

Системы управления и контроля

Доцент Сизов Юрий
Александрович

Литература

- Э.И. Медякова Физические основы измерений. СЗПУ 2008г.
- Гришин Рачков М.Ю. Физические основы измерений МГИУ 2008г.
- Управление техническими системами под ред. В.И. Харитонова Форум м.:. 2010г.
- Г.Д. Бурдун, В.Н. Марков Основы метрологии м. 1985г.
- П.В. Новицкий, И.А. Зограф. Оценка погрешностей результатов измерений. Энергоиздат 1985г.

Технические измерения в машиностроении

Системы автоматического контроля

- Основные термины
пределения

Пассивные системы автоматического контроля

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью средств измерений.

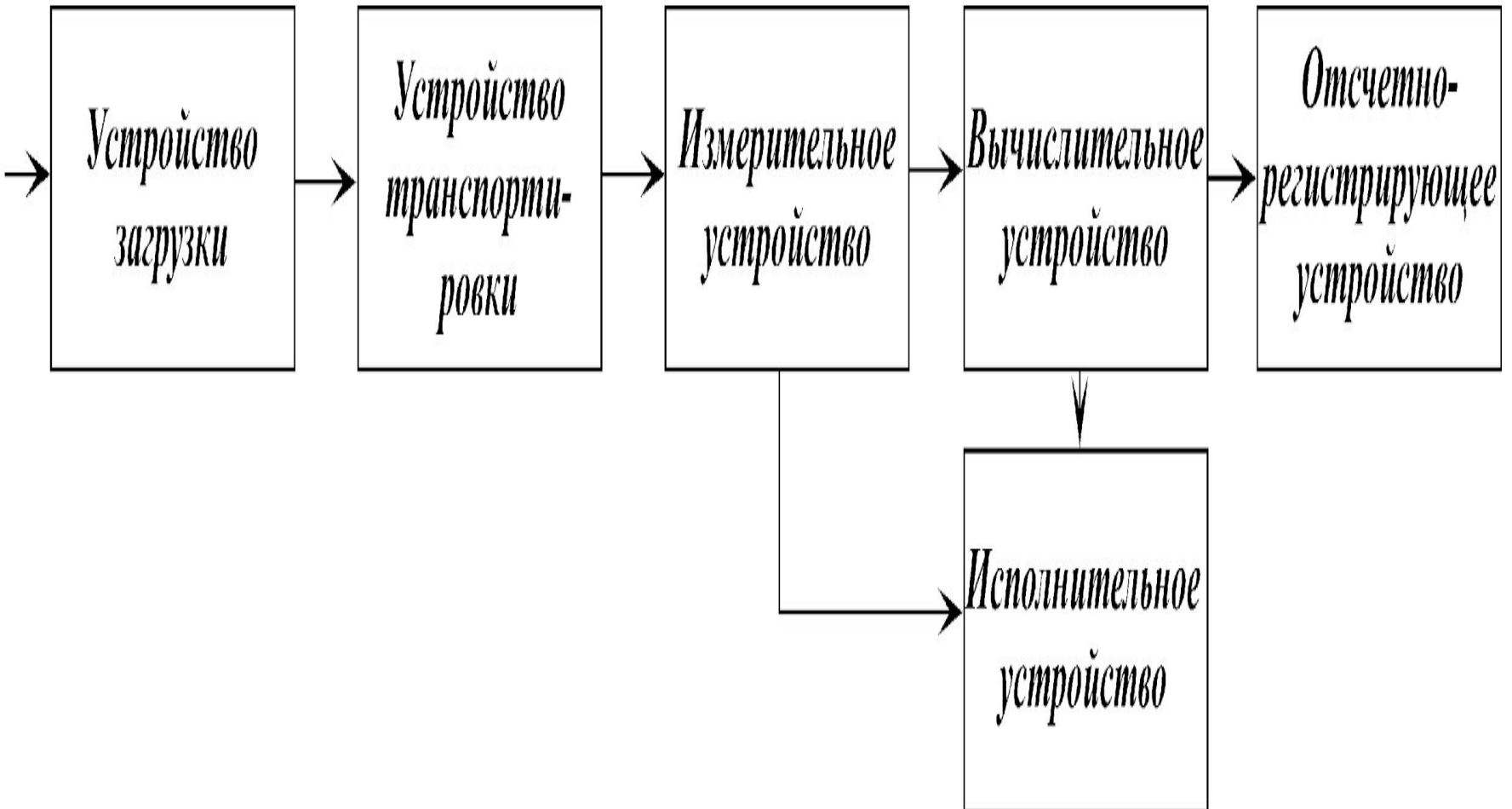
Погрешность измерения – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

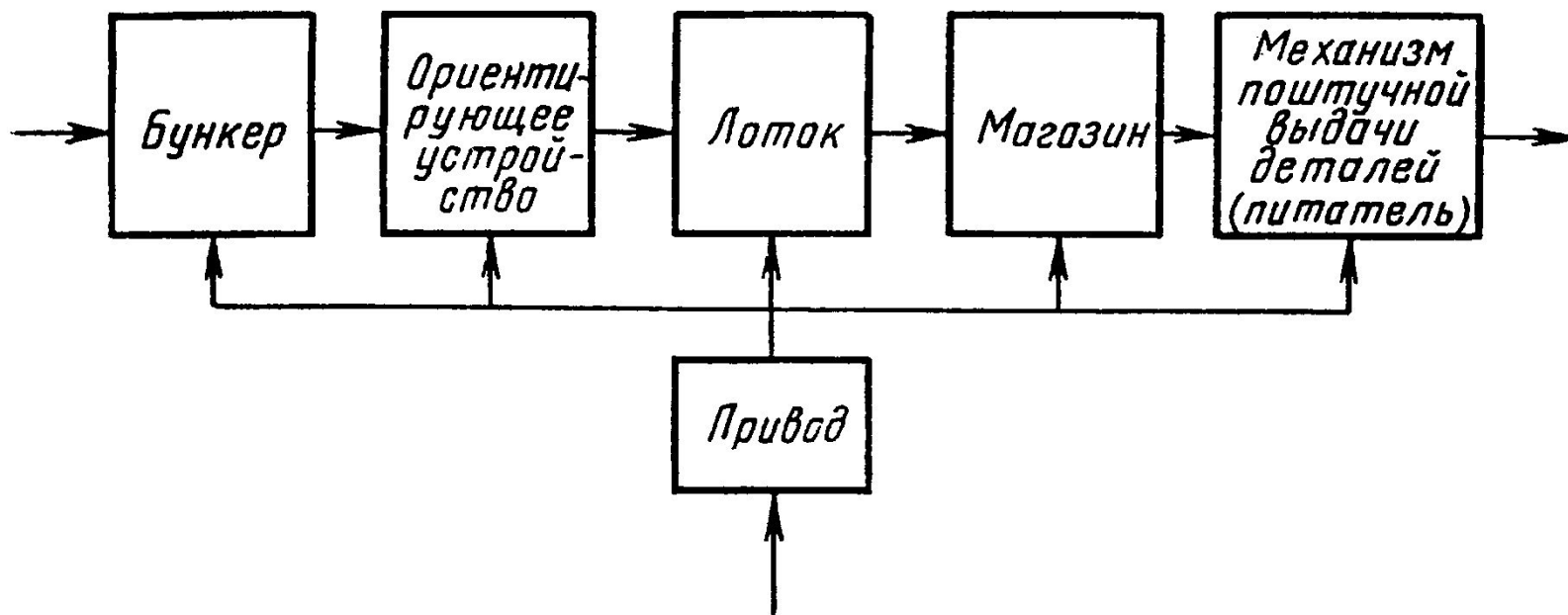
•
Измерительный преобразователь – СИ, осуществляющее преобразование одной физической величины в другую и предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

Измерительная система – совокупность СИ, соединенных между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления.

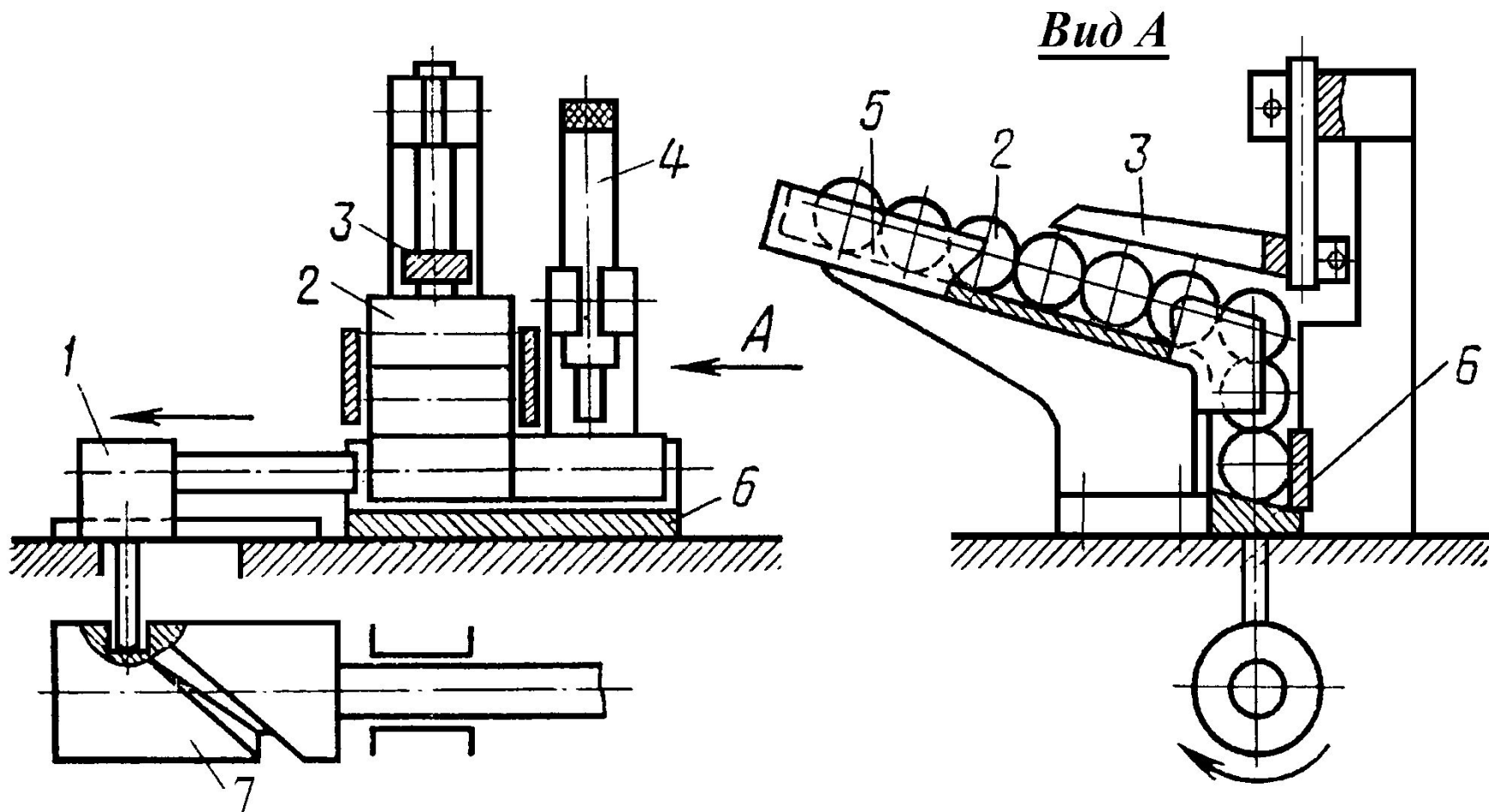
Датчик – конструктивная совокупность одного или нескольких измерительных преобразователей и сопутствующих им конструктивных элементов

Структурная схема пассивной САК





**Структурная схема загрузочного устройства
контрольно-сортировочного автомата**



. Устройство загрузки

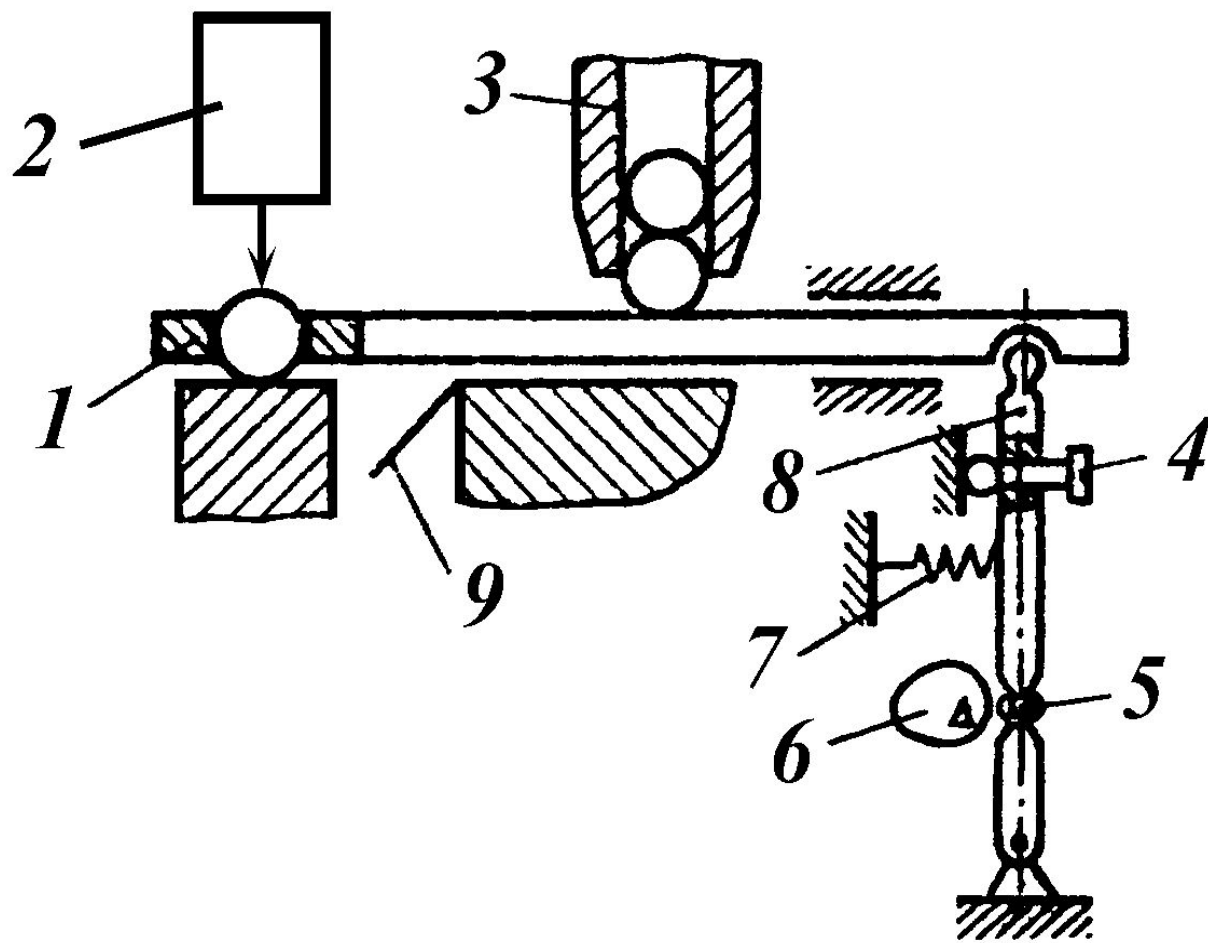
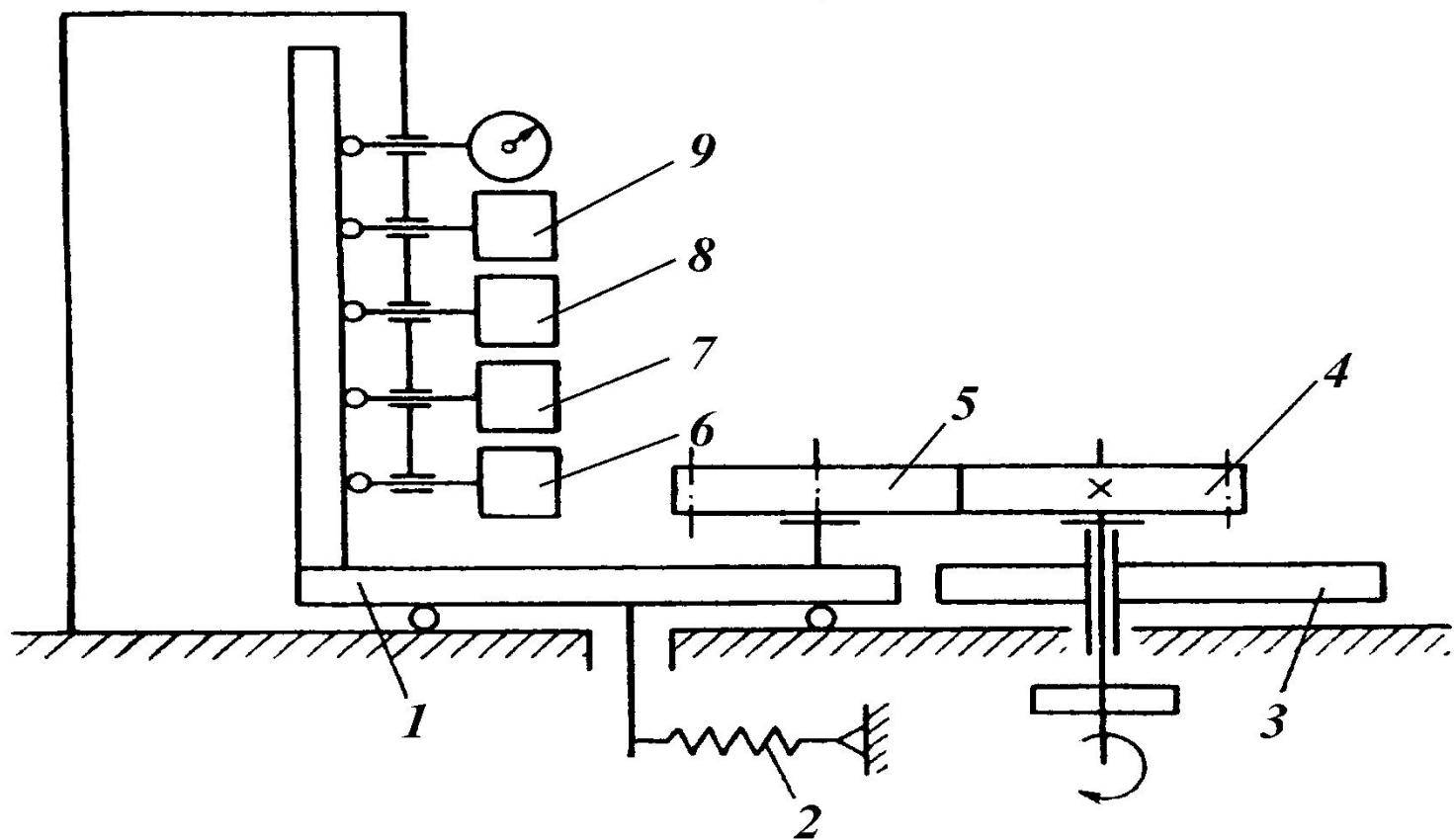


Схема устройства транспортировки с прямолинейным перемещением детали



. Схема для комплексной двухпрофильной проверки зубчатых колес

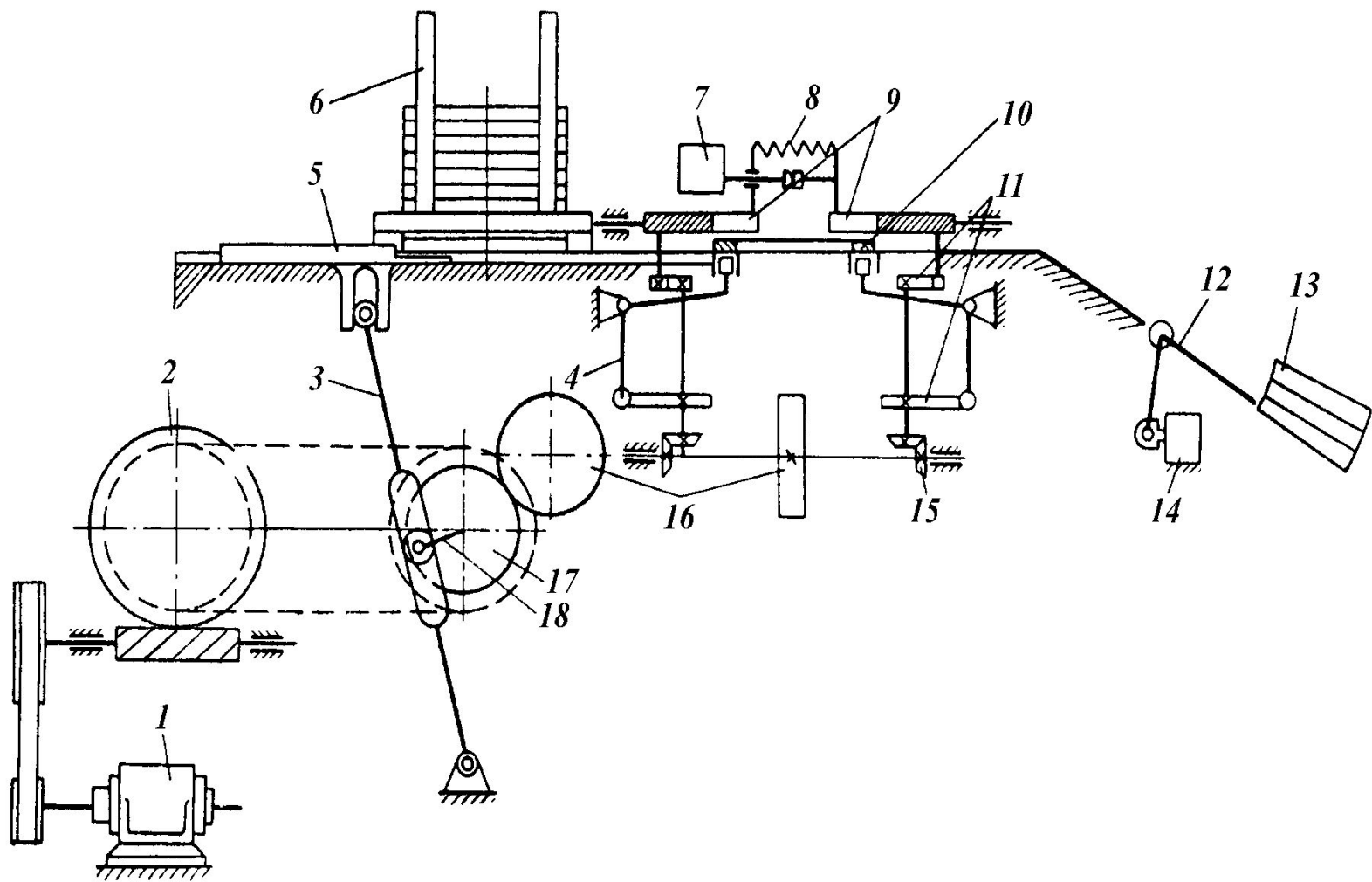
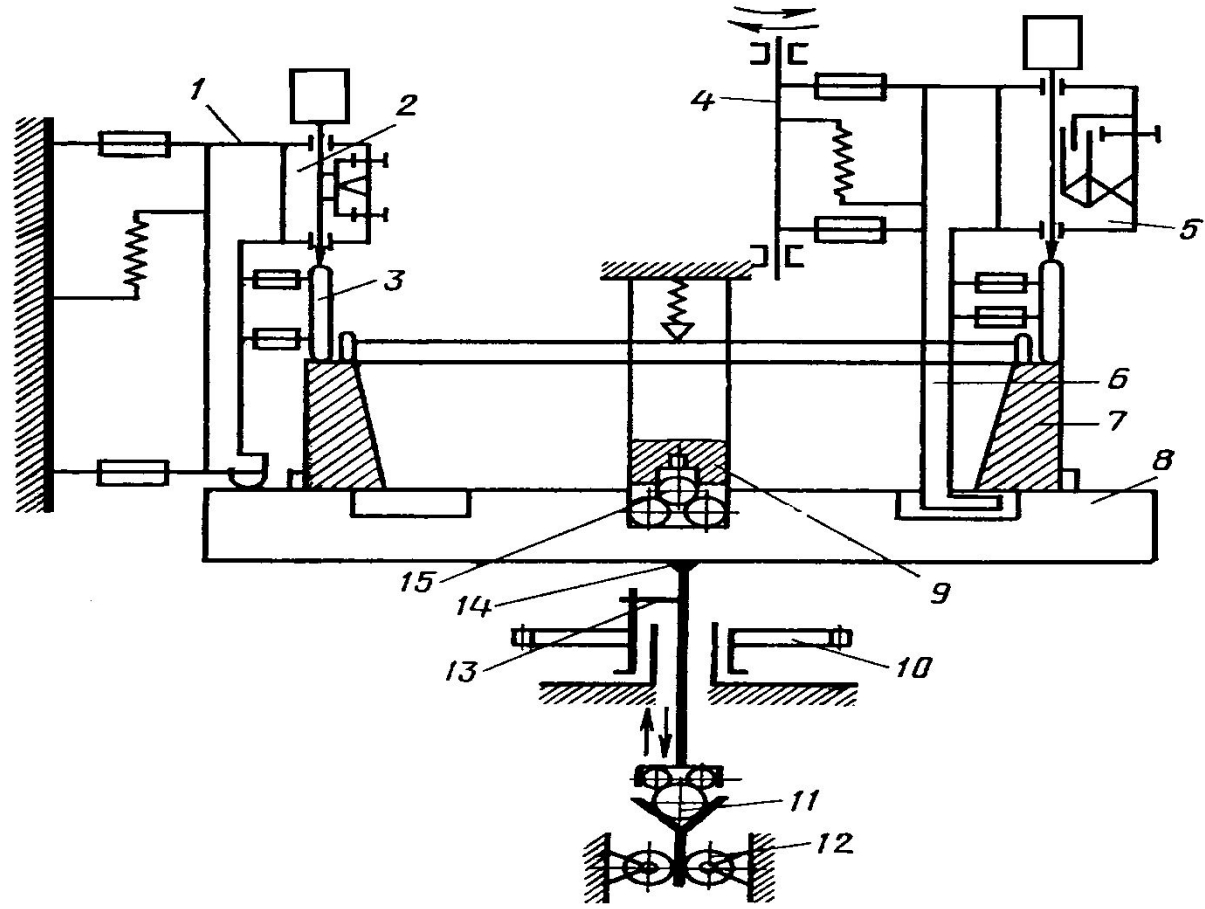


Схема устройства автоматического контроля и сортировки поршневых колец



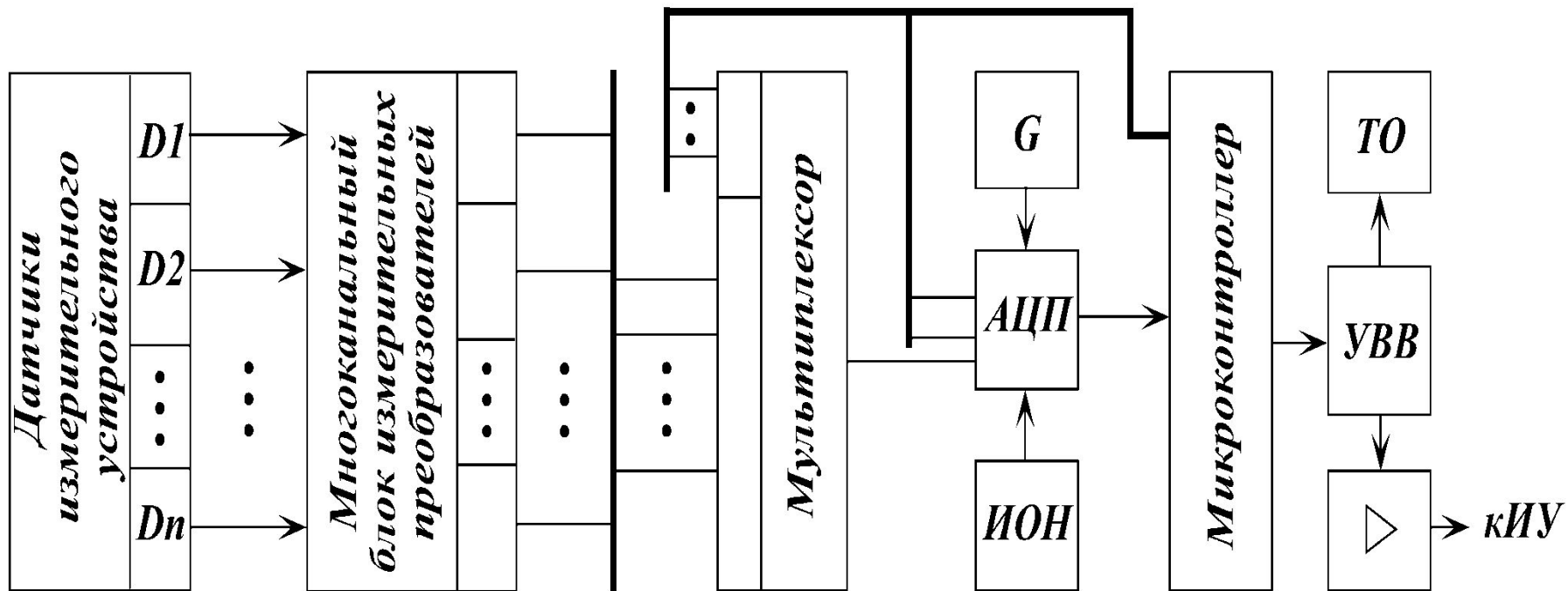
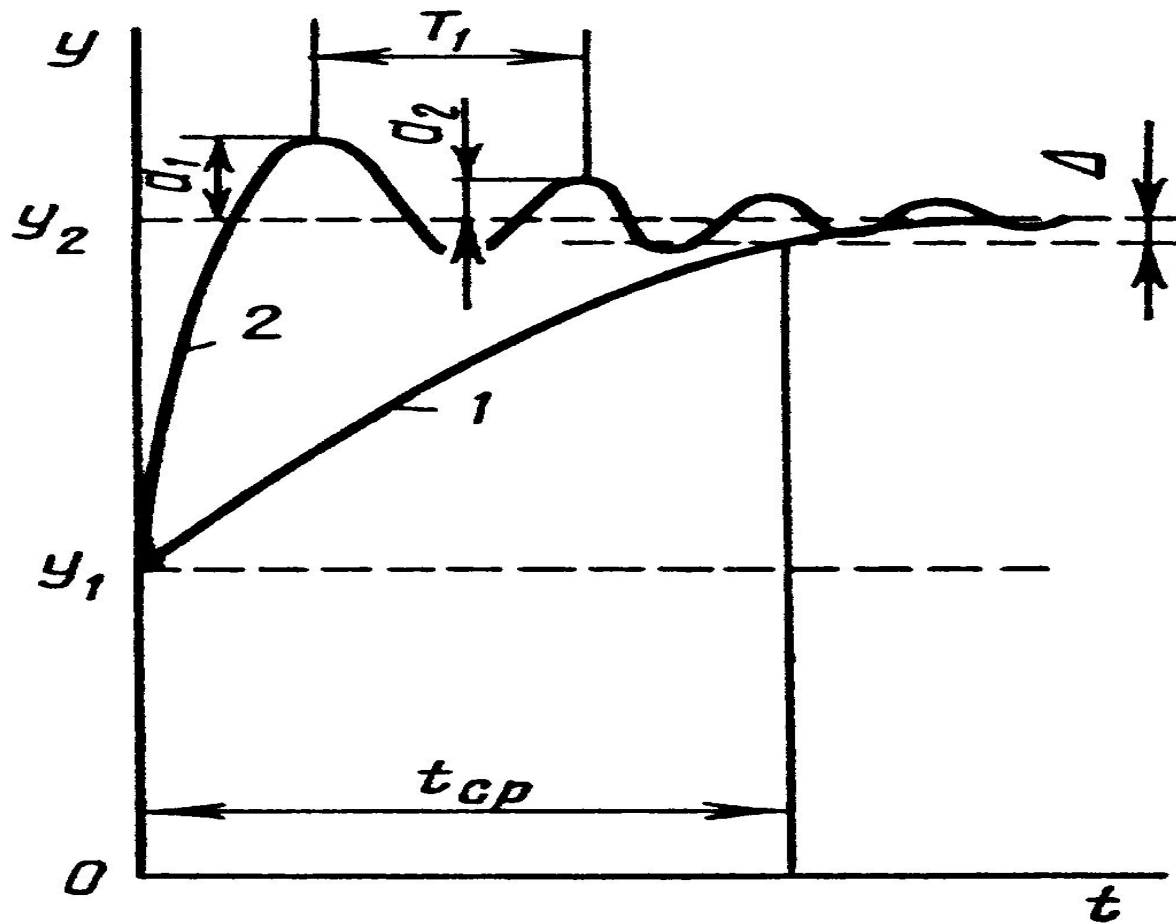


Схема вычислительного устройства на базе микроконтроллера

N n/n	Элемент	Время							
		Установка	Закрепление	Разорре- ждение	Контроль	Аррети- вание	Освобо- ждение	Съем	Ожидание
1	Устанавливающий механизм	■							■
2	Закрепляющий механизм		■				■		
3	Арретирующий механизм			■		■			
4	Измерительное устройство				■				
5	Устройство перемещения				■				
Наименование операций		Установка	Закрепление	Разорре- ждение	Контроль	Аррети- вание	Освобо- ждение	Съем	Ожидание
Составляющие t_n		t_y	t_z	t_p	t_k	t_a	t_n	t_c	t_o

Циклограмма измерительной позиции устройства автоматического контроля



Время срабатывания измерительного устройства

Технические измерения и приборы

Основные сведения об измерениях

Классификация измерений

Ед-цы измерений

Основные СИ

(7)

Дополнительные (2)

Производные

Кратные и дольные

Этапы

Первичный

Образцовые меры

Рабочие меры

Методы измерений

1. Метр (м)
2. Килограмм (кг)
3. Секунда (с)
4. Ампер (А)
5. Кельвин (К)
6. Кандела (кд)
7. Моль (Моль)

Радян
стерадиан } дополн.

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Пико	10^{-12}	п	р
Нано	10^{-9}	н	н
Микро	10^{-6}	мк	м
Милли	10^{-3}	м	м
Сантим	10^{-2}	с	с
Деци	10^{-1}	д	d
Дека	10	да	da
Гекто	10^2	г	h
Кило	10^3	к	k
Мега	10^6	м	M
Гига	10^9	г	G
Тера	10^{12}	Т	T

1. M^2 - площадь
2. M^3 - об'єм
3. Kr/M^3 - щільність
4. M/c - швидкість
5. M/c^2 - прискорення
6. $H = Kr \cdot \frac{M}{c^2}$ $F = ma$ - сила
7. $Па = H/M^2$ - тиск
8. $Дж = H \times M$ - робота, енергія
9. $Вт = Дж/c$ - потужність
10. $Kл = A \times c$ - кол-во ел-ва
11. $V = Вт/A$ - напруга
12. V/M - напруженість ел. поля
13. $Om = B/A$ - опір
14. $\Phi = Кл/V$ - ел. ємність
15. $B\delta = B \times c$ - магн. індукція
16. $\Gamma n = B\delta/A$ - індуктивність
17. $\Gamma A = B\delta/M^2$ - магн. індукція
18. A/M - магнітоприваюча сила
19. $Cm = \frac{1}{Om}$ - провідність
20. $\Gamma y = \frac{1}{c}$ - частота
21. $\Lambda M = K\Delta \times c p$ - світловий потік
22. $K\Delta/M^2$ - яскравість
23. $\Lambda k = \Lambda M/M^2$ - освіщеність



Рис. 1.1. Классификация измерений

К совокупным относятся производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Совместные измерения – это производимые
одновременно измерения двух или
нескольких неоднородных величин для
нахождения зависимости между ними.

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2),$$

где R_0 и R_t – значения сопротивлений резистора при нулевой температуре и температуре t

$$\left. \begin{aligned} R_{t_1} &= R_0(1 + \alpha t_1 + \beta t_1^2) \\ R_{t_2} &= R_0(1 + \alpha t_2 + \beta t_2^2) \\ R_{t_3} &= R_0(1 + \alpha t_3 + \beta t_3^2) \end{aligned} \right\}$$

Решая эту систему относительно R_0 , α и β , получаем значения искомых величин. Это пример совместных измерений.



Рис. 1.2. Классификация методов измерений

Средства измерений

Классификация средств измерений представлении на рисунке 1.3.

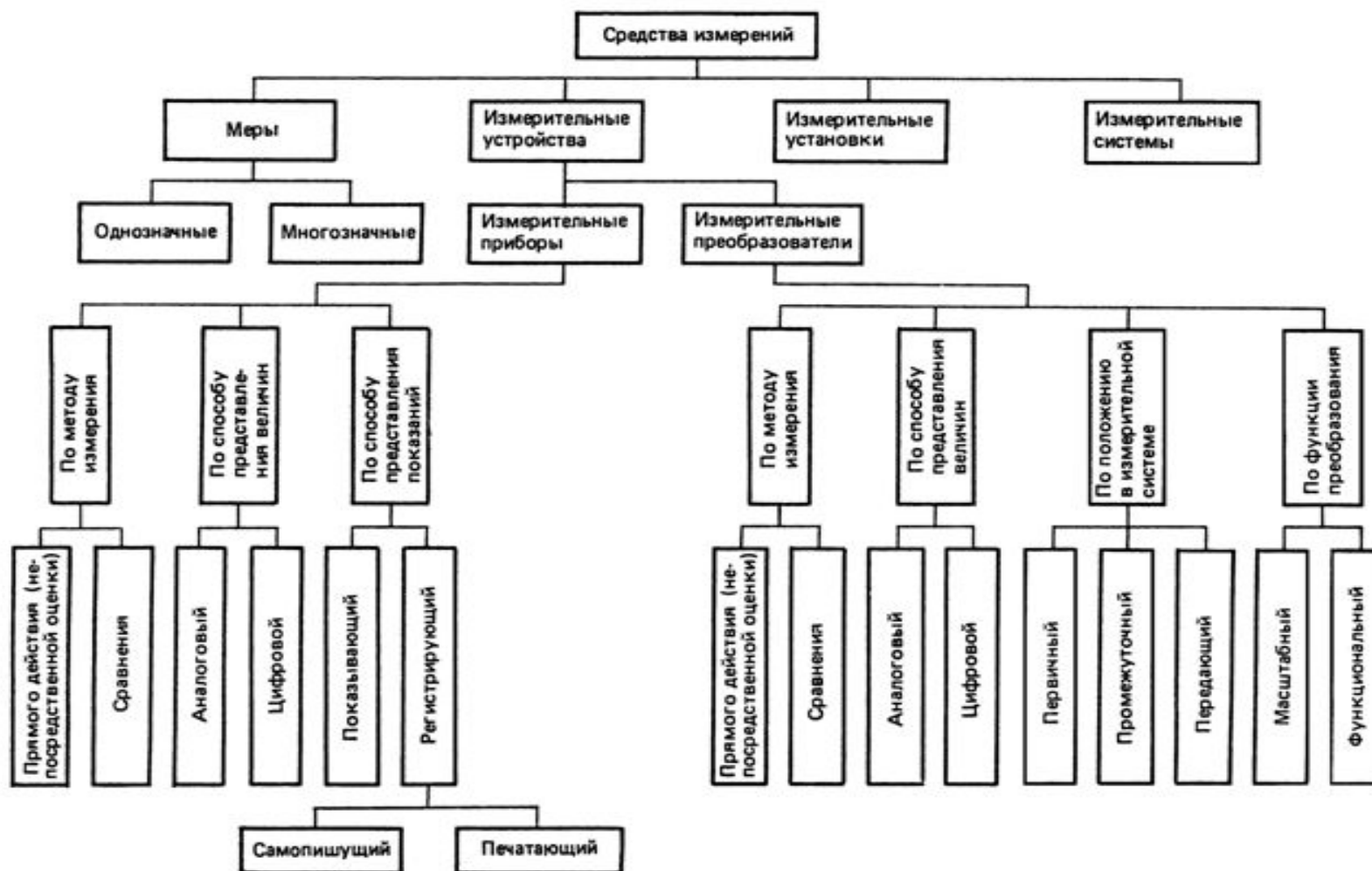
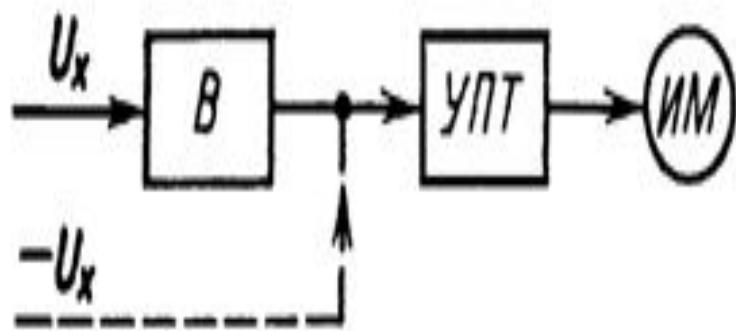
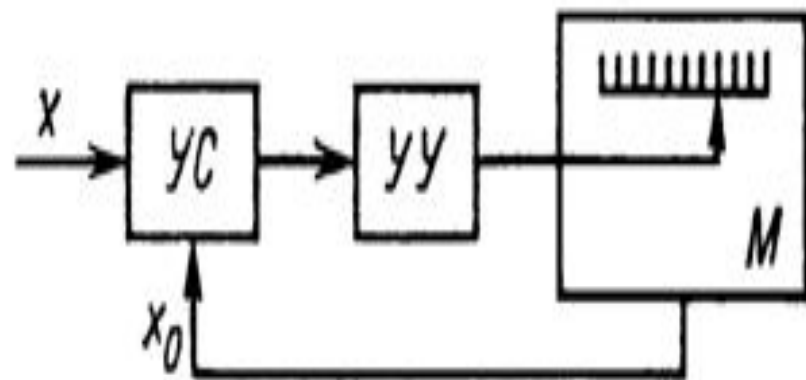


Рис. 1.3. Классификация средств измерений



а)



б)

Рис. 1.4. Структурные схемы прибора

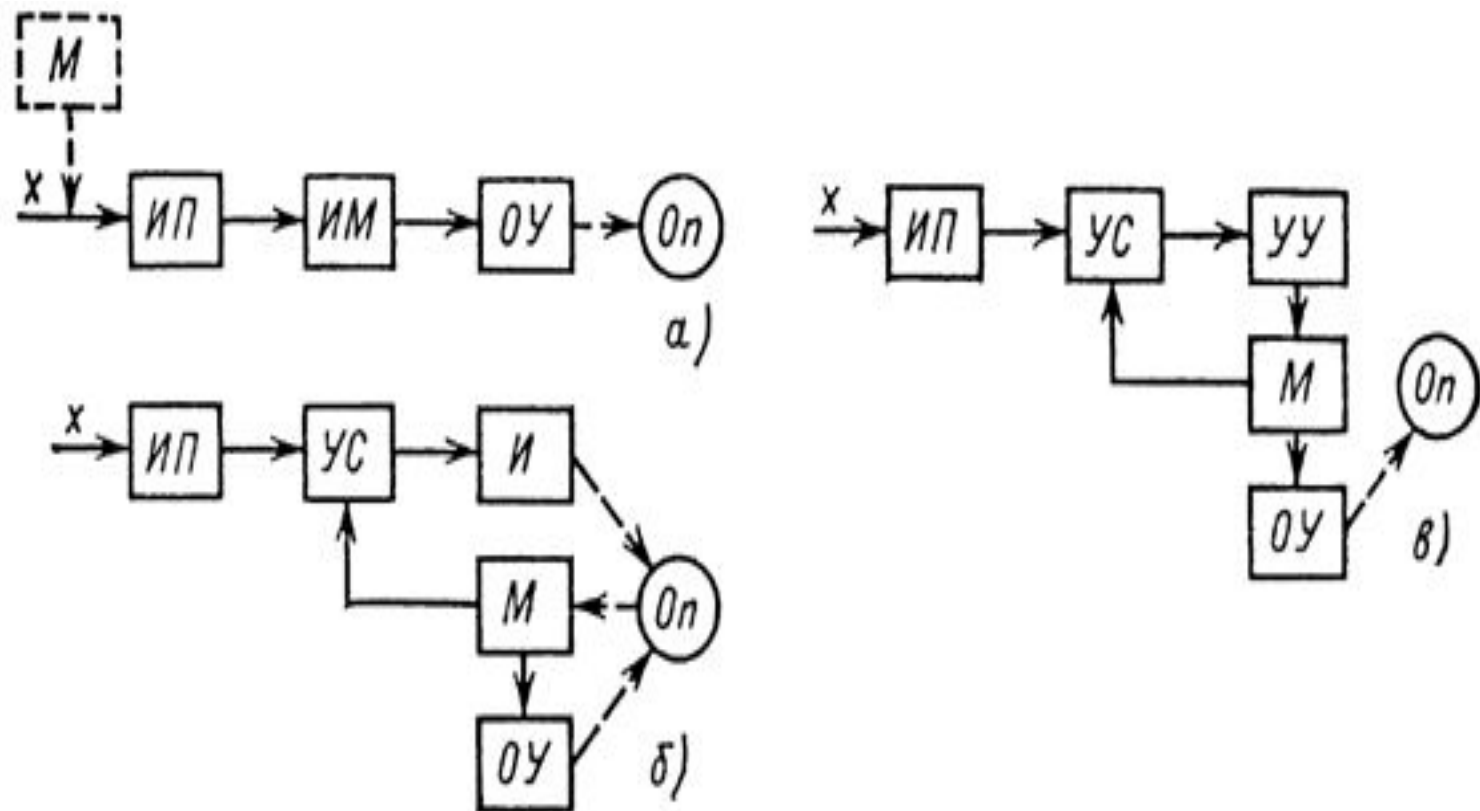
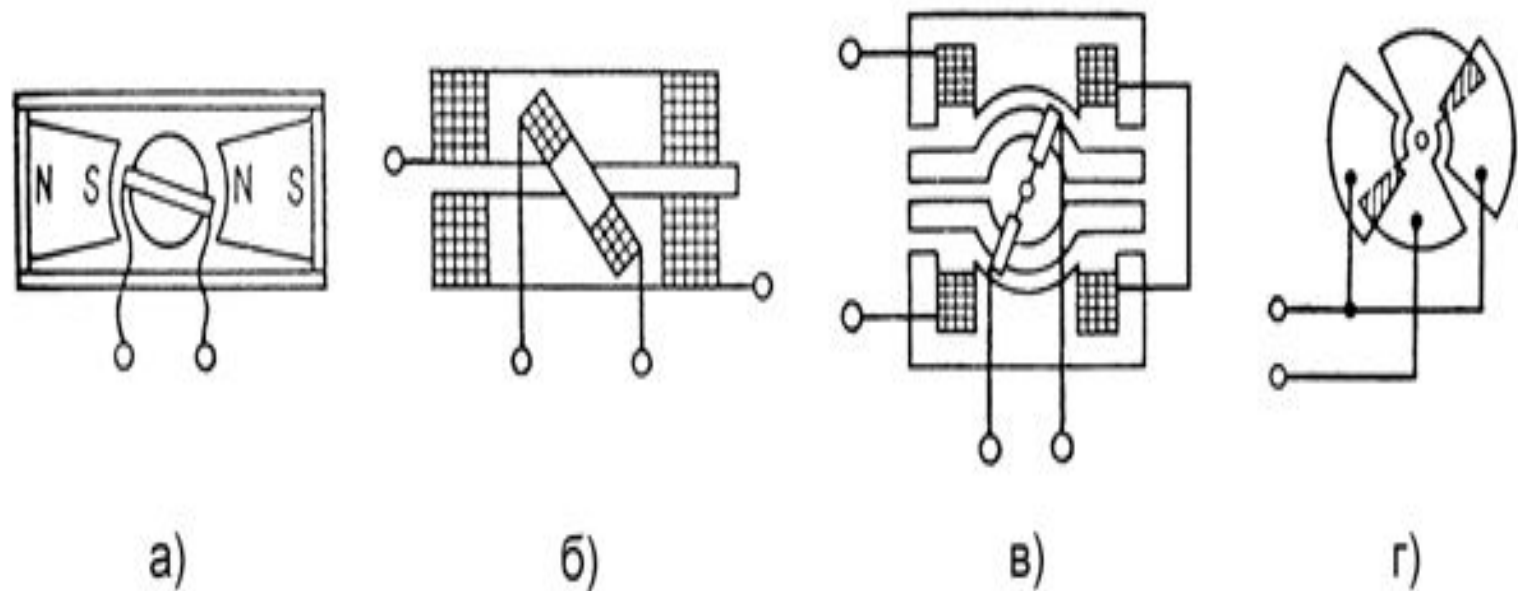


Рис. 1.5. Структурные схемы АИП



а) б) в) г)

Рис. 1.6. Схемы магнитоэлектрического (а), электродинамического (б), ферродинамического (в) и электростатического (г) ИМ

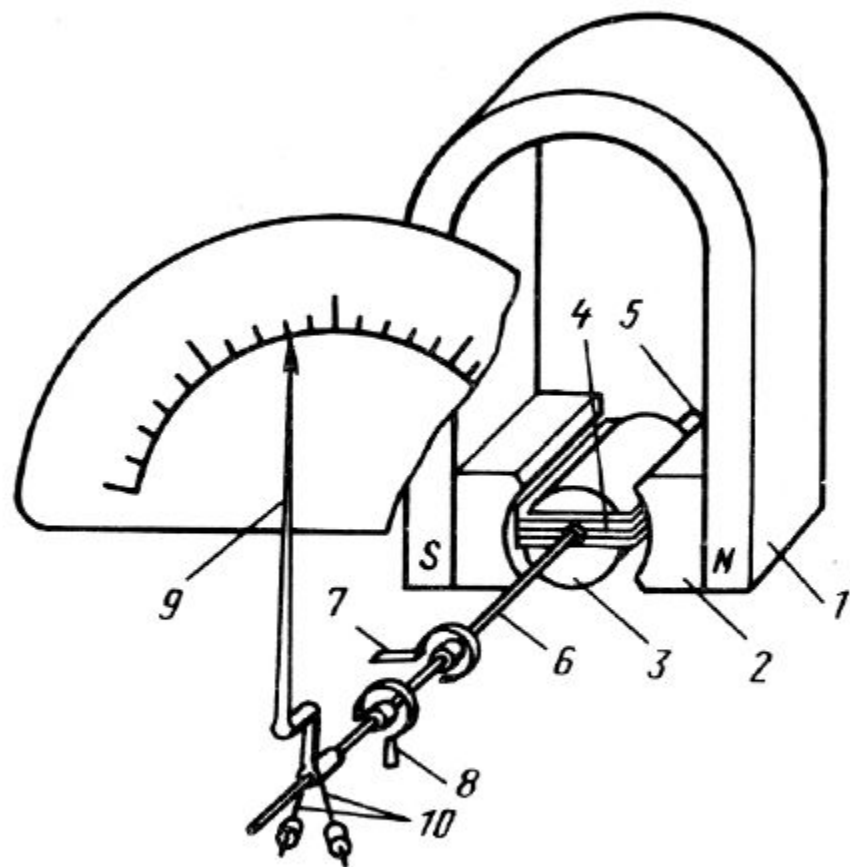


Рис. 12. Типовая конструкция с подвижной катушкой

Уравнение преобразования:

$$\alpha = I(BnS / W),$$

где B – магнитная индукция в зазоре;

α – угол поворота подвижной части;

S – площадь рамки;

n – число витков катушки;

W – удельный противодействующий момент.

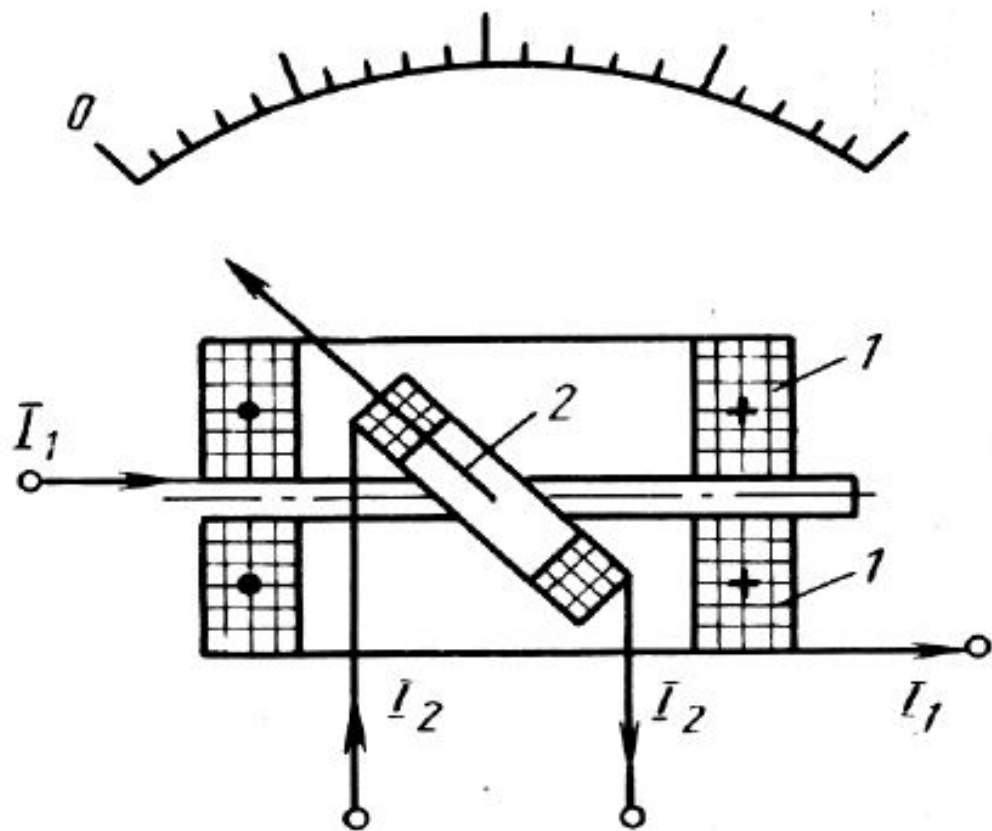


Рис. 13. Электромеханический преобразователь
электродинамической системы

Уравнение преобразования это механизма:

$$\alpha = \frac{1}{W} \frac{\partial M}{\partial \alpha} I_1 \cdot I_2,$$

где W – удельный противодействующий момент;

α – угол поворота подвижной части;

M – взаимная индуктивность катушек.

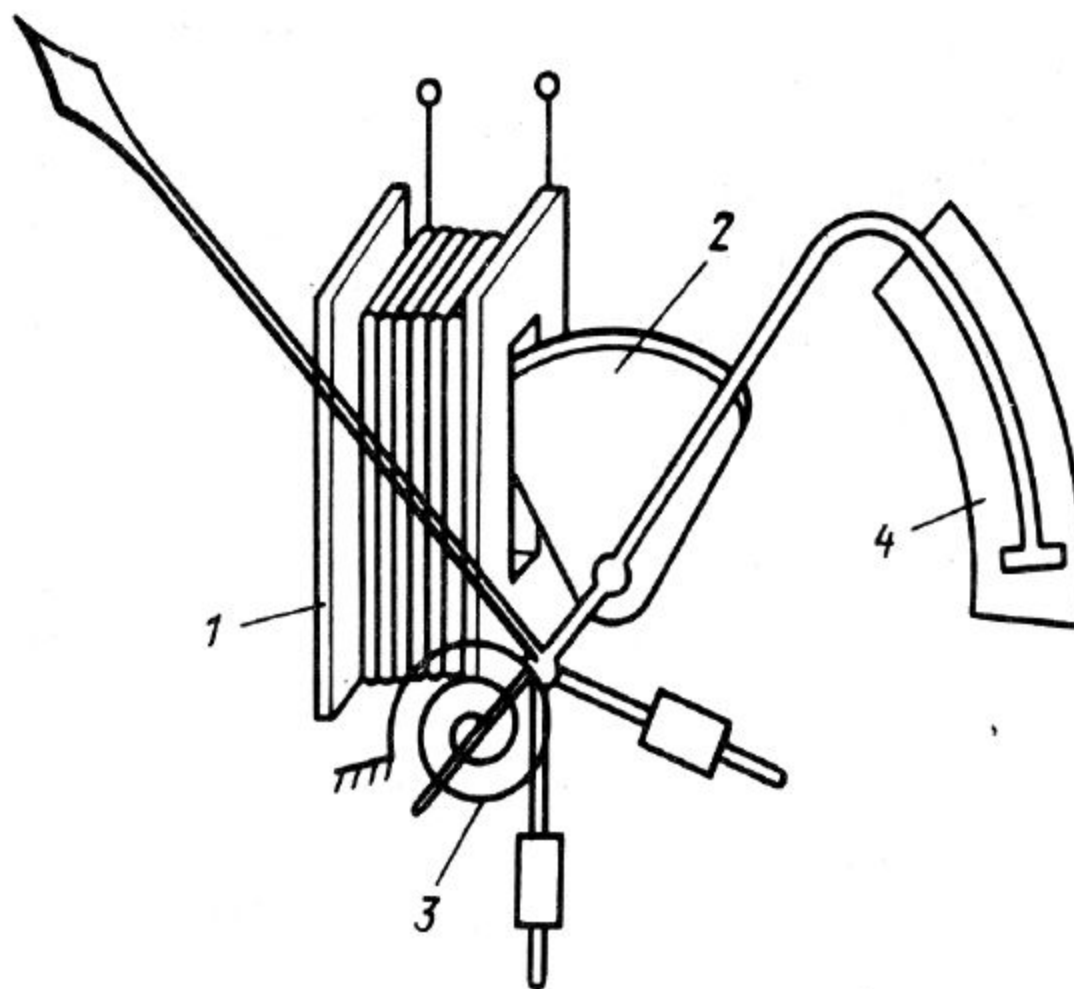


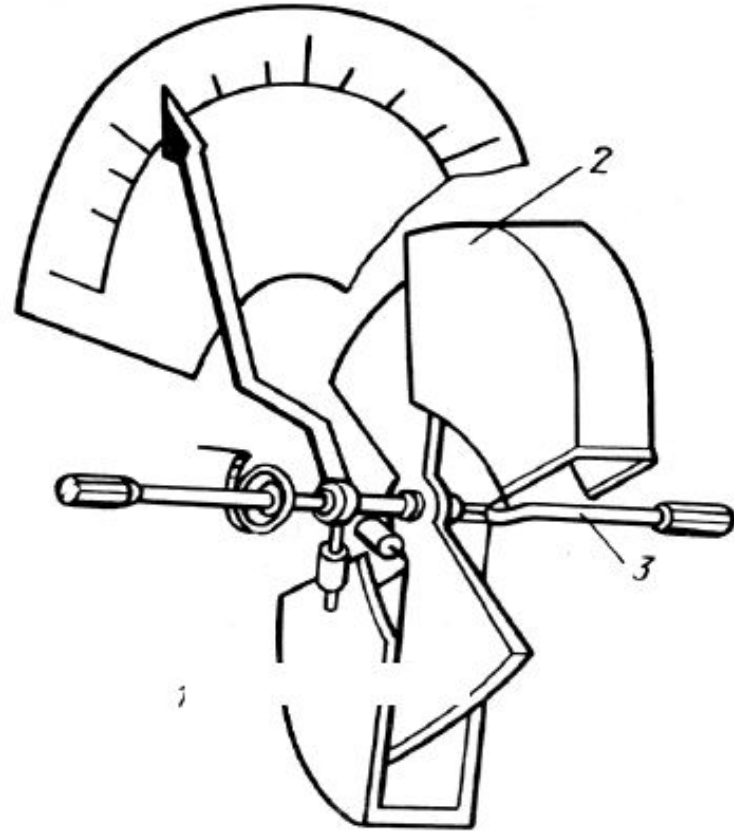
Рис. 15. Преобразователь электромагнитной системы:

1 – катушка, 2 – сердечник, 3 – спиральная пружина, создающая противодействующий момент, 4 – воздушный успокоитель

$$\alpha = \frac{1}{2W} \frac{\partial L}{\partial \alpha} I^2,$$

где L – индуктивность катушки;

I – ток.



$$W = (1/2) CU^2,$$

Рис.14. Преобразователь электростатической системы

Уравнение преобразования подобного механизма имеет вид

$$\alpha = \frac{1}{2W} \frac{\partial C}{\partial \alpha} U^2,$$

где U – измеряемое напряжение;

W – удельный противодействующий момент;

C – емкость между пластинами.

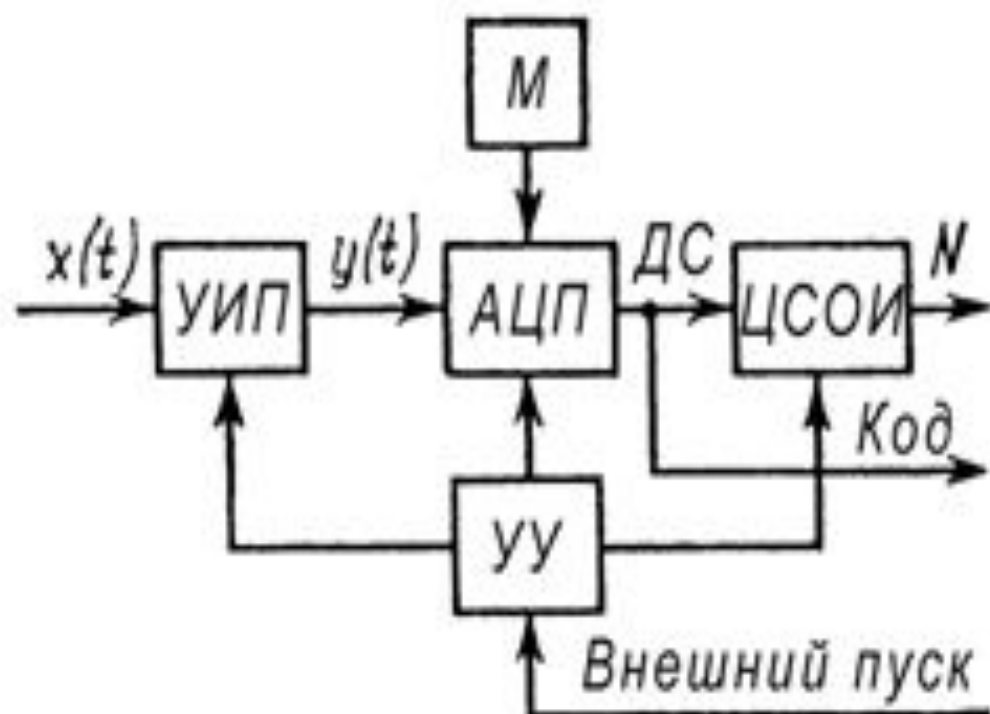


Рис. 1.7. Обобщенная структурная схема ЦИП

Преимуществами ЦИП перед АИП являются:

- удобство и объективность отсчета;
- высокая точность результатов измерения, практически недостижимая для АИП;
- широкий динамический диапазон при высокой разрешающей способности;
- высокое быстродействие за счет отсутствия подвижных электромеханических элементов;
- возможность автоматизации процесса измерения, включая такие операции, как автоматический выбор полярности и пределов измерения;
- высокая устойчивость к внешним механическим и климатическим воздействиям, помехозащищенность;
- возможность использования новейших достижений микроэлектронной технологии при конструировании и изготовлении;
- возможность сочетания с вычислительными и другими автоматическими устройствами.

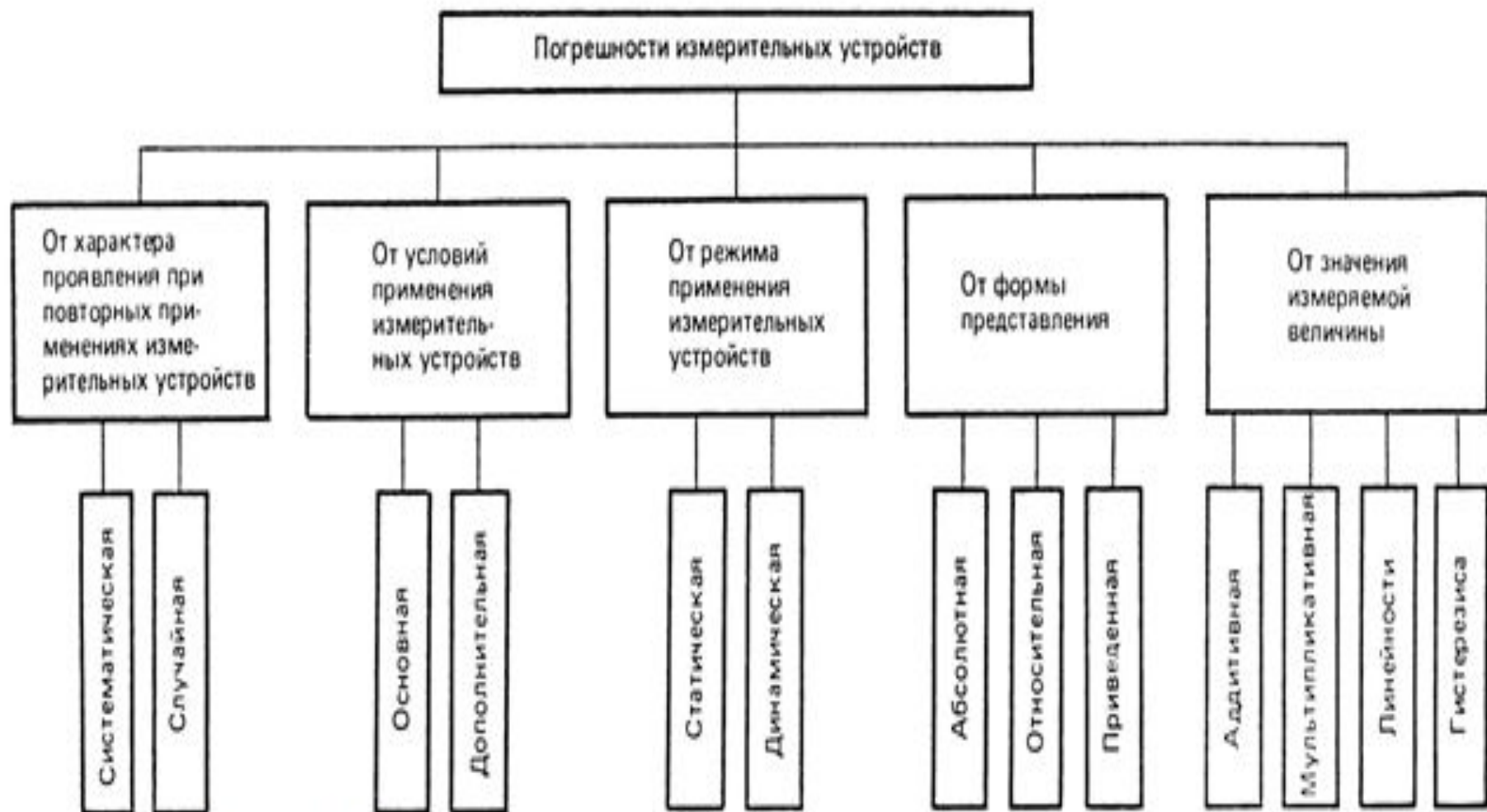


Рис. 1.8. Классификация погрешностей измерительных устройств

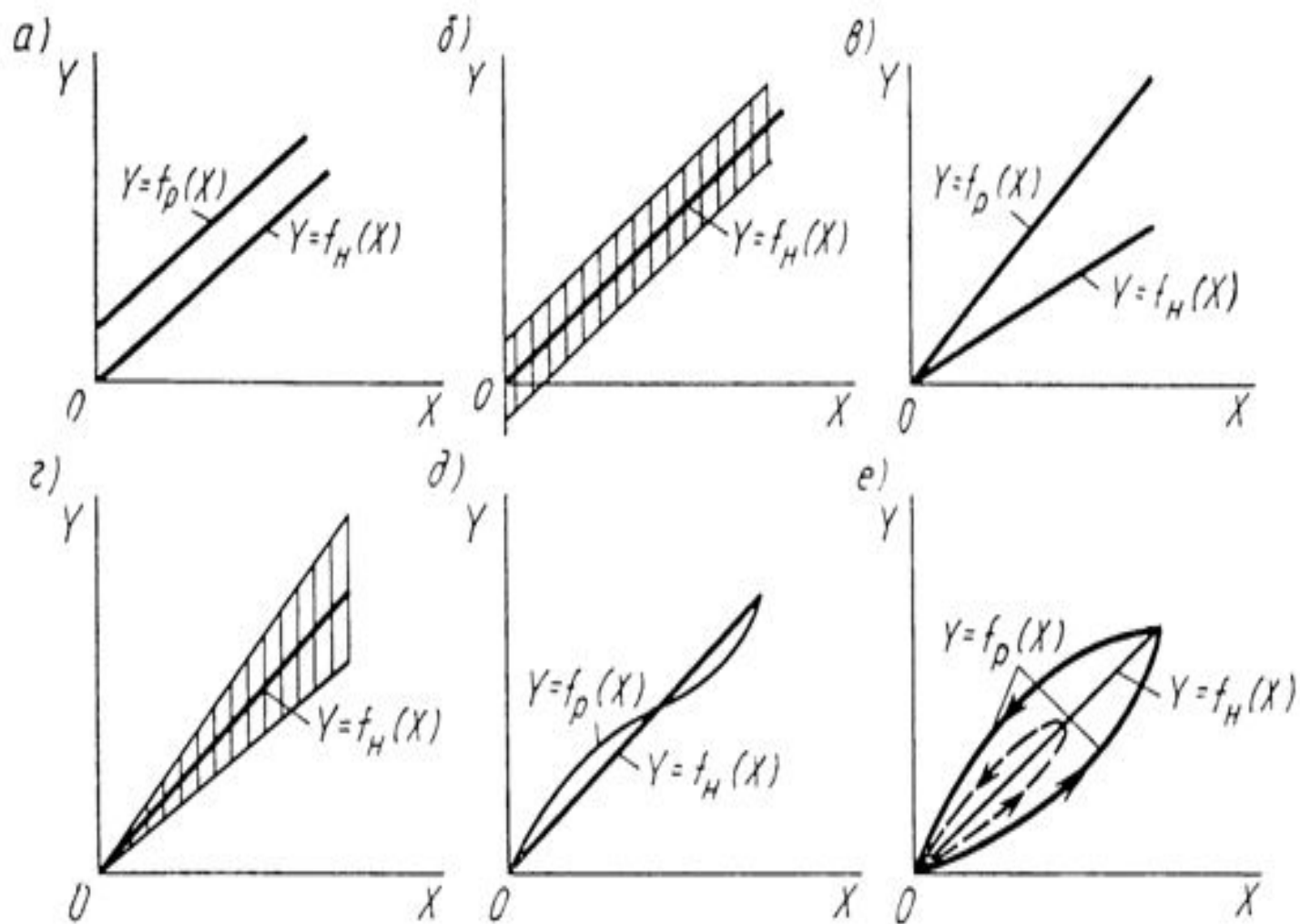
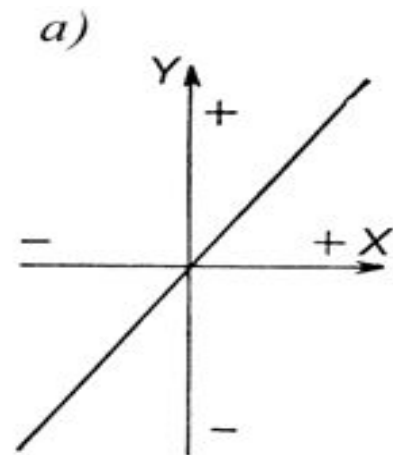
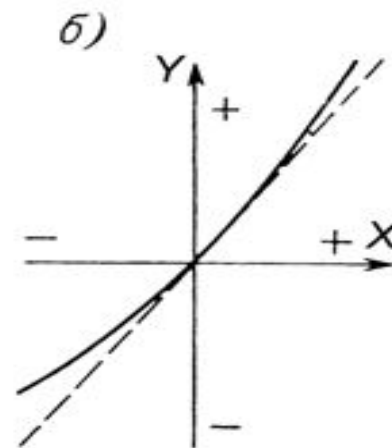


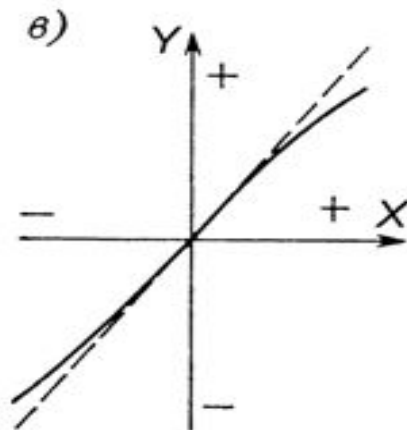
Рис. 1.9. Реальные функции преобразования измерительных устройств



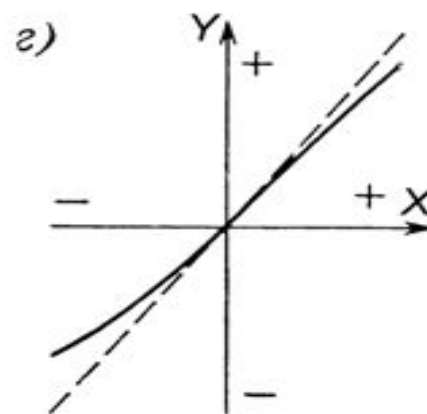
$$y_{\text{вып}} = a_0 x_{\text{вх}}$$



$$y_{\text{вып}} = a_0 x_{\text{вх}} + a_1 x_{\text{вх}}^2 + a_3 x_{\text{вх}}^4 + \dots$$



$$y_{\text{вып}} = a_0 x_{\text{вх}} + a_2 x_{\text{вх}}^3 + a_4 x_{\text{вх}}^5 + \dots$$



$$y_{\text{вып}} = a_0 x_{\text{вх}} + a_1 x_{\text{вх}}^2 + a_2 x_{\text{вх}}^3 + a_3 x_{\text{вх}}^4 + \dots$$

Рис. 1.10. Типичные градуировочные кривые: а – линейная; б – нелинейная при наличии в уравнении преобразования четных степеней $x_{\text{вх}}$; в – нелинейная при наличии

В цифровых (ЦИП) квантование по уровню и времени осуществляется путем замены через время Δt (шаг квантования) значений непрерывной функции ближайшим дискретным уровнем с шагом Q . При этом максимальная погрешность от квантования составит $\Delta_{кв} = \pm Q/2$.

Приведенная погрешность определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta_{кв}}{ПД} \cdot 100 \%,$$

где ПД – полный диапазон измеряемой величины.

$$ПД = Q \cdot N,$$

где N – число уровней квантования (интервалов).

$$\gamma = \frac{Q \cdot 100\%}{2 \cdot Q \cdot N} = \frac{50}{N} \%.$$

Например, измеряет напряжение в диапазоне $0..150$ В с $\gamma = 0,1 \%$. Для определения шага квантования запишем:

$$Q = \frac{\gamma \cdot 2 \cdot ПД}{100} = \frac{0,1 \cdot 150}{50} = 0,3 \text{ В}.$$



Рис. 1.11. Классификация методов повышения точности измерений

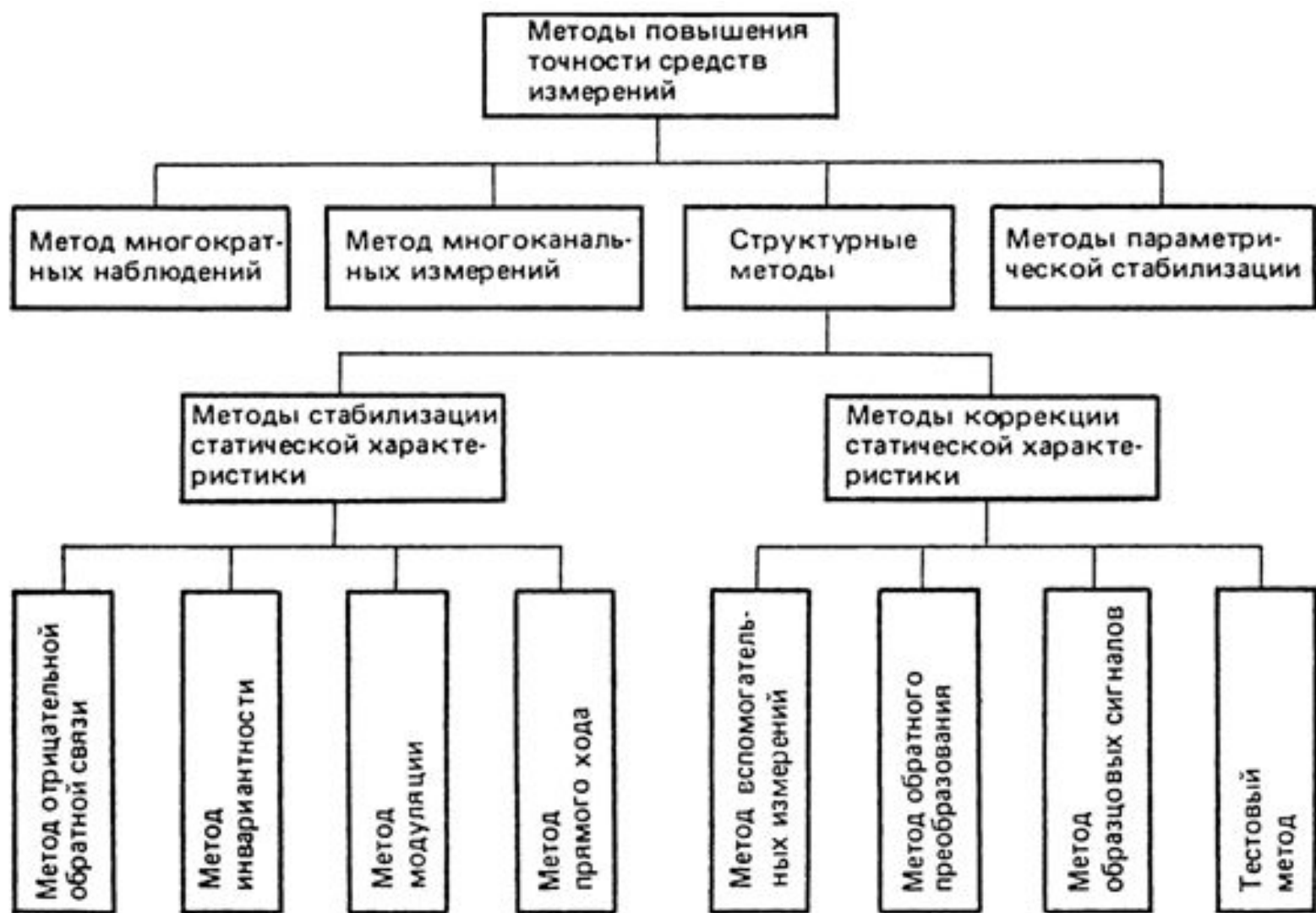


Рис. 1.12. Классификация методов повышения точности средств измерений

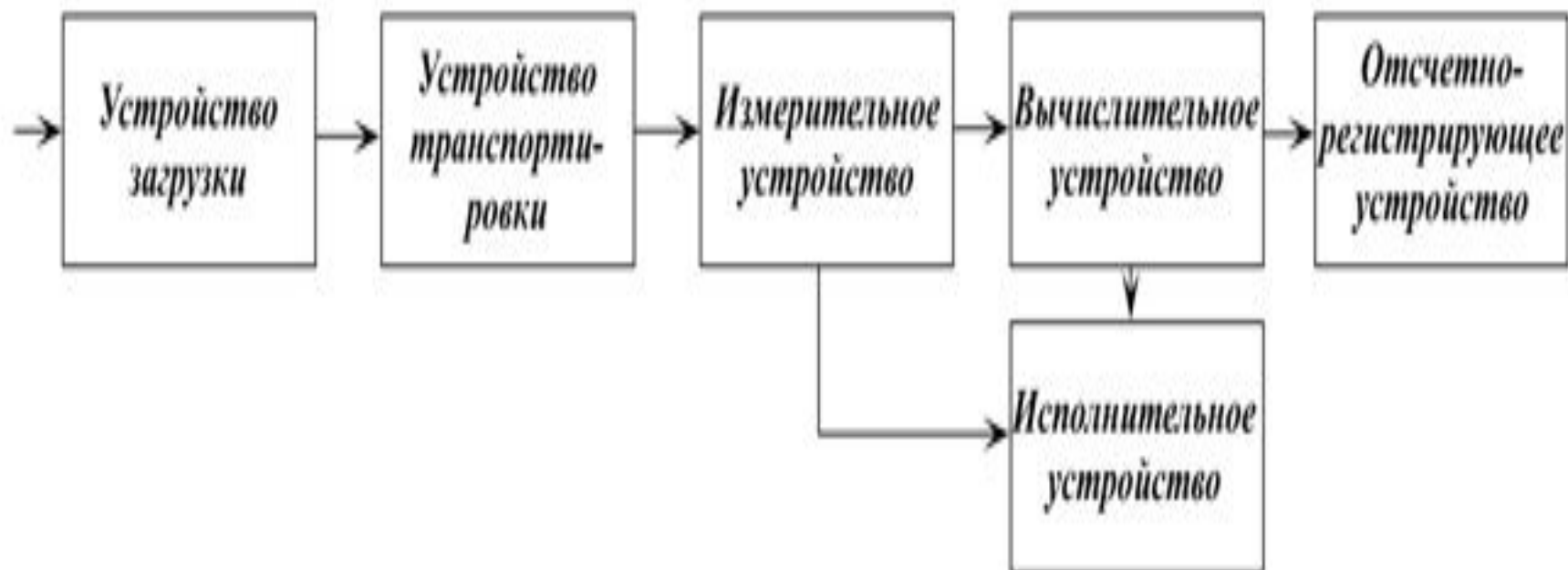


Рис. 2.1. Структурная схема пассивной САК

В соответствии с физическим принципом, положенным в основу преобразования информации, различают следующие основные типы чувствительных элементов:

резистивные;

электромагнитные;

гальваномагнитные;

пьезоэлектрические;

емкостные;

тепловые;

оптические.

Чувствительные элементы делятся на пассивные (параметрические) и активные (генераторные).

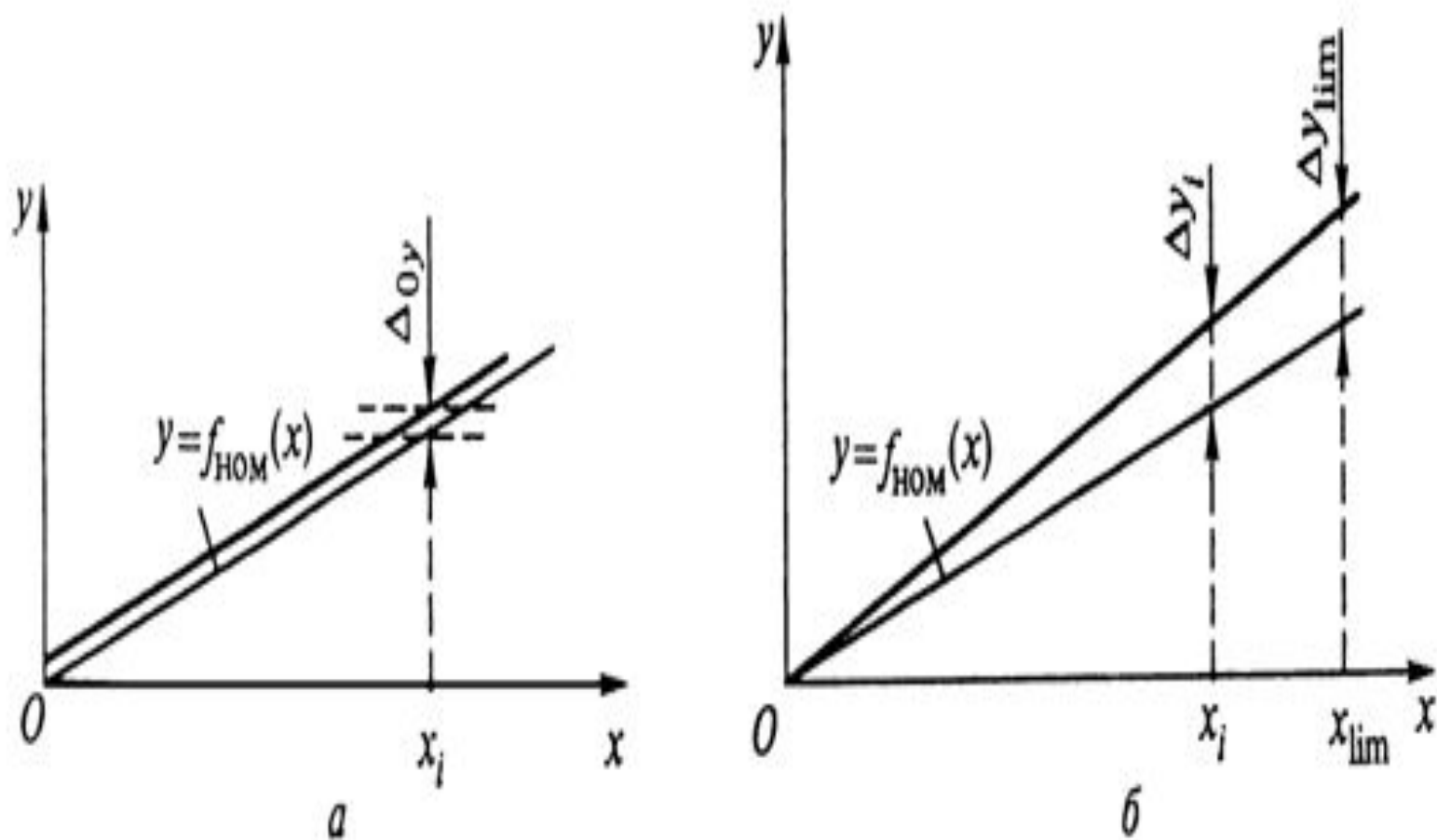


Рис. 2.21. Аддитивная (а) и мультипликативная (б) погрешности датчика



Рис. 2.22. График результатов наблюдений

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

где ρ , l , S – удельное электросопротивление, длина и сечение проводника соответственно.

Удельное сопротивление ρ зависит от изменения температуры:

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha (t - t_0)],$$

где ρ_0 – удельное сопротивление при эталонной температуре (обычно 25 °C).

Отношение $S = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l}$ называется тензочувствительностью, которая показывает,

насколько относительное изменение сопротивления превосходит его относительную деформацию.

Использование тензоэлементов в датчиках основано на законе Гука:

$$\sigma = E \cdot \frac{\Delta l}{l},$$

где σ , E – напряжение и модуль Юнга соответственно.

После преобразования получим:

$$\sigma = E \cdot \frac{\Delta R / R}{S} = \frac{E}{R \cdot S} \cdot \Delta R = K \cdot \Delta R,$$

где K – постоянный коэффициент.

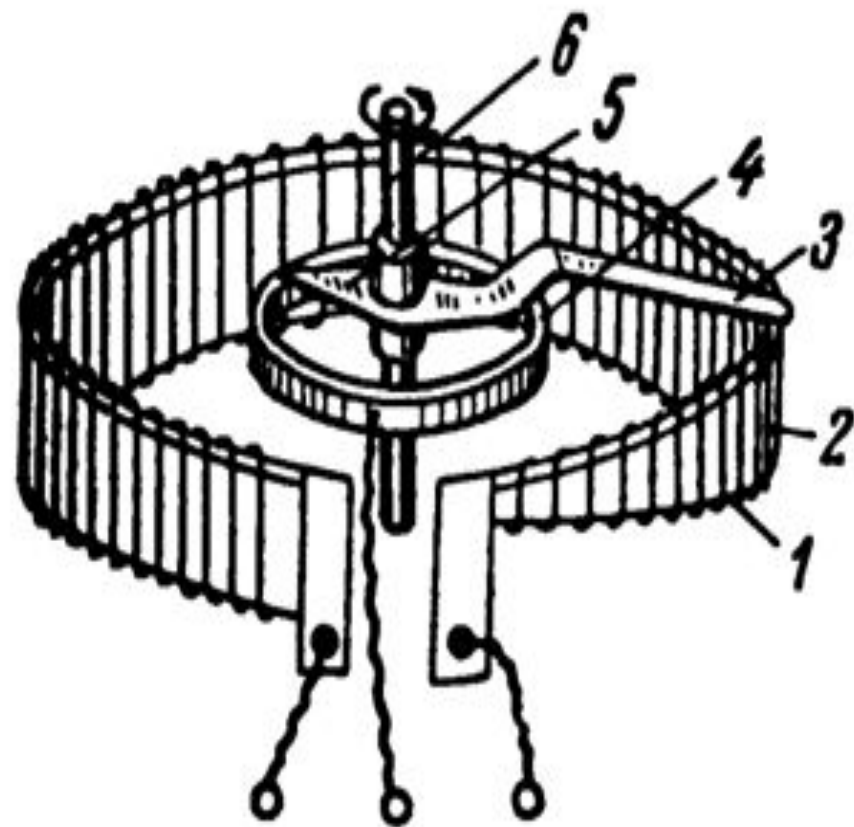


Рис. 2.23. Реостатный проволочный ЧЭ с переменной высотой каркаса

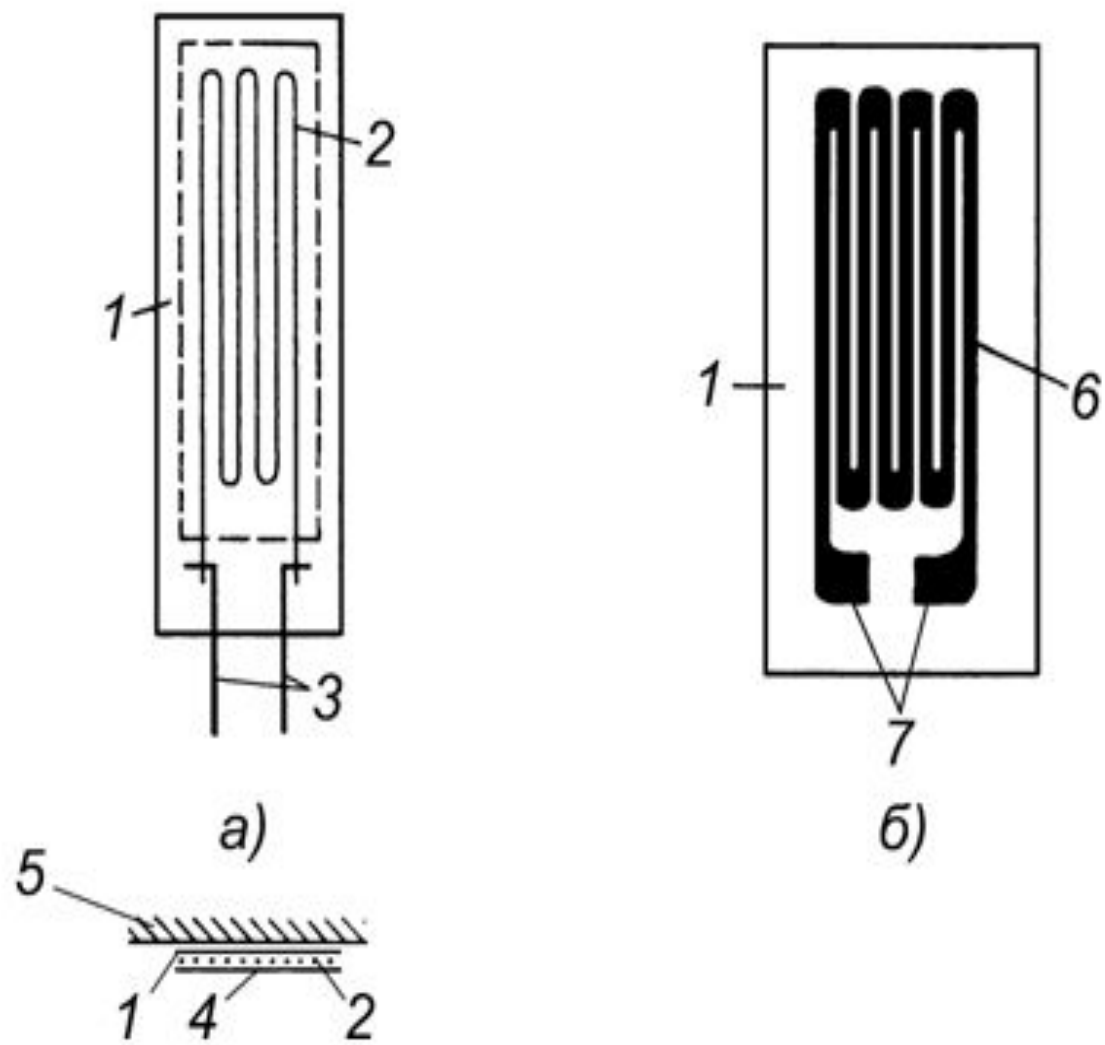
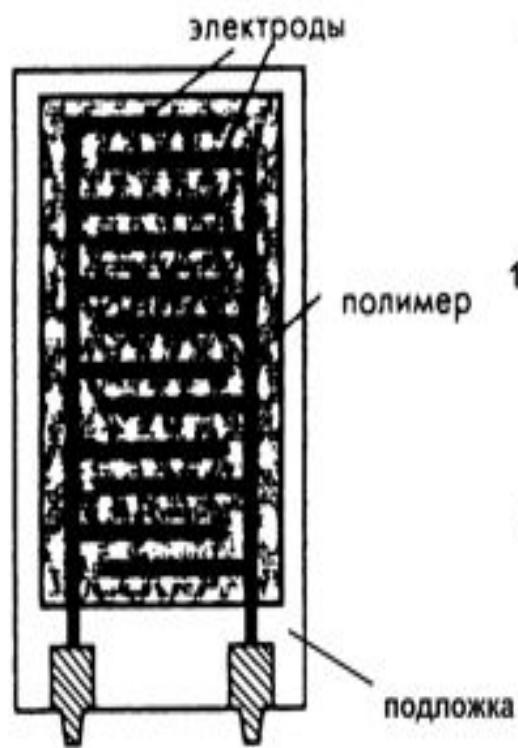


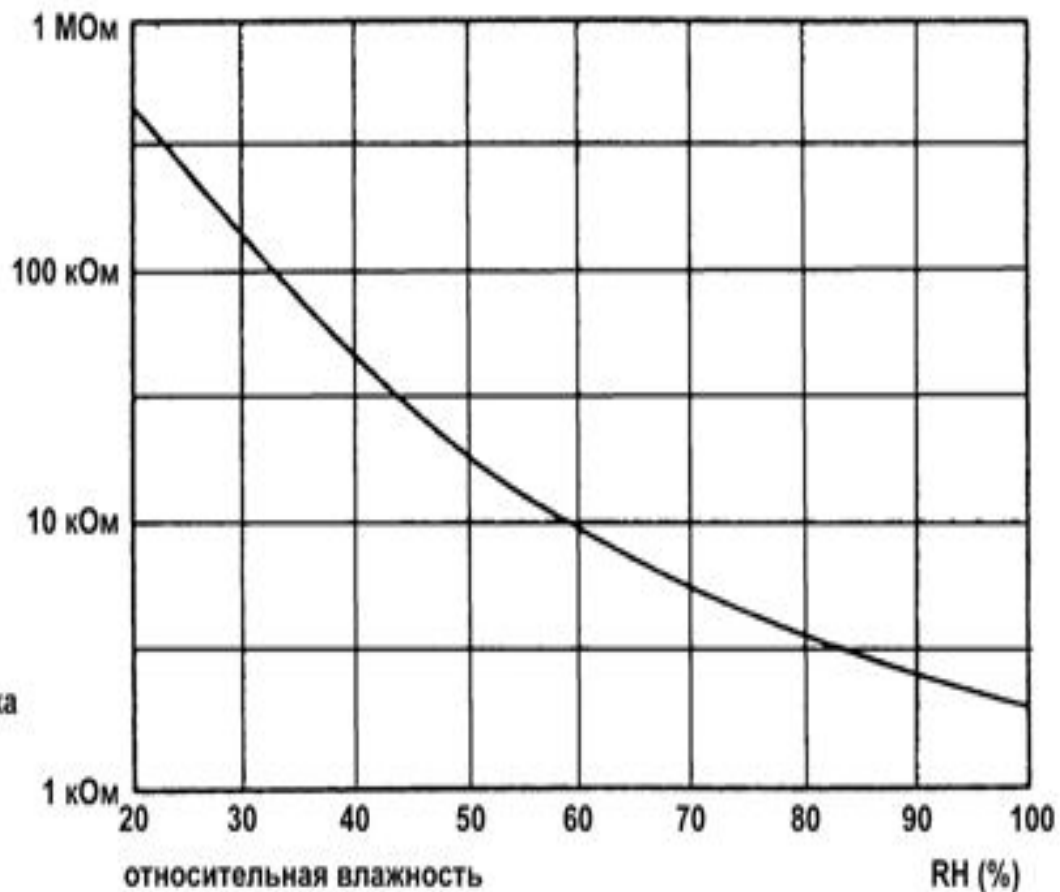
Рис. 2.24. Проволочный и фольговый тензорезисторы

Основные параметры тензорезисторов

Модель	Тип	Относительная деформация $\Delta l/l$ в %	Тензочувствительность S	Рабочий ток I , мА	Размеры, мм	
					Длина	Ширина
КТД-2А (Россия)	Полупроводниковый	0,1	100	10	2	0,7
КТЭ-7Б (Россия)	>>	0,1	100	10	7	0,7
КФ-5, ФКПА (Россия)	Фольговый	0,2	3	30	11	5
LG11 0,6/120 (Германия)	>>	0,5	2	12	5	3



(А)



(Б)

Рис. 2.25. Гигристор для датчиков влажности

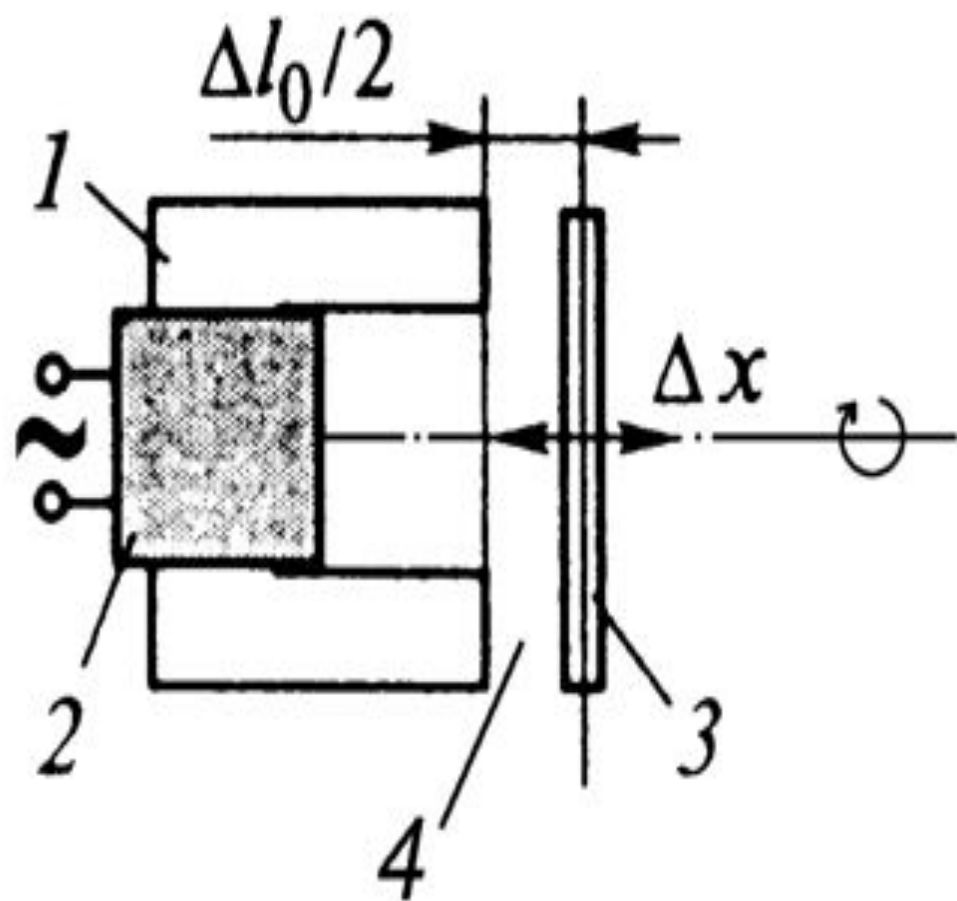


Рис. 2.26. Электромагнитный ЧЭ

$$L = \frac{N^2}{Z_M},$$

где N – число витков в катушке 2, Z_M – магнитное сопротивление.

$$Z_M = \sqrt{R_M^2 + X_M^2},$$

где R_M – активная составляющая магнитного сопротивления, X_M – реактивная составляющая магнитного сопротивления.

$$R_M = \frac{l_M}{\mu_0 \cdot \mu \cdot S_M} + \frac{l_0}{\mu_0 \cdot S_0},$$

$$X_M = \frac{P}{\omega \cdot \Phi^2},$$

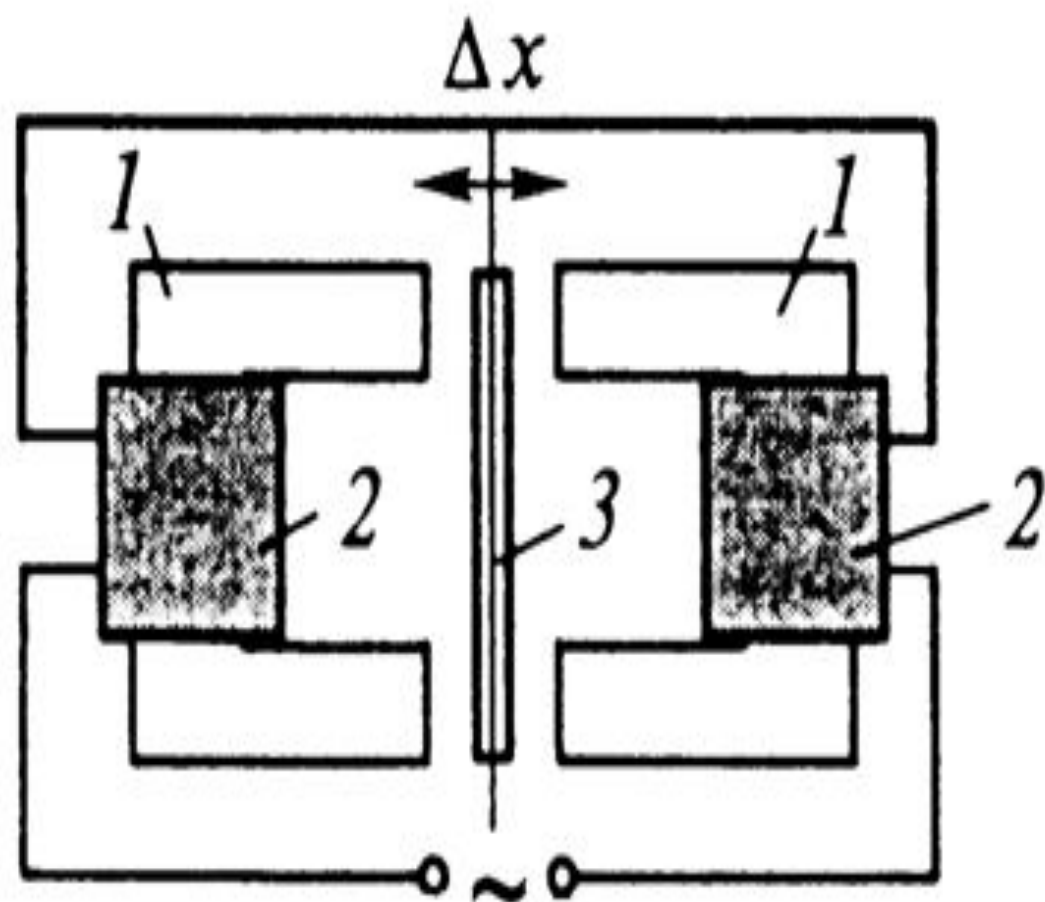


Рис. 2.27. Дифференциальная дроссельная система ЧЭ

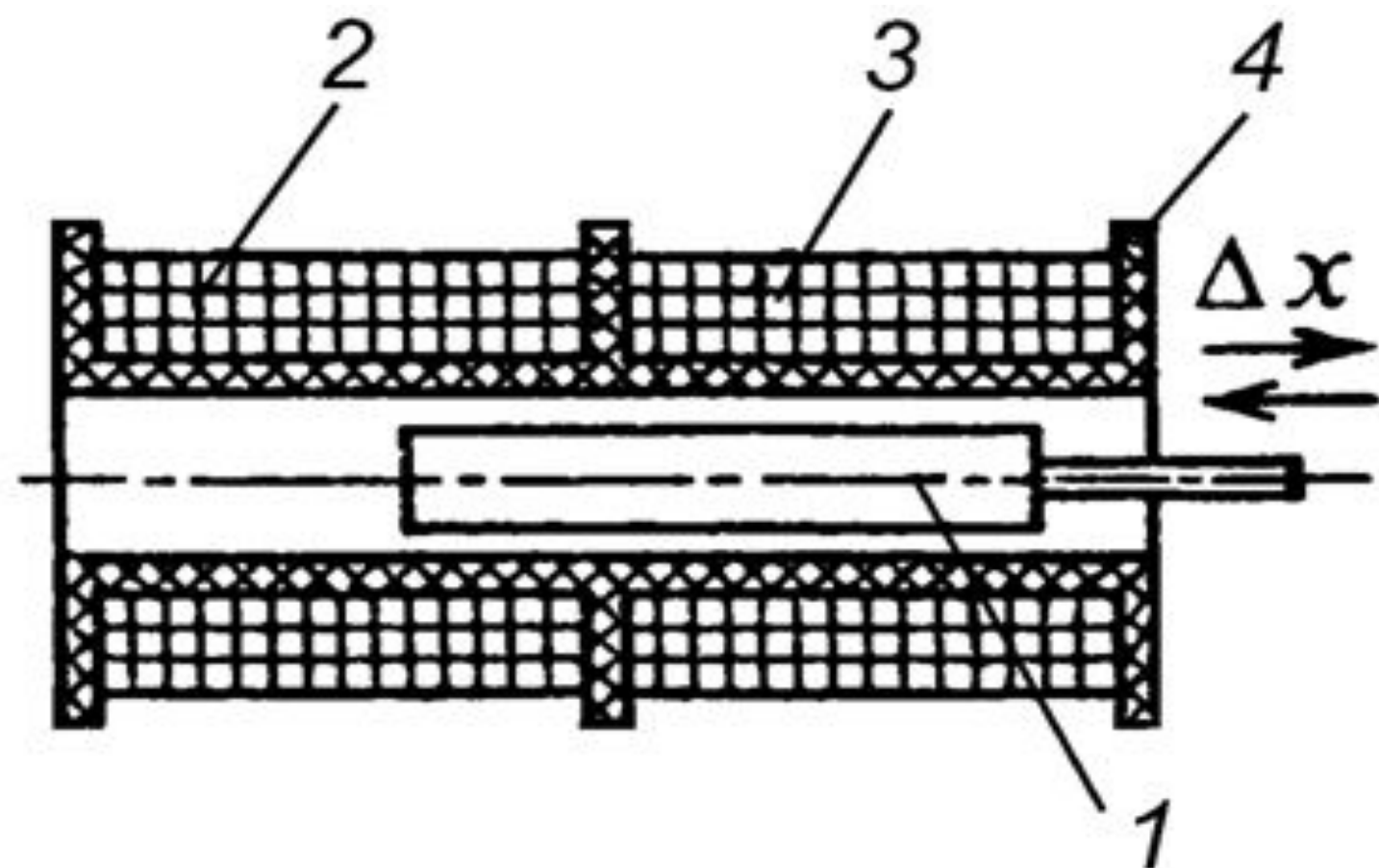
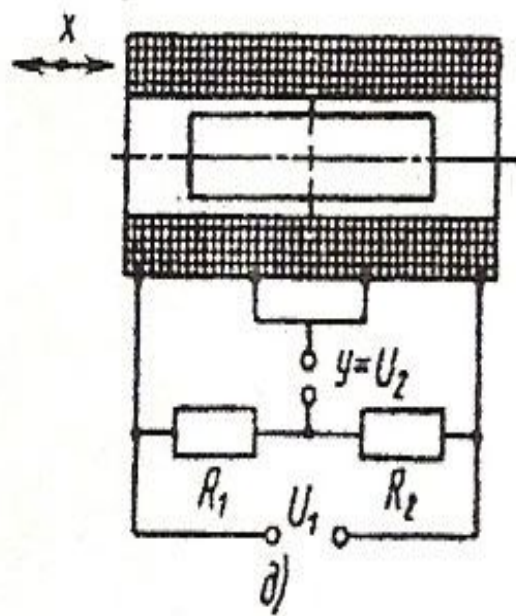
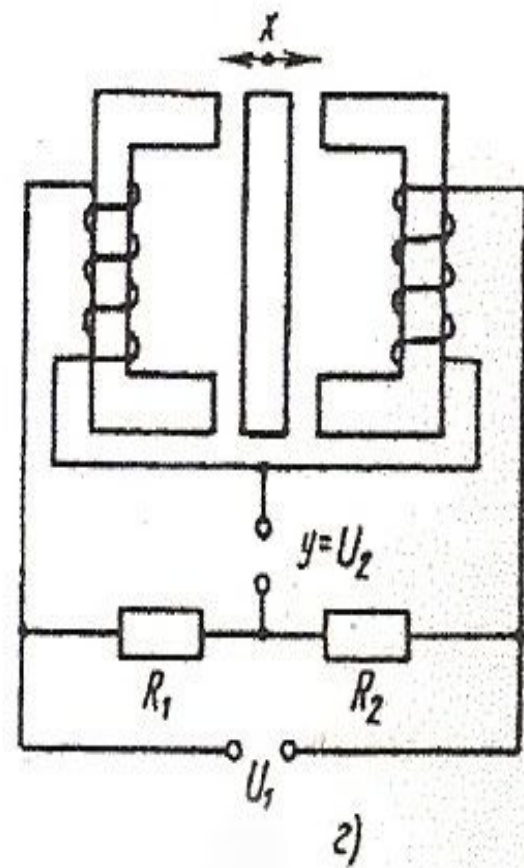
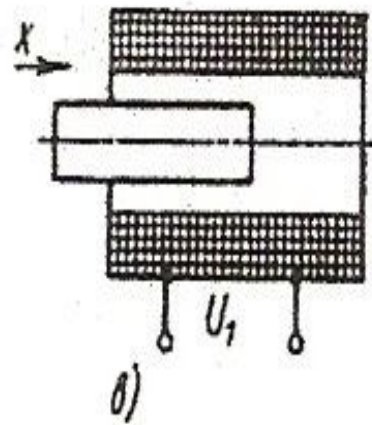
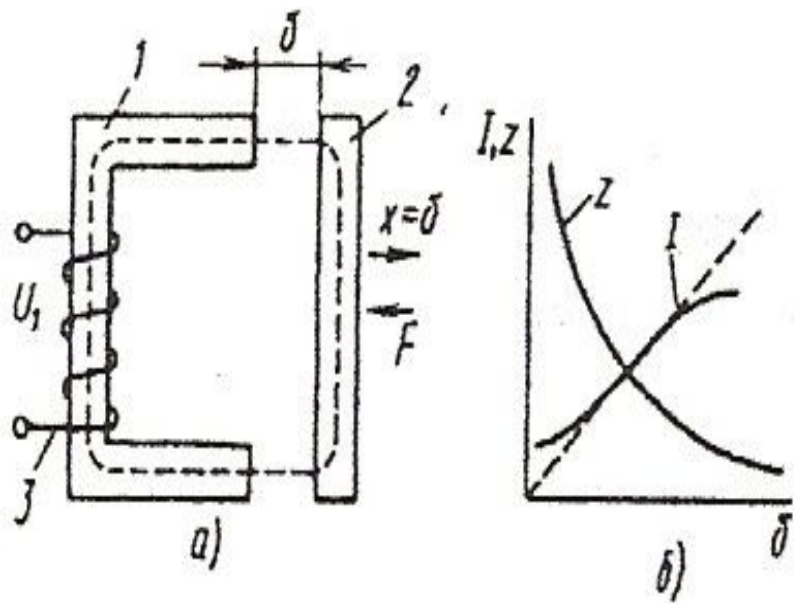


Рис. 2.28. Дифференциальный ЧЭ плунжерного типа

$$M = \frac{N_1 \cdot N_2}{Z_M},$$



Выходным сигналом датчика является сила тока I в обмотке:

$$I_y = U_1 / z, \quad (12)$$

где U_1 – напряжение источника питания датчика; z – полное сопротивление обмотки;

$z = \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}$ (здесь R – омическое сопротивление обмотки; f – частота тока).

Индуктивность обмотки:

$$L = 2\pi w^2 S \cdot 10^{-5} / \delta, \quad (13)$$

где w – число витков обмотки; S – площадь поперечного сечения магнитопровода, m^2 ; δ – воздушный зазор, м.

Активное сопротивление обмотки R намного меньше индуктивного сопротивления, т.е. $R \ll 2\pi fL$, поэтому можно считать z в выражении (12) и принимая во внимание, что

$\delta = x$, получаем

$$I_y = \frac{U_1 * 10^5}{4\pi^2 f w^2 S} x. \quad (14)$$

Статическая характеристика индуктивного датчика перемещения показана на рис. 4,6. Линейность характеристики $I = f(\delta)$ сохраняется только в пределах некоторой области изменения измеряемой величины x и нарушается, когда активное сопротивление обмотки становится сравнимым с ИНДУКТИВНЫМ – при большом зазоре δ или при малом зазоре вследствие наличия тока холостого хода.

Коэффициент чувствительности индуктивного датчика перемещения

$$K_{\text{ч}} = \frac{U_1 * 10^5}{4\pi^2 f w^2 S} \quad (15)$$

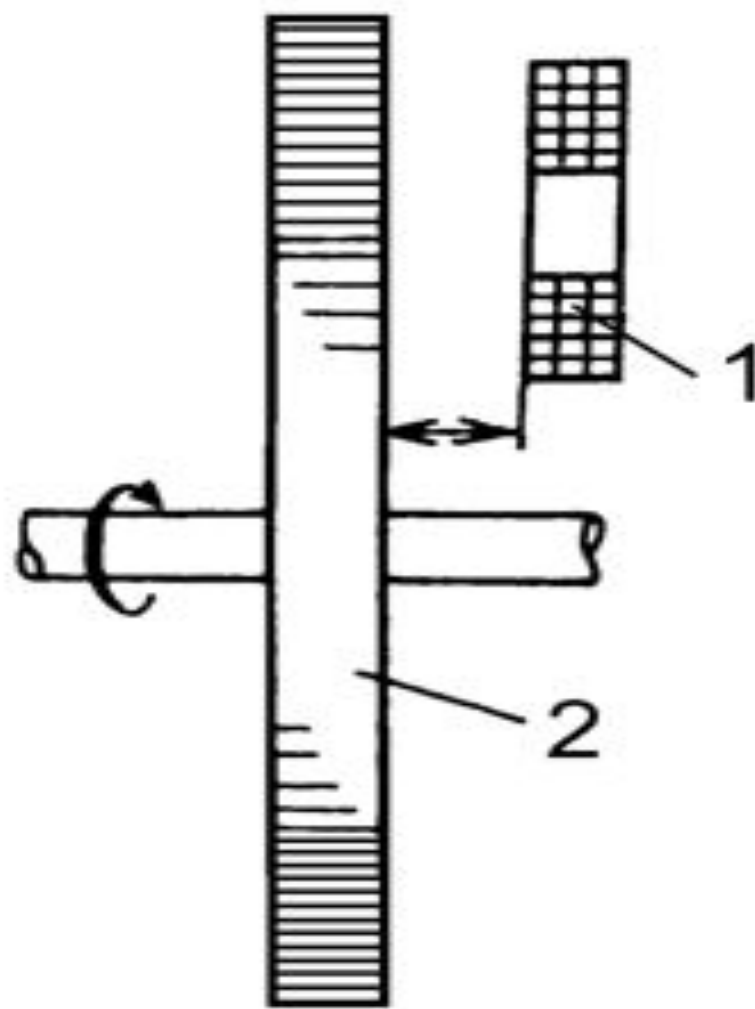


Рис. 2.29. Токовикревой ЧЭ

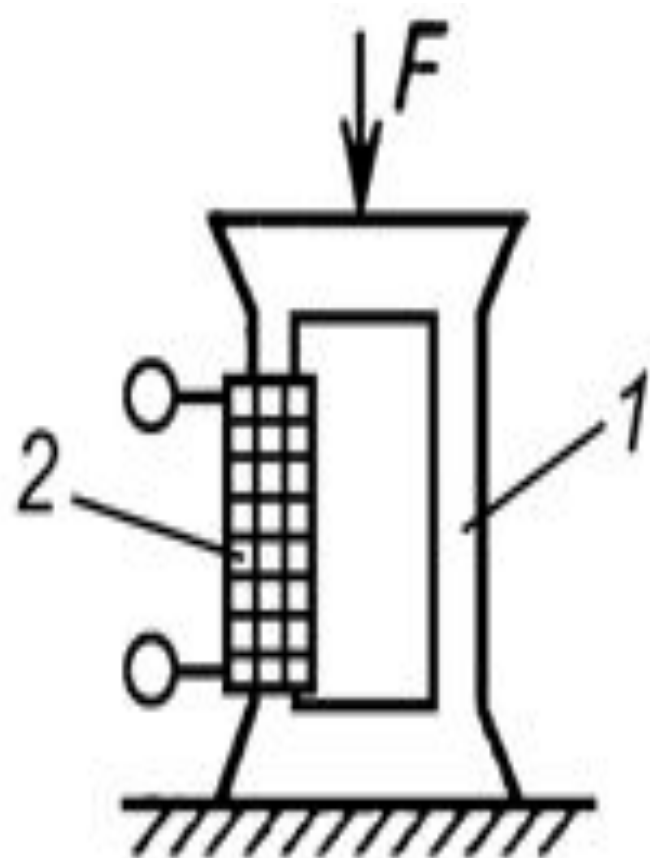


Рис. 2.30. Магнитоупругий ЧЭ для измерения силы F

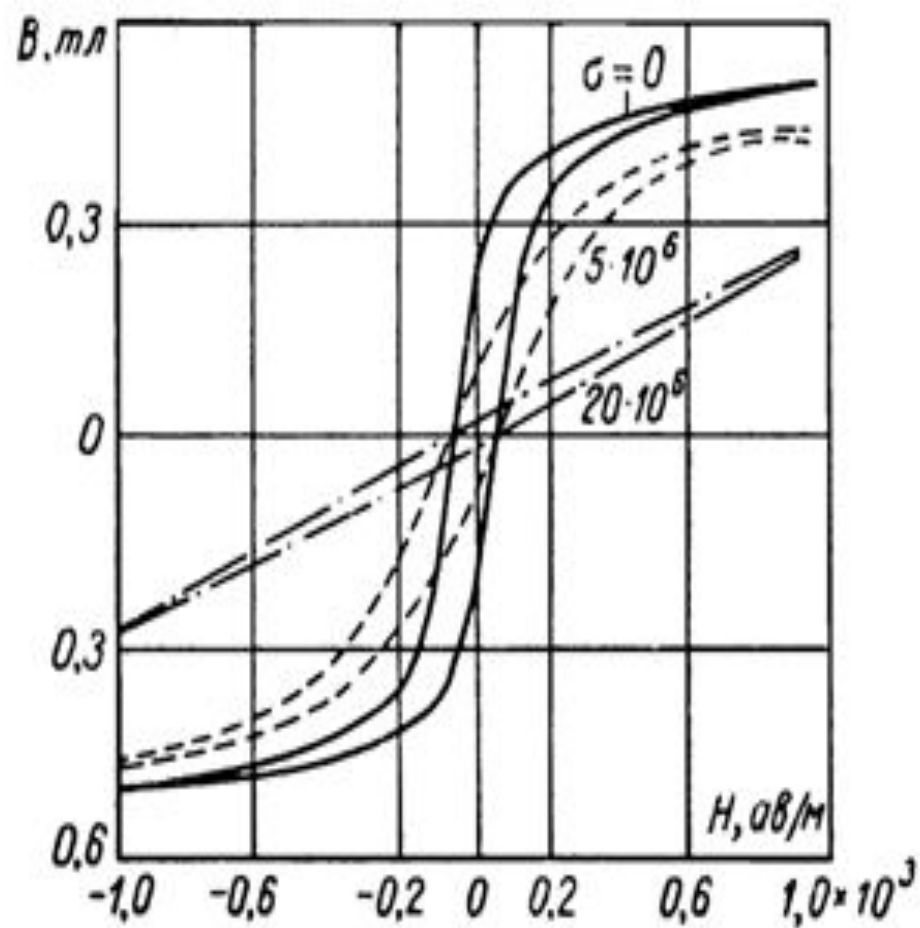


Рис. 2.31. Части гистерезисных петель для механически нагруженного никеля

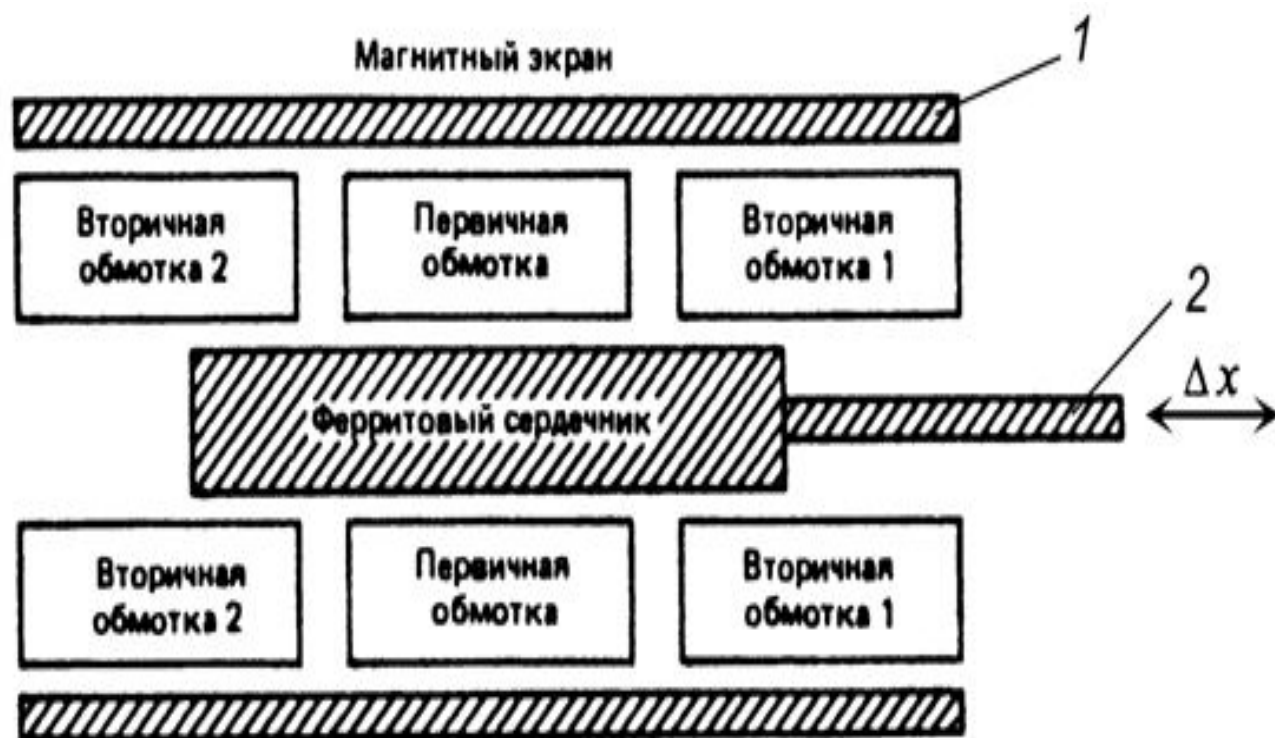


Рис. 2.32. Схема дифференциального трансформаторного ЧЭ плунжерного типа

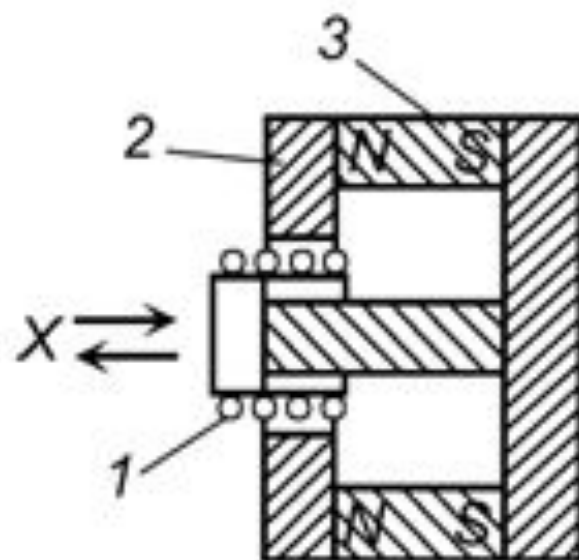


Рис. 2.33. Индукционный ЧЭ генераторного типа

$$e = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} ;$$

Гальваномагнитные чувствительные элементы

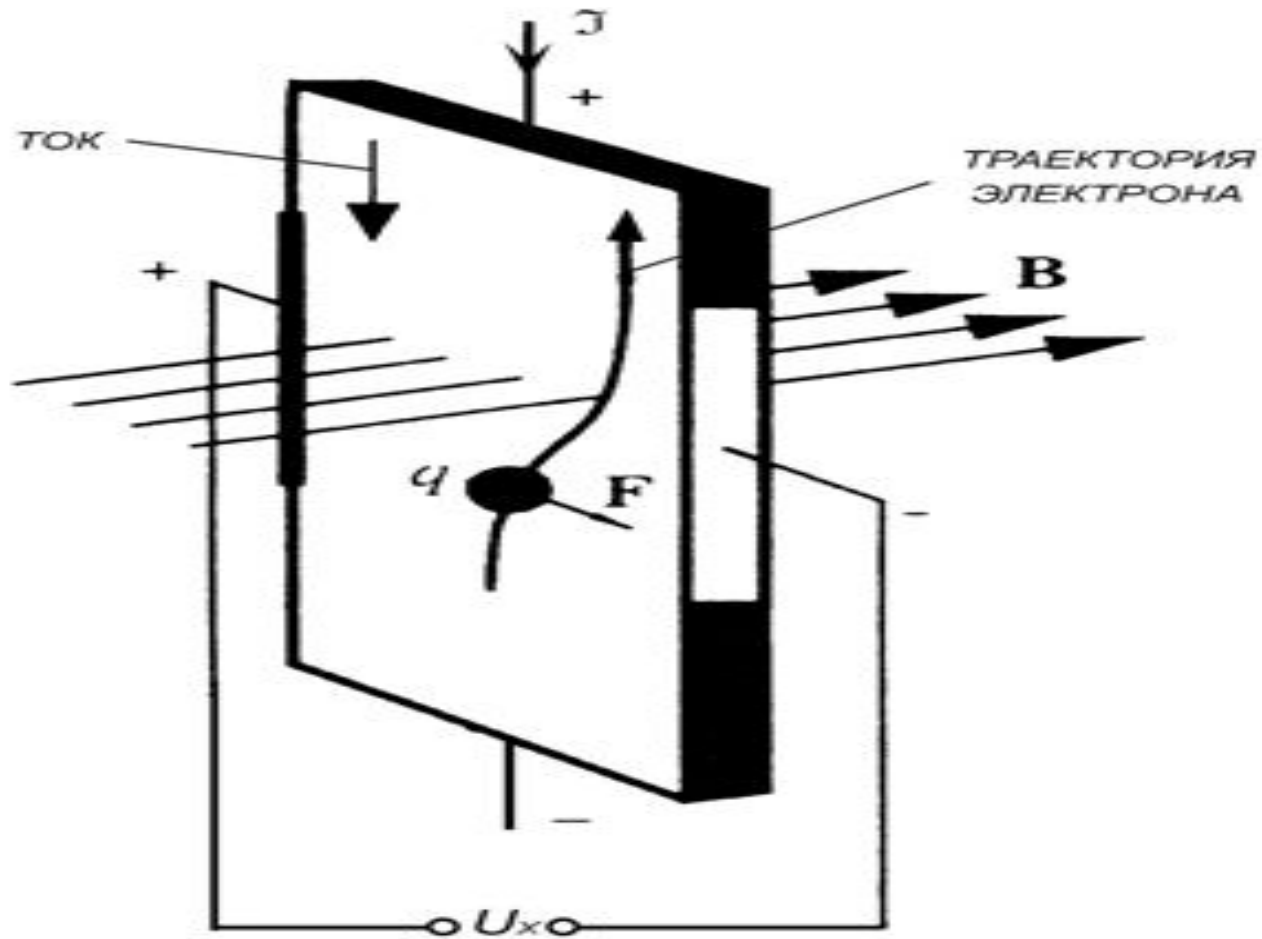


Рис. 2.34. Пластина Холла

$$U_x = R_x \cdot \frac{I}{h} \cdot B \cdot \sin \alpha$$

где R_x – эффективная толщина полупроводникового слоя, I – ток, $B \cdot \sin \alpha$ – составляющая индукции внешнего магнитного поля, перпендикулярная плоскости пластины. Самым распространенными материалами для изготовления пластины Холла являются полупроводниковые структуры на базе GaAs , InAs , InSb и др. Для них $R_x \approx 10^5 \text{ см}^3/\text{Кл}$. Если $I = \text{const}$, $\alpha = \text{const}$, то

$$\Delta U_x = S_x \cdot \Delta B,$$

где $S_x = R_x \cdot I / h$ – чувствительность элемента Холла.

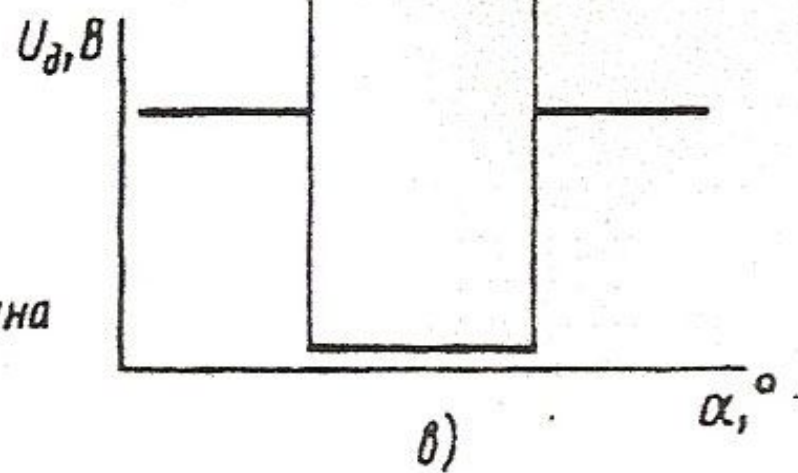
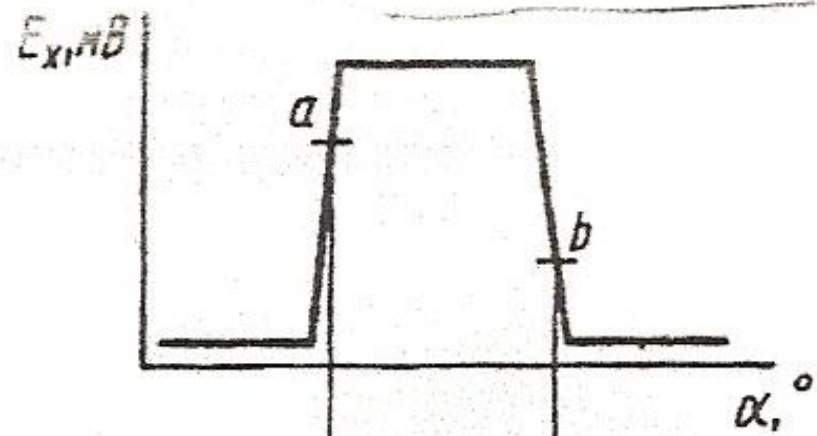
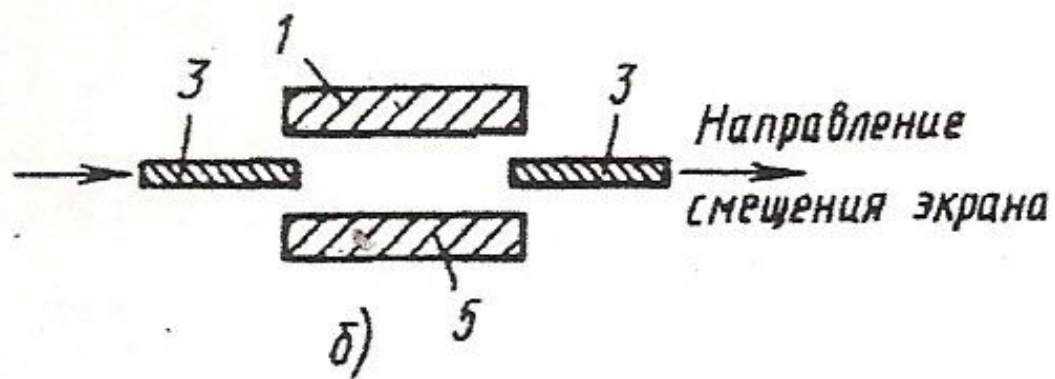
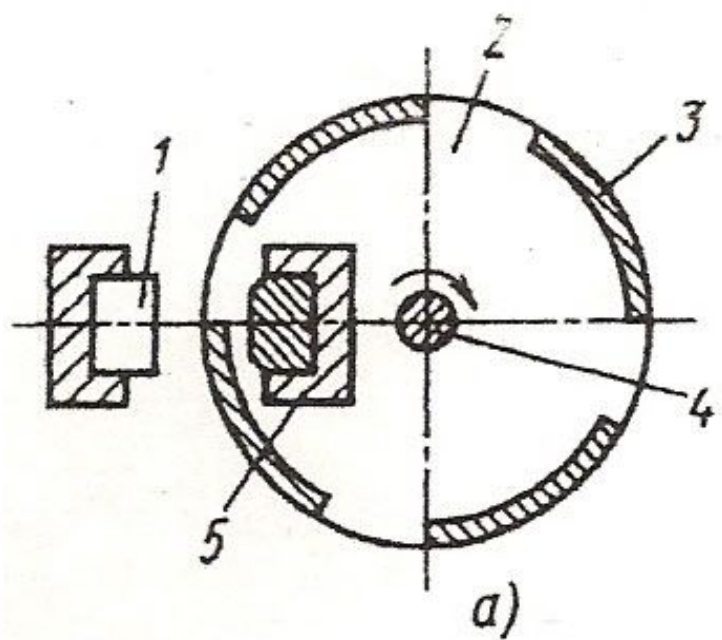




Рис. 2.35. Пермалловый ЧЭ

Пьезоэлектрические чувствительные элементы

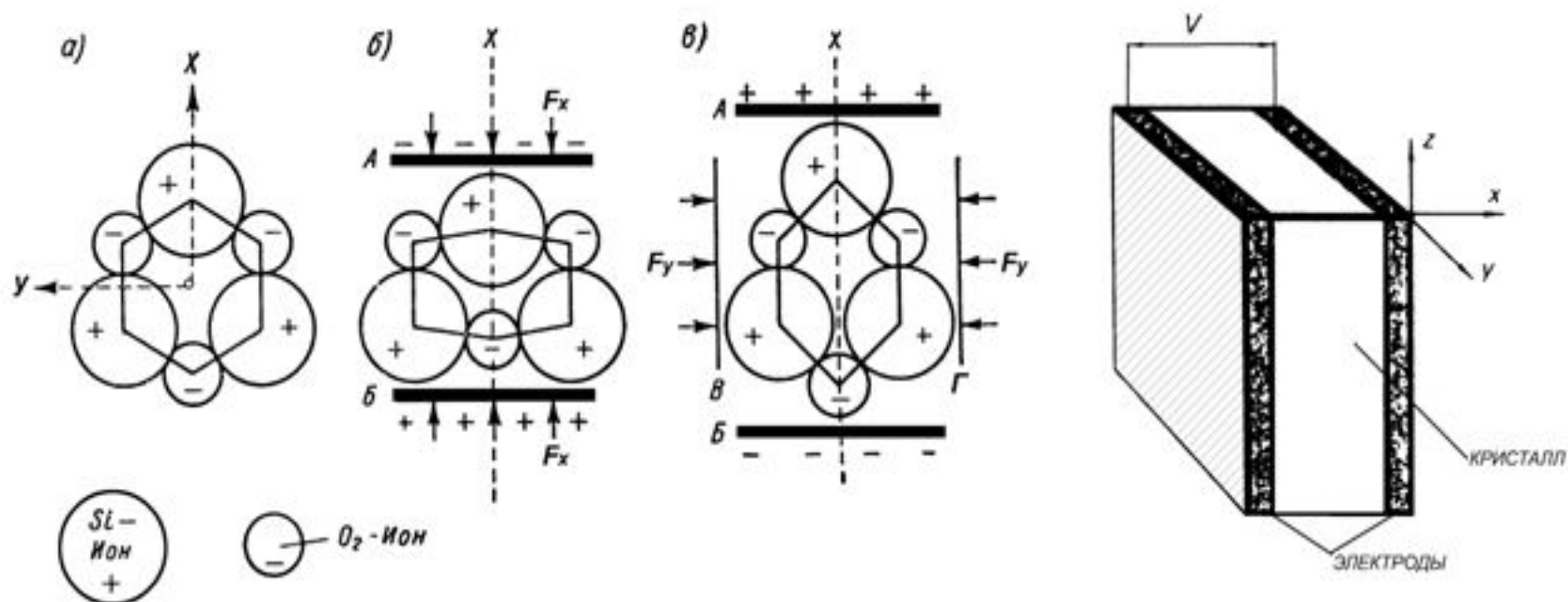


Рис. 2.36 Кристаллическая ячейка пьезоэлектрика и пьезоэлектрический ЧЭ

Поляризационный заряд пропорционален силе, приложенной, например, вдоль оси X:

$$Q = d \cdot F_x,$$

где d – коэффициент пропорциональности, пьезомодуль, Кл/Н.

Емкостные чувствительные элементы

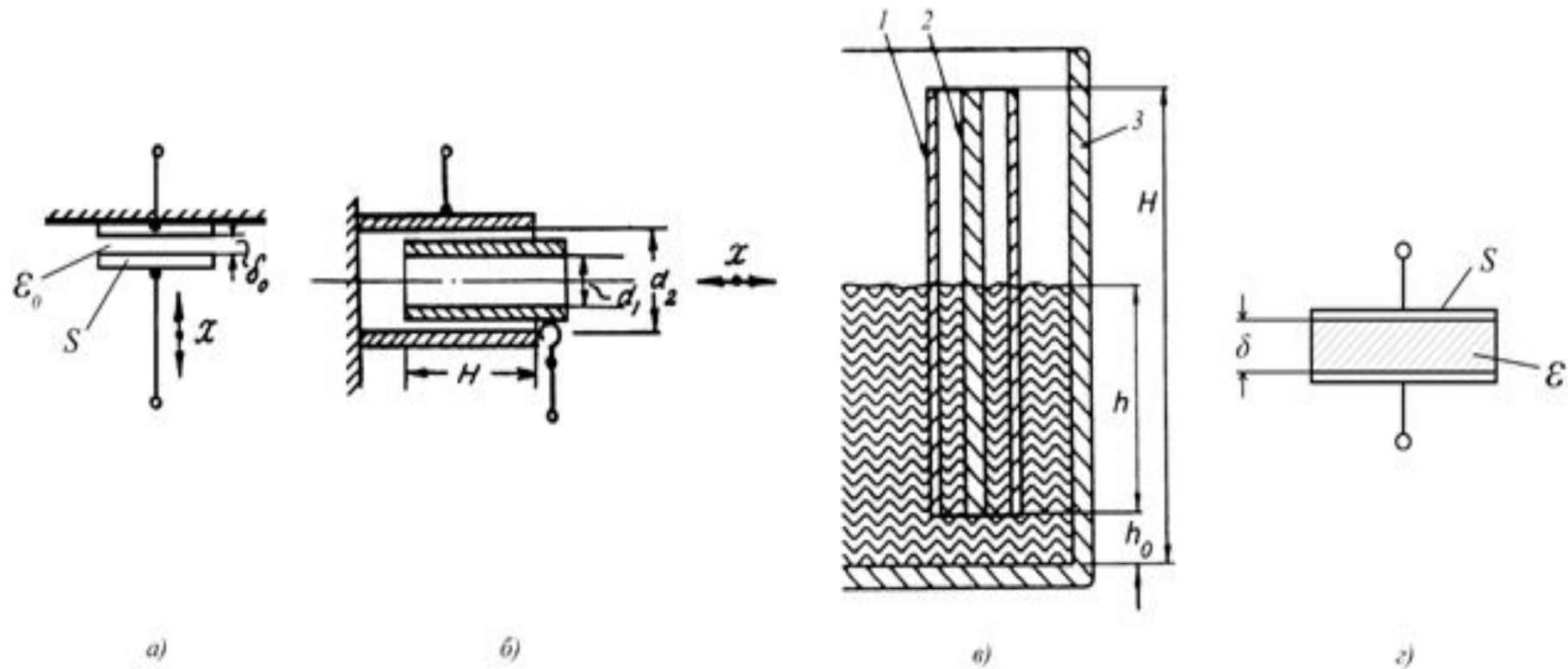


Рис 2.37. Емкостные ЧЭ

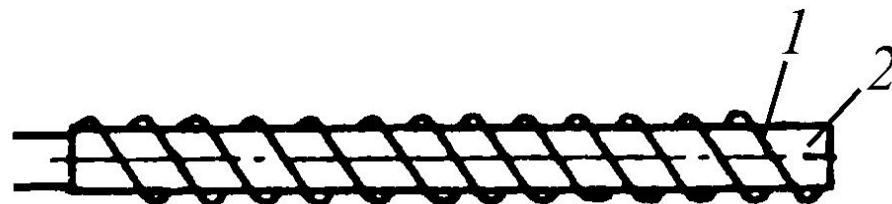
$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot S}{\delta}$$

$$C = \frac{2\pi \cdot E_0 \cdot H}{\ln \frac{d_2}{d_1}},$$

где H – длина зоны перекрытия двух цилиндров, d_1, d_2 – диаметры цилиндров. Функция преобразования $C = f(H)$ линейна.

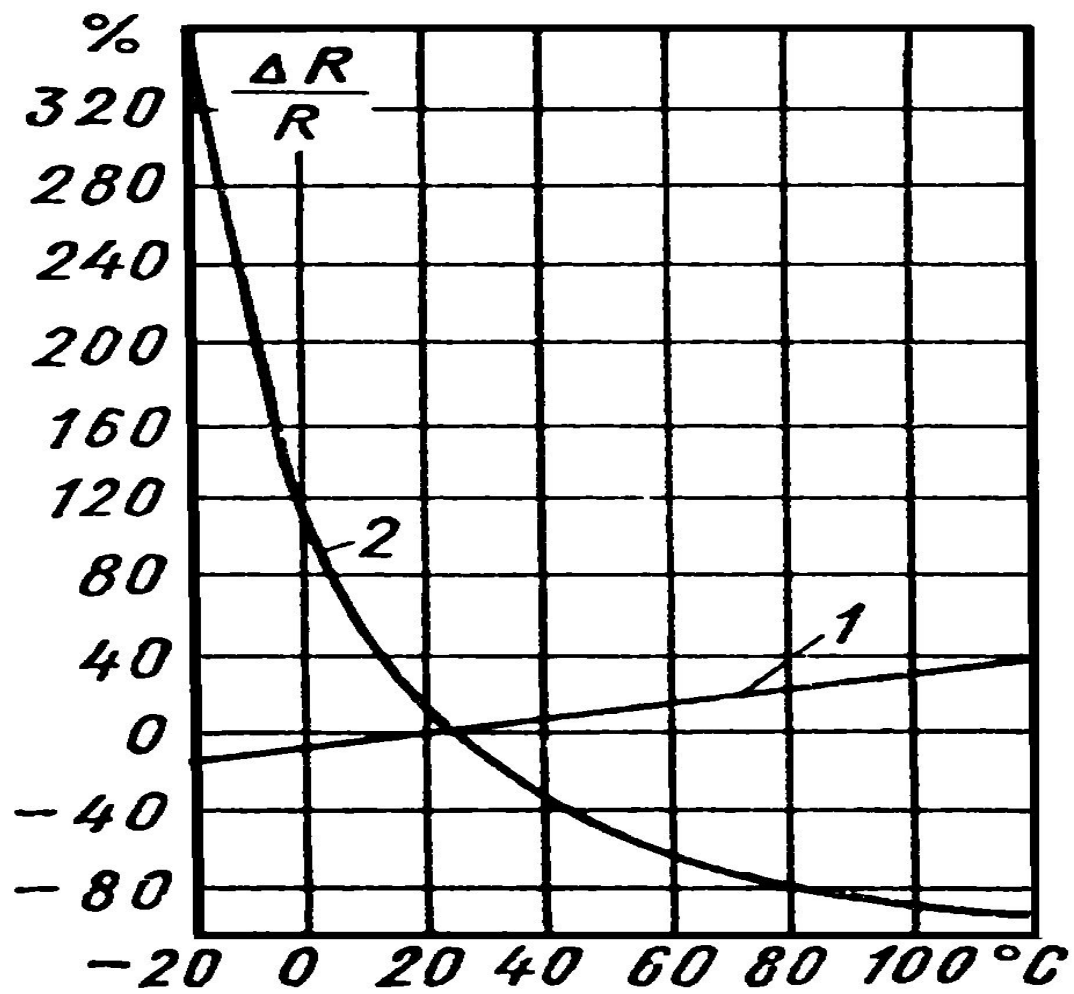
$$C = \frac{2\pi \cdot E_0}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \cdot [H - h (1 - E)],$$

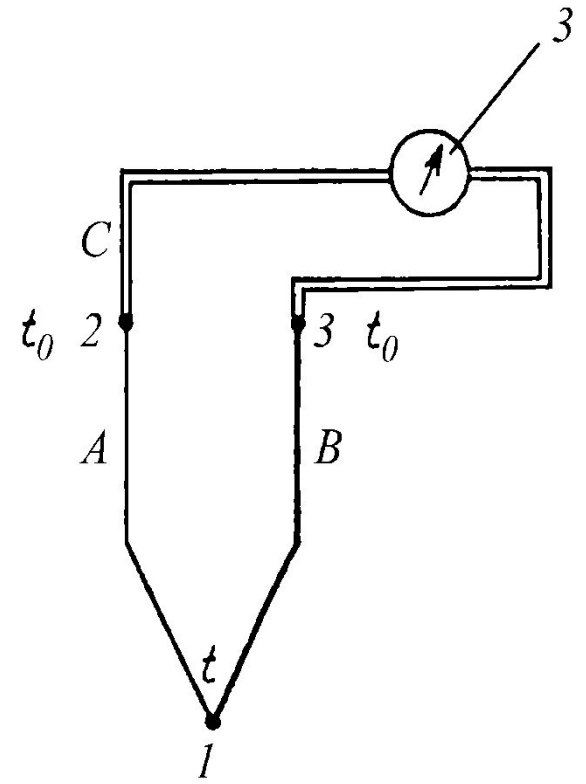
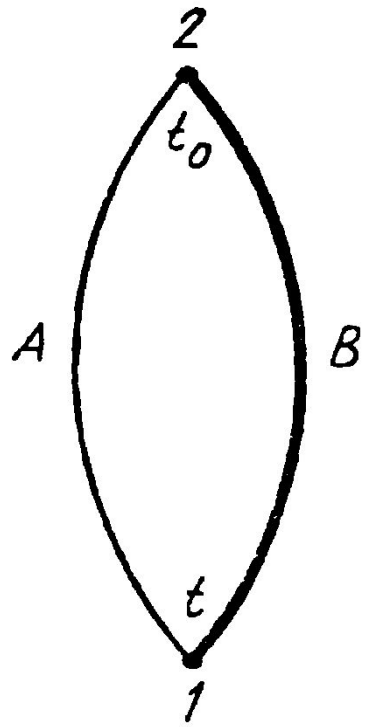
где h – высота части ЧЭ, заполненной жидкостью.



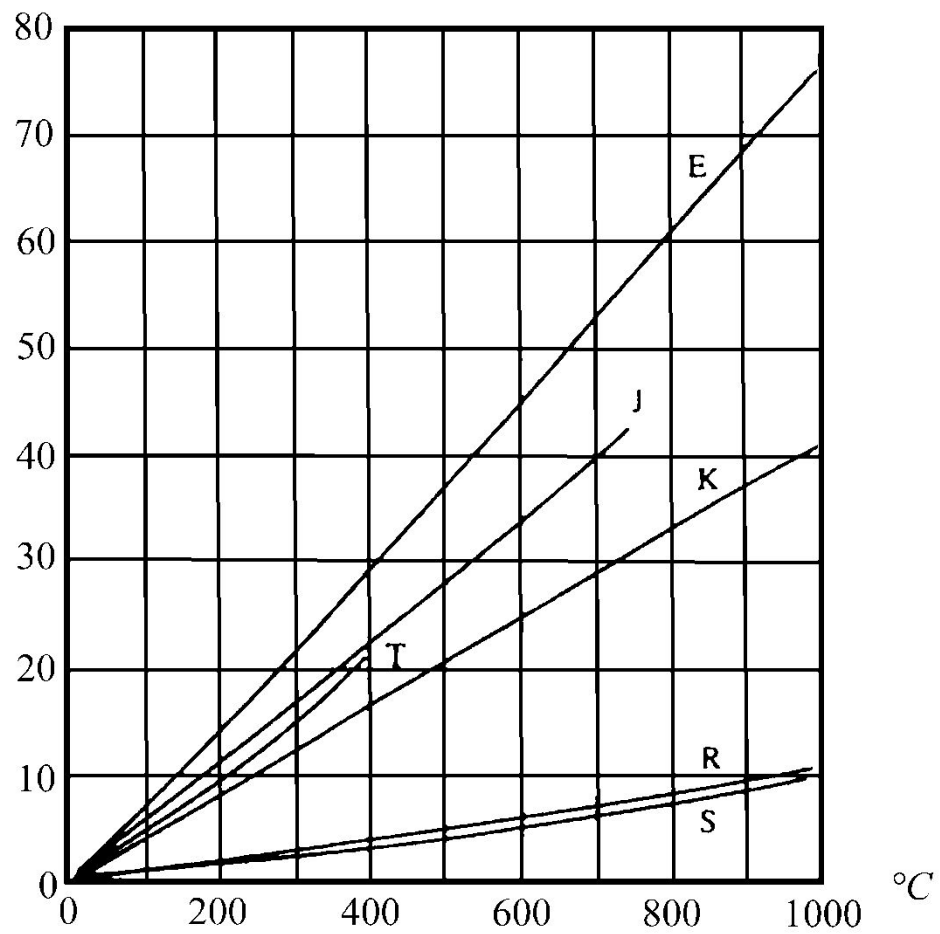
$$R_t = R_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

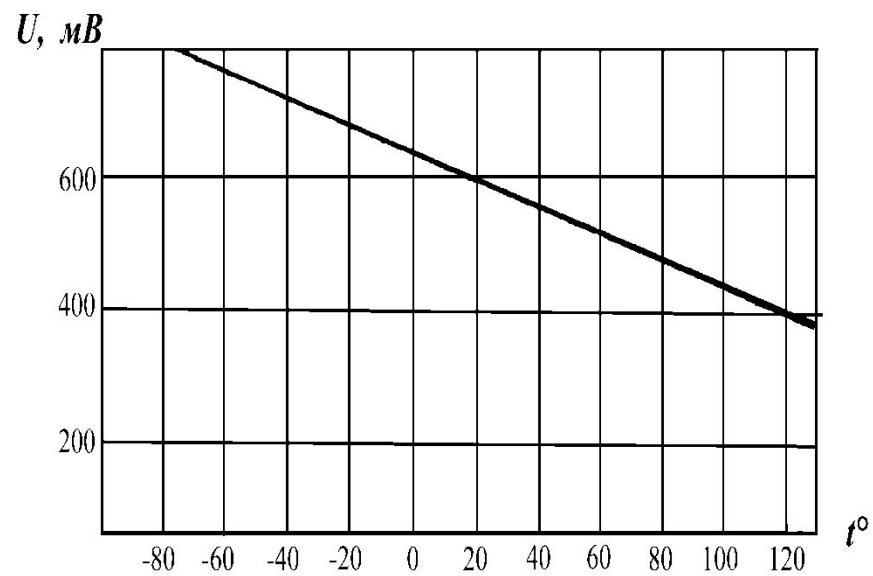
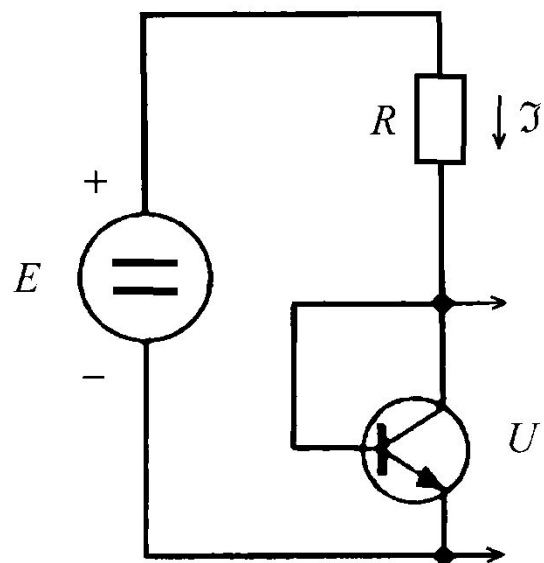
где R_t – сопротивление
 проволоки при температуре t ,
 R_0 – сопротивление при $0\text{ }^\circ\text{C}$, α
 – температурный
 коэффициент сопротивления
 (ТКС).

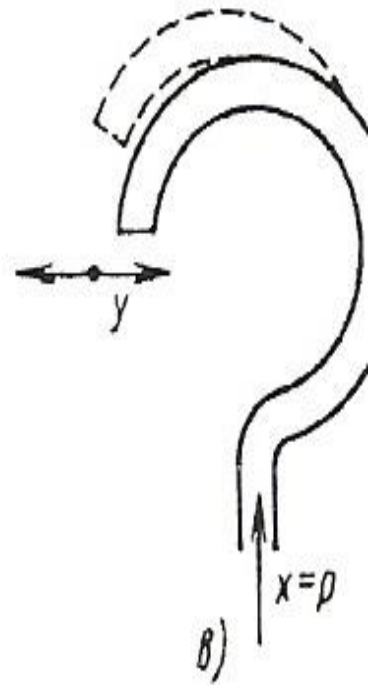
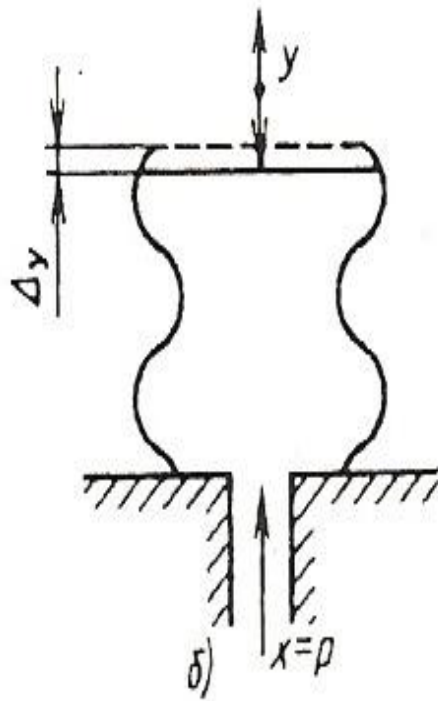
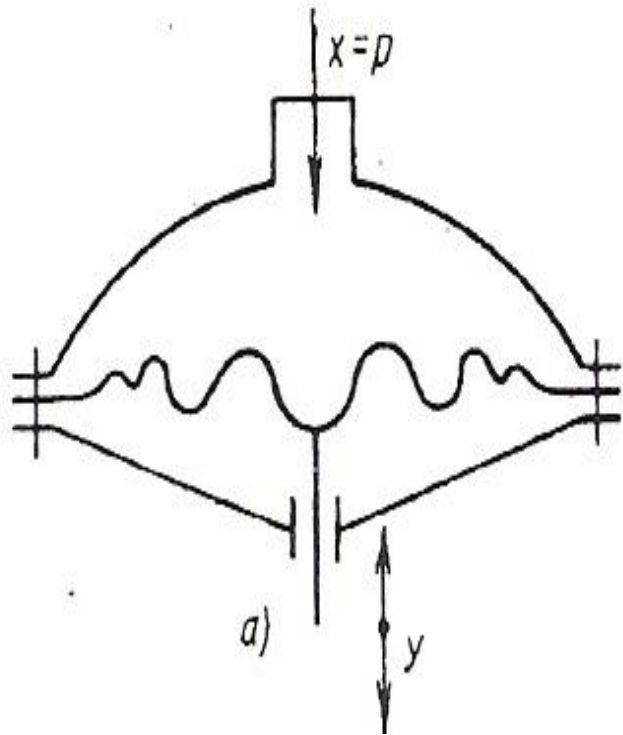


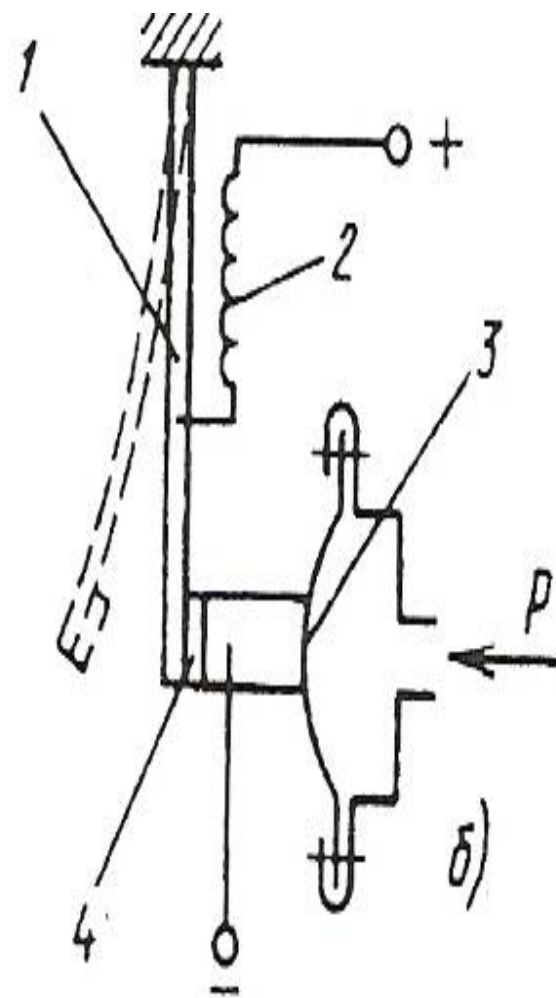
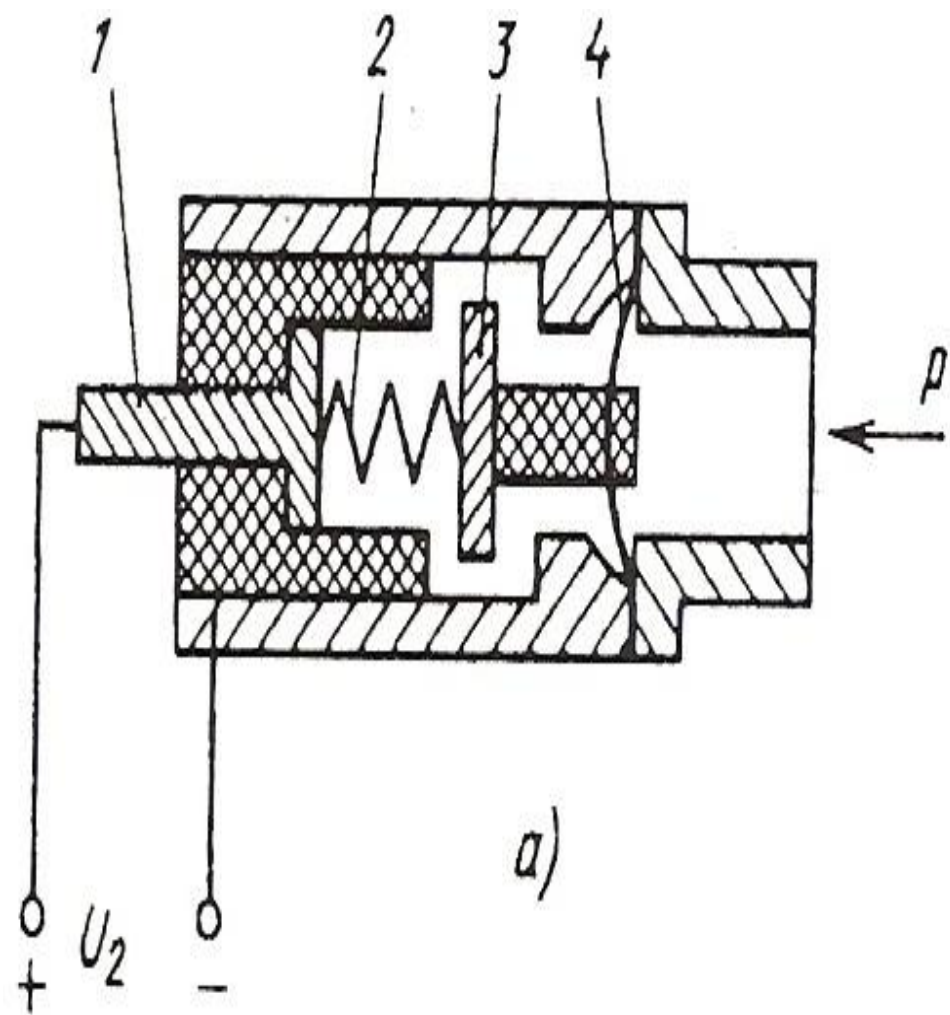


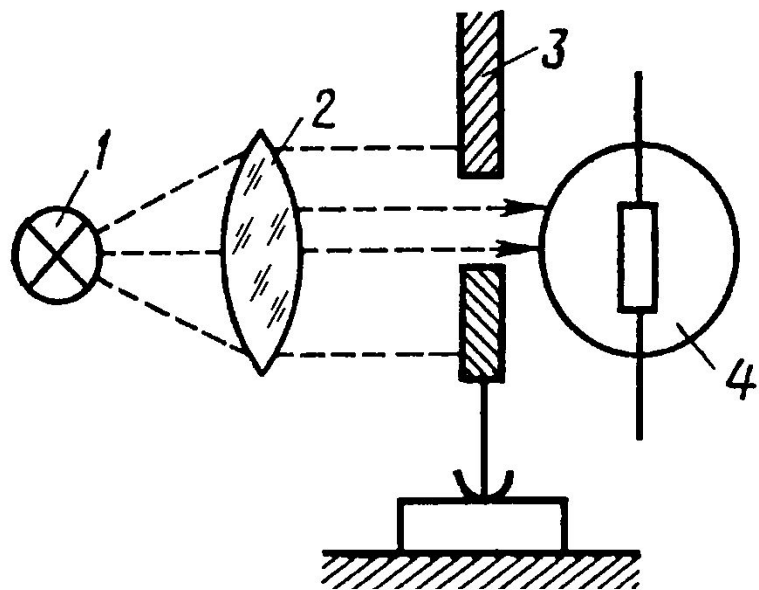
ЭДС, мВ



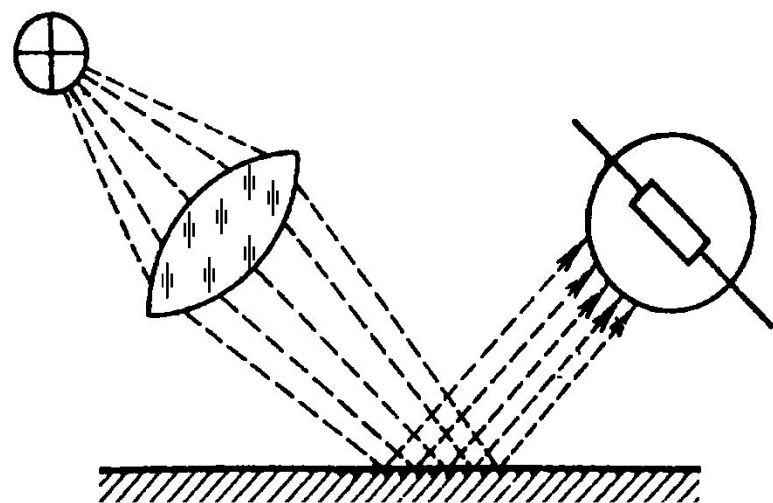




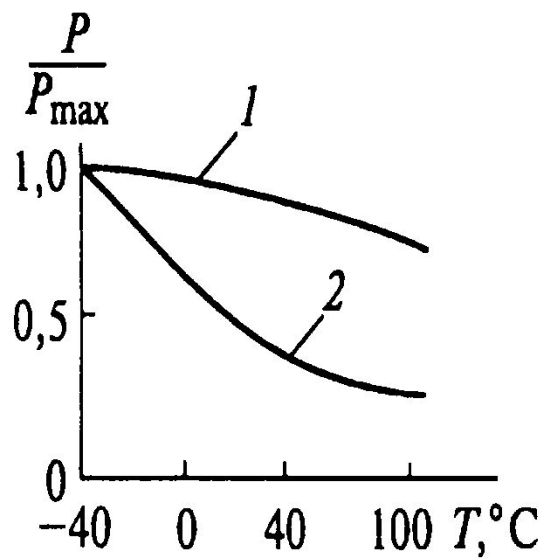




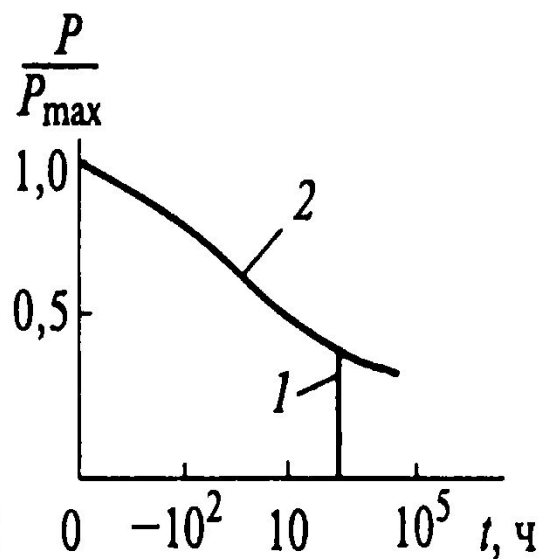
a)



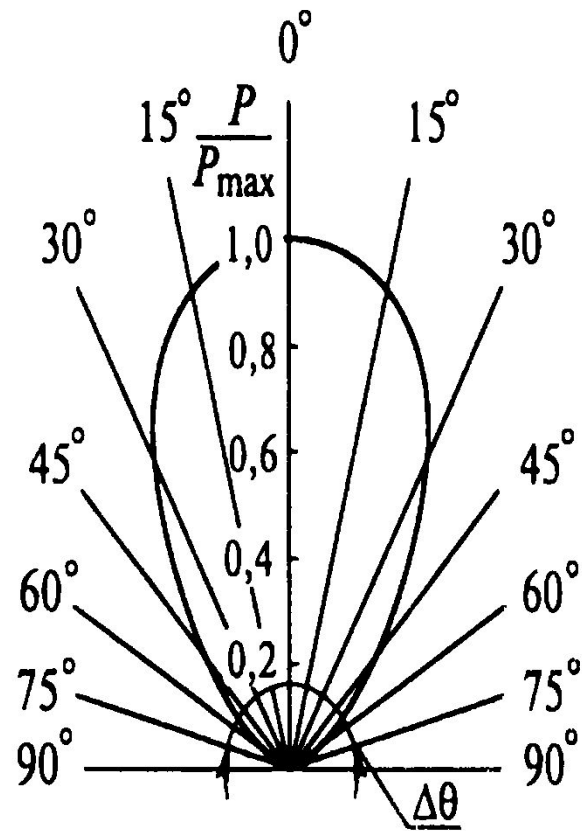
b)



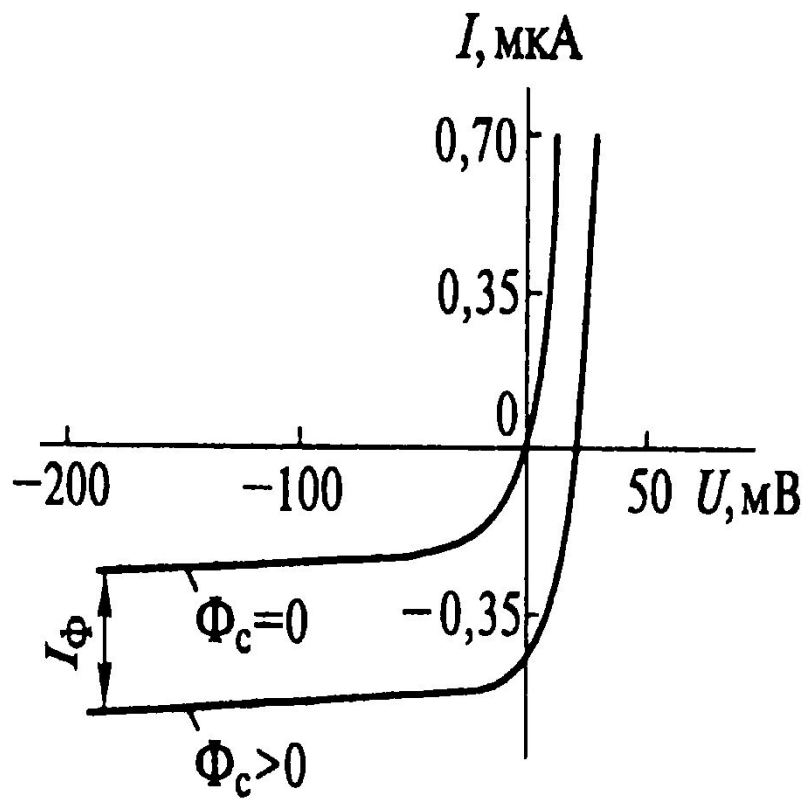
a



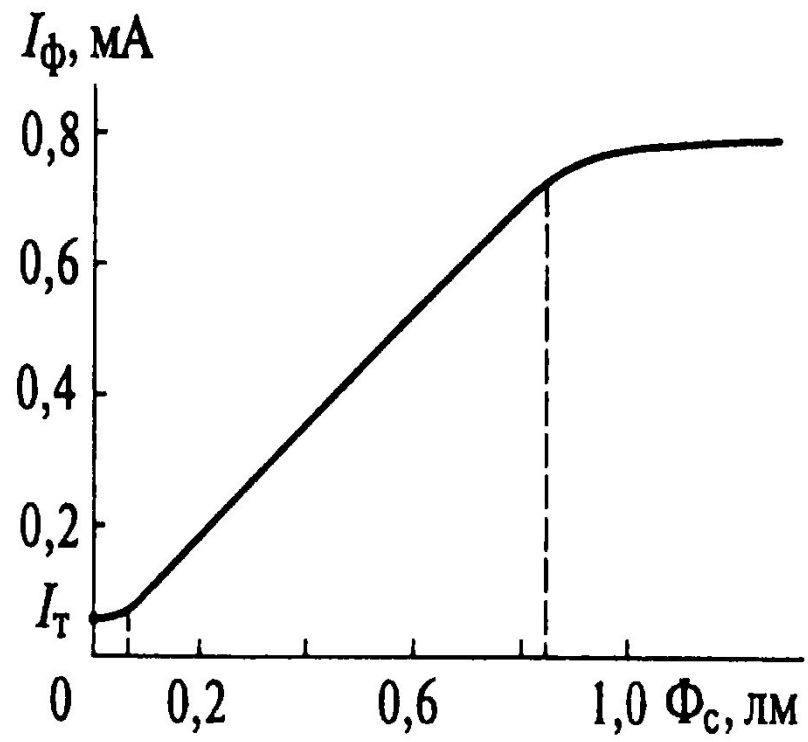
b



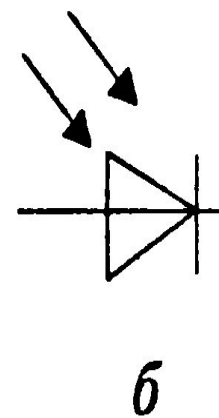
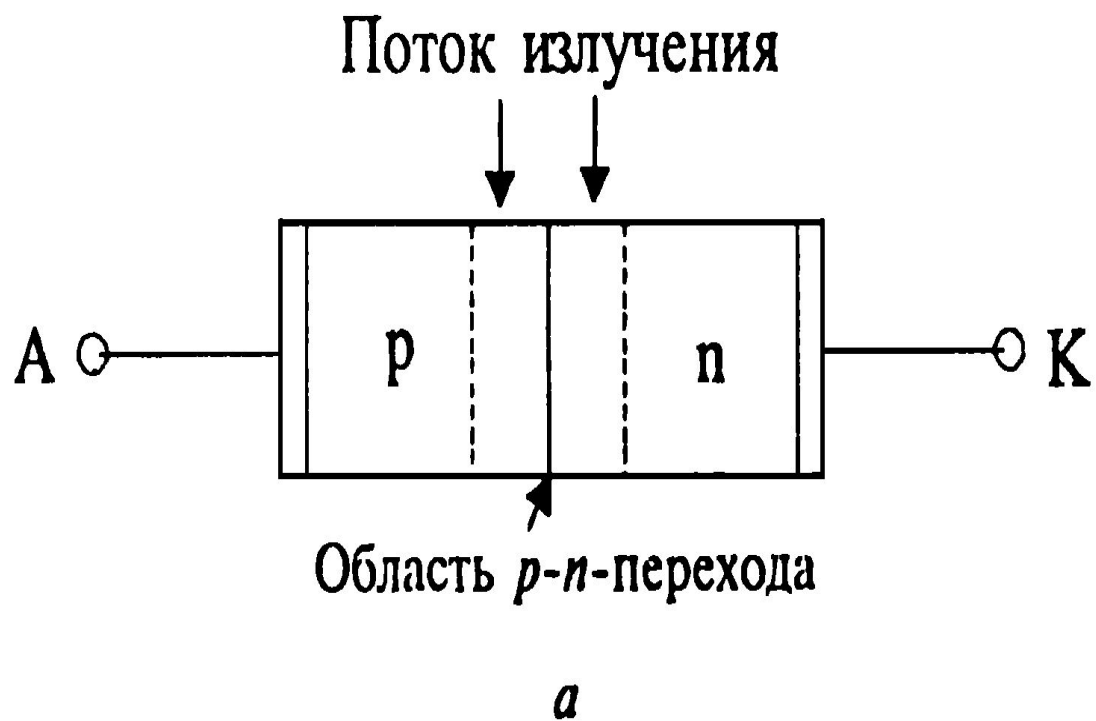
v

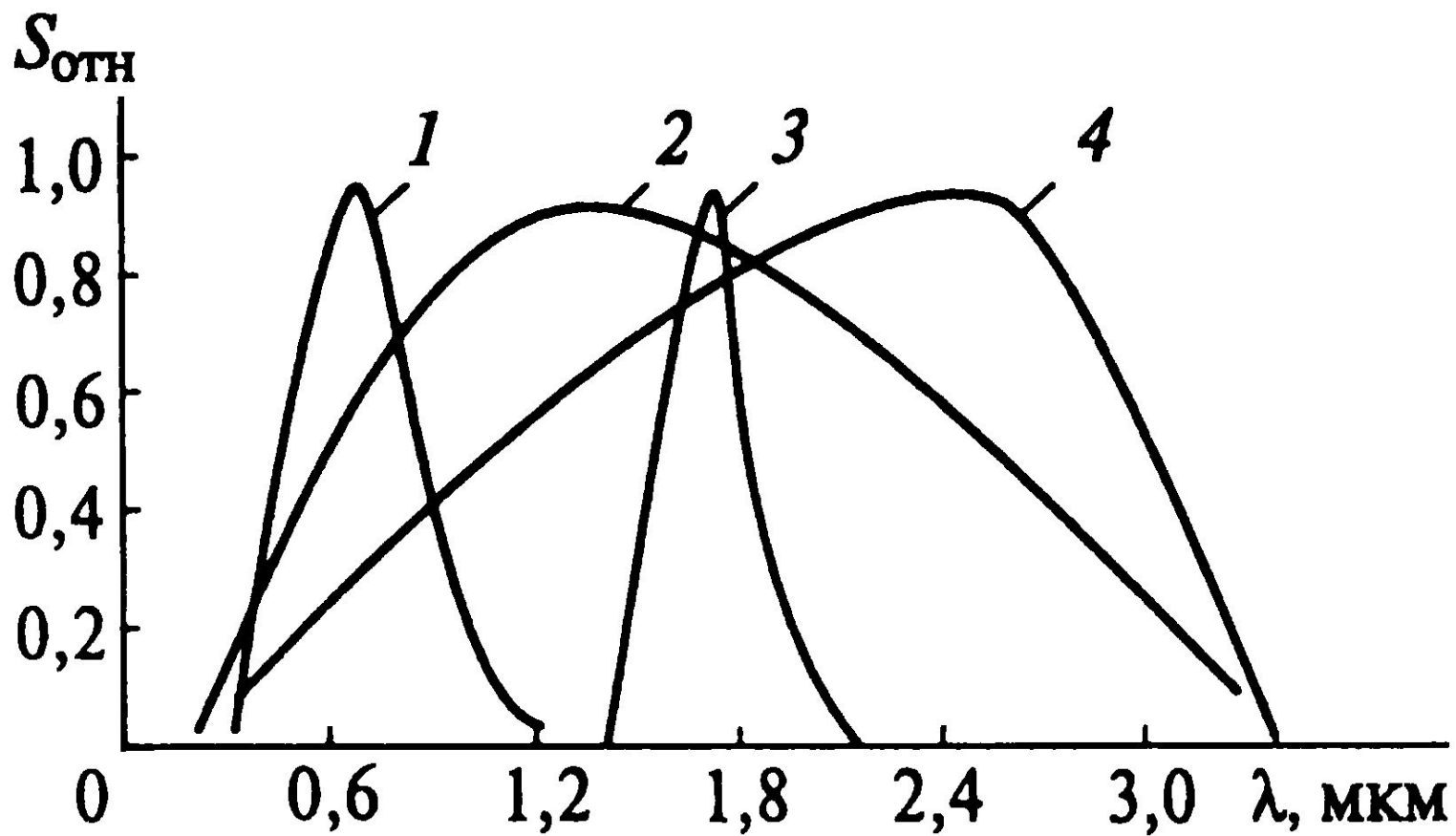


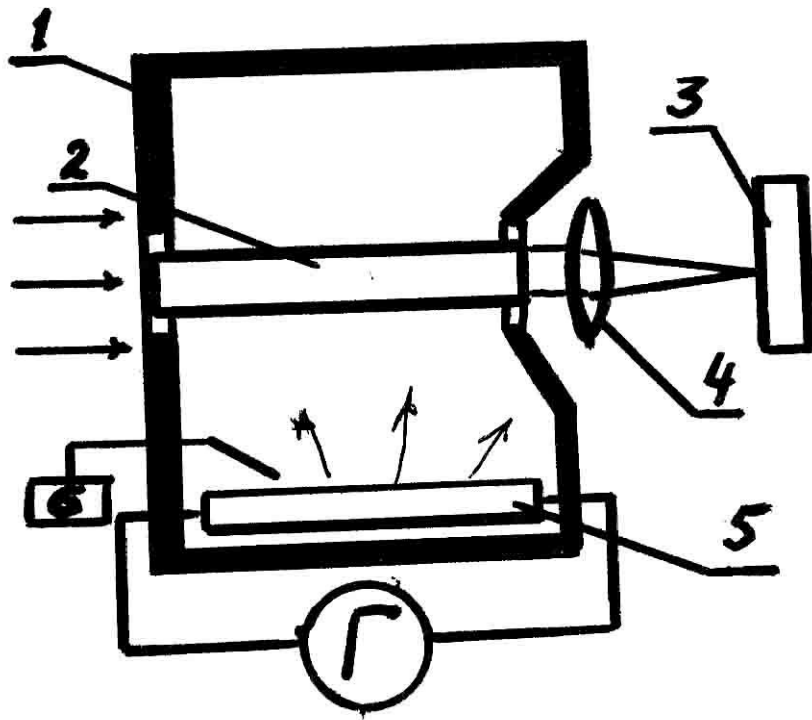
a



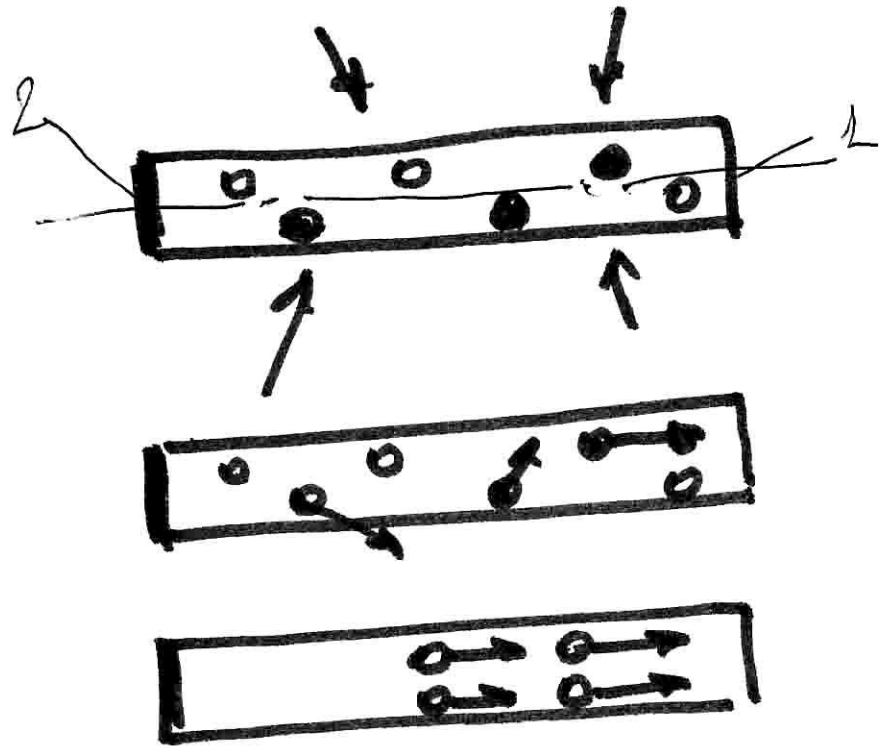
b







18 kB
 $t = 0,001c$





$$V = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

$$V = 0,69 \text{ нкм}$$

$$P = 5 \cdot 10^9 \text{ Вт}$$

$$\alpha = 10'$$

$$\text{КПД} = 0,1\%$$

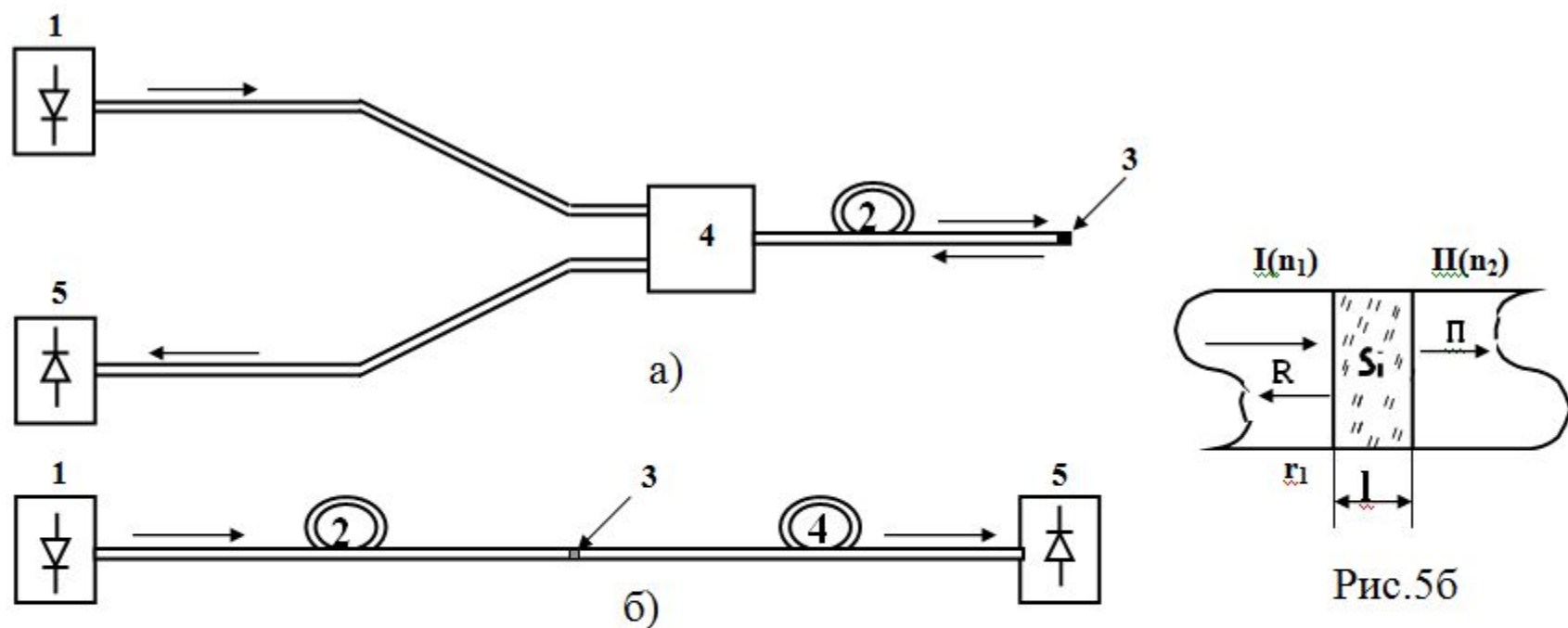


Рис.5б

Рис.4.2.5. Схема ВОД температурного отражательного (а) и проходного (б) типов с кремниевыми чувствительными элементами
 1 – светодиод; 2 – волоконный кабель; 3 – кремниевый чувствительный элемент; 4 – многомодовый волоконный разветвитель; 5- волоконный кабель. (Рис.5б –волоконный кабель)

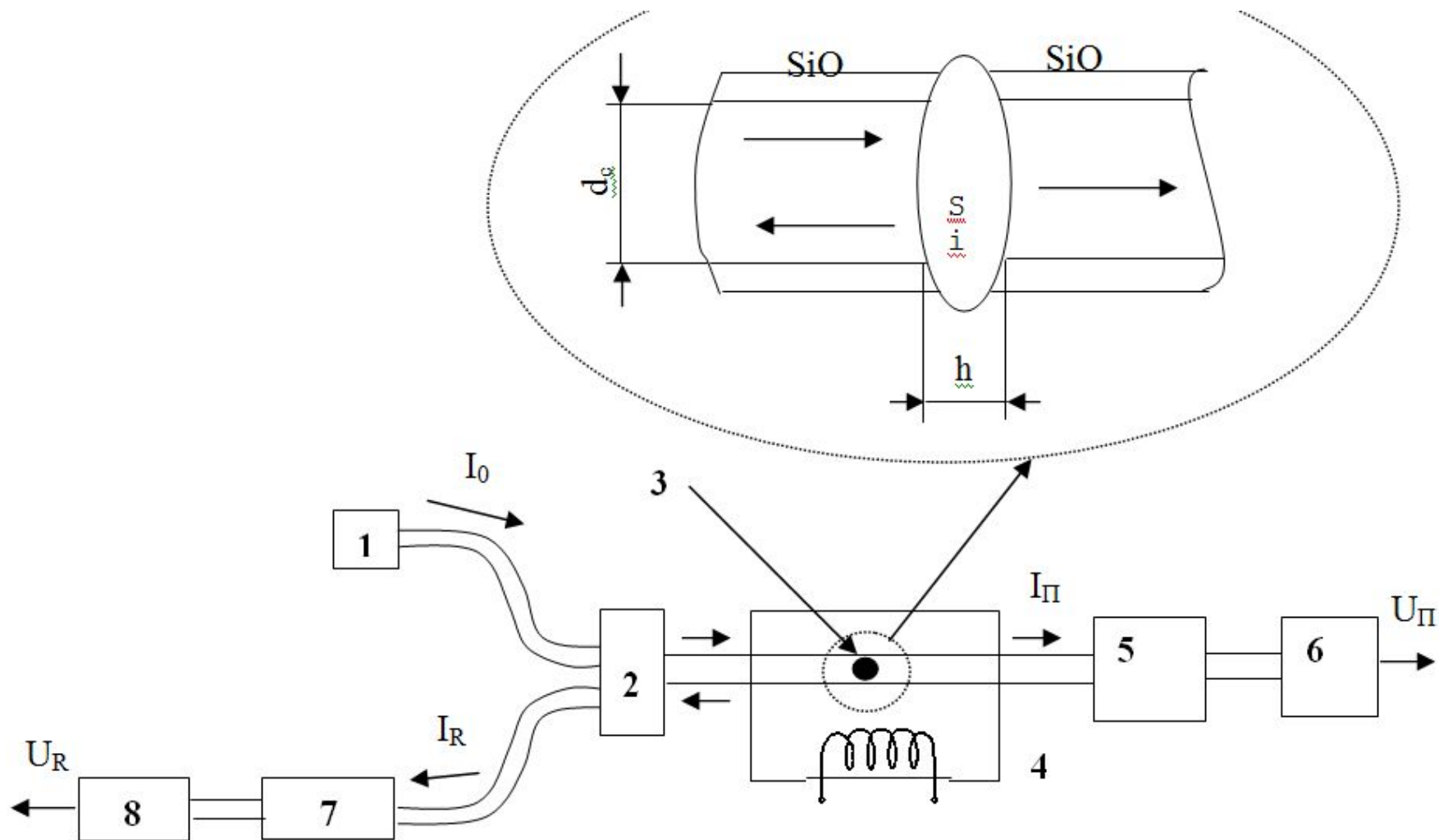
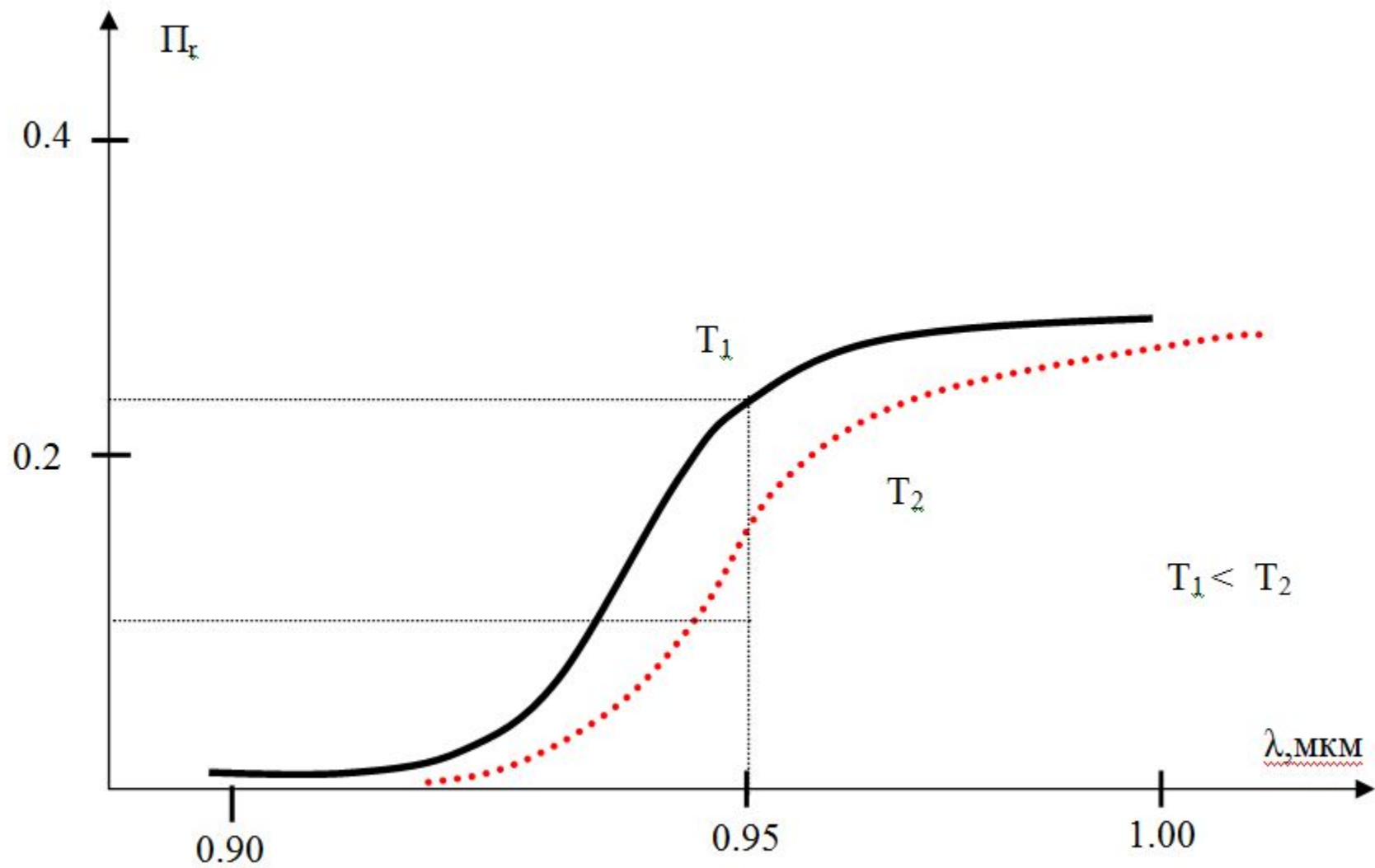


Рис.4.2.7. Экспериментальная установка для исследования термооптических свойств структур:

1-источник излучения; 2- волоконный разветвитель; 3 – чувствительный элемент; 4 – перестраиваемый термостат; 5(7) – монохроматор; 6(8) - фотоприёмник



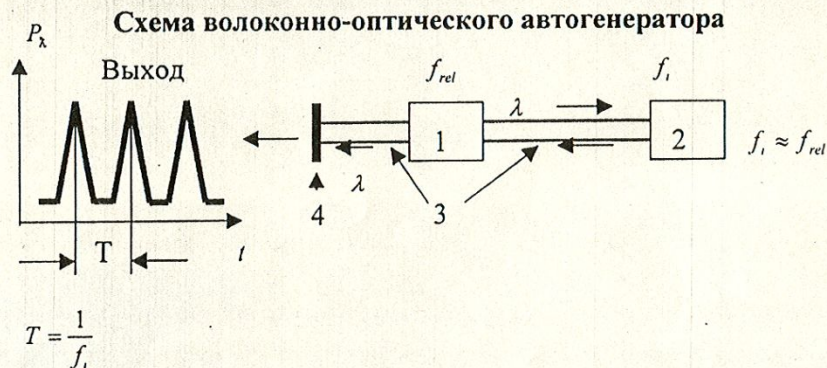
a)

Волоконно-оптический генератор (ВОА)

Волоконно-оптические автогенераторы предназначены для использования в волоконно-оптических линиях связи и передачи информации прецизионных волоконно-оптических измерительных системах, волоконно-оптических датчиках физических величин, системах контроля и управления технологическими процессами, лазерной дальнометрии и др., способных функционировать в экстремальных и агрессивных средах.

Новый класс ВОА характеризуется высокой эффективностью, стабильностью характеристик и универсальностью.

Принцип действия ВОА построен на основе возбуждения устойчивых автоколебаний в системе волоконный лазер микрорезонатор в условиях, когда частота собственных акустических колебаний микрорезонатора близка к частоте релакционных колебаний лазера:



1 волоконный лазер;
2 составные микрорезонаторы (фото №2, фото №3);

3 отрезки одномодовых волоконных кабелей;
4 выходное полупрозрачное зеркало.

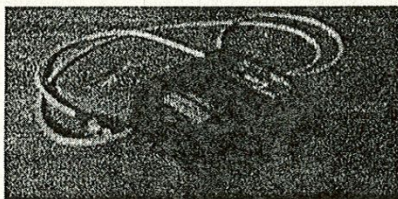


Фото 1

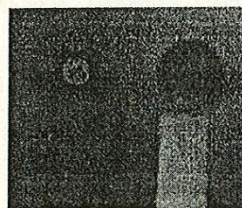


Фото 2

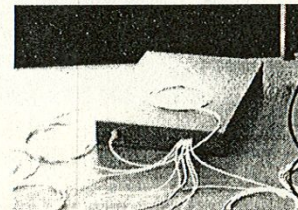


Фото 3

Технические характеристики (ВОА)

Длина волны, мкм1.54
Режим работыимпульсный
Средняя мощность, мВт1-5
Срок службы АМРВОД, час.....10000

Нестабильность выходной мощности (Р) в течении 8 часов, %1-2
Уровень флуктуации частоты автоколебаний (при акустической добротности микрорезонатора в воздухе

$Q=100$)<0,000002
Напряжение питания, V8
Потребляемый ток, А0.3 1
Масса, г300
Срок службы, час.....10000

Глубина модуляции, %.....>80
Скважность выходных импульсов1-10
Диапазон частот, кГц10-400

ВОА-изобретение нового класса датчиков

Патенты

№2117934

№2169904

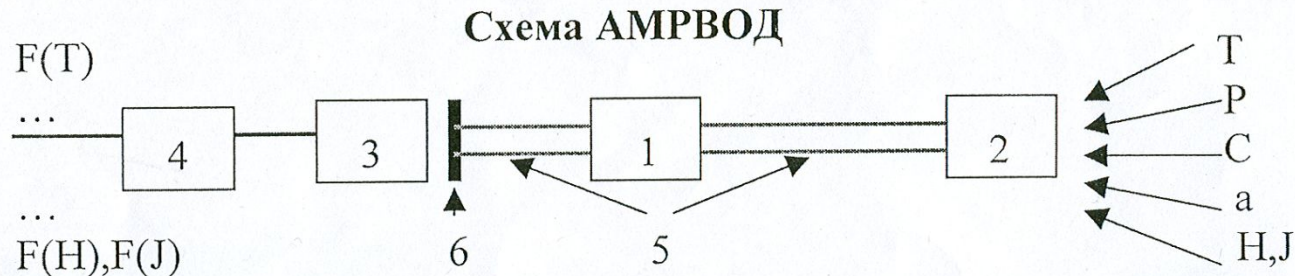
№2135958

№2116633

№2163354

Автогенераторные микрорезонаторные волоконно-оптические датчики физических величин (АМРВОД)

Измеряемые физические величины: температура (Т), давление (Р), ускорение (а), магнитное поле (Н), электрический ток (J), вибрация, концентрация водорода (С) и др.
 АМРВОД и измерительные сети на их основе предназначены для проведения дистанционных прецизионных измерений в условиях сильных электромагнитных помех, высокого уровня радиации, повышенной пожаро и взрывоопасности, воздействия химически агрессивных сред и характеризуются высокой стабильностью характеристик. Принцип действия АМРВОД основан на зависимости частоты F автомодуляции интенсивности волоконного лазера, взаимодействующего с микрорезонатором, от величины измеряемого физического поля, воздействующего на микрорезонатор (Т,Р,...,Н, J).



1 волоконный лазер (фото №1);

2 микрорезонаторные чувствительные элементы (фото №2);

3 фотоприемное устройство (фото №3);

4 блок обработки сигналов;

5 одномодный волоконный кабель (5, 2 фото №4);

6 выходное полупрозрачное зеркало.

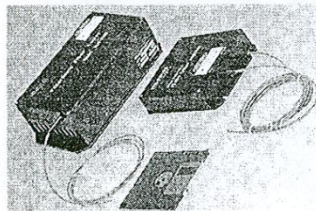


Фото 1

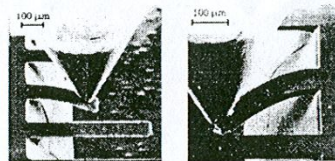


Фото 2

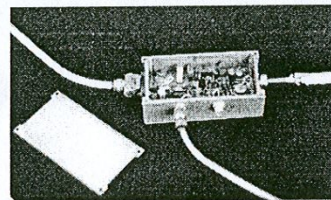


Фото 3

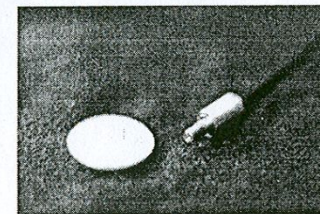


Фото 4

Технические характеристики АМРВОД

АМРВОД температуры:

1. Диапазон измерений, К70-350
2. Погрешность измерений, %0.5
3. Масса чувствительного эл.-та, г<6

АМРВОД магнитного поля:

1. Диапазон измерений, Э0.001-100
 2. Погрешность измерений, %<1
 3. Масса чувствительного эл.-та, г<6
- Срок службы АМРВОД, час.....10000

АМРВОД электрического тока:

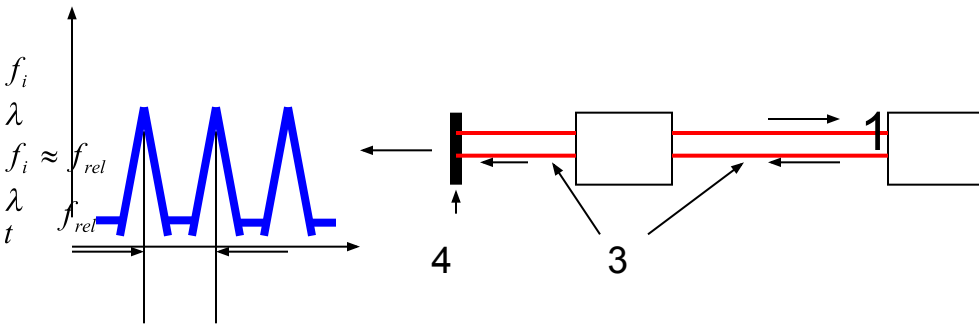
1. Диапазон измерений, А0.1-1000
2. Погрешность измерений, %<1
3. Масса чувствительного эл.-та, г<6

АМРВОД-изобретение нового класса датчиков

Патенты 1. №2157512
 2. №2161783
 3. №2170439

Измеряемая величина	Основные параметры					
	Температура, К	Давление, атм	Ускорение, g	Водород % содерж.	Магнитное поле Н, Э	Электрический ток J, А
Диапазон измерения	70-350	0-50	0,01-10	0-2	0,001-100	0,1-1000
Погрешность измерения, %	0,5	0,5	0,5	< 5	< 1	< 1
Удаленность объекта контроля, км	1	1	1	1	1	1
Масса чувствительного элемента, г	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
Габаритные размеры чувств. элемента (не более), мкм	12x6x6	15x7x7	12x5x5	12x6x6	12x5x5	12x5x5
Срок службы АМРВОД 10000 час.						

Схема ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО автогенератора



2

$$T = \frac{1}{f_i}$$

- Волоконный лазер
- Составные микрорезонаторы
- Отрезки одномодовых волоконных кабелей
- Выходное полупрозрачное зеркало

Режим работы.....	..импульсный
Средняя мощность излучения, мВт.....	.....1...5
Глубина модуляции, %.....	.....>80
Скважность выходных импульсов.....	.....1...10
Период следования выходных оптических импульсов, с.....	.....$T = 1/ f_1$
Диапазон частот f_1 акустических колебаний микрорезонатора, кГц.....	.....10...400
Длина волны излучения, мкм.....	.....1,54
Ширина линии генерации, нм.....	.....0,05...0,2
Долговременная нестабильность выходной мощности в течение 8 ч, %.....	.....1...2
RIN (в частотном диапазоне $(1...10^3)$ кГц), % .....	.....0,5
Допустимый диапазон изменения частоты акустических колебаний микрорезонатора, $|\Delta f_1/ f_1|$.....	.....$\leq 0,1$
Уровень флуктуаций частоты автоколебаний (при акустической добротности микрорезонатора в воздухе $Q =$ 100).....	.....$\leq 2 \cdot 10^{-5}$
Напряжение питания, В.....	.....$8 \pm 0,3$
Потребляемый ток, А.....	.....$0.3 \div 1$
*Габаритные размеры, мм ³.....	.....$120 \times 120 \times 20$
Масса, г .....	.....300
Срок службы ВОА, ч.....	.....10^4