

## ВТОРА ЧАСТ

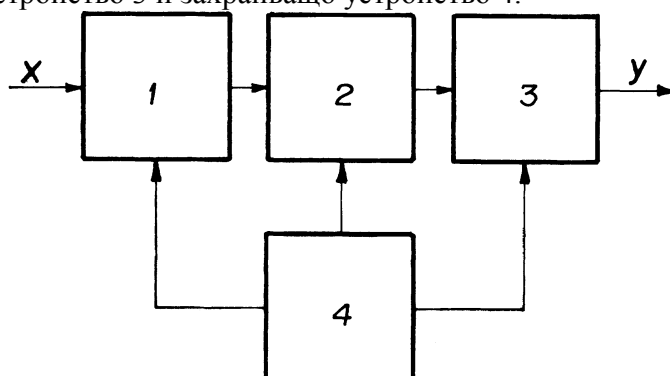
### ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА НЕЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕЛИЧИНИ

#### ГЛАВА ПЪРВА

##### 2.1. Класификация, характеристики и основни параметри на преобразувателите.

Съвременното минно производство изисква висока точност на измерване и поддържане в определени граници на различните технологични параметри: температура, налягане, линейно преместване, честота на въртене, вибрации и др. Това изискване се удовлетворява най-пълно чрез използването на електрически и електронни методи за измерване на параметрите. При тези методи измерваната неелектрическа величина се преобразува в подходяща електрическа величина, като електродвижещо напрежение, електрическо съпротивление, капацитет, индуктивност и др.

Уредите, които работят по този принцип, имат следните основни елементи /фиг.2.1.1/: преобразувател 1, електрическа свързваща или усилваща схема 2, регистриращо устройство 3 и захранващо устройство 4.



фиг.2.1.1. Структурна схема за измерване на неелектрически величини.

Преобразувателят е най-важната част на уреда. Той представлява устройство, което възприема измененията на измерваната величина и ги преобразува в изменения на друга величина, удобна за усилване, предаване на разстояние или за използване в друга форма. В повечето от случаите технологичният параметър, който характеризира определен процес и е обикновено неелектрическа величина, се преобразува в електрическа, а съответните преобразуватели се наричат електрически.

Основните изисквания, които се предявяват към преобразувателите, са:

- а/ осъществяване на непрекъсната и еднозначна зависимост между изходната и входната величина;
- б/ достатъчна чувствителност, колкото по-голяма е чувствителността на преобразувателя, толкова по-висока е точността на измерването;
- в/ постоянство на характеристиките с течение на времето;

- г/ малка инертност;
- д/ отсъствие на обратно въздействие на преобразувателя върху контролирания процес;
- е/ минимално влияние на външните фактори /температура, влажност, вибрации и др./ върху характеристиките на преобразувателя;
- ж/ простота, технологичност и ремонтпригодност на конструкцията.

Към преобразувателите, които са предназначени за работа в системите за автоматично регулиране, се поставят и допълнителни изисквания за висока надеждност, ниско ниво на паразитните шумове и минимално влияние от външни полета /магнитни, електромагнитни, електростатични и др./

Електрическите преобразуватели могат да бъдат разделени по различни признаци. Най-съществено значение обаче има класифицирането им в зависимост от характера на изходната електрическа величина и в зависимост от структурната схема на преобразувателя.

В зависимост от характера на изходната електрическа величина, преобразувателите се делят на параметрични и генераторни.

Параметрични преобразуватели са тези, които под действие на неелектрическата величина изменят някои от електростатичните си параметри /съпротивление, капацитет, индуктивност и др./. За измерването на тези параметри е необходим външен токоизточник. Тези преобразуватели са по-прости по устройство, поради което са получили широко приложение. Към тях спадат контактни преобразуватели, термосъпротивителни преобразуватели, капацитивни преобразуватели индуктивни преобразуватели, фотоелектрически преобразуватели, магнетоеластични преобразуватели и др.

Генераторните преобразуватели преобразуват входната величина в електродвижещо напрежение. Поради това в повечето случаи измервателната схема, по която те работят, е сравнително проста.

Към тази група спадат индукционни преобразуватели, термоелектрически преобразуватели, вентилни фотоелектрически преобразуватели, преобразуватели на Хол и др.

В зависимост от структурните схеми, електрическите преобразуватели биват, преобразуватели с последователно преобразуване, диференциални преобразуватели и компенсационни преобразуватели.

Преобразувателите с последователно преобразуване се използват в уреди, които работят по метода на непосредствената оценка /фиг.2.1.1./. При този метод резултатът от измерването се получава след редица последователни преобразувания на входната величина. Чувствителността на такъв преобразувател

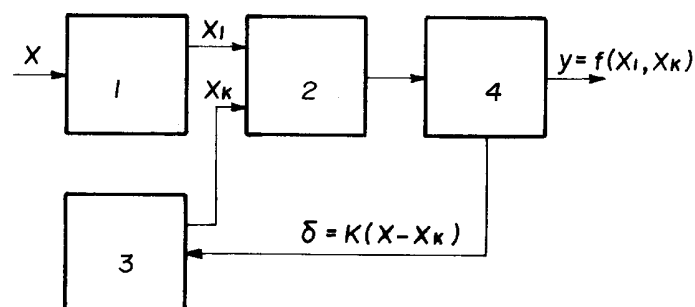
представлява произведение от чувствителностите на отделните звена /преобразуватели/.

Диференциалният преобразувател представлява обединяване на два еднотипни преобразувателя, изходите на които са включени така, че полезните сигнали се сумират алгебрично, а смущаващите влияния се компенсират. Такова включване чести пъти се осъществява чрез конструктивно обединяване на двата преобразуватели.

Диференциалните преобразуватели позволяват да се получи компенсиране на температурните грешки и други влияния, които внасят случайни грешки при измерването. Пълна компенсация обаче може да се получи само за една стойност на входната величина.

Компенсационните преобразуватели представляват понататъшно развитие на диференциалните преобразуватели. Тяхното действие се базира на сравняването на измерваната величина с еталонна величина /фиг. 2.1.2./. На сравняващия елемент 2 се подава преобразуваната от чувствителния елемент 1 величина  $X_1$  и еталонната величина  $X_k$  от задаващото устройство 3. Получената в сравняващия елемент разлика  $\delta = K(X_1 - X_k)$  след съответно усилване в елемента 4, под формата на компенсиращо въздействие се подава обратно през задаващото устройство на сравняващия елемент.

Компенсационният преобразувател представлява затворена следяща система, Която непрекъснато поддържа равенството  $X_1 \approx X_k$  или  $X \approx X_k$ . При използването на компенсационни преобразуватели, измерването се осъществява практически без консумиране на енергия във входната верига. Устройството им е значително по-сложно от това на преобразувателите с последователно преобразуване и на диференциалните преобразуватели. Основното им предимство е възможността лесно да се получи предварително зададената функционална връзка между входната и изходната величина.



фиг. 2.1.2. Структурна схема на компенсационен преобразувател.

Основно приложение намират преобразувателите с последователно възбуждане.

Един и същи преобразувател може да бъде използван за измерване на различни неелектрически величини по електрически път. Също така е възможно и измерването на една неелектрическа величина по електрически път да става с помощта на различни преобразуватели. Изборът на една или друга комбинация трябва да става, като се вземат предвид изискванията в конкретния случай, стойността на измерваната величина, видът и точността на измервателните средства, с които разполагаме и др.

Независимо от различните видове и случаи на използване на преобразувателите, те могат да бъдат сравнявани по общи характеристики. Тези характеристики са следните: статична характеристика, чувствителност, динамична характеристика и точност.

Статичната характеристика представлява зависимостта между входната величина  $X$  и изходната величина  $y$  в установен режим.

Чувствителността на преобразувателя  $\rho$  е отношението между изменението на изходната величина  $\Delta y$  и изменението на входната величина  $\Delta x$  ;

$$\rho = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad , 2.1.1.$$

Както се вижда от 2.1.1. чувствителността на преобразувателя представлява стръмността на статичната характеристика в определена точка.

В зависимост от характера на статичната характеристика, преобразувателите биват линейни и нелинейни. Нелинейните преобразуватели се характеризират с променлива чувствителност, линеен обхват и зона на нечувствителност.

Под линеен обхват се разбира областта между две стойности на входната величина, в която статичната характеристика може да се смята за линейна.

Зоната на нечувствителност е максималната разлика между две стойности на входната величина, при която не се получава изменение на изходната величина.

Динамична характеристика на преобразувателя се нарича зависимостта на изходната величина от входната при бързи изменения на последната. Динамичната характеристика определя поведението на преобразувателя в преходните режими. При изменение на входната величина, изходната величина не се изменя едновременно с нея, а с известно закъснение. Интервалът от време между началото на изменението на изходната величина определя закъснението на преобразувателя. Колкото това време е по-голямо, толкова преобразувателя е по-инертен.

#### 2.1.1. Грешки при измерване на неелектрически величини.

Степента на съответствие между действителната стойност на измерената величина и полученият резултат в процеса на проведеното измерване, определя грешката, т.е. Качеството на измерителните уреди и системи. С цел да бъдат изучени и

анализирани, грешките се класифицират по различни признаци, но основно те се делят на три основни групи; груби, систематични и случайни.

#### 1. Груби грешки при измерване.

Причините, които пораждаат грубите грешки, биват обективни и субективни. Към първите се отнасят резките колебания на температурния режим, външни сътресения на измервателния уред, влияние на външни паразитни полета, грешки от паралакса и др. Субективните причини са свързани с оператора, който може да допусне груби грешки поради недостатъчна квалификация, небрежност или умора.

Грубите грешки се изключват обикновено от резултатите при измерването, обаче при наличието на груби грешки трябва да се анализират причините, които са ги предизвикали.

#### Б. Систематични грешки.

Систематичните грешки се предизвикват от действието на известни фактори за съществуването, на които предварително може да се знае и успешно да се води борба с тях. Причините, които пораждаат систематичните грешки са следните: методични, инструментални, температурни, субективни и грешки от установяване на уредите в пространството.

Причина за възникването на методичните грешки е възприетият метод на измерване. Често на входа на измерителното устройство се подава не измерваната величина, а друга, която не отразява измерваната достатъчно точно. Измерителните уреди, освен към измерваната величина, са чувствителни и към други наричани смущаващи величини, дадени в техническата документация на измервателния апарат. Резултатната грешка възникваща при тези условия се нарича основна грешка.

Инструменталните грешки се делят на грешки на уреда, свързани с неговата конструктивна схема, грешки при изработването и сглобяването на отделните части на уреда, неточност при градуирането на скалата, грешки дължащи се на калибрите, използвани за настройка на измерителните инструменти, прогресивно намаляване или нарастване на измерителния натиск по дължината на скалата и др.

Температурни грешки възникват вследствие на отклоненията от нормалната температура 20°C.

В най-общия случай температурните грешки при измерването се определят от равенството

$$\Delta L = L(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2)$$

Където L е измерваният размер;

$\alpha_1$  - коефициентът на линейното разширение на измерваната машинна част  $^{\circ}\text{C}$  ;

$\Delta t_1$  - разликата между температурата на измервания детайл и нормалната температура, т.е.  $\Delta t_1 = (t_1 - 20^\circ\text{C})$ ;

$\alpha_2$  – коефициентът на линейното разширение на измервателното средство  $^\circ\text{C}$ ;

$\Delta t_2$  - разликата между температурата на измервателното средство и нормалната температура, т.е.  $\Delta t_2 = (t_2 - 20^\circ\text{C})$ ;

Температурните грешки при измерването няма да се появят при  $\alpha_1 = \alpha_2$  и  $\Delta t_1 = \Delta t_2$  – случай, малко вероятен. Обаче при изравняване температурите на измерваната част и измервателното средство с нормалната температура, температурната грешка ще бъде равна на нула, тъй като  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 0$ .

За да се намалят температурните грешки, измерването трябва да се осъществява след изравняване на температурата на измерваната машинна част с температурата на околната среда. Това ще бъде достатъчно, ако коефициентите на линейно разширение  $\alpha_1$ , и  $\alpha_2$  са близки по стойност. Но ако те се различават значително, необходимо е измерването да се извърши в помещение с нормална температура -  $20^\circ\text{C}$ , след като машинната част и измервателните средства са престояли в това помещение достатъчно време за изравняване на температурата им с околната.

Времето  $T$ , необходимо за изравняване на двете температури, може да се изчисли по формулата

$$t = K \frac{Q}{F} \lg \left( \frac{\Delta T}{\Delta t} \right)$$

Където  $K$  е коефициент на охлаждане;  $Q$  - маса на машинната част;  $F$  - повърхност на машинната част;  $\Delta T$  - разлика между температурата на машинната част и температурата на околната среда;  $\Delta t$  - разлика между температурата на машинната част при изнасянето и от околната среда и тази среда.

Коефициентът на охлаждане се приема  $K = 31,3$  при измерване на машинната част върху нетоплопроводна поставка /дървен рафт/.  $K = 6,1$  при измерване върху метална плоча /чугун или стомана/ и  $K = 1,75$  при измерване в течна среда.

Влиянието на температурните грешки е силно изразено при измерването на машинните части, непосредствено след процеса на обработка, особено когато температурата им достига до  $30 - 40^\circ\text{C}$  и няма достатъчно време за изравняването и с околната температура.

Субективни грешки, които зависят от квалификацията на експериментатора.

Субективните грешки биват случайни и постоянни. Случайните субективни грешки се дължат на недостатъчното осветление върху скалата, умора на оператора и редица други причини, чието влияние трудно се отстранява.

Грешките на метода, се дължат на неподходящо избрания метод на измерване. Ако даден метод е подходящ за едно измерване, може да се окаже напълно неподходящ за друго.

Грешките от установяването на уреда в пространството се дължат на промяната на положението на уреда в пространството. В инструкцията за експлоатация на измервателните уреди е указано в какво положение трябва да се провежда измерването с него. Промяната на това положение затруднява правилната му работа и внася съществени корекции в неговата точност.

#### В. Случайни грешки при измерването.

Случайните грешки са непостоянни, както по стойност, така и по знак, предварително не могат да бъдат определени и следователно не могат да се изключват от резултата на измерването.

Причините, които пораждат случайните грешки, носят случаен характер и са твърде разнообразни, например:

1. Непостоянство на измерителния натиск поради изменение на силите на триене, възникнало от неправилно манипулиране с измерителните инструменти;
2. Колебание на температурния режим, дължащо се на изменението на температурата в помещението, нееднаквата температура на измерваните части - особено ако се измерват веднага след обработването;
3. Нееднакво отчитане от различните оператори на дробните части от деленията на скалата;
4. Изменение в положението на машинната част при повторно измерване, поради което отклоненията на формата влияят върху резултата от измерването и пр.

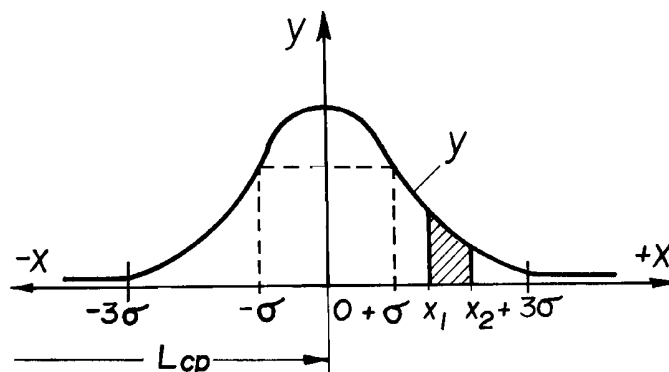
Независимо, че случайните грешки не могат да бъдат определени предварително, но когато те са получени след многократно измерване на машинните части, тогава честотата на тяхното появяване, се подчинява на закона на нормалното разпределение на случайните величини, т.е. на закона на Гаус.

Аналитичната зависимост между плътността на вероятността и случайната величина  $x$ , при нормалният закон, има следния вид:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad 2.1.2$$

където  $\sigma$  е средноквадратичното отклонение на случайната величина;  $e$  - основа на естествения логаритъм /  $e = 2,718282$  /.

Графичният израз на нормалния закон е показан на фиг.2.1.3. Кривата е камбанообразна, симетрична, с два края, които асимптотично клонят към оста  $x$ .



фиг. 2.1.3. Нормален закон на разпределението.

Площта под кривата на разпределението и оста  $x$  се определят от интеграла

$$\int y dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = 2 \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = 1$$

Ако положим  $\frac{x}{\sigma} = z$  и  $dx = \sigma dz$ , последният интеграл в горното равенство приема вида

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 0.5$$

за интеграла

, 2.1.4 2.1.5

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

известен в математическия анализ като функция на Лаплас са известни таблици, дадени в приложение 1.

Функцията на Лаплас позволява да се определи вероятността  $P$  за появяване на случайната величина във всеки желан интервал, например  $(X_1, X_2)$ , т.е.

$$P(x_1 < x < x_2) = \Phi(z_2) - \Phi(z_1) = \Phi\left(\frac{|x_2|}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{|x_1|}{\sigma}\right), \quad 2.1.6.$$

Една от характерните особености на нормалния закон са двете инфлексни точки при  $X = -\sigma$  и  $X = +\sigma$ . Изчислено е, че в интервала  $\pm\sigma$  се появяват около 68 % от всички възможни случаи, а в интервала  $\pm 3\sigma$  се появяват около 99% от възможните случаи. Следователно вероятността за появяване на случайни величини извън интервала  $\pm 3\sigma$  е около 1%.

В теория на грешките нормалният закон се записва в следния вид:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}}, \quad 2.1.7$$



където  $y$  е плътност на вероятността;  $\Delta$  – случайна грешка;  $\sigma$  - средноквадратична грешка. Случайна грешка може да се определи чрез израз

$$\Delta = L_i - L_0$$

където  $L_i$ , е измерената стойност на контролираната величина;  $L_0$  – действителната стойност.

Когато действителната стойност на измерваната величина е известна предварително, средноквадратичната грешка се определя от равенството:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2}, \quad 2.1.8$$

където  $n$  е броят на проведените измервания.

Ако действителната стойност на измерваната величина не е известна, средноквадратичната грешка се определя чрез формулата

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n y_i^2}, \quad 2.1.9$$

Съгласно теорията на грешките, нормалният закон има следните свойства:

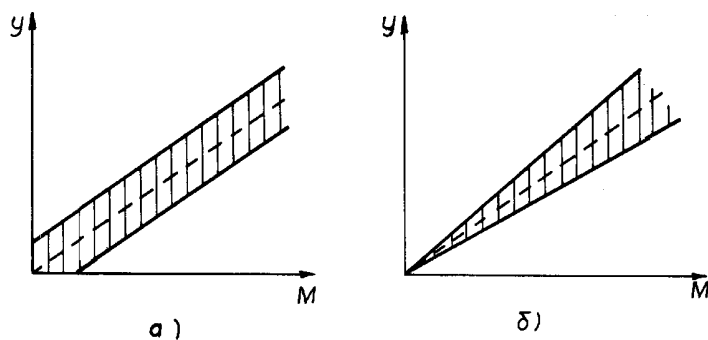
- 1/ Равните по абсолютна стойност положителни и отрицателни грешки са еднакво вероятни.
- 2/ По-малките по абсолютна стойност грешки са по вероятни, отколкото по-големите.
- 5/ За даден метод на измерване случайните грешки не надвишават определена гранична стойност равна на  $3\sigma$ .
- 4/ При извършване на достатъчен брой измервания средноаритметичната стойност на случайните грешки клони към нула, тъй като сумата на положителните грешки е равна на сумата на отрицателните.

### 2.1.2. Грешки при измервателните уреди.

Грешките при измервателните уреди също могат да се разделят на груби, систематични и случайни, което се прави за да бъде анализиран произхода им. Това деление не винаги е най-точно, тъй като при измервателните уреди грешките се проявяват неразделно.

Според това, как зависят от стойността на измерваната величина грешките се делят на адитивни и мултипликативни. Адитивните грешки зависят преди всичко от качествата на измерителния уред. Наличието на адитивна грешка води до вертикално изместване на реалната характеристика на уреда спрямо номиналната /фиг.2.1.4а/. По своя характер тази грешка може да бъде както систематична, така и случайна. Когато адитивната грешка има систематичен характер тя може да бъде коригирана. За целта в много уреди съществуват електрически или механически устройства за корекция на нулата.

Мултипликативната грешка е известна още като грешка от изменение на чувствителността на измерителния уред /фиг.2.1.4б/.



фиг.2.1.4. Грешки при измерителните уреди

Освен действието на смущаващите величини, като стареенето и износването на елементите на измерителните средства, причини за поява на грешки при измерването са още нелинейността на преобразователната характеристика, силите на триене, наличието на хистерезис в преобразователната характеристика и др.

Желателно е измерителните средства да имат линейна характеристика на преобразуването. За голяма част от преобразувателите получаването на такава характеристика е невъзможно. Целта, при изработването на измерителните средства е да се получат линейни участъци на преобразователната характеристика. Ако въпреки това нелинейността все пак остане значителна, в такъв случай се използват линеаризирани преобразуватели.

Силите на триене и наличието на хистерезис в характеристиките на преобразувателите са причина за грешки, които се появяват чрез така наречената вариация на показанията. Последната се изразява като разлика в показанията на апарата при едно и също значение на измерваната величина, получени съответно при нарастването и при намаляването и.

Количествена представа за отклонението на реалната от номиналната характеристики на измерителните уреди дават абсолютната, относителната и приведената грешки.

Абсолютната грешка, представлява разликата между измерената  $M_p$  и действителната  $M_g$  стойности на величината

$$\Delta M = M_p - M_g$$

Абсолютната грешка не може да служи като база за сравняване на точността на два различаващи се по обхват уреди.

Относителната грешка, представлява абсолютната грешка изразена в части или проценти от действителната стойност на измерваната величина

$$\varepsilon = \frac{\Delta M}{M_g} \quad \varepsilon = \frac{\Delta M}{M_g} 100\%$$

Относителната грешка не е еднаква за различните части на измервателния диапазон на уреда. Тя е много по-голяма в началото на измервателния диапазон и намалява към края му. Очевидно е, че поради променливия си характер, относителната грешка също не може да служи като критерий за оценка на точността на уреда.

Приведената грешка представлява отношението на абсолютната грешка към приетото нормиращо значение на измерителния уред  $M$ .

$$\varepsilon_{np} = \frac{\Delta M 100}{M_N}, \% \quad 2.1.10$$

Под нормиращо значение се разбира горната граница на измервателния диапазон или друга специално указана стойност на измерваната величина. За нормиращото значение на уреда, при отсъствие на специална уговорка, се приема диапазона на скалата на апарата. В такъв случай приведената грешка е равна на:

$$\varepsilon_{np} = \frac{\Delta M}{M_r - M_g} 100\% \quad , 2.1.11$$

където  $M_r$  и  $M_g$  са горна и долна граница на измервателния диапазон.

Максималната стойност на приведената грешка, при нормални работни условия определя, класът на точност на уреда. В действителност това се явява причина за бракуване на изправни уреди или до излишното им оскъпяване.

По-обективна оценка за точността на измервателните уреди се получава при използването на теоретико-вероятностния подход.

При него се определят границите на доверителния интервал, в който с определена вероятност ще се намира истинската стойност на грешката.

### 2.1.3. Пътища за повишаване на точността на измервателните средства.

За да се намали влиянието на смущаващите фактори върху резултата от проведеното измерване, се използват следните похвати:

1. Избор на подходящ физически принцип за преобразуване на измерваната величина. Тъй като всяка величина може да бъде преобразувана, то използвания принцип трябва да бъде свързан по такъв начин с реалната величина, че получените грешки да имат минимална стойност.
2. Избор на подходящ в конструктивно отношение преобразувател.
3. Използуване на качествени елементи за реализиране на преобразувателите. Това означава използването на елементи, които не променят параметрите си при външни въздействия /температура, налягане, влажност и др./ и които не стареят с времето.
4. Добро съгласуване на входните и изходните параметри на преобразувателите.
5. Отстраняване на смущаващите въздействия чрез подходяща филтрация на полезния сигнал.
6. Електронна обработка на резултатите от измерването, чрез използването на компютърни схеми.