

ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЙ И РАЗНОСТИ ДАВЛЕНИЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Общие сведения

Давление — это величина, характеризующая интенсивность сил, действующих на какую-либо часть поверхности тела по направлениям, перпендикулярным этой поверхности.

Применительно к жидкости, газу или пару **давление** — это отношение силы, действующей изнутри на поверхность стенки сосуда в направлении, перпендикулярном этой стенке, к площади ее поверхности.

В соответствии с законами механики **давление** на жидкость или газ передается во все стороны равномерно.

Общие сведения

Единицей давления в системе СИ является паскаль (Па): $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ (Ньютон на квадратный метр). Из-за малости этой величины в технике применяют кратные единицы — килопаскаль ($1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}$) и мегапаскаль ($1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$).

В некоторых случаях используют единицу системы МКГСС — килограмм-сила на квадратный метр (кгс/м^2), а также внесистемные единицы: килограмм-сила на квадратный сантиметр (кгс/см^2), бар, миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.), миллиметр водяного столба (мм вод. ст.).

Единицу кгс/см^2 иногда называют технической атмосферой (ат). Кроме того, находит применение единица, называемая физической

Общие сведения

В зависимости от системы отсчета различают давление абсолютное и условное.

Абсолютным называют давление, отсчитываемое от абсолютного вакуума или от близкой к нему величины.

Условное давление отсчитывается от некоторой величины, принятой за нуль. Чаще всего в качестве нулевого принимают атмосферное давление. В этом случае давление выше атмосферного называют избыточным, а ниже атмосферного — разрежением, или вакуумметрическим давлением. Последнее выражается в единицах давления со знаком «минус».

Общие сведения

В необходимых случаях абсолютное давление может быть определено по измеренному избыточному или вакуумметрическому давлению:

$$p_a = p_{\text{атм}} + p_{\text{и}}$$

где p_a — абсолютное давление; $p_{\text{атм}}$ — атмосферное давление; $p_{\text{и}}$ — измеренное давление («+» для избыточного давления, «—» для вакуумметрического).

Общие сведения

При высоких избыточных давлениях, когда $p_{\text{и}} > p_{\text{атм}}$, изменениями атмосферного давления можно пренебречь, приняв его равным нормальному $p_{\text{атм}} = p_{\text{н}}$ ($p_{\text{н}} = 760$ мм рт. ст. = 0,1013 МПа).

Тогда

$$p_{\text{а}} = p_{\text{н}} + p_{\text{и}}$$

Общие сведения

Названия приборов, предназначенных для измерений давлений, соответствуют их назначению: манометры абсолютного давления; манометры избыточного давления, или просто манометры; вакуумметры, мановакуумметры.

Манометр абсолютного давления, предназначенный для измерения атмосферного давления, называется барометром.

Для измерения малых избыточных давлений и разрежений (до +0,04 МПа) применяют приборы, называемые соответственно напоро- и тягомерами, или комбинированные приборы — тягонапоромеры.

Для измерений очень малых избыточных давлений (порядка 10^3 — 10^4 Па) применяют микроманометры.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ДАВЛЕНИЯ**

**КЛАССИФИКАЦИЯ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ДАВЛЕНИЯ**

Классификация преобразователей давления

Преобразователи давления подразделяются на силовые и косвенные.

К *силовым* относят преобразователи, действие которых основано на измерении силы, пропорциональной давлению или разности давлений. Давление является механической величиной, естественным проявлением которой является сила, поэтому такие приборы являются наиболее распространенными.

Классификация преобразователей давления

К *косвенным* относятся преобразователи, в которых используют изменения физических свойств рабочей среды под воздействием давления.

Примером могут служить преобразователи, основанные на изменении теплоотдачи от твердого тела газу при различных давлениях. Это сравнительно ограниченный класс преобразователей специального назначения.

Классификация преобразователей давления

В зависимости от выходной величины преобразователи подразделяют на механические, электрические, пневматические.

В механических преобразователях выходной величиной является линейное или угловое перемещение выходного элемента.

Классификация преобразователей давления

В электрических преобразователях выходной величиной могут быть сила тока или напряжение, а также параметры электрической цепи (сопротивление, индуктивность, емкость и т. д.).

В пневматических преобразователях выходной величиной является давление сжатого воздуха.

Классификация преобразователей давления

Первичные преобразователи давления кроме чувствительных элементов могут содержать и другие узлы, выполняющие роль последовательных ступеней преобразования, т. е. передающие преобразователи, а в отдельных случаях и системы с обратной связью для осуществления компенсационного способа измерения.

СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Силовые преобразователи подразделяются на жидкостные и деформационные.

В жидкостных преобразователях сила давления уравновешивается гидростатическим столбом жидкости, а давление преобразуется в изменение уровня жидкости.

В деформационных преобразователях сила давления уравновешивается силой упругой деформации чувствительного элемента, а давление преобразуется в перемещение выбранной точки или поверхности упругого элемента.

Этот класс преобразователей
подразделяют на следующие основные
типы:

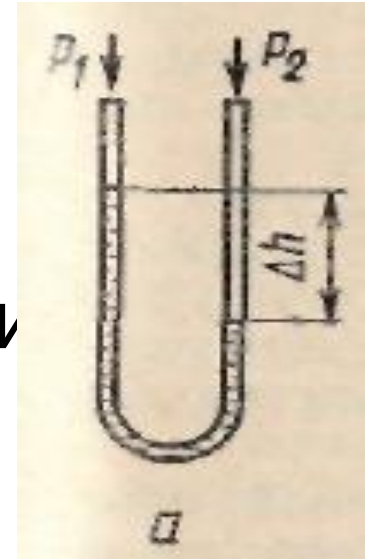
- двухтрубные (U-образные), в которых жидкость располагается в двух вертикальных трубках с соединенными нижними концами; верхние концы трубок открыты, и к ним подводятся два давления для измерения разности между ними;

Жидкостные преобразователи

- чашечные (однотрубные), в которых жидкость располагается в сосуде (чаше) и соединенной с ним вертикальной или наклонной открытой трубке; преобразователь также воспринимает два давления, подводимых соответственно к чаше и к открытому концу трубки;
- чашечные с запаянной трубкой для измерения абсолютного давления, которое подводится к чаше;
- поплавковые, в которых жидкость располагается в чаше и трубке; в чаше размещается поплавок; перемещение поплавка пропорционально разности двух давлений, подводимых к чаше и, трубке.

Двухтрубные (U-образные) преобразователи.

Данный преобразователь представляет собой U-образную трубку или две трубки, сообщающиеся нижними частями. Давления p_1 и p_2 подводятся к обоим открытым концам.



Разность этих давлений преобразуется в разность уровней жидкости в трубках.

Двухтрубные (U-образные) преобразователи.

Функция преобразования имеет вид

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{g(\rho - \rho_c)}$$

где Δp — разность подводимых давлений, Па; Δh — разность уровней жидкости в трубках м; g — ускорение свободного падения, м с⁻²; ρ и ρ_c — плотность соответственно рабочей жидкости и среды над рабочей жидкостью, кг м⁻³.

Двухтрубные (U-образные) преобразователи.

Если $\rho \gg \rho_c$ то имеет место при измерениях давлений газов, формула принимает вид

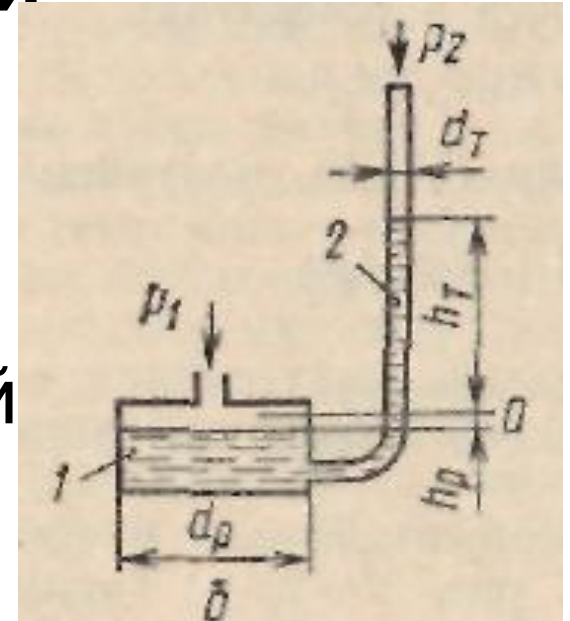
$$\Delta h = \frac{\Delta p}{g\rho}$$

Разность давлений может выражаться непосредственно через разность уровней в единицах длины, например в мм рт. ст., мм вод. ст. С помощью двухтрубного преобразователя можно измерять как разность давлений, так и избыточное и вакуумметрическое давления. Для этого одна из трубок сообщается с атмосферой. Верхний предел измерения разности давлений зависит от длины трубок, которая, как правило, не превышает 1 м, в некоторых случаях — 2—3 м. Значения давлений зависят от прочности труб, изготовляемых из стекла, и могут достигать 15 МПа.

Чашечные (однотрубные) преобразователи

В отличие от двухтрубных чашечные преобразователи имеют резервуар 1, сообщенный с измерительной трубкой 2.

Из-за значительной разницы сечений резервуара и трубки имеют место незначительные изменения уровня жидкости в резервуаре. Отсчет разности уровней при измерении давлений производится только по трубке.



Чашечные (однотрубные) преобразователи

Перед измерениями устанавливают нуль отсчета при равных давлениях: $p_1 = p_2$.

Фактическая высота столба жидкости будет $\Delta h = h_T - h_p$,

где h_T — высота столба в трубке, отсчитываемая от нулевой отметки;
 h_p — снижение уровня жидкости в резервуаре

$$h_p = h_T d_T^2 / d_p^2.$$

Чашечные (однотрубные) преобразователи

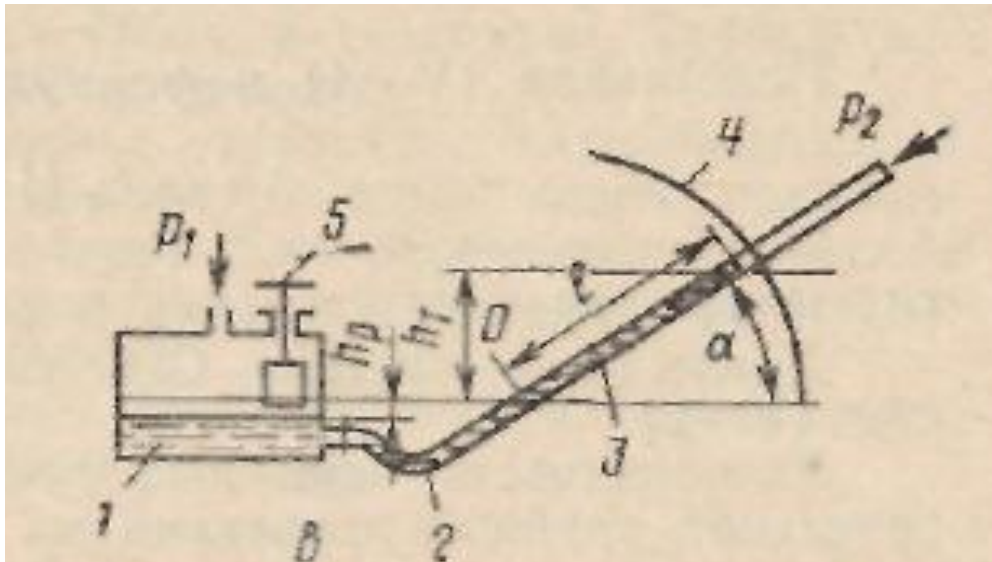
Подставляя h_p в формулу для высоты столба жидкости, получаем

$$\Delta h = h_T \left(1 + \frac{d_T^2}{d_p^2} \right),$$

где d_T и d_p — диаметры трубки и резервуара.

Чашечные (однотрубные) преобразователи

Разновидность чашечных преобразователей с наклонной измерительной трубкой



Чашечные (однотрубные) преобразователи

Такие преобразователи позволяют существенно уменьшить погрешность отсчета высоты уровня жидкости в трубке. Преобразователь состоит из резервуара 1, гибкой соединительной трубки 2, измерительной трубки 3, установочной дуги 4 со шкалой углов наклона и вытеснителя 5. Последний служит для установления стабильного нуля отсчета при различных объемах жидкости.

Чашечные (однотрубные) преобразователи

Расчет фактического изменения столба жидкости в вертикальном направлении проводят по формуле

$$\Delta h = l(\sin\alpha + d_T^2/d_P^2),$$

Величину в скобке называют постоянной преобразователя.

Чашечные (однотрубные) преобразователи

На базе такого преобразователя устроены микроманометры, в которых в качестве рабочей жидкости чаще всего используют спирт.

С их помощью можно измерять давление до 1000—2000 Па.

Погрешность отсчета в таком преобразователе может быть уменьшена до 0,2—0,3 мм

Чашечные преобразователи абсолютного давления

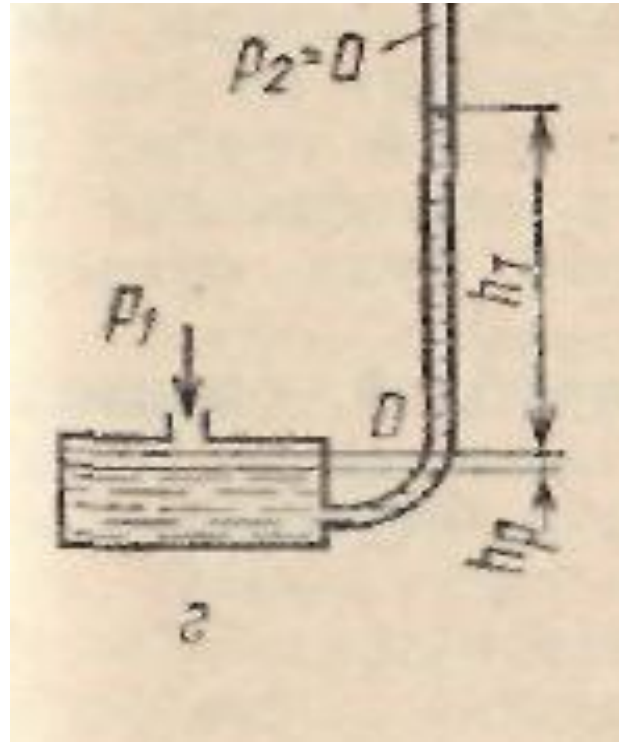


Схема преобразователя абсолютного
давления

Чашечные преобразователи абсолютного давления

Верхний конец измерительной трубки запаян. При соответствующем заполнении рабочей жидкостью (обычно ртутью) в полости трубки над жидкостью устанавливается давление, близкое к абсолютному нулю ($p_2=0$). В связи с этим высота столба в измерительной трубке пропорциональна абсолютному давлению p_1 .

Чашечные преобразователи абсолютного давления

Высота подъема столба подсчитывается по формуле

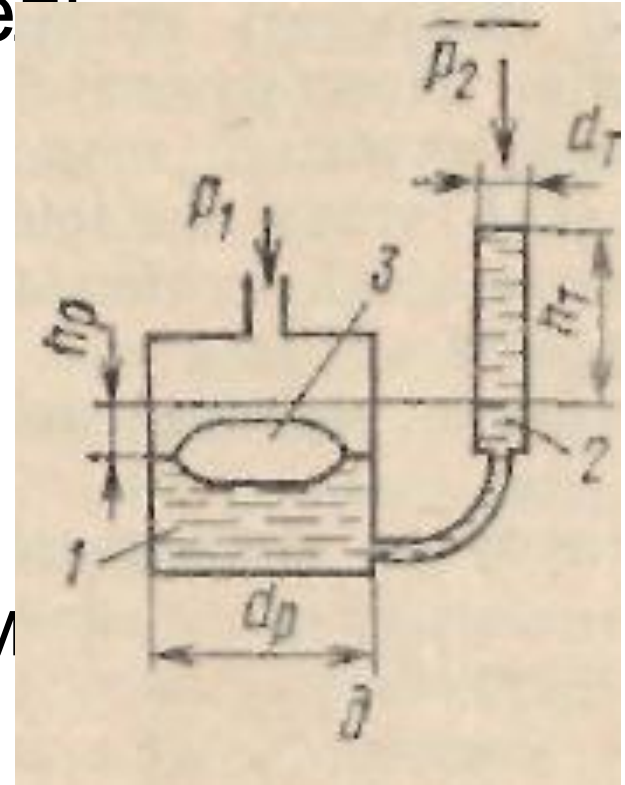
$$\Delta h = \frac{\Delta p}{g(\rho - \rho_c)}$$

Преобразователи такого типа чаще всего используют в барометрах (измерителях атмосферного давления), однако верхний предел измерений может быть расширен при увеличении длины измерительной трубки.

Поплавковые преобразователи

Поплавковый преобразователь представляет собой разновидность чашечного преобразователя.

В отличие от других преобразователей измерительным элементом в нем является не трубка, а резервуар. Трубка выполняет функцию уравнивающего элемента.



Поплавковые преобразователи

Выходная величина — перемещение поплавка, находящегося в резервуаре. При соответствующем выборе размеров можно получить необходимую подъемную силу поплавка для перемещения стрелки измерительного прибора или приведения в действие электрического или пневматического преобразователя.

Поплавковые преобразователи

Функция преобразователя

$$h_p = \frac{\Delta p}{g(\rho - \rho_c) \left(\frac{d_p^2}{d_T^2} + 1 \right)}$$

Здесь принято, что изменение уровня h_p равно перемещению поплавка.

При переменном нагружении поплавка, например на пружину, в формуле должна быть введена поправка на изменение погружения поплавка.

Общие требования и методические погрешности

При выборе рабочей жидкости следует учитывать, что ее плотность должна быть выше, чем плотность измеряемой среды. Должна отсутствовать их взаимная растворимость.

Давление кипения рабочей жидкости при заданной окружающей температуре должно быть ниже нижнего предела измеряемого давления.

Общие требования и методические погрешности

Источниками методических погрешностей при использовании жидкостных преобразователей являются:

- отклонение трубок от вертикального или заданного наклонного положения;
- подстановки в формулы значений r без учета изменений в зависимости от температуры;
- температурные изменения длины шкалы, по которой отсчитывается разность уровней;

Общие требования и методические погрешности

- отклонения значения ускорения свободного падения от номинального значения ($g_H = 9,8066 \text{ м с}^{-2}$); фактическое значение ускорения можно рассчитать по формуле

$$g = g_H (1 - 2,6 \cdot 10^{-3} \cos 2\varphi - 2 \cdot 10^{-7} H),$$

φ

где φ — географическая широта; H — высота над уровнем моря, м.

Имеются и другие источники погрешностей, которые, как правило, не играют существенной роли.

Деформационные преобразователи

Деформационные преобразователи строятся на основе упругих чувствительных элементов, с помощью которых давление преобразовывается в механическое перемещение.

Деформационные преобразователи

Перемещение заданной точки упругого элемента как функция разности действующих давлений:

$$x = f(p_1 - p_2).$$

Это выражение является функцией преобразования (статической характеристикой) упругого элемента.

Деформационные преобразователи

Жесткость упругого элемента относительно результирующей силы P в заданной точке приложения:

$$K_c = P/x$$

Жесткость упругого элемента относительно разности давлений

$$K_d = (p_1 - p_2)/x$$

Деформационные преобразователи

Чувствительности упругого элемента относительно силы и разности давлений являются величинами, обратными соответствующим жесткостям:

$$S_c = 1/K_c = x/P;$$
$$S_d = 1/K_d = x/(p_1 - p_2).$$

Деформационные преобразователи

Эффективная площадь упругого элемента

$$F_{\text{эф}} = K_c / K_d.$$

Используя понятие эффективной площади, функцию преобразования можно записать в виде

$$x = (p_1 - p_2) F_{\text{эф}} / K_c.$$

Деформационные преобразователи

Гистерезис упругого элемента характеризует неоднозначность функции преобразования при нагружении и разгрузении. Может выражаться в абсолютных или относительных величинах.

Абсолютное значение (гистерезис) находится как разность $\Gamma = x_+ - x_-$,

где x_+ и x_- — значения перемещения упругого элемента при прямом и обратном ходах при одном и том же давлении.

Деформационные преобразователи

Относительный гистерезис находят из выражения

$$\gamma = \frac{x_+ - x_-}{x_+} 100\%.$$

Иногда пользуются приведенным значением относительного гистерезиса, относя его максимальное абсолютное значение к максимальному абсолютному значению перемещения:

$$\gamma_{пр} = \frac{\Gamma_{max}}{x_{max}} 100\%.$$

Схемы упругих элементов

В преобразователях давления применяют следующие основные типы упругих чувствительных элементов: мембраны и мембранные коробки; сильфоны; пружины Бурдона.

Схемы упругих элементов

Плоская мембрана имеет относительно высокую жесткость, малую чувствительность и небольшое допускаемое перемещение. В связи с этим плоские мембраны сравнительно редко используют в механических преобразователях статического действия.

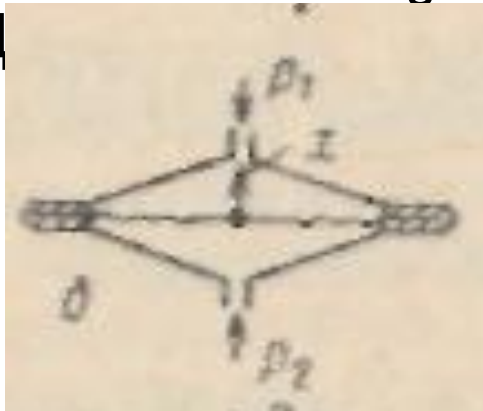


Схемы упругих элементов

- Вместе с тем их часто применяют в электрических преобразователях быстроменяющихся давлений (тензометрических, емкостных и др.). Этому способствуют их частотные характеристики, позволяющие передавать сигналы с частотами порядка единиц и даже десятков килогерц.
- Функция преобразования плоской мембраны при значительных перемещениях нелинейна, что необходимо учитывать при градуировке.

Схемы упругих элементов

Гофрированная мембрана имеет несколько concentric гофров синусоидальной, трапецеидальной или пилообразной формы. Гофры уменьшают жесткость мембраны, спрямляют ее характеристику и увеличивают диапазон прогиб.



Схемы упругих элементов

Мембранная коробка состоит из двух спаянных или сваренных гофрированных мембран.

Характеристика мембранной коробки еще более благоприятна, чем отдельной мембраны.



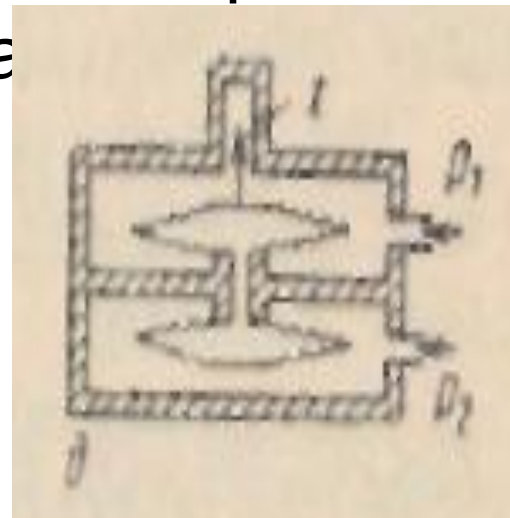
Схемы упругих элементов

Мембранный блок (рис. V—3, а) состоит из двух или нескольких последовательно и жестко соединенных между собой мембранных коробок. Блоки позволяют существенно увеличить чувствительность с сохранением прочности.



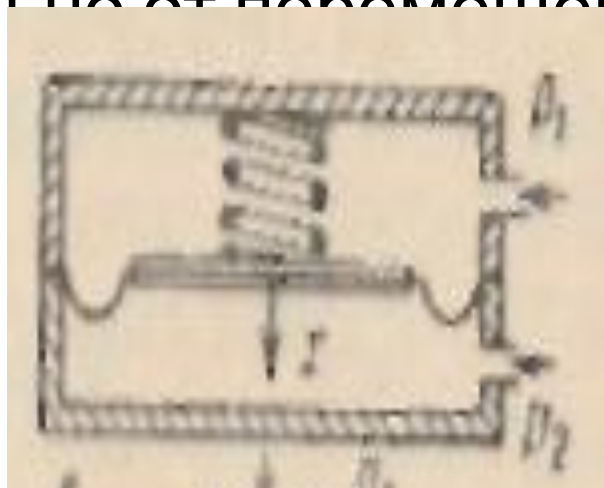
Схемы упругих элементов

Разновидностью является блок складывающихся мембран, внутренняя полость которого заполняется жидкостью. При изменении давления жидкость перетекает из одной мембранной коробки в другую вплоть до полного складывания одной из коробок. Такая конструкция обеспечивает сохранность чувствительного элемента при перепадах давления, значительно превосходящих верхние пределы измерений.



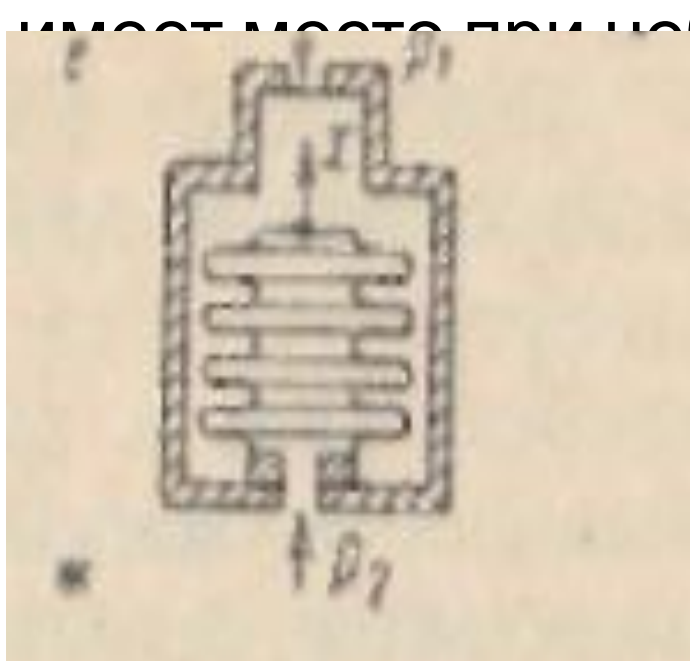
Схемы упругих элементов

Вялая мембрана с пружиной обычно изготавливается из резины или прорезиненной ткани. Она позволяет получить значительное перемещение при сравнительно небольших размерах. Обычно мембрана имеет формированный гофр, в результате чего эффективная площадь изменяется незначительно от перемещения.



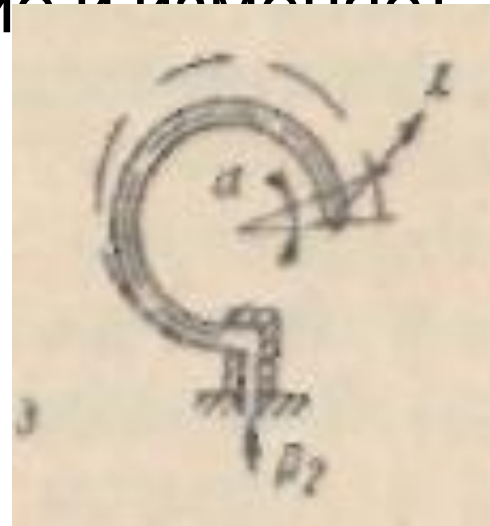
Схемы упругих элементов

Сильфон представляет собой металлическую трубку с глубокими поперечными гофрами. Обладает стабильной эффективной площадью и достаточно высокой чувствительностью. Линейность характеристики имеет место при небольших перемещениях.



Схемы упругих элементов

Трубка Бурдона — наиболее распространенный упругий элемент. Представляет собой изогнутую по дуге окружности трубку эллиптического или плоскоовального сечения. При изменении разности давлений внутри и вне трубки ее конец совершает поступательное движение и изменяет центральный угол α .



Схемы упругих элементов

Все рассмотренные типы упругих элементов могут использоваться в преобразователях абсолютного, избыточного и вакуумметрического давления.

Для измерения абсолютного давления одну из полостей откачивают до достаточно глубокого вакуума и надежно герметизируют.

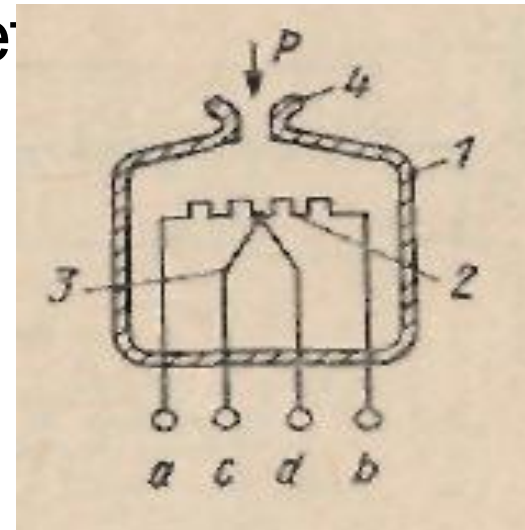
При измерениях избыточного или вакуумметрического давления одну из полостей сообщают с атмосферой ($p = p_{\text{атм}}$).

КОСВЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Косвенные методы первичного преобразования применяют главным образом для измерения абсолютных давлений газов ниже атмосферного. Все эти методы основаны на изменении физических свойств газа в зависимости от давления. Известны тепловые, ионизационные, магнитные и другие методы. Из названных в холодильной технике нашли применение тепловые преобразователи: термоэлектрические (термопарные) и преобразователи сопротивления

Косвенные преобразователи

Принцип действия термоэлектрического преобразователя. В колбе 1 размещаются электрический нагреватель 2 и термопара 3. Через штуцер 4 колба сообщается с сосудом, в котором измеряют давление. Спай термопары прикреплен к нагревателю. Нагреватель и термопара присоединяются к внешним цепям через герметичные контакты.

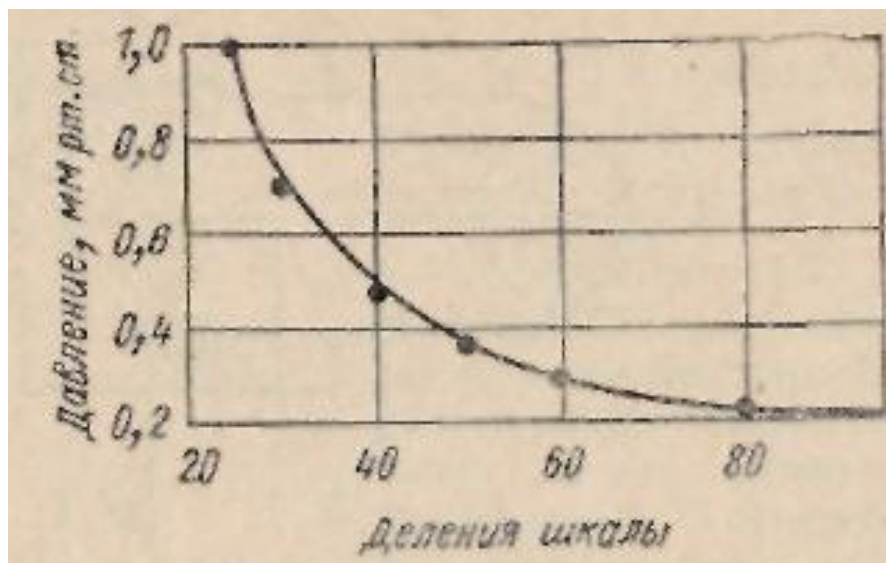


Косвенные преобразователи

Действие преобразователя основано на изменении теплоотдачи от нагревателя к газу и, следовательно, его температуры. Преобразователь подвергается градуировке, при этом выходной величиной могут быть температура (термо-ЭДС), либо величина питающего тока. Последний способ более распространен. Измеряя питающий ток, получают заданное значение термо-ЭДС. По величине тока судят об измеряемом давлении.

Косвенные преобразователи

Градуировочная характеристика термопарного преобразователя



Косвенные преобразователи

Как видно, характеристика существенно нелинейна. Показания теплового преобразователя зависят от заполняющего колбу газа. Градуировку обычно выполняют при заполнении азотом или воздухом. При использовании других газов вводят поправочный коэффициент, который может быть меньше либо больше единицы.

Тепловые преобразователи обладают невысокой точностью: погрешность измерений может достигать 10—20%.

ПЕРЕДАЮЩИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ

Передающие преобразователи давления воспринимают перемещение чувствительного элемента и преобразуют его в выходной сигнал, который управляет работой последующих устройств: вторичного прибора, входных цепей ЭВМ и др. Наибольшее распространение имеют электрические вторичные приборы и системы.

Передающие преобразователи давления

В зависимости от числа элементов, входящих в преобразователи, они бывают простыми (одноступенчатыми) и сложными (с несколькими ступенями преобразователя). Ступени преобразования образуются собственно элементами, преобразующими перемещение в электрический сигнал, а также усилителями, элементами компенсации, источниками тока и напряжения и др.

Передающие преобразователи давления

В зависимости от вида выходного электрического сигнала преобразователи делятся на параметрические и генераторные, или энергетические.

К параметрическим относят преобразователи, выходными величинами которых являются изменения сопротивления, емкости, индуктивности, взаимной индуктивности.

К генераторным, или энергетическим, относят преобразователи, выходные сигналы которых представляют собой изменения величин тока или напряжения.

Поскольку электрические параметры не могут быть использованы непосредственно для получения отсчетной информации, параметрические устройства могут рассматриваться лишь как элементы сложных преобразователей, содержащих кроме них преобразователи генераторного типа.

Во всех случаях входной величиной является перемещение чувствительного элемента.

ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Тензометрические преобразователи работают с упругими чувствительными элементами, характеризуемыми малыми перемещениями, например с плоскими мембранами, изгибающимися балочками и т. п.

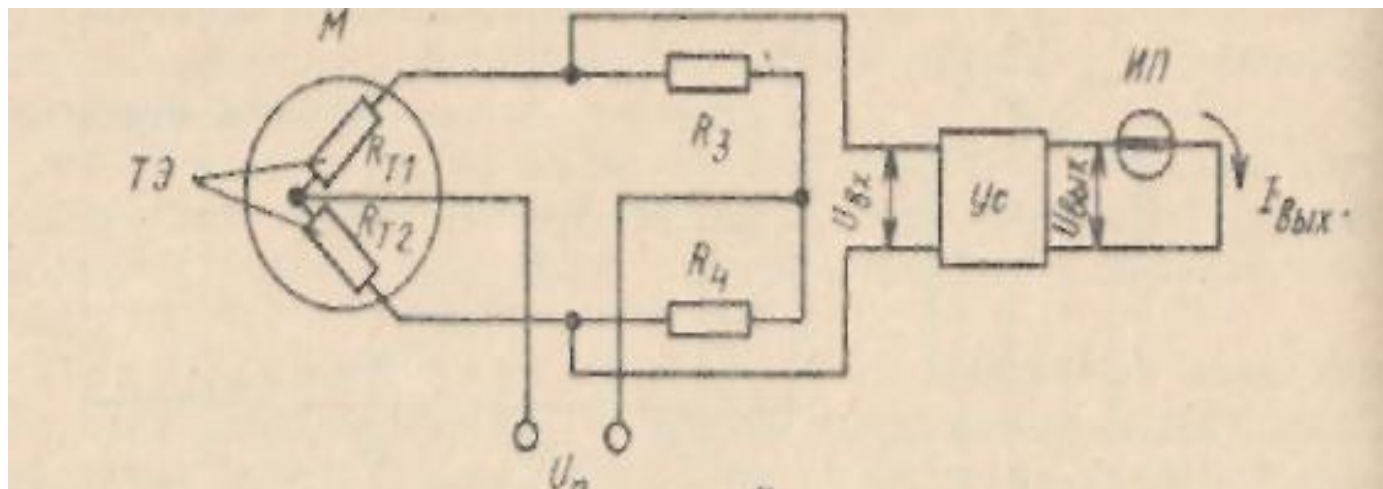
Тензометрические элементы воспринимают сжатие или растяжение упругого элемента и преобразуют его в изменения электрического сопротивления. В настоящее время получили распространение тензорезистивные элементы на базе твердотельных структур. В частности, выпускаются тензопреобразователи из монокристаллического сапфира с кремниевыми тензорезисторами. Кристаллический элемент плотно сопрягается с металлической мембраной

Тензометрические преобразователи

Встречаются также тензометрические преобразователи без металлических мембран. Чувствительным упругим элементом является кремниевая мембрана с монокристаллической структурой. Тензоэлементы нанесены на мембрану методом диффузии. Такая технология позволяет получить практически линейную характеристику с весьма малым гистерезисом (порядка 0,01%).

Тензометрические преобразователи

Упрощенная схема одного из вариантов тензометрического преобразователя



С мембраной M , воспринимающей измеряемое давление, взаимодействуют тензоэлементы $TЭ$. В данном случае это два тензорезистора с сопротивлениями R_{T1} и R_{T2} . Вместе с резисторами R_3 и R_4 они образуют мост, к одной из диагоналей которого приложено питающее напряжение $U_{п}$, а с другой снимается напряжение разбаланса $U_{вх}$.

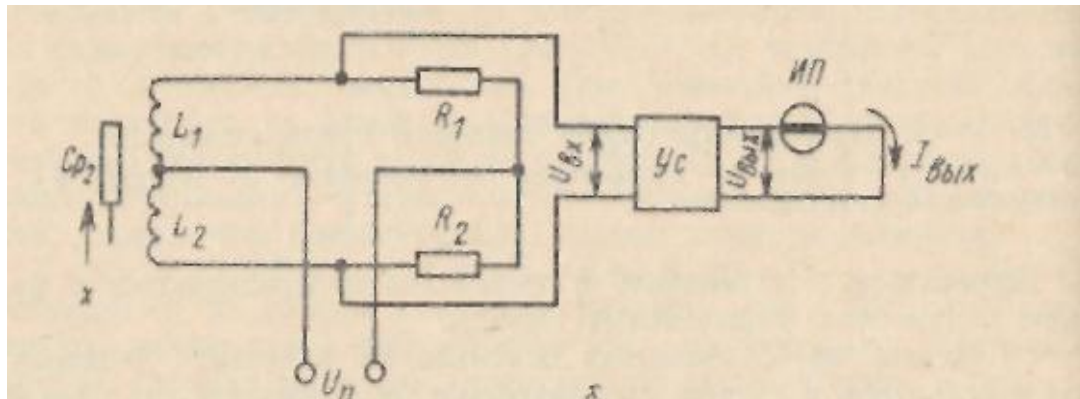
Тензометрические преобразователи

Усилитель повышает мощность входного сигнала, и на выходе имеют место ток $I_{\text{ВЫХ}}$ и напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$. Величины выходных тока и напряжения могут быть произвольными, либо стандартизованными (например, 0—5 мА, 0—10 В и т. д.). Выходной сигнал управляет работой измерительного прибора *ИП*, который может быть отградуирован непосредственно в единицах давления.

Возможными источниками погрешностей преобразования являются температурная и временная нестабильность функции преобразования.

ИНДУКТИВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Схема индуктивного преобразователя



Перемещение x чувствительного элемента передается ферромагнитному сердечнику Cp , находящемуся в магнитном поле катушек L_1 и L_2 . Последние вместе с резисторами R_1 и R_2 образуют четырехплечий мост, к одной из диагоналей которого приложено переменное питающее напряжение $U_{\text{п}}$, а с другой снимается напряжение разбаланса $U_{\text{вх}}$.

Индуктивные преобразователи

При среднем положении сердечника индуктивности L_1 и L_2 одинаковы, и при равенстве R_1 и R_2 мост находится в равновесии ($U_{ВХ} = 0$). Если сердечник перемещается вверх, это приводит к увеличению L_1 и уменьшению L_2 . В измерительной диагонали моста появляется напряжение $U_{ВХ}$, которое подается на вход усилителя $Ус$.

На его выходе включен измерительный прибор $ИП$, через который проходит ток $I_{ВЫХ}$ при напряжении $U_{ВЫХ}$. Если сердечник переместится вниз, то на измерительной диагонали окажется напряжение противоположной фазы. Для расшифровки усилитель должен быть фазочувствительным, т. е. реагировать не только на величину, но и на фазу входного напряжения

Параметры выходного сигнала, как и в случае использования тензометрического моста, могут быть произвольными либо стандартизованными, постоянного или переменного тока.

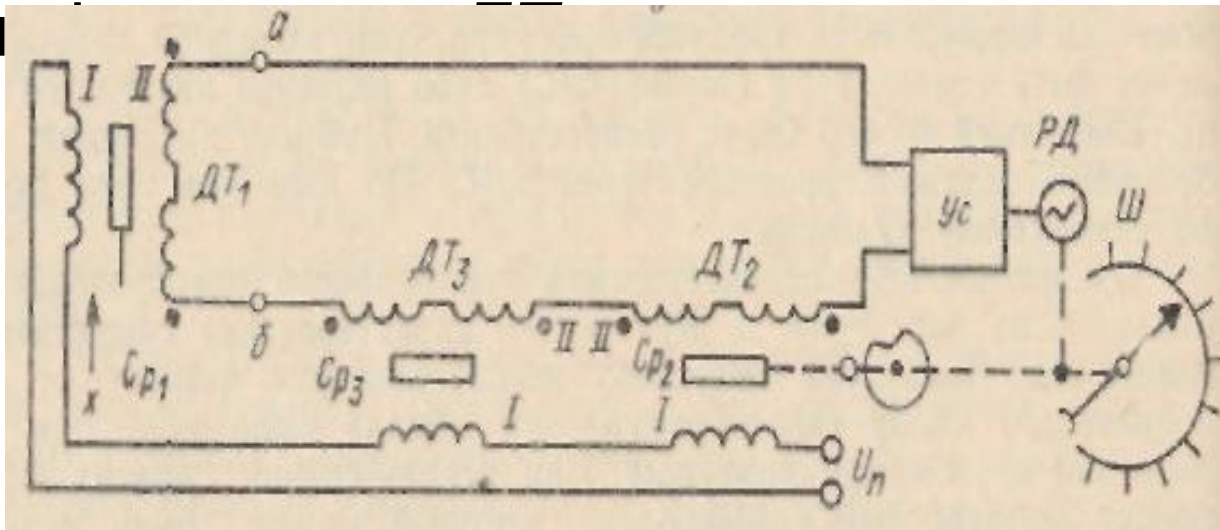
Индуктивные преобразователи

Параметры выходного сигнала, как и в случае использования тензометрического моста, могут быть произвольными либо стандартизованными, постоянного или переменного тока.

Обе рассмотренные схемы обладают общим недостатком: их точность зависит от стабильности питающего напряжения. Этот недостаток можно избежать, если применить компенсационные схемы. Такие схемы применительно к термопреобразователям сопротивления рассматривались в главе IV. В тензорезистивных и индуктивных преобразователях давления такие

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО- ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Как и в предыдущем случае, движение чувствительного элемента x передается ферромагнитному сердечнику Cp_1 который находится в поле, создаваемом первичной обмоткой I дифференциального трансформатора



Дифференциально-трансформаторные преобразователи

На ту же катушку наносят две вторичные обмотки //, соединенные встречно (условно направление намотки показано точками). Если сердечник располагается симметрично относительно вторичных обмоток, то наводимые на них ЭДС равны по величине и противоположны по фазе. В результате на выводах *a* и *б* трансформатора напряжение равно нулю. При смещении сердечника равенство ЭДС нарушается и на выводах появляется результирующее напряжение, величина которого зависит от смещения, а фаза — от его направления. В ограниченном диапазоне перемещений *x* характеристика такого преобразователя практически линейна.

Дифференциально-трансформаторные преобразователи

Дифференциально-трансформаторный преобразователь может работать как в схеме прямого усиления, так и в схеме компенсационного типа.

Кроме основного преобразователя $ДТ_1$ в схему входят трансформаторы: $ДТ_2$, выполняющий роль элемента обратной связи, и $ДТ_3$, служащий для подстройки системы.

Питающее напряжение U_n приложено к последовательно соединенным первичным обмоткам всех трех трансформаторов.

Дифференциально-трансформаторные преобразователи

Вторичные обмотки трансформаторов также соединены последовательно. К входу фазочувствительного усилителя $Ус$ приложено результирующее напряжение от этих обмоток.

Сердечник $Ср_2$ трансформатора $ДТ_2$ перемещается реверсивным двигателем $РД$, управляемым выходными сигналами усилителя. Сердечник $Ср_3$ трансформатора $ДТ_3$ перемещается вручную при настройке. Пользуясь им, компенсируют напряжение на выводах a и b при начальном (нулевом) положении чувствительного элемента ($x=0$). Стрелка при этом находится на нулевой отметке шкалы $Ш$. При отклонении x от нуля в цепи появляется нескомпенсированное напряжение, воздействующее на вход усилителя.

Дифференциально-трансформаторные преобразователи

В результате на выходе усилителя появляется напряжение соответствующей фазы, приводящее реверсивный двигатель $РД$ во вращение в заданном направлении. Через механическую передачу движение передается сердечнику трансформатора $ДТ_2$. На его вторичной обмотке появляется напряжение, фаза которого противоположна фазе суммарного напряжения трансформаторов $ДТ_1$ и $ДТ_3$. В момент, когда сумма напряжений в цепи станет равной нулю, () двигатель останавливается и система приходит в равновесное состояние. Стрелка, механически связанная с сердечником $Ср_2$, указывает на шкале $Ш$ величину перемещения x либо соответствующее ему давление.

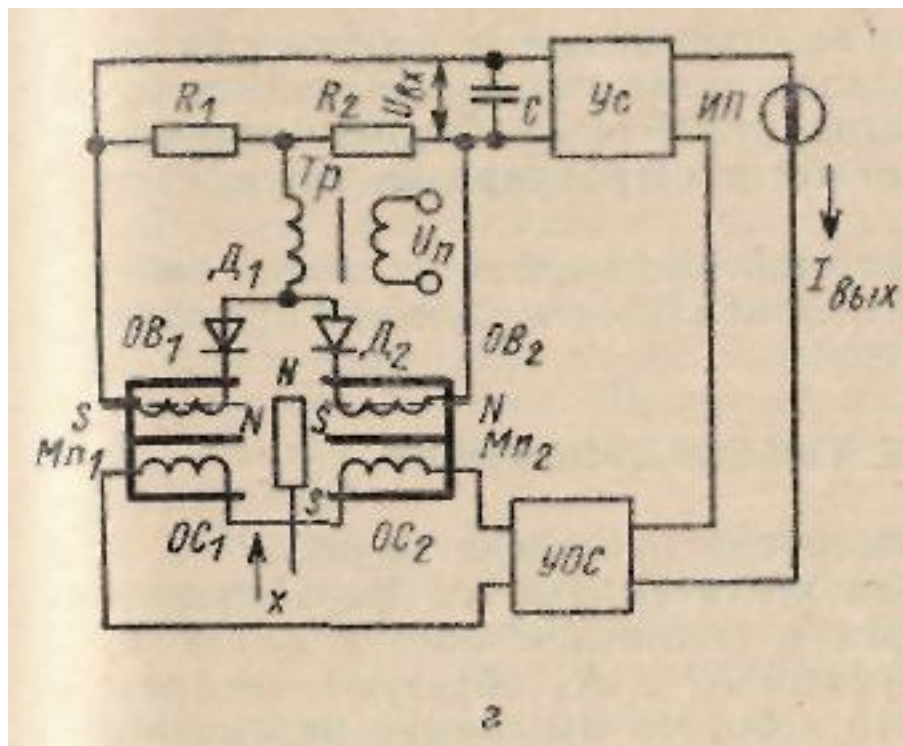
Дифференциально-трансформаторные преобразователи

Преимущество компенсационной системы с дифференциально-трансформаторными преобразователями состоит в том, что питающее напряжение и длина соединительных проводов практически не влияют на точность преобразования, а лишь меняют чувствительность системы. Вместе с тем применение такой системы связано с достаточно сложными электромеханическими устройствами, что снижает общие точностные показатели.

Преобразователи такого типа обеспечивают основную приведенную погрешность порядка $\pm(1-2)\%$.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С МАГНИТНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ

Передающие преобразователи с магнитной компенсацией позволяют измерять давление с приведенными погрешностями порядка 1—1,5%.



Преобразователи с магнитной компенсацией

Движение x чувствительного элемента первичного преобразователя передается в данном случае сердечнику C , который является постоянным магнитом NS . Сердечник находится в поле электромагнита, собранного на магнитопроводах $Mл_1$ и $Mл_2$. На средних стержнях магнитопроводов находятся обмотки возбуждения OB_1 и OB_2 и обмотки обратной связи OC_1 и OC_2 .

Обмотка возбуждения вместе с резисторами R_1 и R_2 и диодами D_1 и D_2 образует четырехплечий мост, питание которого осуществляется напряжением U_n через трансформатор Tr . Вследствие выпрямления тока диодами через обмотки возбуждения протекают однополярные импульсы. При этом средние стержни намагничиваются в одном направлении, например, как показано на схеме (SN —слева направо).

Преобразователи с магнитной компенсацией

При симметричном расположении сердечника относительно магнитопроводов его магнитный поток замыкается через боковые стержни магнитопроводов и практически не оказывает влияния на индукцию в средних стержнях. Вследствие симметрии моста в измерительной диагонали напряжение $U_{\text{ВХ}}$ равно нулю. Равен нулю и ток $I_{\text{ВЫХ}}$ на выходе усилителя U_c .

Преобразователи с магнитной компенсацией

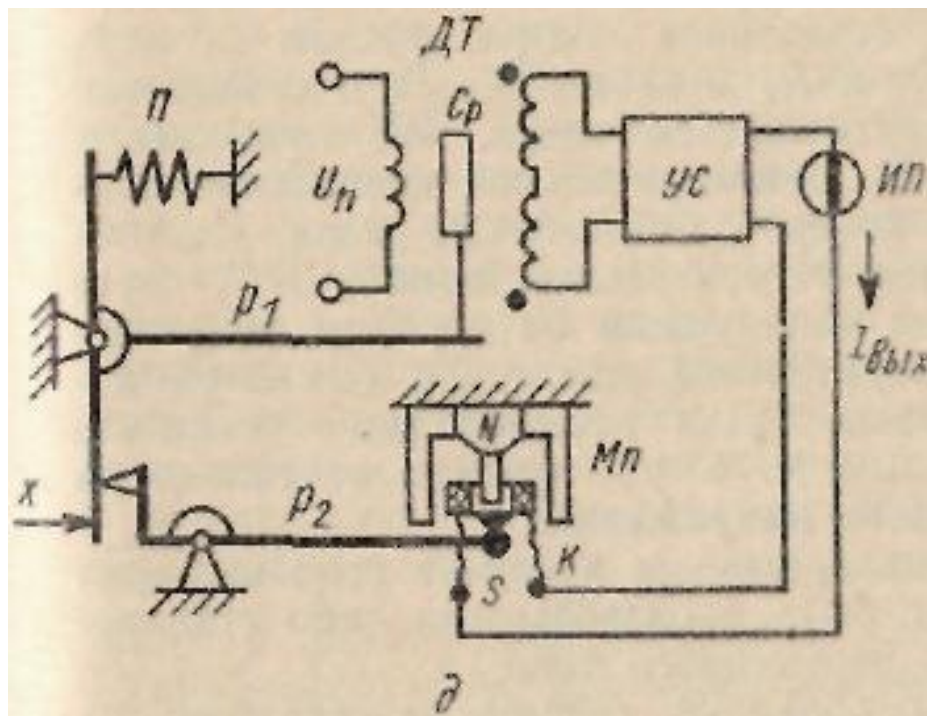
При смещении сердечника относительно положения симметрии магнитные потоки перераспределяются. Если, например, сердечник переместился вверх, то в средних сердечниках возникают потоки разбаланса, причем в магнитопроводе $Mп_1$ этот поток складывается с потоком обмотки возбуждения, а в $Mп_2$ вычитается. Из-за этого средний стержень магнитопровода $Mп_1$ переходит в состояние насыщения, вследствие чего индуктивность уменьшается, а ток через его обмотку увеличивается. Баланс моста нарушается, и на выходе усилителя появляется постоянное напряжение $U_{вх}$ (переменная составляющая

Преобразователи с магнитной компенсацией

Этот сигнал усиливается в усилителе $Ус$ и в виде постоянного тока $I_{\text{ВЫХ}}$ проходит через измерительный прибор $ИП$ и устройство обратной связи $УОС$. Последнее формирует ток, подаваемый в обмотки обратной связи $ОС_1$ и $ОС_2$. Поток, создаваемый этими обмотками, действуют так, что компенсируют возникшее отклонение от равновесного состояния. Ток $I_{\text{ВЫХ}}$ растет до тех пор, пока в системе не наступит равновесие. Этот ток является выходной величиной преобразователя. Измерительный прибор может быть отградуирован непосредственно в единицах давления.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ЭЛЕКТРОСИЛОВОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ

Преобразователи данного типа могут обеспечить погрешность порядка $\pm(0,6...1)\%$ от диапазона измерений.



Преобразователи с электросиловой компенсацией

В преобразователях этого типа перемещение x чувствительного элемента передается на рычаг P_1 , одно из плеч которого соединено с пружиной L , а другое — с сердечником C дифференциального трансформатора. Его первичная обмотка питается напряжением U_{Γ} , а соединенные встречно вторичные обмотки присоединены ко входу усилителя $Ус$.

Преобразователи с электросиловой компенсацией

Выходная цепь усилителя включает в себя измерительный прибор *ИП* и подвижную катушку электромагнита *К*. Последняя может перемещаться внутри магнитопровода *Мп*, центральный стержень которого представляет собой постоянный магнит *NS*. Постоянный ток $I_{\text{вх}}$ создает поле катушки, взаимодействующее с полем магнита *NS*. В зависимости от величины тока меняется усилие, с которым катушка втягивается в магнитопровод. Механически катушка связана с рычагом P_2 , передающим усилие на плечо рычага P_1 .

Преобразователи с электросиловой компенсацией

При изменении x , например при увеличении, рычаг P_1 поворачивается вокруг оси и поднимает сердечник C_p . Напряжение на выходе дифференциального трансформатора увеличивается. Это приводит к увеличению тока $I_{\text{ВЫХ}}$ и к увеличению усилия, развиваемого катушкой K .

Система уравнивается при некотором значении тока $I_{\text{ВЫХ}}$, который является мерой входной величины x и от которого работает измерительный прибор *ИП*.

Преобразователи с электросиловой компенсацией

Функция преобразования рассмотренного устройства линейная. В некоторых случаях, когда требуется квадратичная функция преобразования, вместо магнитоэлектрического силового элемента обратной связи используют электромагнитный элемент, в котором вместо постоянного магнита используется электромагнит, а якорем является стальной цилиндр, перемещающийся под действием поля.