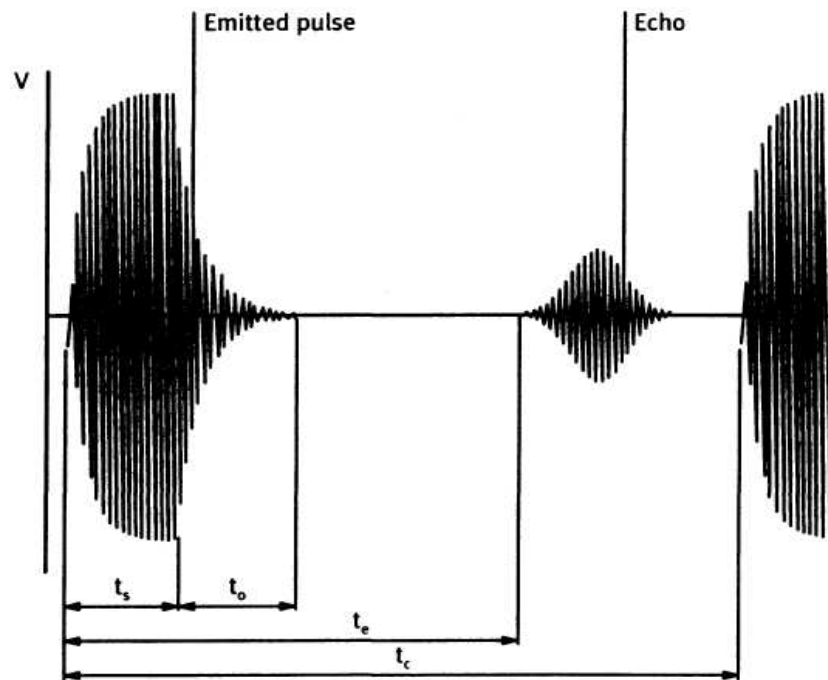


Рисунок 3 – Измерение расстояния

t_o = время последнего колебания; t_s = длина импульса;
 t_c = время цикла; t_e = время эха

2.4. Структурная схема импульсного ультразвукового преобразователя.

Схема преобразователя показана на рисунке 4.

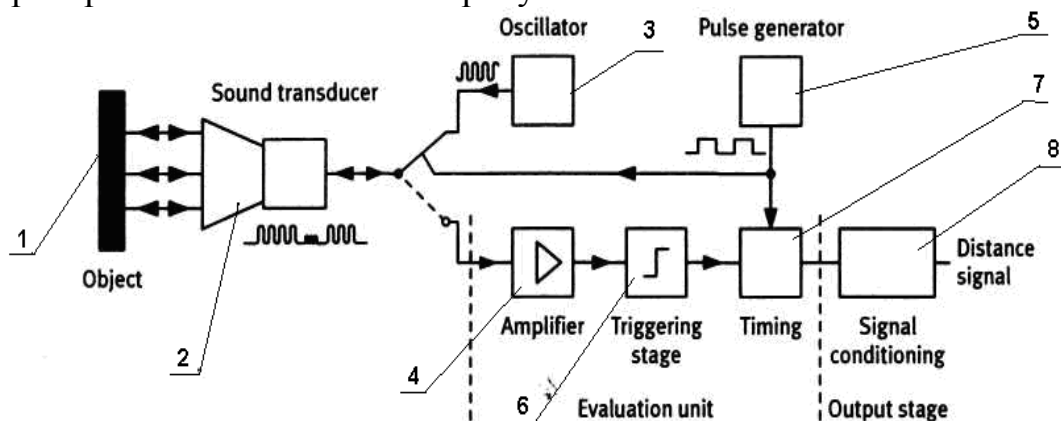


Рисунок 4 – Схема импульсного ультразвукового преобразователя

1 – объект; 2 – ультразвуковой преобразователь; 3 – генератор колебаний;
 4 – усилитель; 5 – генератор импульсов

2.4.1. Ультразвуковой преобразователь

В режиме передатчика ультразвуковой преобразователь включается коротким импульсом напряжения. Этот импульс создает кратковременное ультразвуковое колебание, частота которого определяется резонансной частотой ультразвукового преобразователя. Затем ультразвуковой преобразователь переключается на режим приема, и принимает и вычисляет значение отраженных ультразвуковых волн (эхо-сигналов).

2.4.2. Вычислительный блок

В первую очередь, вычислительный блок проверяет, является ли поступающий сигнал отраженным, или это непосредственно исходящий сигнал датчика. Если сигнал распознается как эхо, вычисляется время распространения звуковой волны. Время распространения звука - это время, которое прошло от момента его издания до момента его распознавания как эха. Результат этого вычисления передается на выходной каскад.

Сигнал, который передается на выходной каскад, зависит от того, с какой целью используется ультразвуковой датчик.

2.4.3. Выходной каскад

Если его используют как ультразвуковой бесконтактный датчик, точность отраженного ультразвукового сигнала оценивается приемником. В таком случае, выходной сигнал просто означает, находится ли предмет в зоне действия датчика или нет.

Если же его используют в качестве ультразвукового датчика расстояния, будет рассчитываться время распространения сигнала и через устройство вывода которое соответствует расстоянию между датчиком и определяемым объектом, пройдет ток.

При помощи ультразвуковых датчиков можно определять твердые, жидкие, гранулярные и рассыпчатые вещества.

2.4.4. Условия работы ультразвуковых преобразователей

В зависимости от шероховатости поверхности определяемого объекта диапазон работы датчика может, с одной стороны, уменьшиться в результате обратного диффузного рассеивания. Но, с другой стороны, датчику больше не требуется находиться строго под прямым углом к определяемому объекту для того, чтобы принять отраженный сигнал.

Работа датчика не зависит от цвета определяемого объекта.

Ни один предмет не должен находиться в пределах так называемого локального элемента акустического поля датчика, иначе это может вызвать ошибочные импульсы при выходе сигнала датчика приближения. Например, размеры локального поля для ультразвукового датчика с диаметром преобразователя в $D = 15$ мм и частотой передачи в 200 кГц, составляют примерно 130 мм.

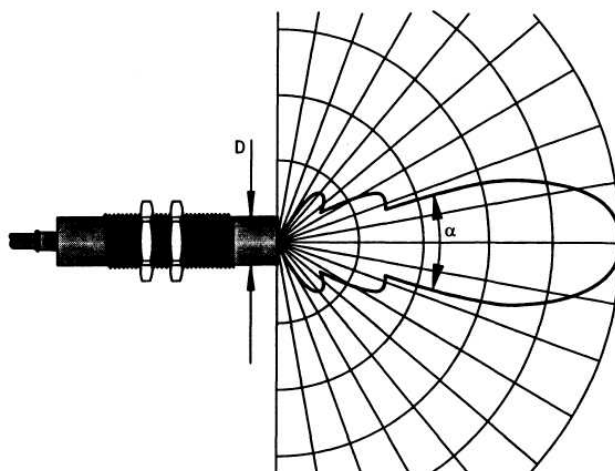


Рисунок 5 – Поле ультразвукового преобразователя

2.5. Влияние температуры и влажности воздуха на скорость распространения сигнала

Скорость звука немного изменяется, зависимо от температуры ($0.18\%/^{\circ}\text{C}$). Таким образом, ультразвуковые датчики зависят от температуры. В случаях, когда их используют при очень высокой температуре эта зависимость прослеживается очень четко, поскольку невозможно добиться надежного эхо-сигнала.

Кроме того, скорость звука в воздухе зависит и от влажности. Скорости звука в сухом и во влажном воздухе отличаются примерно на 0.5% на каждые 20°C .

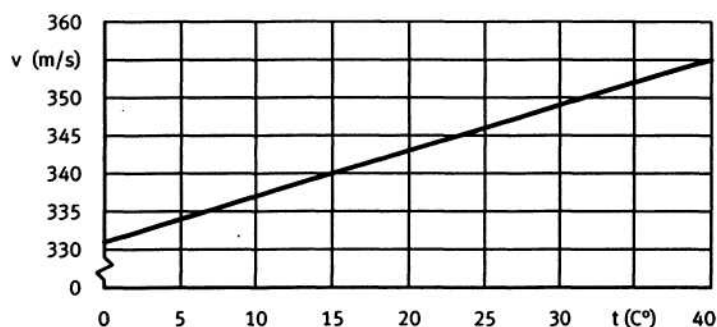


Рисунок 6 – Изменение скорости в сухом воздухе в зависимости от температуры

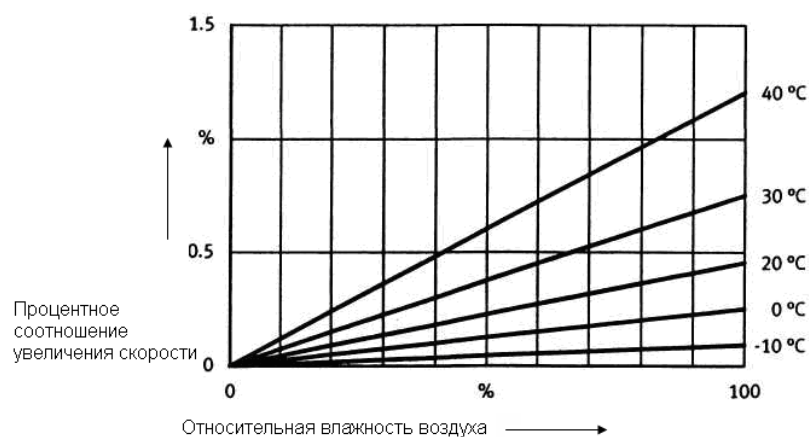


Рисунок 7 – Процентное соотношение скорости воздуха с учетом влажности

При выборе ультразвукового преобразователя, надо учитывать частоту передатчика. Рисунок 8 показывает потери в затухании относительно частоты и влажности.

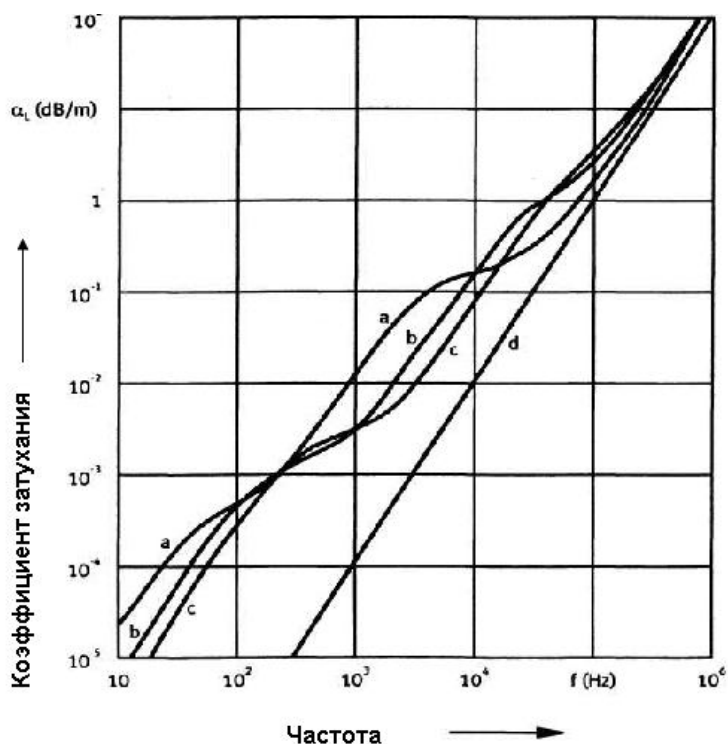


Рисунок 8 – Затухание звуковых волн с учетом их частоты и влажности воздуха

Температура воздуха 20°C

- а) – относительная влажность воздуха 10%;
- б) – относительная влажность воздуха 40%;
- в) – относительная влажность воздуха 80%;
- г) – теоретическое затухание на основе нормального звукопоглощения

Линейное затухание пропорционально квадрату скорости звука.

2.6. Конструкции ультразвуковых преобразователей.

Ультразвуковые датчики по форме в основном бывают двух видов:

- Прямоугольные
- Цилиндрические

Обе модели выпускаются с одним или с двумя преобразователями. Один преобразовательный элемент используется в качестве передатчика, а другой – в качестве приемника. В результате этого возникает небольшая мертвая зона перед самым датчиком (≤ 50 мм),

$$\alpha = \frac{\lambda}{D}$$

λ = длина волны, D = апертура, K = константа

На рисунке 9 показана модель с двумя преобразователями.

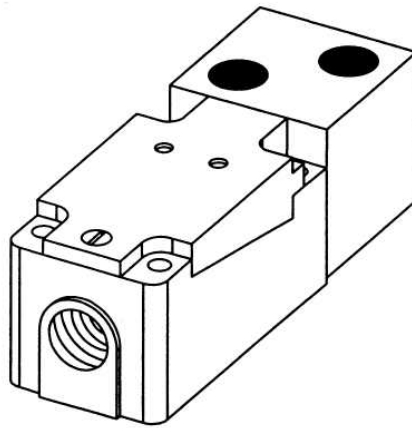


Рисунок 9 – Прямоугольный ультразвуковой датчик с двумя преобразователями

Звуковой преобразователь с одним преобразовательным элементом показан на рисунке 10.

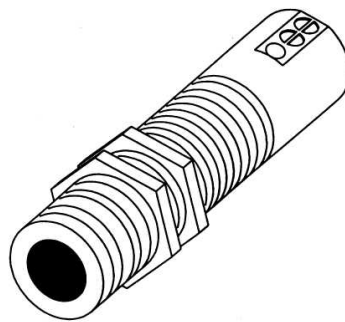


Рисунок 10 – Цилиндрический датчик с одним преобразователем звука

Эта модель работает на основе одного преобразователя, который попеременно используется как передатчик и как приемник. Это означает, что мертвая зона увеличивается из-за того, что нестационарные колебания ослабевают после ультразвукового импульса (<250 мм) [1].

Технические характеристики ультразвуковых преобразователей представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Типовые данные ультразвуковых преобразователей

Рабочее напряжение	20 - 30 в постоянного тока
Мах. диапазон действия	0,5 - 10 м
Погрешность, нелинейность	$<0,5 - 5 \%$
Разрешение	0,1 - 2 мм
Время ответа	20 - 500 мс
Материал, из кот. изготовлен объект	Любой за исключением – материалов, поглощающих звук.
Аналоговый выход	Тип...: 0 - 10 V или 4 - 20 мА

Температура окружающей среды	-10 - 70 °C
восприимчивость к загрязнению	умеренная
Срок службы	long
Частота ультразвука	30 - 220 кГц
Уровень защищенности согласно DIN 40 050	Типовой IP 65

3. Содержание работы.

3.1. Изучить принцип работы ультразвукового преобразователя.

3.2. Изучить назначение и конструкцию узлов и блоков лабораторного стенда.

3.3. Собрать лабораторный стенд.

3.4. Снять статические характеристики ультразвукового преобразователя при различной площади отражающей поверхности объекта.

3.5. Построить графики статических характеристик преобразователей и определить, какой размер отражателя вносит погрешность в результат измерения.

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Собрать механическую часть лабораторного стенда согласно рисунку 11.

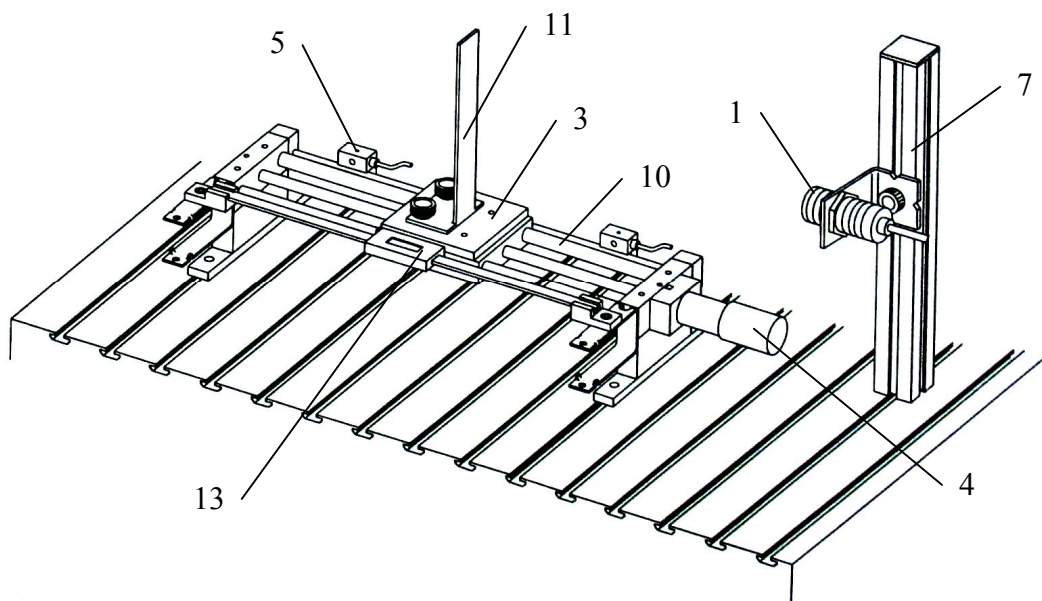


Рисунок 11 – Общий вид лабораторной установки

Комплект оборудования приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Комплект оборудования

Номер компонента	Количество	Наименование
1	1	Ультразвуковой преобразователь
2	1	Контроллер двигателя
3	1	Подвижная каретка с винтовым приводом
4	1	Мотор-редуктор
5	2	Путевой выключатель
6	1	Адаптер для РР
7	1	Адаптер для установления высоты

8	1	Соединительная плата
9	1	Переключатель сигнала
10	1	Направляющая, длина 318 мм
11	1	Отражающая плата для ультразвукового преобразователя
12	1	Промежуточная плата
13	1	Емкостной преобразователь
14	1	Цифровой мультиметр

4.2. Собрать электрическую схему установки (рисунок 12).

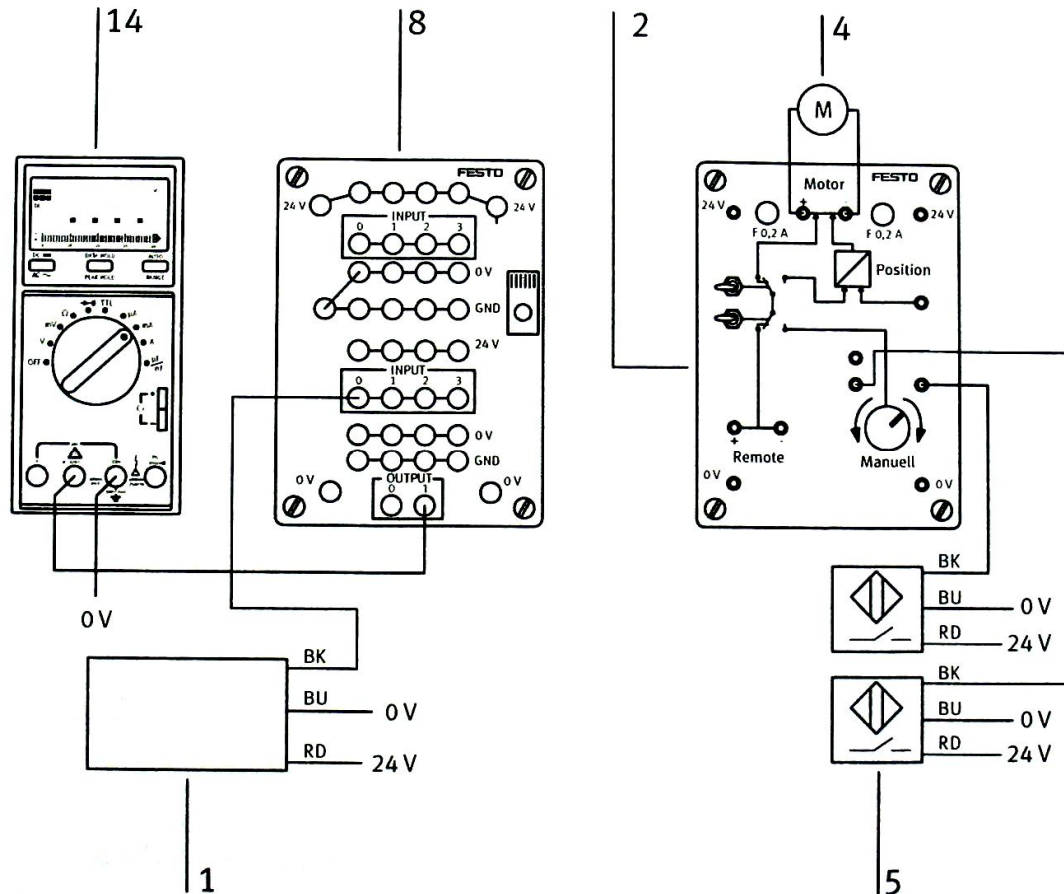


Рисунок 12 – Схема соединения электрических блоков

Соединить ультразвуковой преобразователь 1, соединительную плату 8, контроллер двигателя 2, путевые выключатели 5 и цифровой мультиметр 14.

Для снятия статической характеристики в лабораторном стенде используется емкостное измерительное устройство 13 с цифровым отсчетом подвижного ползунка, которое крепится на раму направляющей и измеряет величину перемещения подвижной каретки 3.

4.3. Снятие статической характеристики ультразвукового преобразователя.

4.3.1. Установить на подвижную каретку отражатель шириной 60мм.

4.3.2. Установить верхний тумблер контроллера двигателя в положение «слева», а нижний тумблер в положение «справа».

4.3.3. Передвинуть подвижную каретку посредством электромеханического привода к ближайшему ультразвуковому преобразователю бесконтактного путево-

му переключателю. На экране подвижного измерительного ползунка емкостного преобразователя установить показание равное «0».

4.3.4. Переместить подвижную каретку на 10 мм по показаниям емкостного преобразователя.

4.3.5. Снять показания с ультразвукового преобразователя по мультиметру и занести в таблицу 4.

4.3.6. Повторить пункты 4.3.4 и 4.3.5 с дискретностью 10 мм в диапазоне 0÷210мм.

4.3.7. построить статическую характеристику (рисунок 13).

4.3.8. Повторить пункты 4.3.4÷4.3.7 с отражателями шириной 40 и 20 мм, результаты занести в таблицы 5 и 6.

Таблица 4 – Результаты измерений с отражателем шириной 60 мм

S,мм	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
I,мА											
S,мм	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
I,мА											

Таблица 5 – Результаты измерений с отражателем шириной 40 мм

S,мм	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
I,мА											
S,мм	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
I,мА											

Таблица 6 – Результаты измерений с отражателем шириной 20 мм

S,мм	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
I,мА											
S,мм	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
I,мА											

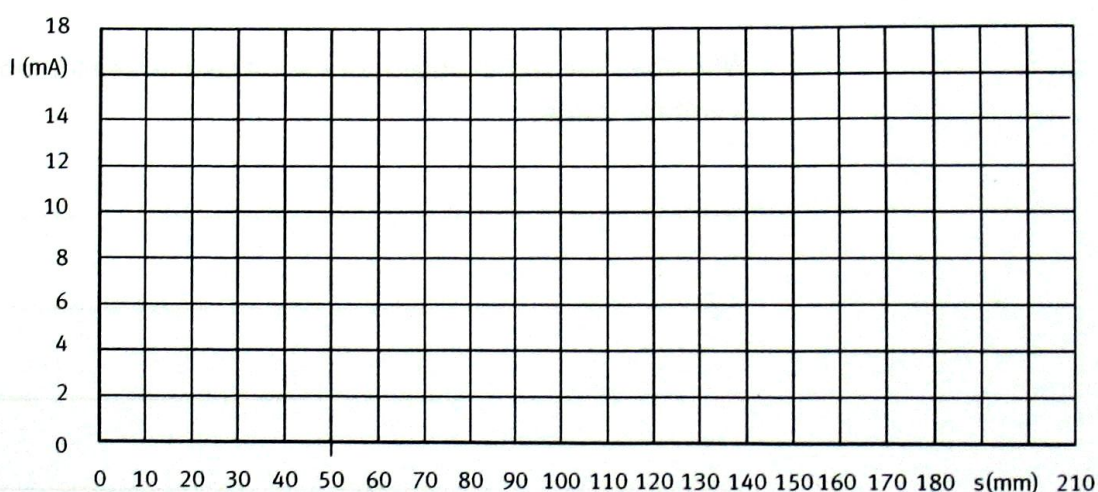


Рисунок 13 – Статические характеристики ультразвукового преобразователя.

5. Содержание отчета.

- 5.1. Основные теоретические сведения.
- 5.2. Схема импульсного ультразвукового преобразователя.
- 5.3. Техническая характеристика ультразвукового преобразователя.
- 5.4. Схема лабораторной установки.
- 5.5. Таблицы результатов экспериментов.
- 5.6. Статические характеристики преобразователя при различной ширине отражателя.

6. Контрольные вопросы.

- 6.1. Частотные диапазоны звуковых волн.
- 6.2. Как определить скорость распространения звука в различных средах.
- 6.3. Способы получения ультразвуковых колебаний.
- 6.4. Принцип действия ультразвукового преобразователя.
- 6.5. Какие параметры влияют на скорость распространения звука.
- 6.6. Изложите методику проведения исследований.
- 6.7. Дайте оценку влияния ширины отражателя на результат измерения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кросер П. Учебный курс по технике управления: учебное пособие / П.Кросер, Ф.Эбель. – Киев: Изд-во ДП «Фесто», 2002. – 225с.: ил.
2. Пашков Е.В. Электropневмоавтоматика в производственных процессах: учебное пособие / Е.В. Пашков, Ю.А. Осинский, А.А. Четверкин; под ред. Е.В.Пашкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – 496 с.: ил.

Заказ № _____ от « _____ » _____ 2008. Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ