

ГЛАВА ТРЕТА

3.1. Генераторни преобразуватели.

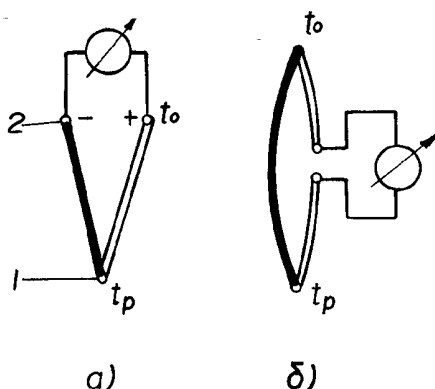
2.3.1. Термоелектрически преобразуватели /термодвойки/

Термоелектрическите преобразуватели са разработени въз основа на ефекта термоелектричество, открито в края на миналия век от Епинус. Това явление се заключава в следното: ако във верига, фиг.2.2.1., състояща се от два различни проводника свързани помежду си в точките 1 и 2, наречени работен и свободен край, нагреем една от тези точки, то във веригата ще се появи е.д.н. наречено термо е.д.н., което е пропорционално на разликата между температурите в т.1. и т.2. Такава термоелектрическа верига, състояща се от два различни проводника, се нарича термодвойка.

За да има еднозначност между измерваната температура и изходния сигнал на преобразувателя, е необходимо температурата на свободните краища на термодвойката да се поддържа постоянна, тогава

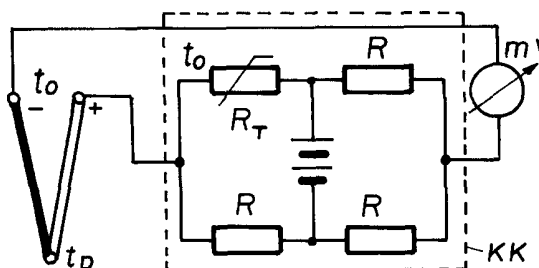
$$E_{TD} = f(t_p) - f(t_0) - C = f(t_p) \quad , 2.3.1.$$

Това уравнение е залегнало в основата на термоелектрическите преобразуватели.



Фиг.2.3.1. Термодвойки, свързване на измерителни уреди към тях

Характеристиката на термодвойките се заснема при температура на свободните краища равна на нула ^0C . Затова при използване на термодвойките за измерване на температура, свободните краища трябва да се поставят в среда с температура равна на 0^0C . Това става като се потопят свободните краища в съд с топъл се лед. Този начин не е подходящ за целите на автоматичния контрол. В този случай се използват устройства за автоматично компенсиране влиянието на температурата на свободните краища. Като пример за едно такова компенсиращо устройство, могат да се посочат компенсационните схеми, които се използват при измерване на температура посредством термодвойка и пирометричен милivolтметър /фиг.2.3.2./.



Фиг.2.3.2. Компенсиращо устройство при термодвойките.

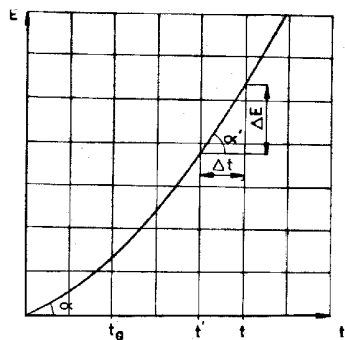
Трите съпротивления на моста са изработени от манганин, а четвъртото от мед или никел R_T . Това съпротивление се поставя в непосредствена близост до свободните краища на термодвойката и има същата температура. С изменение на температурата на свободните краища се изменя и температурата и на съпротивлението R_T . Тъй като останалите съпротивления са температурно независими, то моста се разбалансира и полученото напрежение на дебаланс се сумира или изважда със сигнала от термодвойката. Поради нелинейност на характеристиките на термодвойките пълно коригиране на грешката от промяна на температурата на свободните краища е невъзможна.

Недостатък на описания метод за компенсиране на грешката, от промяна на температурата на свободните краища, е необходимостта от източник за захранване на моста. Освен това, промяната на напрежението за захранване на моста води до грешки при измерването.

Друг метод за определяне на действителната стойност на измерената с термодвойките температура, е чрез въвеждането на поправъчен коефициент. Тази корекция може да се пресметне като се използва характеристиката на термодвойката /фиг.2.3.3/. Нека t_0 да е температурата на свободния край, а t - измерената температура. Следствие на това, че $t_0 \pm 0^\circ\text{C}$, показанията на уреда ще бъдат ΔE и ще съответствуват на температурата Δt . Поправката ще бъде:

$$\Delta t = t - t' = \Delta t \frac{1}{\text{tg} \alpha}, \quad 2.3.2$$

от друга страна $E = \Delta E = t_0 \text{tg} \alpha$ и като се замести във формула 2.3.2. се получава



Фиг.2.3.3. Характеристика на термодвойка

$$\Delta t = t_0 \frac{tg\alpha}{tg\alpha}, \quad ,2.3.3$$

Ако заместим израза $\frac{tg\alpha}{tg\alpha} = K$ за Δt може да се запише

$$\Delta t = K t_0, \quad , 2.3.4.$$

Където K се нарича поправъчен коефициент $/K=0.8-0.95$ за термодвойки от благородни метали и $K=0.5-0.6$ за термодвойки от неблагородни метали/.

Термоелектрическите преобразуватели се използват главно за измерване на температури. Като за измерване на температури до 1000°C се използват термодвойки от неблагородни метали, най-често от мед-копел. При измерване на температури над 1000°C до 1500°C се използват термодвойки от благородни метали, платина-платино-иридий. За измерване на температури над 1500°C се използват термодвойки от термоустойчив материал.

Характеристиките на най-често използваните термодвойки са дадени в таблица 2.3.1.

Таблица 2.3.1.

Наименование на термодвойката	Термо е.д.н. $t_0 = 100^{\circ}$ $t_0 = 0$	Работна температура	
		продължителност на измерване, $^{\circ}\text{C}$	кратковременно измерване, $^{\circ}\text{C}$
платиноиридий-платина	0.43	1400	1600
мед-копел	0.75	350	500
желязо-копел	5./5	600	800
хром-копел	6.9	600	800
хром-алумел	4.1	1100	12500

При измерване на температура с термодвойки често се налага измерителния апарат да се намира на значително разстояние от точката на измерване. Това налага удължаване на проводниците свързващи термодвойката с апарата. Удължените проводници трябва да бъдат от същия материал, от който са изработени термодвойките или да са от друг материал, но задължително да отговарят на условието за термоелектрическа идентичност. Удължителни проводници от други материали се изпълняват при термодвойките от благородни метали. За термодвойките от неблагородни метали удължителните проводници се правят от материала на електродите. За по-голяма гъвкавост те се правят многожични.

В случаите когато е необходимо да се измерва разликата в температурата на две среди се използват диференциални термодвойки /фиг.2.3.4а/. Те представляват две термодвойки свързани противоположно. При измерване с диференциални

термоелектрически термометри е необходимо да се знае температурата на една от измерваните среди.

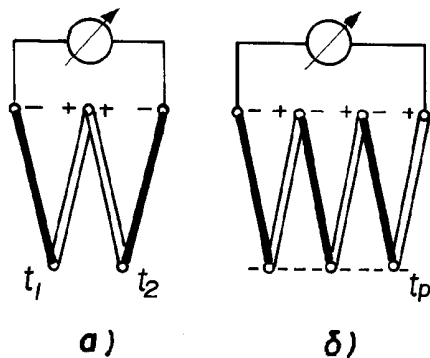
С цел да се повиши чувствителността на термоелектрическите преобразуватели се използват няколко последователно свързани термодвойки /фиг. 2.3.4.б/.

Съществени предимства на термодвойките са: просто устройство; липса на допълнителен източник на захранване; малки габарити; възможност за измерване на високи температури и др.

В сравнение с термосъпротивленията, термодвойките имат по-малък топлинен капацитет, по-малка инертност, по-малки размери на чувствителния елемент. Освен това при термодвойките липсва съществуващото при термосъпротивленията загряване от протичащия през тях ток. Това е съществено предимство, особено при измерване на ниски температури.

Недостатъци на термодвойките се явяват нелинейността на преобразователната им характеристика, ниският к.п.д., необходимостта от компенсиране на температурата на свободния им край и др.

За измерване на динамично изменящи се температури се използва специални малкоинерционни термодвойки с малък топлинен капацитет и малка времеконстанта. Те се правят от тънки електроди и се използват без защитна обвивка.



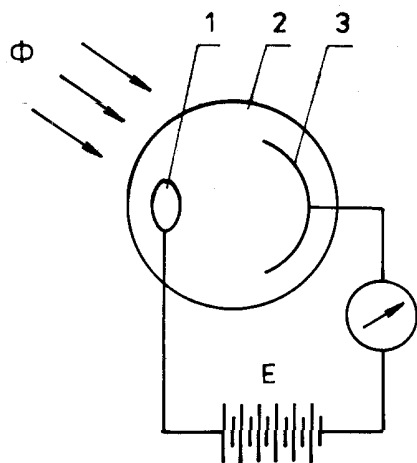
Фиг.2.3.4. Диференциален тип термодвойки

2.3.2. Фотоелектрически преобразуватели

Действието на фотоелектрическите преобразуватели се основава върху ефекта фотоелектричество, заключаващ се в появата на електрически ток при интензивно светлинно облъчване на някои полупроводници.

Откриването на фотоэффекта се дължи на руския учен А.Г.Столетов /1888 г./, който формулира и основните закони на този ефект.

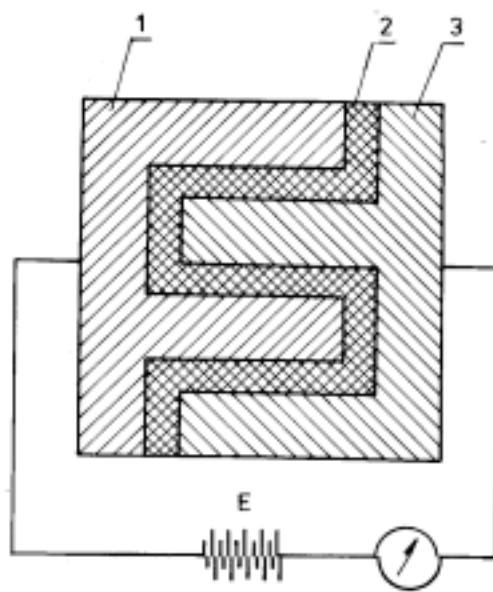
В техническите измервания се използват три типа фотоелементи: фотоелементи с външен фотоэффект /фотоклетки, фиг.2.3.5./, фотоелементи с вътрешен фотоэффект /фотосъпротивления, фиг.2.3.6./ и вентилни фотоелементи, фиг.2.3.7. За практическото използване на отделните фотоелементи, в измерителната техника са важни следните характеристики:



Фиг.2.3.5. Фотоклетка

Фиг.2.3.6.

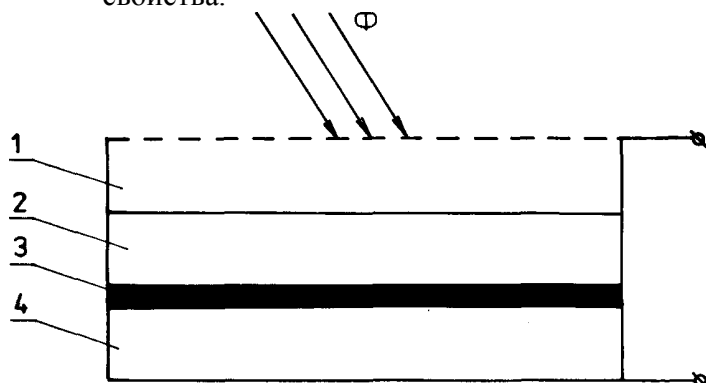
Фотосъпротивление



1. Светова характеристика, тя определя зависимостта между фото-тока и интензивността на светлинното лъчение. Съгласно закона на Столетов, фототока е правопрпорционален на интензивността на светлинния поток /при постоянен спектрален състав на потока/.
2. Спектрална характеристика, определя зависимостта на фото-тока от дължината на светлинните вълни. Трябва да се има предвид, че използването на фотоелементи в комбинация със съответно подбрани светофилтри, осигурява висока чувствителност на фотоелемента в необходимата част на спектъра.
3. Честотна /инерционна/ характеристика, определя големината на фототока от честотата на изменение и интензивността на светлинния поток. Външния фотоэффект настъпва практически мигновено, след осветяване на повърхността на фотоелемента, т.е. може да се приеме за "без инерционен". Обаче в някои случаи вторичните явления възникващи в редица фотоелементи, пораждаат инерционност на фототока. Такова явление е констатирано при фотосъпротивленията и вентилните фотоелементи.
4. Волтамперна характеристика, определя зависимостта между фототока и приложеното напрежение /при зададена интензивност на светлинния поток/. Отделните фотоелементи, имат различни граници за изменение на

напрежението, обусловени от възникването на самостоятелен разряд на фотоелемента.

5. Температурна характеристика. Повишението на температурата води до увеличаване броя на бързите електрони, а следователно и до увеличение на фототока и изменение на спектралната характеристика на фотоелемента. При температура превишаваща определена стойност, различна за отделните типове фотоелементи, последните рязко изменят фотоелектрическите си свойства.



Фиг.2.3.7.
Вентилен
фотоелемент.

6. Умора на фотоелемента, изразяваща се в изменение на характеристиките на фотоелемента в зависимост от времето му на работа. Във връзка с това, за практическото използване на фотоелементите е важно да се знае изменението на световите му характеристики по време, както и оптималния режим на експлоатация.

Фотоелементите с външен фотоэффект биват вакумни и газонапълнени. По-голямо разпространение са намерили вакумните с кислородно-цезиеви катоди. На фиг.2.3.8 а са показани световите характеристики на фотоелементи вакумен и газонапълнен тип. Както се вижда от приведените криви, пропорционалността между фототока и светлинния поток се запазва само при вакумните фотоелементи, поради което те са намерили по-голямо приложение от газонапълнените.

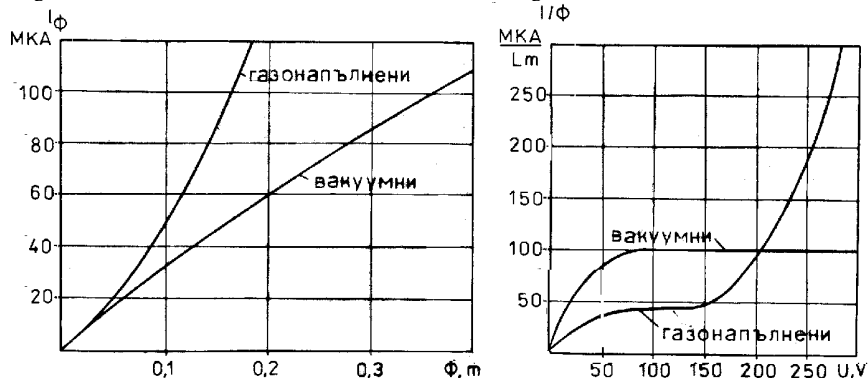
За по-правилен избор на фотоелектрически преобразуватели е по-удобно да се използва зависимостта между фототока и приложеното напрежение, т.е. волт-амперната характеристика. На 2.3.8б са дадени приведените към единица светлинен поток, криви за промишлени типове фотоелементи.

Кривите показани на фиг.2.3.8, характеризират само статичната чувствителност S_{Φ} на фотоелемента. При работа на фотоелемента под товар R_n трябва да се отчита и динамичната чувствителност ρ_g която е равна на:

$$\rho_g = \frac{S_{\Phi}}{1 + \frac{K_H}{K_I}}, \quad 2.3.5$$

където R_i , е вътрешното съпротивление на фотоелемента.

При $R_i \gg R_g$ което често се случва на практика, $\rho_g = \rho_\phi$



Фиг.2.3.8. Характеристики на фотоелементи.

Вакумните фотоелементи работят практически безинерционно. Въпросът за инертността при газонапълнените е от съществено значение, особено при използването им за измерване на бързо променящи се процеси. Опитът показва, че при газонапълнените изменението на фототока изостава в сравнение със светлинния поток, т.е. те притежават известна инертност.

Инерцията на газонапълнените фотоелементи се обяснява с малката подвижност на положителните йони, които обуславят тока на фотоелемента, тъй като за преместването на тези йони е необходимо известно време. Следователно инерцията на газонапълнените фотоелементи в значителна степен ще зависи от приложеното напрежение. Независимо, че при газонапълнените, чувствителността е около пет-шест пъти по-голяма в сравнение с вакумните фотоелементи, за измерителната техника трябва да се предпочита втората група. Освен това температурната устойчивост на газонапълнените фото-елементи е по-малка, което се явява още едно ограничително условие.

Фотоелементите с вътрешен фотоэффект притежават повишена проводимост, която се поражда от въздействието на лъчистата енергия, предизвикваща не само поява на първични електрони, освобождаващи непосредствено кванти лъчиста енергия, но и от вторичните електрони, възникващи в резултат на взаимодействието между първичните електрони и кристалите на полупроводника. В резултат на това чувствителността на фотосъпротивленията е значително по-висок от чувствителността на фотоелементите с външен фотоэффект. Вътрешният фотоэффект най-добре е изразен при някои полупроводници като: селен, серен калий, серен бисмут и др.

Фотосъпротивленията са силно инертни и непригодни за измерване на динамично изменящи се процеси. Имат непостоянни характеристики и силно се влияят от изменението на околната температура.

Вентилните фотоелементи при интензивно облъчване със светлина се явяват източници на електрически ток. От тази гледна точка те трябва да се отнесат към групата на генераторните.

Напрежението, което се получава на изхода на вентила има минимална стойност и трудно може да се използва в измерителната техника. Но ако от външен токоизточник се подаде ел.напрежение и то с обратна полярност на възникналото, във фотоклетката настъпва пробив и чувствителността и се увеличава десетки пъти.

От тези фотоелементи най-голямо приложение са намерили селеновите вентили, но се използват още и серно-талиеви и серно-сребърни. Чувствителността на вентилните фотоелементи може да достигне 8 mA/Lm, като максималната им чувствителност се проявява при светлинно облъчване с по-голяма дължина на вълната.

Фотоелектрическите преобразуватели се използват за измерване на различни неелектрически величини, свързани със светлинно излъчване. Основно могат да се разделят на две групи.

Към първата група се отнасят фотоелектрическите преобразуватели, в които фототока се определя от светлинния поток зависещ от своя страна от измерваната неелектрическа величина.

Към втората група се отнасят фотоелектрически преобразуватели, работещи в режим при който фототока не е функция на измерваната величина.

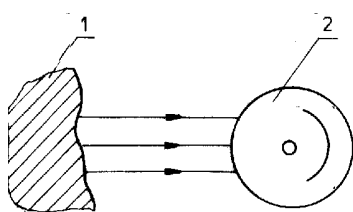
Към фотоелектрическите преобразуватели от първа група се поставят изисквания за стабилност на характеристиката във времето и от въздействието на странични фактори колебание на захранващото напрежение, промяна на околната температура и др. Към втората група такива изисквания са излишни.

Основните принципи на приложение на фотоелементите в качеството си на преобразуватели се заключават в следното:

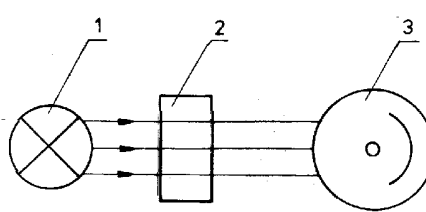
1. Източника на лъчиста енергия се явява обект на измерване /Фиг.2.3.9/, а светлинния поток се отправя към чувствителен фотоелемент. Подобни схеми се използват при фотоелектрическите и цветни пирометри, където интензивността на светлинния поток и спектралното и разпределение се явяват функция на измерваната температура.
2. Светлинният поток преминава през обекта на изследване и частично се поглъща в зависимост от контролираната среда /фиг.2.3.10/. Към преобразувателите работещи на подобна схема, се отнасят фотоелектрическите калориметри, използвани за контрол на прозрачни газове или течни среди.
3. Светлинният поток /фиг.2.3.11/ се отразява от повърхността на машинната част и попада върху фотоелемента, индуктирайки в него поток. Отражателната способност на металната повърхност, зависи от качеството и

състоянието на тази повърхност, а фототока се явява функция на контролираната неелектрическа величина. По подобна схема работят фотоелектрическите преобразуватели, използвани за измерване и контрол на гладкостта на металните повърхнини.

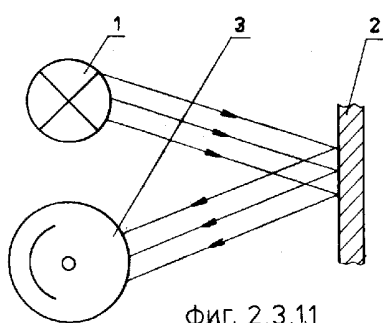
4. Постъпващия към фотоелемента светлинен поток, /фиг. 2.2.12/, среща обекта на измерване, закриващ една част от него и променящ по този начин осветеността му. Подобни преобразуватели се използват за измерване на линейни премествания, дебелини на нишки и др. Тази схема може да се използва и за работа на фото-елементите във втората група, ако обекта на измерването, при своето преместване, закрива част от светлинния поток.



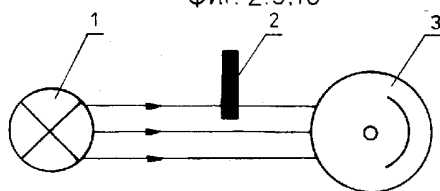
Фиг. 2.3.9



Фиг. 2.3.10



Фиг. 2.3.11



Фиг. 2.3.12

Приложение на фотоелементите.

2.2.5. Пиезоелектрически преобразуватели.

Действието на пиезоелектрическите преобразуватели се основа на свойството на някои диелектрици да генерират е.д.н. при еластична деформация. Тези материали се наричат пиезоелектрици. Различава се прав и обратен пиезоефект.

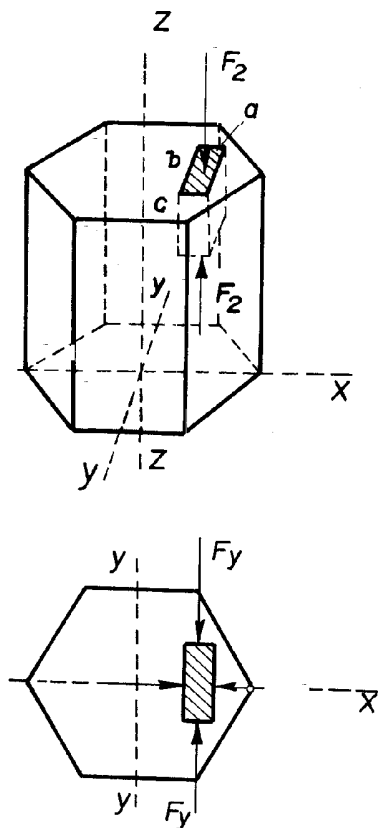
Първият пиезоелектрически ефект представлява поява на електрически заряди по повърхността на някои диелектрици или електрическа поляризация в тях, под влияние на външна механична сила или деформация. При премахване на външното натоварване, диелектрика възвръща първоначалното си не наелектризирано състояние. Подобни диелектрици се наричат пиезоелектрици. Обратният пиезоефект се заключава в това, че в някои пиезоелектрици, намиращи се в силно електромагнитно поле, възниква деформация. Тези пиезоелектрици се наричат още

и сегнетоелектрици. Най-силно този ефект е изразен в сегнетовата сол, откъдето те носят името си. Водеща роля в разработването на теорията за сегнетоелектриците принадлежи на Курчатов и неговата школа.

Най-голямото приложение в измервателната техника в качеството си на пиезоелектрик е намерил кварца. В него пиезоелектрическите свойства, а така също и независима пиезоелектрическа характеристика в широки граници.

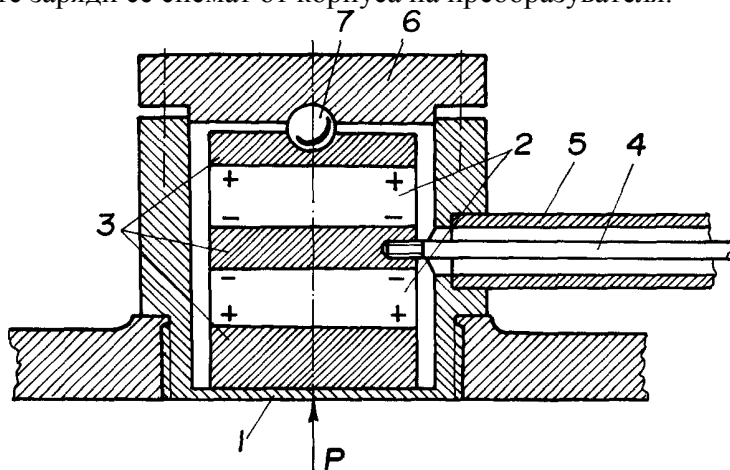
Елементарната структурна клетка в кристала на кварца представлява шестостенна призма /фиг.2.3.13/. В кристала се различават три главни оси; вертикална $Z-Z$ - наречена оптична, хоризонтална $X-X$ наречена електрична и $Y-Y$ механична.

Ако от кристала се изреже пластинка с формата на паралелепипед и стените a , b и c са съответно успоредни на електричната, механичната и оптичната ос и ако пластинката се натовари по тези оси, ще се констатира следното: при действие на товар по електричната ос $X-X$ кристала се наелектризира като вектора на поляризацията ще има посока по оста $X-X$ т.е. възниква така наречения надлъжен пиезоефект. Ако пластинката се натовари по механичната ос $Y-Y$, кристала също се наелектризира, като вектора на поляризация е насочен по-оста $Y-Y$ т.е. възниква напречен пиезоефект. Ако пластинката се натовари по ос $Z-Z$ в нея не се констатира електрически заряди, поради което оста $Z-Z$ се нарича още и неутрална.



Фиг.2.3.13. Структурна клетка на кварца.

Това свойство се използва при пиезоелектрическите преобразуватели, които могат да бъдат изпълнени с две или няколко последователно свързани платини. На фиг.2.3.14. е показан пиезоелектрически преобразувател с две кварцови пластини. Измерваното налягане действа върху мембраната 1, представляваща дъно на корпуса. Кварцовите пластини 2 са притиснати между металните опори 3. Средната опора е свързана с извода 4, минаващ през изолационната втулка 5. Капака 6 се свързва с корпуса чрез сферата 7 и предава налягането върху пластините равномерно, без концентрации на напрежения. Кварцовите пластини са разположени така, че по веригата на извода да се подава отрицателен потенциал. Положителните заряди се снемат от корпуса на преобразувателя.



фиг.2.3.14. Пиезоелектрически преобразувател.

Пиезоелектрическите преобразуватели се използват за измерване само на динамично изменящи се процеси. Те са неподходящи за измерване на статични процеси, тъй като пиезокристал се изтощава бързо и уреда става негоден за употреба. Върху точността на измерване с пиезоелектрически преобразуватели влияят: важността, температурата, паразитните механични натоварвания и др.

Влагата намалява импеданса на преобразувателя. Тя влияе особено силно когато за усилване на сигнала се използват усилватели с голямо входно съпротивление.

Температурата променя вътрешния импеданс и пиезоконстантата на преобразувателя. В това отношение кварца е за предпочитане пред останалите пиезоелектрици.

Паразитните механични натоварвания действуват по различни направления върху пиезопреобразувателя и предизвикват промяна на сигнала.

С пиезоелектрическите преобразуватели се измерват сили и други технологични величини, които могат да се преобразуват в сили, като тегло, налягане, ускорение и др.

Обратният пиезоефект се използва за възбуждане на механични трептения, като се използва състоянието на резонанс. Това свойство на пиезоелементите намира

приложение за реализиране на генератори за ултразвук, стабилизиране на електрически сигнали и др.

Основни предимства на пиезоелектрическите преобразуватели са: висока стойност на пиезоелектрическата константа /висока чувствителност, висока диелектрична константа/ водеща до намаляване влиянието на паразитните капацитети; независимост от температурата/ до 200 °С запазват пиезоелектрическите си качества, от 200 до 500°С те се изменят незначително, над тази граница бързо намаляват и при 573 - 575°С - напълно ги загубват/; висока механична якост, възможност за получаване на преобразуватели с различни форми и др.

2.3.4. Индукционни преобразуватели.

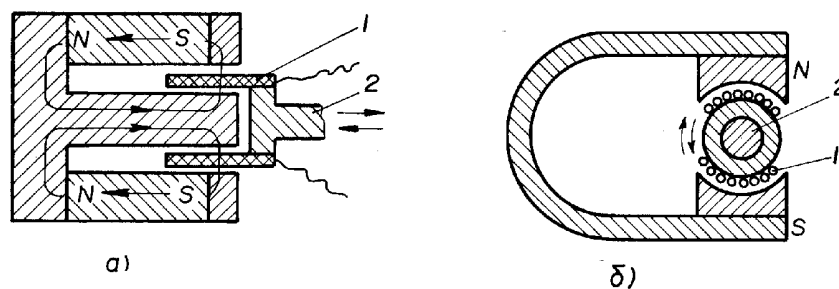
Индукционни се наричат преобразуватели, в които измерваната неелектрическа величина се преобразува в индуктирано е.д.н. Съгласно закона на електромагнитната индукция, индуктираното е.д.н., “I” се определя от скоростта на изменение на магнитния поток Φ и зависи от броя на навивките на бобината W, т.е.

$$I = -W \frac{d\Phi}{dt} \quad ,2.3.6.$$

Поради което индукционните преобразуватели непосредствено могат да се използват за измерване на линейни и ъглови премествания.

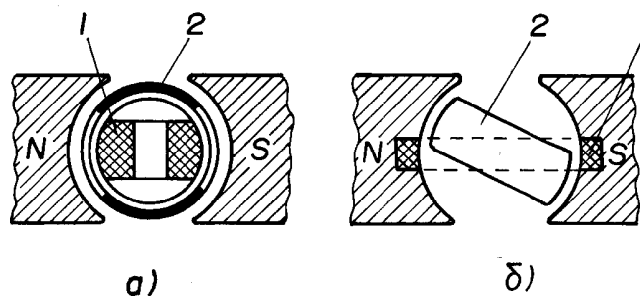
По отношение на принципа си на действие, индукционните преобразуватели могат да се разделят на две групи:

При преобразувателите от първата група /фиг.2.3.15/ бобината 1 е механически свързана с изследвания обект чрез вала 2 и се премества относно постоянен магнит линейно /фиг.2.3.15 а/ или ъглово /фиг.2.3.15 б/.



Фиг.2.3.15. Индукционни преобразуватели.

При преобразувателите от втората група, бобината и магнитната система остават неподвижни, а подвижна се явява частта закрепена с изпитвания вал. Тази част може да бъде пръстен 2 /фиг.2.3.16 а/ или котва 2 /фиг.2.3.16 б/ изработени от феромагнитен материал, изменящи при своето движение магнитното съпротивление на системата.



Фиг.2.3.16. Индукционни преобразуватели.

При преобразувателите в тази група трябва да се променливата съставляваща на магнитния поток, а така също и повърхностния ефект на разпределение на магнитния поток.

Най-голямото изменение на магнитния поток, може пресметне по формулата

$$\Delta\Phi = \frac{F}{R_M} - \frac{F}{R_M + \Delta R_M} \quad , 2.3.7.$$

Където F е магнитодвижещата сила; R_M и $/R_M + \Delta R_M/$ - крайни стойности на магнитното съпротивление.

В такъв случай амплитудата и действителната стойност на променливата съставляваща на потока, т.е. индуктираното е.д.н. е равно съответно на:

$$\begin{aligned} \Phi_{\max} &= \frac{\Delta\Phi}{2} \\ \Phi &= \frac{\Delta\Phi}{2\sqrt{2}} \quad , 2.3.8 \\ E = \omega W \Phi &= \frac{\omega W F}{2\sqrt{2}} \left(\frac{1}{R_M + \Delta R_M} \right) \end{aligned}$$

Където ω е кръговата честота на захранващия ток; W - броя на намотките на бобината.

За да се повиши чувствителността на индукционните преобразуватели е необходимо да се увеличат броя на навивките на бобината. Но при зададените размери на бобината, това означава намаляване на диаметъра на проводника и бързо нарастване на съпротивлението на преобразувателя. Увеличаването на броя на навивките при запазване на диаметъра на проводника води до нарастване на въздушната междина, което пък от своя страна намалява стойността на магнитната индукция. Оптималният брой навивки може да се определи по изчислителен път. При пресмятането трябва да се отчита и реакцията на полето създавано от бобината. По възможност токът през бобината трябва да бъде малък, за да се получи по-малка индукция създавана от намотката в сравнение с тази създавана от постоянен магнит.

В минната промишленост най-широко приложение е намерил индукционния датчик ДМ-2, съветско производство. Използува се за измерване на скорости на верижни и лентови транспортъори.

Индукционните преобразуватели се използват за измерване на линейни и ъглови скорости и на величини, които се преобразуват в ъглова или линейна скорост. Голямо приложение са намерили постояннотоковите тахогенератори. Използват се главно при управлението на подежни уредби за измерване на скоростта на подежните съдове.

Погрешността на индукционните преобразуватели се дължи на изменението на околната температура, стареенето на постоянните магнити, въздействие на външни полета, нелинейност на преобразователната характеристика и др.