

ВТОРА ГЛАВА

2.2. Параметрични преобразуватели

2.2.1. Реостатни преобразуватели.

Реостатните преобразуватели се използват за измерване на линейни и ъглови премествания. Те представляват реостат, подвижния контакт, на който се задействува от измерваната неелектрична величина X . В резултат на това се изменя омическото съпротивление на реостата, а от там и напрежението на изхода, т.е. осъществява се зависимостта

$$R=f(x)$$

където R е съпротивлението на преобразувателя.

Конструктивно реостатните преобразуватели се състоят от изолационна основа /порцелан, текстолит и др./ върху която е навит изолиран проводник с диаметър от 0,003 до 0,3 mm. Основното изискване към проводника е да има голямо специфично съпротивление и малка зависимост от промяната на температурата на околната среда. Най-често се използва проводник от константан, нихром или фехрал, а за специални измервания от платиноиридий. Плъзгачът се изработва във вид на пластинка от платино-иридиева или платино-берилиева сплав.

Основните характеристики на използваните при реостатните преобразуватели метали са дадени в таблица 2.1.1.

Таблица 2.1.1.

Материал	Състав	Относително съпротивление, $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	Работна температура, $^{\circ}\text{C}$
Константан	60% Cu; 40% Ni	0.480	500
Нихром	80% Ni; 20% Cr	1.1 – 1.2	1050
Фехрал	80% Fe; 15% Cr; 5% Al	1.38	1200
Платино-иридий	90% Pt; 10% Ir	0.23	1200

Реостатните преобразуватели могат да се включат към всички вериги, използвани за измерване на съпротивления.

На фиг.2.2.1. са показани най-разпространените схеми с реостатни преобразуватели. Токът I_1 във веригата на фиг.2.2.1а, е равен на

$$I_1 = \frac{U}{R_r + R_1}, \quad 2.2.1$$

Зависимостта $I_1=f(R_1)$ има нелинеен характер и нулата на скалата не съвпада със собствената нула на уреда.

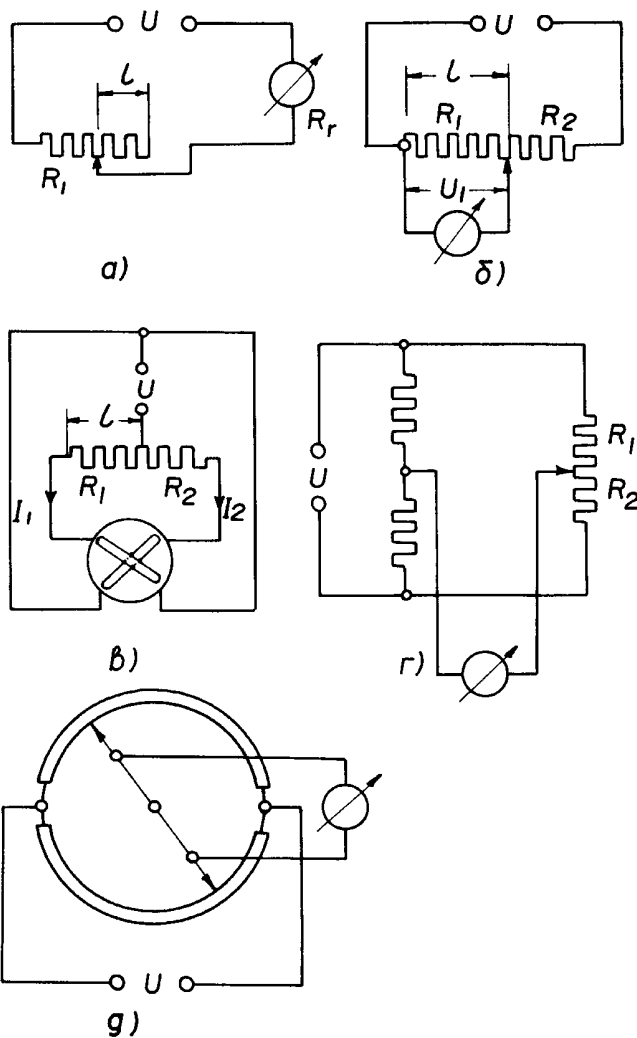
Като правило, някои участъци от реостата в двата му края се явяват неработни.

В схемата на фиг.2.2.1б. напрежението U_1 се определя чрез израза:

$$U_1 = U \frac{R_1 + R_r}{R_2 + \frac{R_1 R_r}{R_1 + R_r}} = U \frac{R_1}{\frac{R_1 R_2}{R_r} + R}, \quad 2.2.2$$

където $R = R_1 + R_2$

От израза 2.2.2. могат да се направят следните изводи:



фиг. 2.2.1. Реостатни преобразуватели.

1. Ако $R \ll R_r$ /а следователно и $R_2 \ll R_r$ / то

$$U_1 = \frac{R_1}{R}, \quad 2.2.3$$

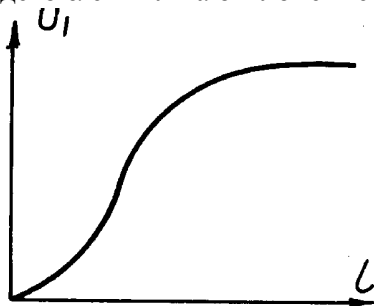
и характеристиката $U_1 = f(e)$, ще бъде практически линейна.

2. Ако R е сравнимо с R_r то характера на $U = f(e)$ ще има вида показан на фиг.2.2.2.

На фиг.2.2.1в, като измерител се използва логометър. В такъв случай, както тока I_1 така и напрежението U_1 ще зависят от постоянството на захранващото напрежение U , т.е. в сила ще бъде равенството:

$$\alpha = f_1\left(\frac{l_1}{l_2}\right) = f_2\left(\frac{R_1}{R_2}\right) = f(l) \quad , 2.2.4.$$

където α е ъгъл на отклонение на логометъра.



фиг.2.2.2. Характеристика на реостатен преобразувател

В редица случаи се използва реостатен преобразувател с две измерителни рамена /фиг.2.2.1г/ а при използване на сдвоен преобразувател - с четири рамена на моста /фиг.2.2.1д/. Последните типове преобразуватели са намерили приложение за измерване на механичните величини с повишена точност.

Когато зависимостта между преместването $l(\alpha)$ и измерваната механична величина има нелинеен характер, се използват профилирани реостатни преобразуватели с намотка притежаваща нелинейна характеристика /фиг.2.2.2/.

Грешките, които се пораждат при измерване с реостатните преобразуватели се дължат главно на: промяна на температура на околната среда; поява на механични напрежения в намотката, породени от различните коефициенти на линейно разширение; промяна на контактното съпротивление между плъзгача и намотката и поява на термоелектродвижещо напрежение между тях.

За реостатните преобразуватели с постоянна стъпка на навивките, грешката може да се определи чрез изрази:

$$\Delta = \frac{100}{2K}$$

където K е броят на навивките. За да се получи грешка по-малка от 5 %, навивките трябва да бъдат над 1000.

Важни предимства са: конструктивната им простота; висока чувствителност; възможност за използване без усилвателни устройства и др.

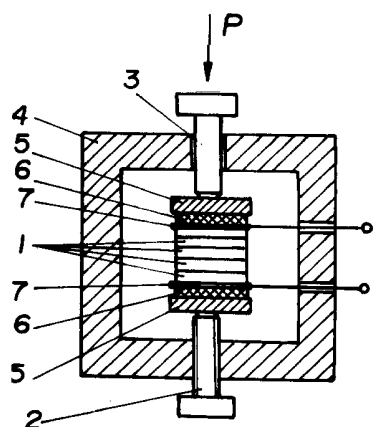
Към недостатъците им трябва да се отнесат: наличие на плъзгащ контакт, който се явява източник на искрене и преходни съпротивления; поява на грешки от изменение на температурата на околната среда, нисък честотен диапазон /до няколко херца/ и др.

2.2.2. Контактносъпротивителни преобразуватели.

Действието на тези преобразуватели се основава на изменение на контактното съпротивление / R_k / в зависимост от силата на притискане т.е. външното механично въздействие.

Контактно съпротивителните преобразуватели се използват за измерване на сили, механични деформации, вибрации, ускорения /инерционни сили/ и др.

Преобразувателя се състои от коксови шайби 1 /фиг.2.2.3/ стегнати от два винта 2 и 3, свързани с метална рама 4. Стълбът е изолиран от металните шайби 5 чрез изолационната шайба 6. Към медните шайби 7 са запоеани изводите. Измерваната сила P въздействува на лоста 3, притискайки пакета, като изменя и съпротивлението на стълба, в резултат на изменението на контактното съпротивление между отделните повърхности на шайбите.



Фиг.2.2.3 Контактносъпротивителен преобразувател

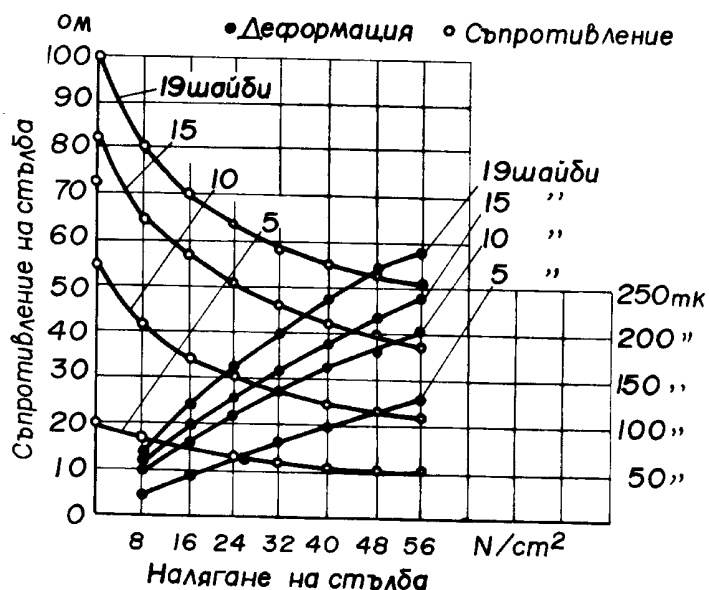
Контактното съпротивление между повърхностите на две твърди тела в значителна степен зависи, както от обработката на повърхностите, така и от силата на притискане между тях. При шлифовани повърхности и при малко налягане шайбите се притискат в няколко точки, в резултат на което контактното съпротивление между тях ще бъде голямо. С увеличаване на налягането, материала на притиснатите тела се смачкват, площта на елементарните контактни повърхности се увеличава, а контактното съпротивление намалява.

Изменението на съпротивлението и деформацията на пакета коксови шайби във функция от налягането е показано на фиг.2.2.4

Работните шайби се изработват от електролитен кокс с относително съпротивление

$$\rho = 30 \div 100 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} . \text{Диаметъра на шайбите е } d = 5-10 \text{ mm, а дебелината } l = 1-2 \text{ mm.}$$

Обикновено се използват пакети, съставени най-малко от 10 - 15 шайби. Повърхността на шайбите внимателно се шлифова и добре да бъде защитена от всякакви замърсители, особено масло.



Фиг. 2.2.4
Характеристика
на контактно
съпротивителен
преобразувател.

Преобразувателите от този тип трябва да работят с някакво първоначално налягане, в противен случай съпротивлението на пакета е неопределено, а режима на работа е неустановен. Началното налягане се избира така, че преобразувателя да работи в линейната част на характеристиката си $R=f(P)$. Обикновено началното налягане е $P = 200 \div 250 \text{ N/cm}^2$ като максималното работно налягане не бива да превишава $P = 500 \div 600 \text{ N/cm}^2$, предвид реалната опасност от механичното разрушаване на пакета.

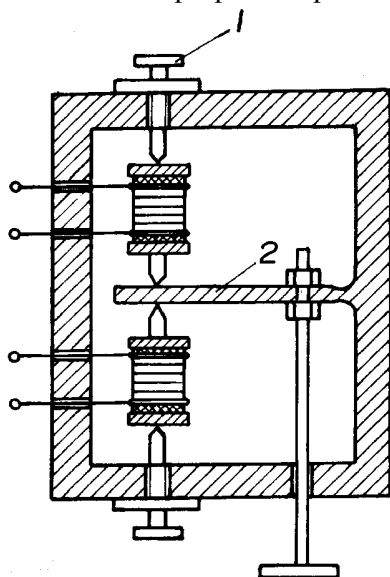
Съпротивлението на преобразувателя в значителна степен зависи от температурната на околната среда. При по-ниски температури, кокса има отрицателен температурен коефициент. Освен това при повишаване на температурата рамата се разширява, в резултат на което първоначалното налягане намалява. Двата фактора оказват отрицателно въздействие върху работата на преобразувателя, а от там и върху точността му.

Значително по-добри качества по отношение характера на скалата и температурните грешки, притежават преобразувателите с два коксови пакета, така наречените диференциален тип /фиг.2.2.5/. Под действието на измерваното налягане P , деформациите в двата пакета имат противоположни знаци, и се включват противоположно в две съседни рамена на моста.

Винта 1 служи за регулиране на началното притискане на пакетите. Измерваното механично въздействие се предава върху конзолно закрепената греда 2.

Влиянието на температурата върху съпротивлението на двата пакета практически се неутрализира. Характеристиката на този преобразувател е значително по-добра в сравнение с едностълбовия, като линейната и част е значително по-голяма.

Основният недостатък на тези преобразуватели се явява наличието на механичен хистерезис, в резултат на който кривата $R=f(P)$ при натоварване се различава от 3 до 5% от тези при разтоварване.



Фиг.2.2.5. Диференциален контактносъпротивителен преобразувател.

2.2.3. Тензопреобразуватели.

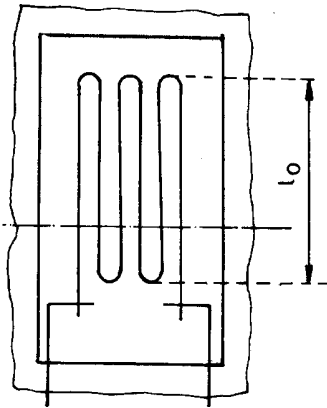
Теоретични основи и видове

Действието на тензопреобразувателите се основава на свойството на някои метални и полупроводникови нишки при еластични деформации да изменят не само геометричните си размери, но и специфичното си съпротивление. Изменението на специфичното съпротивление на материалите под действие на деформационни явления се нарича тензорезистивен ефект. Преобразувателите, които са разработени въз основа на този ефект се наричат: тензорезистори, тензопреобразуватели или тензодатчици.

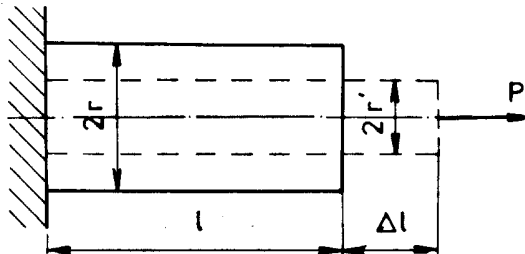
Тензопреобразувателите се изработват от полупроводникови и проводникови материали. Устройството на проводниковите преобразуватели е показано на фиг.2.2.6. Върху тънка основа от хартия, пластмасово фолио или текстилна подложка е залепена зигзагообразна нишка с диаметър $d = 0,02-0,04 \text{ mm}$ притежаваща голямо относително съпротивление.

Преобразувателят се залепва към повърхността на машинната част, чиято деформация ще се контролира, като базата му се ориентира по направление на предполагаемата деформация.

Съпротивлението на кръгла метална нишка, подложена на еластична деформация, ще бъде /фиг.2.2.7/



ФИГ.2.2.6.
Тензопреобразувател



Фиг.2.2.7. Деформация на
метална нишка

$$R = \rho \frac{l}{F} = \rho \frac{l}{\pi r^2}, \quad 2.2.5$$

При логаритмуване на уравнение 2.2.5 се получава

$$\ln R = \ln \rho + \ln l - 2 \ln r$$

За безкрайно малки удължения на нишката и като се вземат предвид, че ρ, l и r са променливи величини се получава

$$\frac{dr}{R} = \frac{dl}{l} - 2 \frac{dr}{r} + \frac{d\rho}{\rho} \quad 2.2.6$$

Като се разделят двете страни на равенството с $\frac{dl}{l}$, уравнение 2.2.6. добива вида

$$\frac{\frac{dR}{R}}{\frac{dl}{l}} = 1 - 2 \frac{\frac{dr}{r}}{\frac{dl}{l}} + \frac{\frac{d\rho}{\rho}}{\frac{dl}{l}}, \quad 2.2.7$$

Лявата страна на уравнение 2.2.7. съставлява чувствителността на преобразувателя $/k/$.

Отношението $\frac{\frac{dr}{r}}{\frac{dl}{l}} = \frac{\epsilon_r}{\epsilon_e} = -\mu$ се нарича число на Пуасон.

Последният член $\frac{d\rho}{dl}$, отчита изменението на специфичното съпротивление / $K\rho$ /,

в такъв случай за чувствителността на преобразувателя се получава изразът

$$K = 1 + 2\mu + K\rho, \quad 2.2.8$$

Коефициентът на тензочувствителност зависи от материала от който е изработена металната нишка и се изменя в интервала $K=1-12$, за преобразуватели с метални решетки и $K=10-300$ за такива разработени на базата на полупроводници. В таблица 2.2.1 са дадени стойностите на най-използуваните материали при разработване на тензопреобразуватели.

Фолиевите преобразуватели се изработват от тънко фолио, залепено върху специална пластмасова основа. Желаната решетка се получава чрез фотохимична обработка. Тази технология дава възможност за серийно производство, а така също и за получаването на преобразуватели с различна форма на решетката.

Таблица 2.2.2

№	Материал	Състав	Тензочувствителност ,K	Специфично съпротивление	Термо е.д.н.
1.	Константан	60%Cu, 40% Ni	2.2	47	65
2.	Нихром	80%Ni, 20%Cr	2.0	22	60
3.	Фехрал	15%Cr, 5%Al, 80%Fe, 30%Ir	2.8-2.9	5-6	120-130
4.	Платиноиридий	90%Pt, 10%Ir	5.8	60	

Полупроводниковите тензопреобразуватели се изработват от силиций или германий. Те притежават висок коефициент на тензочувствителност, като изходният им сигнал е до няколко волта /2-4/ и няколко стотици миливата мощност /0,01 - 0,25 W/. В сравнение с личните, те се изработват с много малки размери, но притежават един съществен недостатък, който ограничава широкото им приложение, чувствителността им силно зависи от промяната на температурата на околната среда.

Закрепване на тензопреобразувателите.

За закрепване на тензопреобразувателите към обекта на изследване се използват специални лепила. Те са разработени въз основа на: циментити - I група, феноли - II гр. и ацетони - III група. Състава на лепилото и технологията на залепване трябва така да бъдат подбрани, че да осигуряват правилно предаване на деформацията на материала към решетката. От тази гледна точка важно значение имат диаметъра на металната нишка и дебелината на лепилото. Практиката е показала, че разстоянието между оста на нишката и металната повърхност не трябва да превишава 0,03 - 0,04mm, а диаметъра на проводника да не бъде по-голям от 0,04mm. За залепване на тензопреобразувателите към изследваните обекти трябва

да се използва гъсто лепило, което образува между двата елемента тънък филм с добри еластични качества, в който липсват въздушни мехурчета и пукнатини.

Металните повърхности, чиито деформационни качества ще се контролират трябва да бъдат обработени с не много висок клас на точност /препоръчва се 8 - 10/, да бъдат добре почистени от масла и други органични отпадъци. Почистването се осъществява със спирт.

Схеми на свързване на тензодатчиците.

Основната измерителна схема се явява мостовата. В тензометрията се използват главно две схеми. Най-перспективна се явява мостовата схема с едно активно рамо, другите три рамена са стабилизиращи и се намират в междинния усилвател, или върху специална плоча. Това е така наречената полумостова схема /фиг.2.2.8а/ където единият тензодатчик е активен и базата му се ориентира по направление на предполагаемата деформация. Другият датчик е компенсационен и се ориентира така, че да не възприема деформацията на масивната част, т.е. в перпендикулярно направление.

Втората схема е пълно мостова /фиг.2.2.8 б/. Тя се използва в случаите, когато преходните съпротивления на свързващите проводници и токоснемащите устройства имат висока стойност и за компенсирането им са необходими допълнителни тензосъпротивления.

При тензометричните измервания са необходими не само температурни компенсации, но и автоматично изключване на различните съставлящи на деформационния процес.

Основните схеми, които се използват за свързване на тензосъпротивленията с цел осъществяване на някои вредни съставляващи на деформацията са:

А. Измерване на деформации при опън.

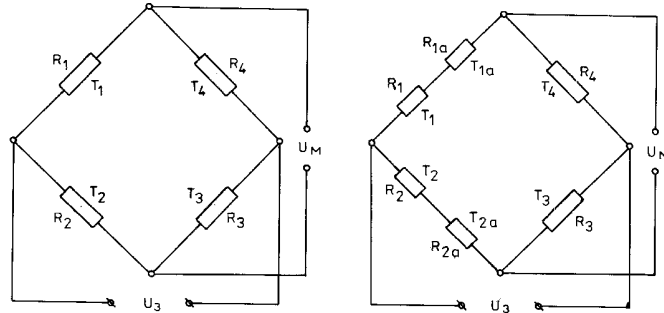
Първата схема /фиг.2.2.9 а/ се осъществява с един активен и три компенсационни тензосъпротивления. Активния датчик T_1 се залепва върху изследвания обект, така че оста на решетката да съвпада с направлението на предполагаемата деформация. Компенсационните датчици T_2 T_3 и T_4 се залепват върху отделна плочка, наречена компенсационна. Тензодатчиците се свързват по схемата показана на фиг.2.2.9а. Напрежението на изхода на моста е:

$$U_M = \frac{U_3 \Delta R}{4R} \quad , 2.2.9$$

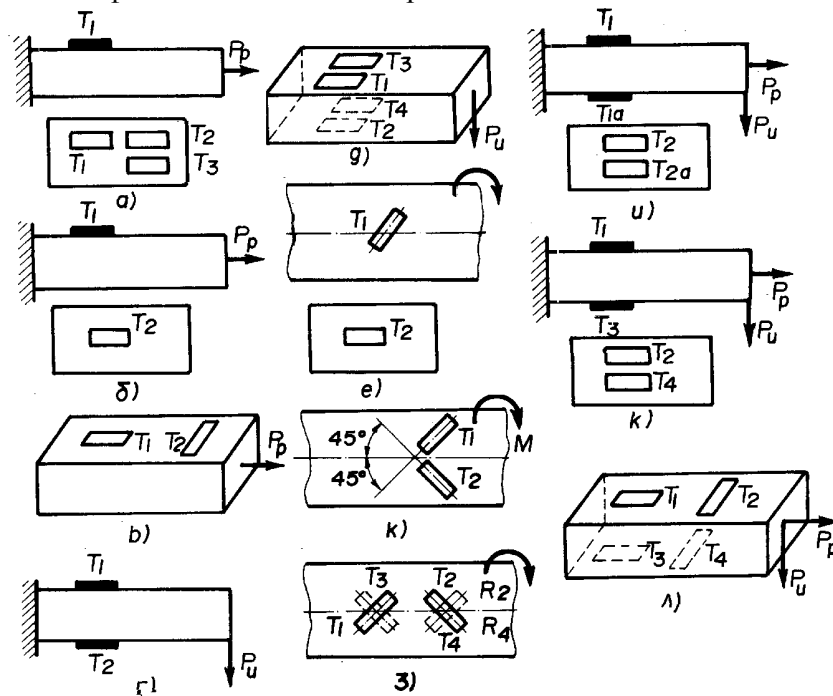
Където $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$; ΔR - изменение на съпротивлението на активния датчик при деформиране на изследвания обект; U_3 захранващо напрежение на моста.

Втора схема - един активен и един компенсационен датчик /фиг.2.2.9 б/. Активният датчик T_1 се залепва както в предишната схема, а компенсационния – T_2 върху отделна плочка. Двата датчика се свързват в полумостова схема. Останалите рамена на моста R_3 и R_4 се намират в междинния усилвател.

Изходното напрежение се определя по същата зависимост /фиг. 2.2.9/.



фиг.2.2.8 Схема на свързване на тензодатчици



Фиг.2.2.9 Схеми за измерване на тензодатчици.

Трета схема - два активни тензодатчика /фиг.2.2.9в/. Върху изследвания обект се залепват два датчика, чиито оси на решетките са взаимноперпендикулярни. Датчиците T_1 и T_2 се включват по схемата на фиг.2.2.8. В този случай

$$U_M = U_3 \frac{1 + \mu}{4} \frac{\Delta R}{R}, \quad 2.2.10$$

където μ е коефициент на Пуансон / $\mu = 0.3$ /

Чувствителността на тази схема е около 1,3 пъти по-висока от схемите с един активен датчик. При това в този случай се осъществява също и температурна компенсация. Такава схема се използва при едномерно напречно състояние.

Б. Измерване на деформации при огъване. Първата схема е изпълнена с един активен и един компенсационен датчик. Активният T_1 и компенсационния T_2 датчици при тази схема се включват в мостова схема показана на фиг.2.2.8 а.

Изходното напрежение в този случай се определя по формула 2.2.9.

Втора схема с два активни тензодатчика /фиг.2.2.9 г/. При тази схема датчиците T_1 и T_2 се залепват от двете страни на изследвания обект и се свързват по схемата на фиг.2.2.8 а. В този случай напрежението на изхода на моста ще бъде

$$U_M = \frac{U_3 \Delta R}{2R}, \quad 2.2.11.$$

Трета схема с четири активни тензодатчика. В този случай T_1 , T_2 , T_3 и T_4 изпълняват функциите както на активни, така и на компенсационни датчици. Напрежението на изхода на моста е

$$U_M = U_3 \frac{\Delta R}{R}, \quad 2.2.12$$

В. Измерване на деформации при усукване. При завъртане на вала посоката на вектора на максималните деформации, при опън и натиск са с направление 45° спрямо оста на вала. Поради което при измерване на деформации на валове, датчиците се залепват под ъгъл 45° спрямо оста му.

Първа схема един активен и един компенсационен датчик /фиг.2.2.9 е/. Активният датчик T_1 се залепва под ъгъл 45° спрямо оста на вала, а компенсационния T_2 - върху компенсирална пластинка. В Този случай

$$U_M = \frac{U_3 \Delta R_K}{4R}, \quad 2.2.13$$

Където R_K е изменението на съпротивлението на активния датчик, предизвикано от изменението на деформациите при въртене.

Втора схема е с два активни датчика /фиг.2.2.9 ж/. Двата тензодатчика T_1 и T_2 се залепват от едната страна на вала под ъгъл 45° спрямо оста му. Схемата на свързване е аналогична с тази на фиг.2.2.8 а , тъй като те се явяват едновременно активни и компенсационни. В този случай

$$U_M = \frac{U_3 \Delta R}{2R}, \quad 2.2.14.$$

Трета схема е с четири тензодатчика /фиг.2.2.9 з/. Датчиците T_1 и T_4 се залепват от едната страна, а T_2 и T_3 - от другата страна.

Измерване на деформации при въздействието на няколко сили.

В практиката често се срещат случаи при които освен основните сили, деформациите на които подлежат на измерване, въздействуват и допълнителни сили. Последните е желателно да се изключват, което може да се постигне чрез използваните схеми на залепване на тензодатчиците. Възможни са следните случаи и схеми при измерване на деформации при опън и огъване: два активни тензодатчика и два компенсационни /фиг.2.2.8 б/ включвани последователно. При този случай активните датчици T_1 и T_{1a} се залепват един над друг от двете страни на изследвания обект, а двата компенсационни T_2 и T_{2a} - върху специална пластина. В този случай напрежението на изхода на моста е

$$U_M = \frac{U_3 \Delta R_p}{4R}, \quad 2.2.15$$

Където $P = P_1 = P_{1a} = P_2 = P_{2a}$; R_p - изменение на съпротивлението на тензодатчиците при опън.

Втора схема е с два активни и два компенсационни тензодатчика /фиг.2.2.9 к - пълен мост/. В този случай активните датчици T_1 и T_3 се залепват от двете страни на изследвания обект, а компенсационните – T_2 и T_4 - върху компенсационната пластинка. Тензодатчиците се включват по схемата на фиг.2.2.8 а. В този случай изходното напрежение на моста е:

$$U_M = \frac{U_3 \Delta R_p}{2R}, \quad 2.2.16$$

Третата схема е изпълнена с четири тензодатчика /фиг.2.2.9л/ където изходното напрежение е

$$U_M = U_3 \frac{1 + \mu}{2} \frac{\Delta R_p}{R}, \quad 2.2.17$$

Всички датчици при тази схема се залепват върху обекта на изследване. В случай в изходното напрежение на моста, сигнала от действието на напрежението при огъване се изключва.

Изисквания към тензопреобразувателя

Към тензопреобразувателите се предявяват следните изисквания:

1. По възможност голяма тензочувствителност $/K/$ - колкото тя е по-висока, толкова по-малко промени ще настъпят във входната величина, а регистрираната величина ще бъде с високо качество.
2. Тензодатчиците да притежават малък температурен коефициент на изменение на собственото си съпротивление. Това е необходимо условие, тъй като зависимостта на съпротивлението от температурата, може да се окаже съизмеримо с изменението на съпротивлението от въздействието на деформационните явления.
3. По-голямо специфично съпротивление. Колкото специфичното съпротивление е по-голямо, толкова по-къса е решетката на преобразувателя, толкова по-малки габарити ще има, поради което ще заема по-малка площ върху металната повърхност.

4. Малка стойност на контактна е.д.н. в точките на свързване на решетката с проводниците, осъществяващи схемата на измерване. Трябва да се има предвид, че електрическото напрежение в измерителния диагонал има малка стойност поради което контактната е.д.н. може да предизвика значителни грешки.
5. Малка разлика между коефициентите на линейно разширение на контролираната метална повърхност и тензопреобразувателя.

Най-добре отговарят на тези изисквания тензопреобразувателите, чиито метални решетки са изработени от константан, фехрал и нихром.

2.2.4. Капацитивни преобразуватели.

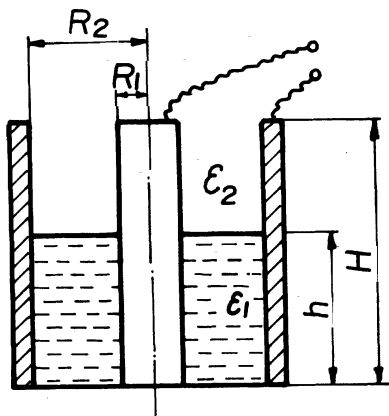
Капацитивните измерителни преобразуватели представляват кондензатор, чийто капацитет се променя под въздействието на измерваната неелектрическа величина.

Капацитетът на плоскопаралелен кондензатор, състоящ се от два електрода, се определя чрез израза:

$$C = \epsilon \frac{F}{d}, \quad 2.2.18$$

където ϵ е диелектричната проницаемост на средата, F/m /таблица 2.2.3/; F - ефективна площ на електродите /плочите/, m² ;

Измерваната величина може да бъде свързана с промяната на разстоянието между пластините, с промяна на повърхността им, с промяна на диелектрическата проницаемост на средата между електродите или с изменението на диелектричните загуби на кондензатора. В последните два случая капацитивните преобразуватели се използват за анализ на състава на веществата, защото диелектрическата проницаемост и загубите на функции на свойствата им. Промяната на диелектрическата проницаемост на веществото между електродите се използва за измерване на ниво на течни и насипни материал. В случая се използва разликата между диелектричната проницаемост на въздуха и течността или насипния материал. С промяната на нивото се променя диелектричната проницаемост на диелектрика между електродите. Преобразувателите на ниво се изпълняват във вид на плоскопаралелни или цилиндрични капацитивни преобразуватели /фиг.2.2.10/.



ФИГ.2.2.10. Капацитивен преобразувател за измерване на ниво на течности.

Пълният капацитет на кондензатора се определя като сума от два паралелно свързани кондензатора – C_1 - на частта запълнена с течност и C_2 - на частта извън течността

$$C = C_1 + C_2 = a(H - h)\epsilon_2 + ah\epsilon_1 = f(h) \quad , 2.2.19$$

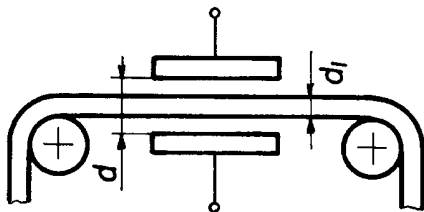
където H е височина на кондензаторните плочи, m; h - височина на потопената част на плочите, m; a – конструктивна константа; ϵ_1 и ϵ_2 - диелектрични проницаемости на водата и въздуха.

Чувствителността на капацитивните преобразуватели на ниво се определя от израза

$$\rho = \frac{dc}{ah} = a(\epsilon_1 - \epsilon_2) = const \quad , 2.2.20.$$

С промяна на еквивалентната диелектрична проницаемост може да се преобразува дебелината на лентов материал, движещ се между плочите на плосък кондензатор /фиг.2.2.11/, или влажността на материал движещ се по гумено-лентова транспортна лента. Ако с d се означава разстоянието между плочите, а с F площта на плочите, с дебелината на лентата и диелектричната проницаемост с ϵ_1 то за капацитета може да се запише

$$C = \frac{F}{\frac{d - d_1}{\epsilon_0} + \frac{d_1}{\epsilon_1}} \quad , 2.2.21$$



Фиг. 2.2.11. капацитивен преобразувател

Тъй като диелектричната проницаемост зависи и от температурата на диелектрика, то капацитивните преобразуватели с успех могат да се използват за измерване на температури, главно в интервала – 10-100°C. Като диелектрик се използват титанови съединения, диелектричната проницаемост, на които се изменя по закона

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 [1 + d_\varepsilon (t - t_0)]$$

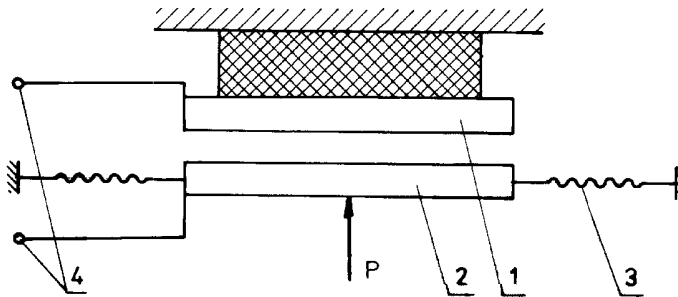
където ε_1 и ε_0 са диелектрични проницаемости при температура t_0 и t_1 ; C^0 ; α_2 - температурен коефициент на изменение на диелектрическата проницаемост, $\alpha = 1,5 - 10 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Капацитетът C на плоскопаралелен кондензатор, който се използва за измерване на температура, се изменя по зависимостта

$$C = \frac{F}{d} \varepsilon = \frac{F}{d} \varepsilon_0 [1 + d_\varepsilon (t - t_0)] = \frac{F}{d} \varepsilon_0 + \frac{F}{d} \varepsilon_0 d_\varepsilon \Delta t \quad ,2.2.22.$$

Капацитивните преобразуватели, при които се променя разстоянието между електродите /плочите/ фиг.2.2.12, притежават нелинейна характеристика. Преобразователната функция на такъв преобразувател има следния вид

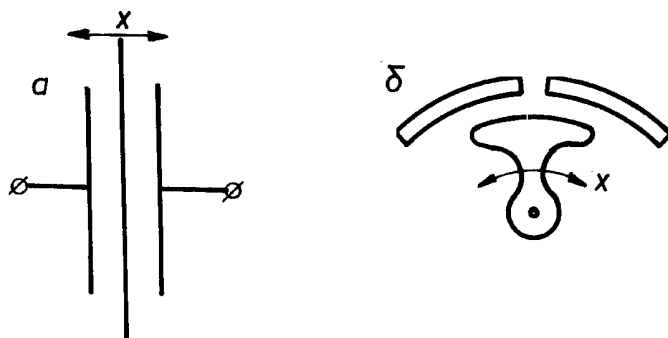
$$C = \frac{\varepsilon F}{d - x} \quad , 2.2.23$$



фиг.2.2.12 Капацитивен преобразувател където x е преместване на подвижния електрод спрямо неподвижния.

С тези типове преобразуватели, могат да се измерват премествания и други технологични величини, които се преобразуват в премествания. За повишаване на точността и чувствителността на тази конструкция преобразуватели, се използва и диференциален тип /фиг.2.2.15 /, линейни "а" и ъглови "б".

Капацитивните преобразуватели притежават следните предимства: висока чувствителност, малка инертност, малки габарити и възможност за приспособяване на електродите в зависимост от целта на измерването.



фиг.2.2.13.
Диференциални
капацитивни
преобразуватели.

Основен недостатък на капацитивните преобразуватели се явява грешката, предизвикана от паразитните капацитивности на свързващите проводници. Поради което на екранирането на съединителните проводници и правилният избор на точката на заземяване трябва да се отделя специално внимание. Освен това тези преобразуватели се нуждаят от захранващи източници с повишена честота, което в реални условия не винаги е осъществимо. Тъй като и при високите честоти съпротивлението им е голямо, а изходната мощност малка, капацитивните преобразуватели трябва да работят винаги с усилватели. За избягване на индукираните смущения, връзката между преобразувателя и усилвателя се осъществява с екранирани или коаксиални кабели.

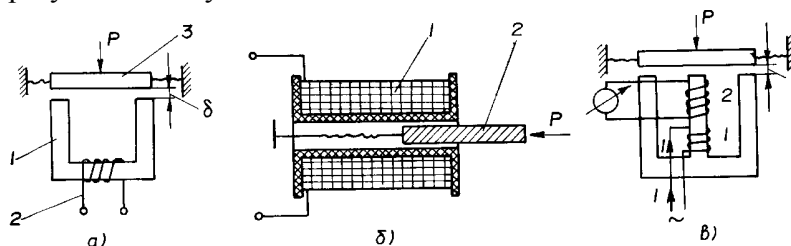
Таблица 2.2.3.

Диелектрична проникваемост на някои вещества

Вещество	$\epsilon \cdot 10^{-12}, \text{F/m}$	Вещество	$\epsilon \cdot 10^{-12}, \text{F/m}$
Въздух	1.0006	Каменна сол	5.6
Хартия	1.6-2.6	Мрамор	8.5
Течен парафин	2.2	Вода	8.1
Гума	2.7	Метилов спирт	33.8
Плексиглас	3.0-3.6	Бензол	22.3
Кварц	4.5	Ацетон	21.4
Янтар	2.8	Нитробензол	35.7
Сяра	3.6-4.3	Ебонит	2.5-5.0

2.2.5. Индуктивни преобразуватели

Индуктивните преобразуватели представляват електромагнит, въздушната междина δ , на който се изменя в зависимост от измерваната механична величина P . Обикновеният индуктивен преобразувател /фиг.2.2.14а/ се състои от неподвижен магнитопровод 1 върху който е навита намотката 2 и подвижен магнитопровод или котва 3, която се премества в зависимост от измерваната неелектрическа величина. Намотката е включена към източник за променлив ток, който възбужда променлив магнитен поток. Променливият магнитен поток преминава през неподвижния и подвижния магнитопровод и през въздушните междини, образувани между тях.



Фиг.2.2.14 Индуктивни преобразуватели.

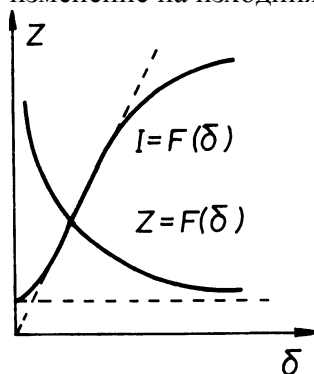
При въздействие на измерваната величина върху подвижната точка се изменя въздушната междина, а от там и съпротивлението на магнитната верига на преобразувателя. Това води до промяна на магнитния поток на, активното и пълното съпротивление на намотката. В резултат на тези промени се изменя токът,

който протича през намотката при неизменно захранващо напрежение. По стойността на активното съпротивление или по тока се съди за стойността на измерваната величина.

Друг тип индуктивен преобразувател е с отворена магнитна верига, показан на фиг.2.2.14б. Той се състои от бобината 1 във въздушната междина, на която е поместена сърцевината 2. Преместването на бобината се явява функция на измерваната механична величина P .

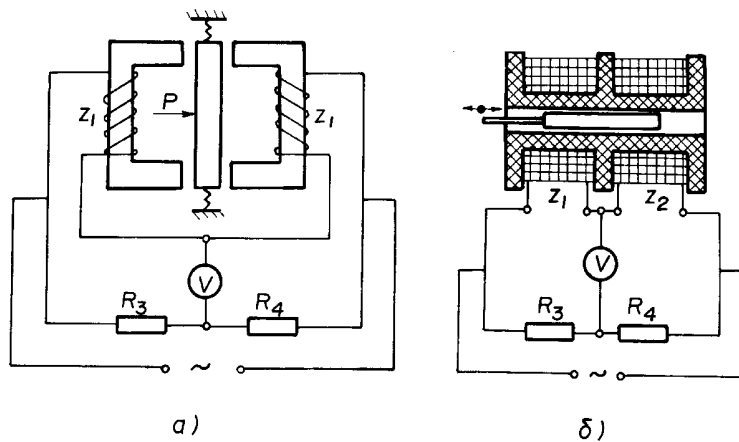
На фиг.2.2.14в. е показан индуктивен преобразувател трансформаторен тип. Намотката 1 се захранва от източник за променлив ток. Към изхода на вторичната намотка 2 - волтметър или вибратора на осцилограф. При изменение на въздушната междина, предизвикано от преместването на котвата под действие на измерваната величина P , се променя общото магнитно съпротивление на двете намотки, а следователно и големината на потока Φ . По такъв начин големината на потока и индукираната във вторичната намотка е.д.н. E_2 ще бъдат във функционална зависимост с въздушната междина δ т.е. и с величината P .

Разгледаните индуктивни преобразуватели имат съществени недостатъци: нелинейност на характеристиката фиг.2.2.15.: изходния им сигнал се влияе от промяната на амплитудата и честотата на захранващото напрежение; между подвижната и неподвижната част на магнитопровода съществуват значителни сили на привличане; изменението на температурата на околната среда води до изменение на изходния сигнал.

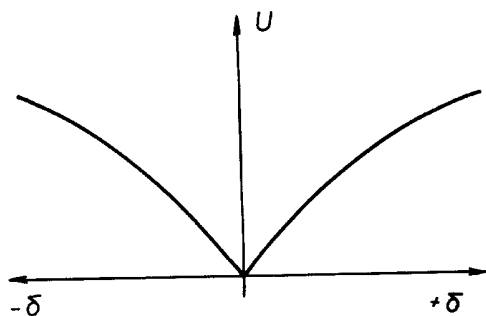


Фиг.2.2.15. Характеристика на индуктивен преобразувател.

Посочените недостатъци ограничават използването на обикновените индуктивни преобразуватели. По широко приложение са получили диференциалните индуктивни преобразуватели. Те се състоят от два обикновени индуктивни преобразуватели с обща котва /фиг.2.2.б./ Като за малки премествания е показана на фиг.2.2.16а, а за по-големи премествания на фиг.2.2.16б. Преобразователната характеристика на диференциален преобразувател е показана на фиг.2.2.17. Както се вижда тя има значително по-голям линеен участък в сравнение с този на обикновените индуктивни преобразуватели. Тя преминава през началото на координатната система, при което се променя фазата на сигнала.



Фиг.2.2.16. Диференциални типове индуктивни преобразуватели.



фиг.2.2.17. Характеристика на диференциални индуктивни преобразуватели.

Принципът на действие е следния: при неутрално положение на котвата импедансите на двете половинки на преобразувателя са равни. Когато котвата се измести от неутралното си положение, под действие на силата P , магнитното съпротивление на едната половина се увеличава, а на другата намалява. Това предизвиква разбалансиране на моста и на изхода се получава сигнал пропорционален на преместването.

При пълна симетрия на двете половинки т.е. при неутрално положение на котвата, изходния сигнал е равен на нула. Пълна симетрия на практика се получава трудно. Поради това при неутрално положение на котвата се получава някакъв начален сигнал.

Индуктивните преобразуватели се използват за измерване на премествания от 0.1 mm до 200 mm, а така също и всякакви величини, които могат да се преобразуват в премествания. Използват се за контрол на линейни размери, за определяне на дефекти в машинни части или нежелателни примеси на метали и др.

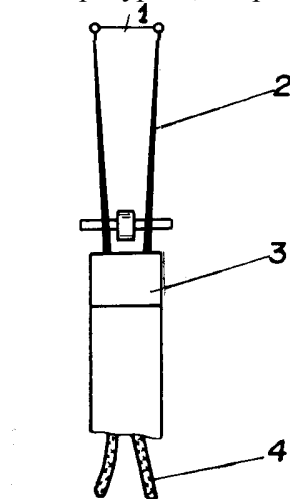
Индуктивните преобразуватели притежават редица предимства: проста и здрава конструкция; голяма надеждност; възможност за включване към източник с

промишлена честота на тока; сравнително голяма мощност на изходния сигнал; висока чувствителност; диференциалните притежават добра линейност на преобразователната характеристика и независимост на изходния сигнал от температурата на околната среда.

Към недостатъците трябва да се отнесат; наличие на сили на привличане; влияние на колебанията на амплитудата и честотата на захранващото напрежение върху стойността на изходния сигнал и др.

2.2.6. Термосъпротивителни преобразуватели

Термосъпротивителните преобразуватели фиг.2.2.18 представляват проводник /или полупроводник/ електрическото съпротивление на който се изменя в зависимост от температурата на околната среда. Съпротивителният проводник е монтиран върху масивните държачи 2 и получава захранване чрез изводите 4. Държачите са поставени върху изолационната плочка 3, като разстоянието между тях се контролира чрез ограничителя 5. Съпротивлението на проводника при установено топлинно равновесие на околната среда зависи от силата на протичащия през него ток, от геометричните му размери, формата му и защитната арматура, от физическите свойства, скоростта на движение и температурата на газовата или течната околна среда. В зависимост от това, кой от споменатите фактори влияе повече върху изменение на съпротивлението, термосъпротивителните преобразуватели намират широко приложение при изменението и регулирането на температурата, скоростта, налягането и концентрацията на заобикалящата ги среда.



Фиг.2.2.18 Принципна схема на термосъпротивителен преобразувател

Термосъпротивителните преобразуватели, които се използват за измерване и регулиране на температурата на околната среда, се наричат съпротивителни термометри. Те се използват за измерване на температури в интервала от - 250 до - 800°C.

Действието на съпротивителните термометри се основава на свойството на електрическите проводници да изменят съпротивлението си в зависимост от температурата на обкръжаващата ги среда. Тази зависимост от електрическите проводници се изразява чрез формулата

$$R = Ce^{\alpha T}$$

където C е постоянен коефициент; α - температурен коефициент на електрическо съпротивление; T - абсолютна температура.

Вижда се, че зависимостта на електрическото съпротивление от температурата не е линейна. При промишленото производство на съпротивителни термометри се използват някои метали, които имат голям и постоянен температурен коефициент на електрическо съпротивление и едновременно с това голямо специфично съпротивление. Най-широко разпространение са получили платината, медта и никелът.

Зависимостта на съпротивлението от платиновите съпротивителни термометри от температурата t в интервала от 0 до 650°C се определя с израза

$$R = R_0(1 + At + Bt^2) \quad , 2.2.25$$

Където R_0 е съпротивлението на метала при 0°C; A и B - термични коефициенти / $A = 3,940 \cdot 10^{-3}$, $B = 5,8 \cdot 10^{-7}$ / за температурен интервал от 0 до -190°C

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t-100)^3] \quad , 2.2.26.$$

където $C = -4 \cdot 10^{-12}$

Вижда се, че съпротивлението на платиновите термометри се изменя по нелинеен закон, което се явява техен основен недостатък.

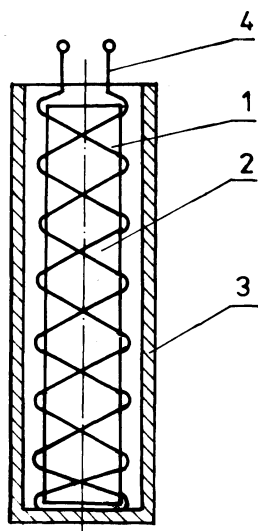
Зависимостта на съпротивлението на медните съпротивителни термометри от температурата е линейна с коефициент

$$i = 4,26 \cdot 10^{-3}, \text{deg}^{-1} m.e. \quad , 2.2.27.$$

$$R_t = R_0(1 + Dt)$$

На фиг.2.2.19. е показано устройството на платинов съпротивителен преобразувател. Той се състои от платинов проводник 1, навит бифилярно върху слюдено изолационно тяло 2. Към краищата на проводника са запоеани изводите 4 от сребърен проводник. Преобразувателя се поставя в алуминиева тръба 3, която го предпазва от механични повреди. Изводите от съпротивителния проводник са изведени на бакелитова розетка, закрыта с капачка.

Освен платинови, в практиката се използват и медни съпротивителни термометри. Те са изпълнени с изолиран меден проводник, навит върху пластмасова изолационна основа. Конструкцията им е подобна на платиновите, но формата на защитната арматура, в зависимост от мястото на използването им, може да бъде по-различна. Термосъпротивителният преобразувател е защитен с метален перфориран екран, а изводите са предпазени от проникване на прах и влага.



Фиг.2.2.19. Термосъпротивителен преобразувател.

Широко приложение получили напоследък и полупроводниковите съпротивителни термометри. Зависимостта им от температурата се определя от формулата.

$$R = Ae^{\frac{B}{T}}, \quad 2.2.28.$$

където A и B са константи.

Вижда се, че за разлика от електрическите проводници, сравнени с формула 2.2.27, съпротивлението на полупроводниците намалява при повишаване на температурата.

Термосъпротивителните полупроводникови преобразуватели са много подходящи за измерване на температура, поради голямата им чувствителност, малката им времеконстанта и високото им съпротивление. Отрицателният им температурен коефициент позволява да бъдат използвани и за температурна компенсация в редица схеми.

Проводимостта при полупроводниковите материали се определя чрез изрази

$$G = q(\mu_n n + \mu_p p), \quad 2.2.29.$$

където q е електрическият заряд на токоносителите / $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;

μ_n - подвижност на електроните; n - концентрация на електроните;

μ_p - подвижност на дупките в полупроводника; p концентрация на дупките.

Предимствата на полупроводниковите термопреобразуватели са: висока чувствителност /около 10 пъти по-голяма от тази на проводниковите/ малки размери и малка времеконстанта. Съпротивителните термометри са едни от точните преобразуватели на температурата. С платиновите термопреобразуватели може да се измерва температура с грешка от порядъка на $0,001^\circ\text{C}$. Грешките се дължат на нестабилност във времето на началното съпротивление и температурния коефициент на преобразувателя, на загряването от измервателния ток на нелинейност на характеристиката и др.

Термосъпротивителните преобразуватели могат да се използват и за измерване на скорости и дебити на флуиди, това са така наречените термоанометри. При тези преобразуватели коефициента на топлопредаване / Φ / зависи от скоростта и дебита на флуида, т.е.

$$\Phi = \frac{KI^2R}{F(t_H - t_C)} \quad , 2.2.30$$

Където k е температурен еквивалент, наречен още коефициент на топлообмена, зависи от скоростта на флуида, състава му и др.;

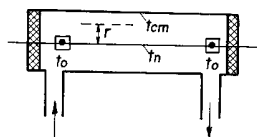
I – ток, който протича през термосъпротивлението; R - съпротивление на нишката; F - повърхност на преобразувателя; t_H - температура на нишката; t_C - температура на средата.

Измерването на скоростта на флуида може да се сведе до измерване на съпротивлението при $I = \text{const}$, или до измерване на ток при $P = \text{const}$. Възможен е и трети метод, при който непосредствено се измерва температурата на нишката по термоелектрически път.

С помощта на термоелектрическите преобразуватели могат да се измерват и налягания с голямо разреждане /вакум/.

При плътност на газа близка до 0,1 МПа, топлопроводимостта му не зависи от плътността му при силно разреждане. Това се обяснява с факта, че молекулите на газа удрийки се в нагрятата нишка, получават допълнителна кинетична енергия, която отдават на съседните молекули, а от там и на стените на съда. Когато свободния пробег на молекулите стане от порядъка на диаметъра на камерата в предаването на топлина участвуват и молекулите получили кинетична енергия от термосъпротивителната нишка. При увеличаване на разреждането, броят на молекулите участващи в пренасянето на топлина намалява, а от там намалява и топлопроводимостта.

Друго приложение на термоелектрическите преобразуватели е като устройства за газоанализ и чистота на газови смеси. Тези преобразуватели /фиг.2.2.20/ се състоят от камера 1, в която между двата носача 2 е монтирана термосъпротивителната нишка 3. Газът постъпва през входния отвор, отнема част от топлината на нишката и се изпуска през изходното отверстие. В основата на тези преобразуватели е залегналото свойството, че различните газове имат различна проводимост, от която се влияе топлината отделяна от нагрятата, при постоянна температура нишка.



Фиг.2.2.20. Преобразувател за анализ на газови смеси

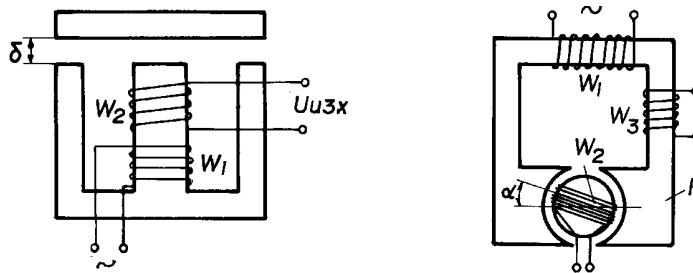
2.2.7. Трансформаторни /взаимноиндуктивни/ преобразуватели.

Принципът на действие на трансформаторните преобразуватели се основава на изменението на коефициента на индуктивна връзка между две системи намотки, едната входна /първична/ а другата изходна /вторична/ при външно механично въздействие. Особеност на трансформаторните преобразуватели е това, че при тях липсва галваническа връзка между захранващата верига и изходната верига. Това позволява в изходната верига да се получава желаното по стойност напрежение независимо от напрежението на захранващата верига. Желаната стойност на напрежението се постига чрез подходящо съотношение между броя на намотките.

На фиг.2.2.21а е показан трансформаторен преобразувател с подвижна котва за измерване на малки премествания. Първичната намотка w_1 се захранва от източник на променлив ток. Ако този ток се поддържа постоянен, то индуктираното във вторичната намотка w_2 е.д.н. E_2 ще бъде функция на въздушната междина δ т.е.

$$E_2 = \omega w_2 \Phi = \omega w_2 \frac{F}{Z_M}, \quad 2.2.31.$$

където ω е кръговата честота / $\omega = 2\pi f$ /; - брой навивки на вторичната намотка; Φ - магнитен поток; F – повърхност на магнитопровода и Z_M - съпротивление на магнитопровода.



Фиг.2.2.21. Трансформаторни преобразуватели.

$$Z_M = \sqrt{R_M^2 + X_M^2} = \sqrt{(R_{ж}^2 + R_{\delta}^2) + X_M^2}, \quad 2.2.32.$$

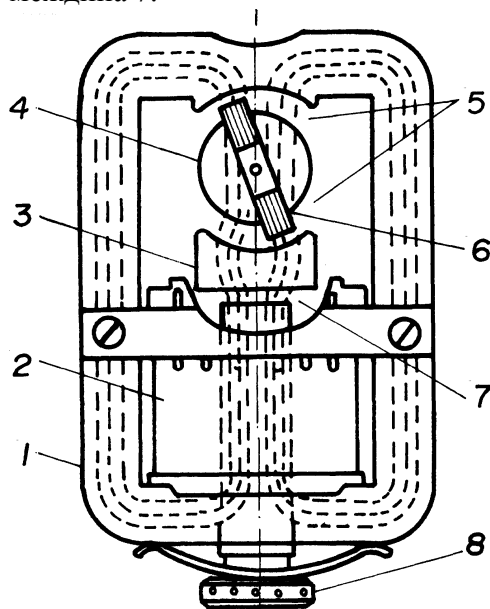
където R_M е активно съпротивление на магнитопровода; X_M - реактивна съставляща на магнитното съпротивление, отчита загубите от хистерезис; $R_{ж}$ - магнитно съпротивление на желязото; R_{δ} - съпротивление на въздушната междина.

Вторичната намотка на преобразувателя може да бъде изпълнена и във вид на рамка /фиг.2.2.21б/, която може да се върти в пръстеновидната въздушна междина на магнитопровода 1. При крайните положения на рамката, индуктираното в нея е.д.н. получава максималната си стойност. С предвижването на рамката към хоризонталното и положение, индуктирането на е.д.н. намалява и при хоризонтално положение става равно на нула. Чрез последователно свързване на

рамката и намотката w_3 може да се получи плавно нарастване на изходния сигнал от 0 до максималната му стойност.

Преобразувателите от разгледания тип са известни в техниката като феродинамични. Те се използват за измерване на ъглови премествания от 0 до 40° . Намират приложение в системите за динамично предаване на показанията при системите за дистанционно управление.

У нас са намерили приложение произвежданите в Русия взаимозаменяеми феродинамични преобразуватели /фиг.2.2.22/. Те се състоят от магнитопровод 1, бобина 2, в която са поместени възбудителната и сместващата намотка, накрайник 3 с радиална вътрешна междина, сърцевина 4, поместена в пръстеновидна въздушна междина 5, рамка 6 механично свързана със системата, чиито премествания се мерят, феромагнитна сърцевина 8 за регулиране на въздушната междина 7.



Фиг.2.2.22. Взаимозаменяеми феродинамични преобразуватели.

Магнитният поток създаван от възбудителната намотка на преобразувателя, индуцира е.д.н. в рамката и в сместващата намотка. Взаимната индуктивност между възбудителната намотка и рамката зависи от ъгъла на завъртане на рамката т.е. от измерваната неелектрическа величина.

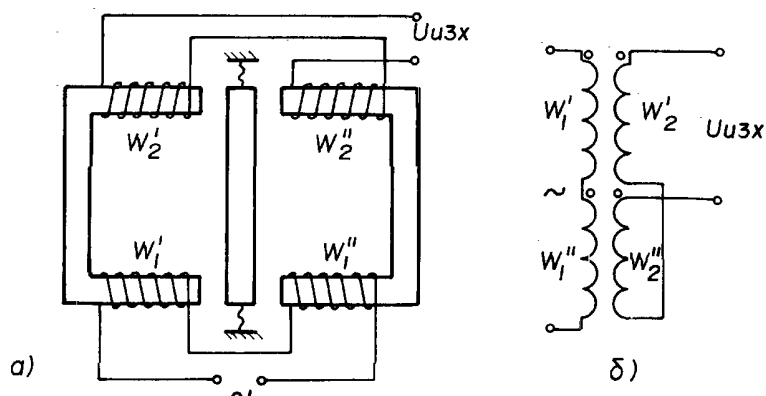
Обикновените трансформаторни преобразуватели имат недостатъци подобни с индуктивните преобразуватели: нелинейност на характеристиката; силно влияние от промяната на температурата на околната среда; привличане между котвата и останалата част на магнитопровода и др.

Някои от посочените недостатъци се избягват при използването на диференциално-трансформаторните преобразуватели. Те се получават от два обикновени преобразувателя с обща котва, както е показано на фиг.2.2.23. и

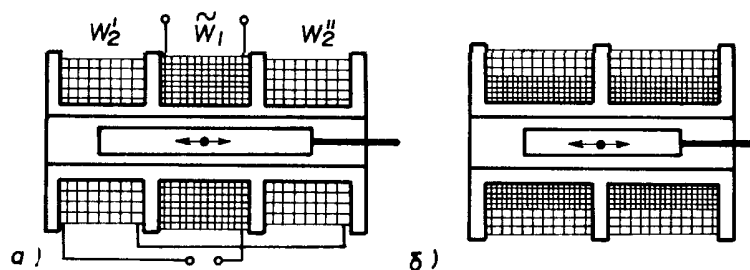
фиг.2.2.24. Първичните намотки са свързани последователно, а вторичните насрещно, така че индуктираните в тях е.д.н. се изваждат.

На фиг.2.2.23.а. е показан диференциално-трансформаторен преобразувател с плосък магнитопровод, а на фиг.2.2.23б. е показана електрическата схема на свързване на намотките.

По-голямо приложение в практиката са намерили диференциално-трансформаторните преобразуватели селеноиден тип /фиг.2.2.24/. От своя страна те биват със съсредоточена първична намотка /фиг.2.2.24а/ и с разпределена първична намотка /фиг.2.2.24.б/.



Фиг.2.2.23. Диференциално трансформаторен преобразувател.



Фиг.2.2.24. Диференциално трансформаторни преобразуватели.

Преобразувателите със съсредоточена намотка са по-технологични, осигуряват по-голяма мощност, но притежават нелинейна характеристика.

Трансформаторните преобразуватели се използват за измерване на линейни и ъглови премествания и на всякакви технологични величини, които могат да се сведат до премествания.

Голямо предимство на трансформаторните преобразуватели е, че те могат да работят в условията на високи налягания, в агресивни среди и голяма температурна разлика /от +600°C до -250°C/.

Недостатъците на трансформаторните преобразуватели се изразяват в силно влияние от честотата и амплитудата на захранващото напрежение; трудно

"нулиране", особено при наличие на хармоници - породени от възникването на капацитивна връзка между първичната и вторичната намотки.

2.2.8. Магнитоеластични преобразуватели.

Действието на магнитоеластичните преобразуватели се основава на изменението на магнитната проницаемост μ на феромагнитните материали в зависимост от възникващите в тях механични напрежения, предизвикани от въздействието на външната сила F . Изменението σ на магнитната проницаемост на феромагнитната сърцевина с навита върху нея бобина предизвиква изменение на магнитното съпротивление на бобината и общото съпротивление - 7 . По такъв начин се получава и следната верига на преобразуване на измерваната неелектрическа величина

$$F \rightarrow \sigma \rightarrow \mu \rightarrow R_M \rightarrow Z$$

Това явление се нарича магнитострикция. Числената стойност на магнитострикцията се явява относителната деформация, която получава феромагнитното тяло внесено в магнитно поле.

Изменението на магнитните свойства на феромагнитните материали при поява на механична деформация, се нарича магнитострикционен ефект.

Съществува и обратно явление, при което феромагнитното тяло, внесено в магнитно поле, изменя размерите си, т.е. магнитното поле предизвиква в тялото механични деформации.

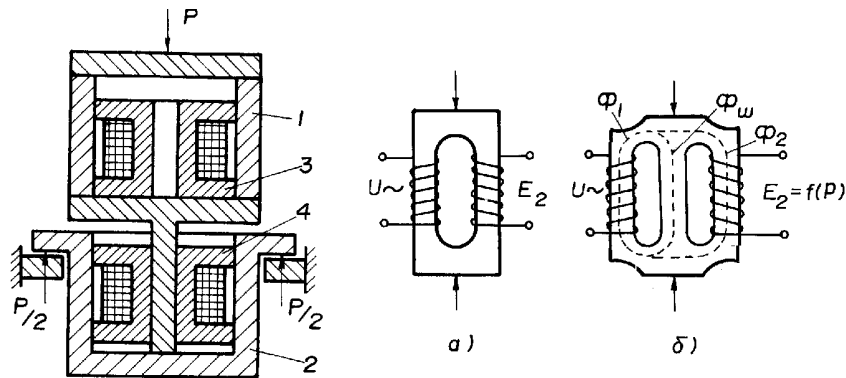
Магнитноеластичният ефект не е еднозначен, т.е. под въздействие на механични напрежения, в слаби магнитни полета, магнитната проницаемост може да нараства, а при силни полета да намалява.

Магнитоеластичните преобразуватели на променлив ток могат да се използват и като преобразуватели трансформаторен тип. В такъв случай индуктираното във вторичната намотка е.д.н, се явява функция на измерваната механична величина. Подобен, диференциално трансформаторен тип е показан на фиг.2.2.25. Чувствителните елементи на преобразувателя се явяват магнитопроводите 1 и 2, затварящи магнитните вериги на сърцевините. При прилагане на външна сила P , магнитопроводът 1 се натоварва на натиск, а магнитопроводът 2 - на опън. Първичните намотки се свързват последователно, а вторичните противоположно.

В измервателната техника се използват и взаимно индуктивни магнитоеластични преобразуватели. Две такива често срещани конструкции са показани на фиг.2.2.26. При конструкцията на фиг.2.2.26а. взаимната индуктивност се изменя в резултат на промяната на магнитното съпротивление на магнитопровода и свързаната с него взаимна индуктивност.

Магнитоеластични преобразуватели

При втората конструкция /фиг.2.2.26б/ в резултат на приложената сила P се променя стойността на магнитния поток преминаващ през средното бедро на магнитопровода. В резултат от въздействието на силата P се променя потокът Φ_2 и индукираното във вторичната намотка е.д.н. E_2 .



фиг. 2.2.25 и 2.2.26

Освен недостатък на описаните конструкции магнитоеластични преобразуватели е наличието на значителен начален сигнал. Този недостатък до известна степен се избягва при асиметричните конструкции но те пък притежават нелинейна характеристика.

Най-подходящи материали за магнитоеластични преобразуватели са желязо-никеловите сплави със съдържание на никел от 50% до 70%, известни още под наименованието пермалой. Те се отличават с висока магнитоеластична чувствителност, но получават остатъчни деформации и промяна на магнитните им свойства при неголеми механични натоварвания.

Разработени са и специални материали с подобрени магнитоеластични свойства. Към тях може да се отнесе желязо-алуминиевата сплав с 12% съдържание на алуминий. Тя има същата магнитоеластична чувствителност, като пермалоя, но специфичното и съпротивление е около 5 пъти по-голямо, което подобрява характеристиката на преобразувателя.

Магнитоеластичните материали променят магнитната си проницаемост с течение на времето, поради което те се подлагат на изкуствено стареене. Погрешността при такъв материал не надхвърля 0,5% за плътните материали и 2% за листовите материали.

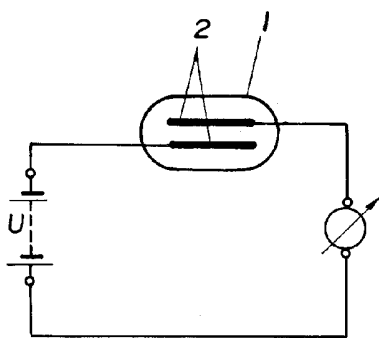
Грешките, възникващи при магнитоеластичните преобразуватели се дължат на: наличие на магнитен хистерезис; нелинейност между магнитната проницаемост на материали и относителната деформация; зависимост от захранващото напрежение; влияние от промяната на температурата на околната среда и др.

Магнитоеластичните преобразуватели се използват за измерване на сили, деформации и всички величини, които могат да се преобразуват в сили. В минната промишленост те се използват за измерване на опъването на лентите на гумено-лентовите транспортъри, при измерване на теглата на вагони и самосвали, за измерване на товарването на клетките и скиповете при подежни уредби и др.

Магнитоеластичните преобразуватели се използват в измерителните схеми като индуктивни и трансформаторни преобразуватели.

2.2.9. Йонизационни преобразуватели.

Принципът на действие на йонизационните преобразуватели се свежда до йонизация на газовата среда, ограничена от стените на камерата, подложена под въздействието на йонизиращи лъчения, представляващи α , β , γ , или X лъчи. Ако към йонизационната камера 1 /фиг.2.2.27/, в която са разположени електродите 2, се подаде електрическо напрежение, то в камерата възниква насочено движение на електрони т.е. протича йонизационен ток. Този ток се явява функция на следните фактори: приложеното напрежение, свойствата на йонизиращото лъчение; параметрите на газовата среда, запълваща камера и параметрите на стените на камерата.



Фиг.2.2.27. Йонизационен преобразувател.

Като йонизиращи лъчения се използват лъчите на радиоактивните вещества α , β , γ , и рентгеновите лъчи. В някои случаи за йонизация може да се използва емисия от положителни йони, а също и термоелектронна емисия.

Най-активни йонизатори се явяват α лъчите. Но тъй като лъчите напълно се поглъщат от тънки пластинки то те могат практически да се използват, само ако радиоактивното вещество е разположено в йонизационна камера.

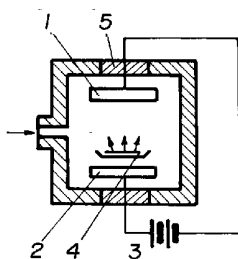
β - лъчите са по-малко активни, но те могат да проникват през тънки пластинки. Затова β - лъчите се използват в две направления: в камерата и извън нея. При йонизация на β - лъчите извън камерата, лъчението се извършва през светлонепроницаема преграда.

γ - лъчите и рентгеновите лъчи се явяват по-слабо активни йонизатори от α и β лъчи, но те притежават голяма способност да проникват през светлонепроницаеми

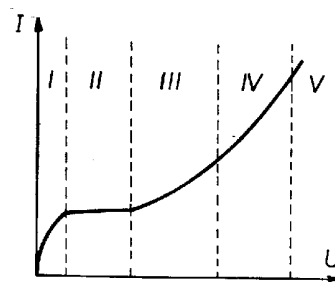
прегради. Затова източниците на γ лъчи и рентгенови лъчи са винаги разположени извън камерата.

Използуваните в настоящия момент преобразуватели на йонизационни лъчения в електрически сигнали се основават на йонизацията на газовете и твърдите вещества под действие на йонизиращи лъчения. Приложение в практиката са намерили следните преобразуватели: йонизационни камери; газоразрядници /Гайгер-Мюлерови броячи/; сцинтилационни броячи и полупроводникови детектори.

Действието на йонизационните камери /фиг.2.2.28/ се основава на йонизационните явления в газова среда. Между електродите 1 и 2 се подава напрежение от източника 3, като - излъчвателя 4 е монтиран вътре в камерата. Под влияние на електричното поле йоните на газа се насочват към противоположните по знак електроди и по веригата на електродите протича йонизационен ток. Зависимостта на йонизационният ток от приложеното напрежение при постоянен състав и плътност на газа, определя волт-амперовата характеристика на йонизационната камера /фиг.2.2.29./.



Фиг.2.2.28. Йонизационна Камера



фиг.2.2.29. Характеристика на йонизационна камера

Характеристиката на йонизационната камера има пет ясно изразени участъка. В първият участък йонизационният ток нараства с увеличаване на електрическото напрежение, тъй като се увеличава скоростта на йоните и намалява вероятността им от рекомбинация.

С увеличаването на напрежението се достига до стойност на йонизационния ток, при който йоните нямат възможност да рекомбинират. Това е вторият участък на характеристиката, където практически токът не зависи от напрежението. При този режим работят йонизационните камери.

При по-нататъшно увеличаване на напрежението, йоните създадени от йонизационното лъчение, добиват голяма енергия и създават по пътя си вторични йони. Вследствие на това йонизационният ток се увеличава пропорционално на приложеното напрежение. В този трети участък работят пропорционалните броячи, а зоната се нарича пропорционална.

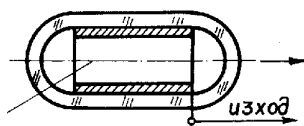
С нарастването на напрежението между електродите, пропорционалността намалява /IV участък/ и характеристиката навлиза в зоната на странична пропорционалност. В V - участък токът не зависи от първоначалната стойност на йонизацията т.е, от енергията и броят на йонизиращите частици. Това е така наречената зона на самостоятелен разряд, в нея работят Гайгер-Мюлеровите броячи.

Камерите за β - излъчване имат по-голям обем от тези за α - излъчване. Източникът на излъчване извън камерата, среща специален прорез, изпълнен от алуминиева мембрана с дебелина от 5 до 10 μm .

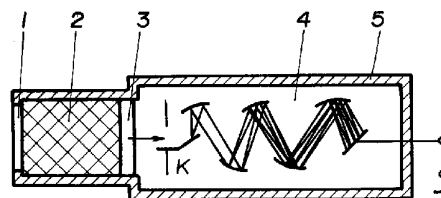
Устройството на камерите за γ - лъчи и рентгенови лъчи се отличава значително от разглежданите до сега камери. Различията се определя, както от по-голямата проникваща способност на тези лъчи, така и от механизма на взаимодействието на лъчите с газовата среда.

Газоразрядните броячи фиг.2.2.30 имат формата на цилиндрични кондензатори. Вътрешният им електрод 1 е нишка с диаметър около 1mm. При прилагане на високо напрежение между електродите, близо до вътрешния електрод се създава силно електрично поле. В резултат на това, йоните добиват голяма кинетична енергия, която е необходима да предизвика вторична йонизация. Използват се за регистриране на α , β и γ частици, като ефикасността им се ограничава от входните възможности на преобразувателя. Всички преминали частици се регистрират 100%.

Принципът на действие на сцинтилационните броячи се основава на възникването на фосфоресценция в някои вещества, когато се облъчат с йонизиращи лъчения. Тези вещества се наричат сцинтилатори. Сцинтилационният брояч /фиг.2.2.31/ се състои от прозорец 1, през който прониква йонизационното лъчение, фосфоресциращо вещество, което свети при йонизационно облъчване /сцинтилатор/ 2, оптична система 3, камера /умножител/ 4 и корпус на брояча 5. Сцинтилаторите представляват твърдо вещество, най-често сернист цинк, активизиран със сребро или мед. Такива устройства се използват за регистриране на α - лъчи.



Фиг.2.2.30. Газоразрядни броячи



ФИГ.2.2.31. Сцинтилационен брояч

За регистриране на γ – лъчи, в сцинтиловите броячи широко се използват кристали на йодист натрий, активиран с талий.

Основен елемент при полупроводниковите детектори е полупроводников кристал с много голяма чистота, йонизационното лъчение въздейства върху този кристал и предизвиква в него йонизация. Към кристала е приложено високо напрежение и когато не е подложен на облъчване, съпротивлението му е голямо, а протичащия ток е малък. При възникване на йонизационно лъчение, полупроводниковия материал се йонизира, а създадените свободни заряди са пропорционални на погълнатата енергия. Под действието на приложеното напрежение, тези заряди получават насочено движение. Най подходящи за полупроводникови детектори са германиевите и силицевите кристали.

Преобразувателите на йонизационни лъчения намират приложение за измерване на плътност, за анализ на газове, за измерване на дебелини на слой от даден материал, за определяне на веществения състав на твърди, течни и пулпообразни материали, за контрол на нива, за измерване на разхода на газове и др.

Основен недостатък е, че изискват защита на работния персонал от вредните лъчения.

Предимства на тези преобразуватели са; възможност за безконтактно измерване на величините; възможност за контрол на лъчения с висока за практиката точност.