

1

Роля на измерванията в електрониката. Класификации

Ключови думи



- Измерване
- Проектиране
- Производство
- Контрол
- Качество
- Уред
- Система



Какви знания и умения ще придобиете? Къде се прилагат?

В тази тема ще се запознаете:

- с фазите на производствения процес и със специфичното място на измерванията в тях;
- със съвременната класификация на електронните измервателни уреди и системи.

Задълбоченото осмисляне на материала ще ви помогне:

- да разглеждате проблемите комплексно и да вземате мотивирани и правилни решения относно стратегията и тактиката на вашата дейност;
- да се ориентирате бързо в справочната литература за измервателни апарати.

Получените знания и умения могат да измерят приложение в:

- маркетинговата и търговската дейност;
- научните изследвания и развитието на дейността;
- производството.

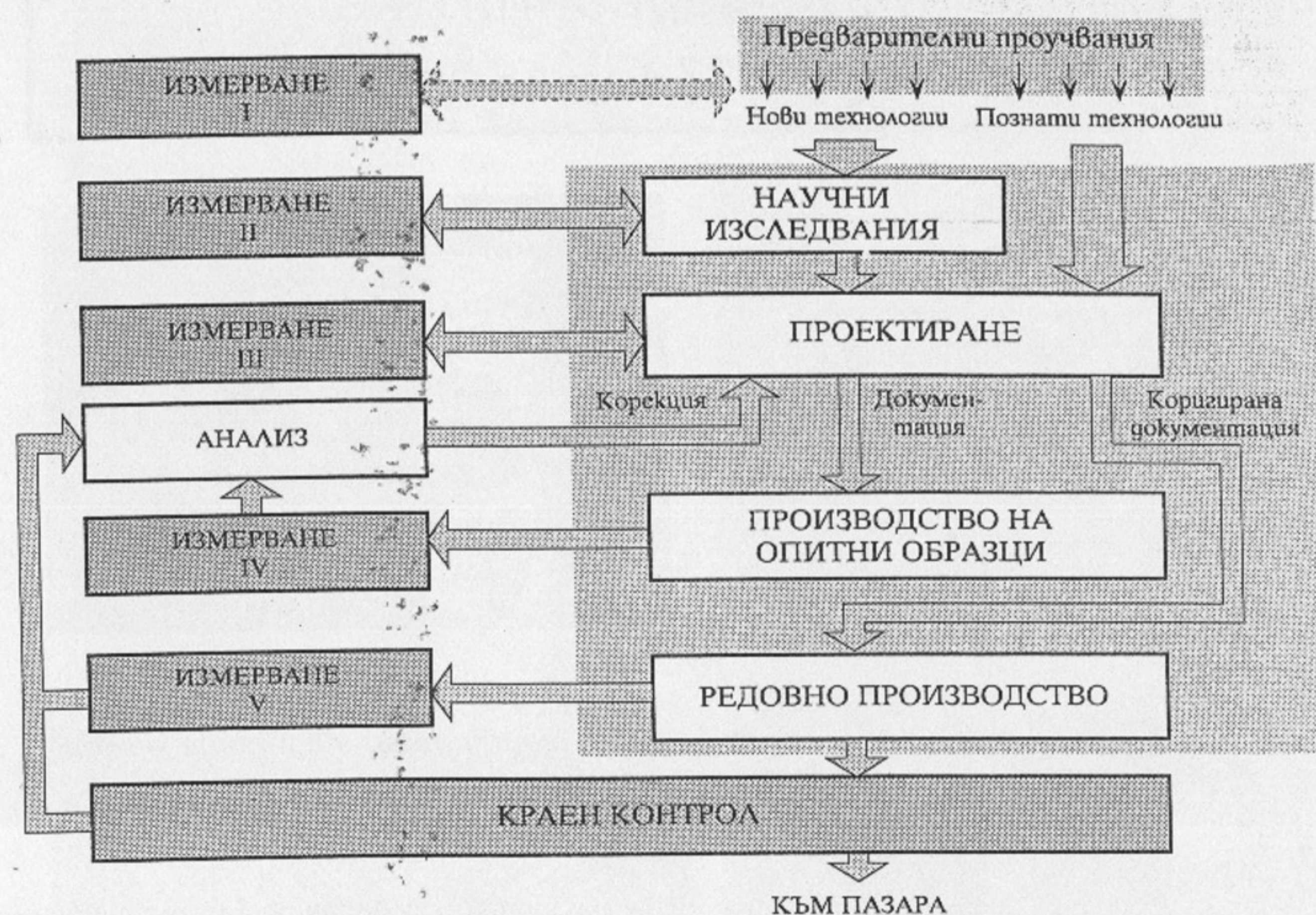
Въведение

Настоящата тема е структурирана в две части.

В първата част са проследени отделните фази, които съставляват процеса на създаване на едно електронно изделие – от проучвателната част до крайния контрол и изпитания. Подчертана е особено важната роля на измерванията, които неизменно съпътстват дейностите във всички фази и са гарант за висока производителност и качество.

Във втората част са дадени класификации на съвременните измервателни уреди и системи.

1.1. Роля на измерванията в електрониката



Фиг. 1.1. Фази на производствения процес

Фазите на производствения процес – от раждането на идеята за изделието до излизането му на пазара, са показани на фиг. 1.1.

Предварителни проучвания

В резултат от тях се ражда идеята за изделието и се съставя задание за разработка.

Заданието за разработка включва експлоатационните характеристики, определящи функционалната годност на изделието. Тези характеристики се дефинират с оглед на:

- конкурентноспособността на изделието (съотношението качество – цена);
- възможностите на наличните технологии.

Измерванията в тази фаза целят:

- проверка на определени параметри на подобни изделия, съществуващи на пазара;
- проверка на постановки, доказващи възможностите на технологичните ресурси за реализиране на заданието.

Научни изследвания

Те се провеждат при създаване на нови технологични изделия.

Измерванията в тази фаза са най-разнообразни и задълбочени. Често изискват твърде специализирани уреди и измервателни постановки.

Проектиране

В тази фаза се създава документацията за производство на изделието. Документацията е три вида:

- електрическа;
- конструктивна;
- технологична.

Електрическата и конструктивната документация показват *какво* да се направи.

Технологичната документация отговаря на въпроса *как* да се направи.

В технологичната документация се определя и контролът: методи и апаратура за проверка на параметрите на изделието, заложен в конструктивната документация.

Измерванията заемат особен дял във фазата на проектиране. При съвременните методи на автоматизирано проектиране въз основа на измерванията се съставят моделите на прибори и схеми. Измерванията трябва да са в състояние да осигурят проверката на заложените в документацията параметри върху опитните образци.

Производство

В схемата на фиг. 1.1 производството е разделено на две фази – производство на опитни образци и редовно производство.

Опитните образци задължително преминават през подробни измервания и изпитания. Анализът на резултатите се използва за обратна връзка в две посоки – корекции в документацията, отразяващи параметрите на изделието, и корекция в предписанията за технологията за производство.

Редовното производство се осъществява в съответствие с вече коригираната документация.

В тази фаза се проверяват всички параметри, фигуриращи в документацията на изделието, но само върху

статистическа извадка от целия обем произведени изделия.

Провеждат се и изпитания, при които се проверява устойчивостта на изделията на климатични, механични, радиационни и други въздействия.

Краен контрол

Представява проверка на подбран набор от параметри върху цялата продукция.



Контролни въпроси 1.1

1. Посочете критерии, които ще ви помогнат да решите дали дадено изделие заслужава да бъде разработено.
2. Какви групи параметри ще ви водят при оценка на качеството на едно електронно изделие (полупроводников елемент, интегрална схема, устройство за екологичен контрол и др.)?
3. Как схващате интегрирането на тестването с автоматизираното проектиране?
4. Назовете видовете документация на едно изделие.
5. Каква е ролята на измерванията:
 - а) при производството на опитни образци;
 - б) в редовното производство.

1.2. Класификации на електронните средства за измерване и контрол

1.2.1. Класификация в зависимост от основната функция

Както се вижда от фиг. 1.2, в екипировката за тестване на електронните изделия по правило участват три вида устройства:

- генератори на електрически сигнали;
- измервателни уреди;
- захранващи устройства.

Твърде често, а в специализираните тестери винаги, тези функции се обединяват в една конструктивна единица. Така се оформя четвъртата група устройства, които ще наречем комбинирани.



Пример

Уредите, измерващи импеданс по волт-амперметричния метод, съдържат генератор на синусоидално напрежение, променливотоков волтметър и променливотоков амперметър.

1.2.2. Класификация според вида на индикацията и структурно-функционални особености

Според вида на индикацията (фиг. 1.3) измервателните средства се делят на *аналогови* и *цифрови*.

Цифровите измервателни уреди от своя страна биват *програмируеми* и *с твърда логика*. В първия случай в схемата на уреда участва микропроцесор.

Програмируемите уреди биват от *системен* и *несистемен* тип.

Системни са уредите, в които е

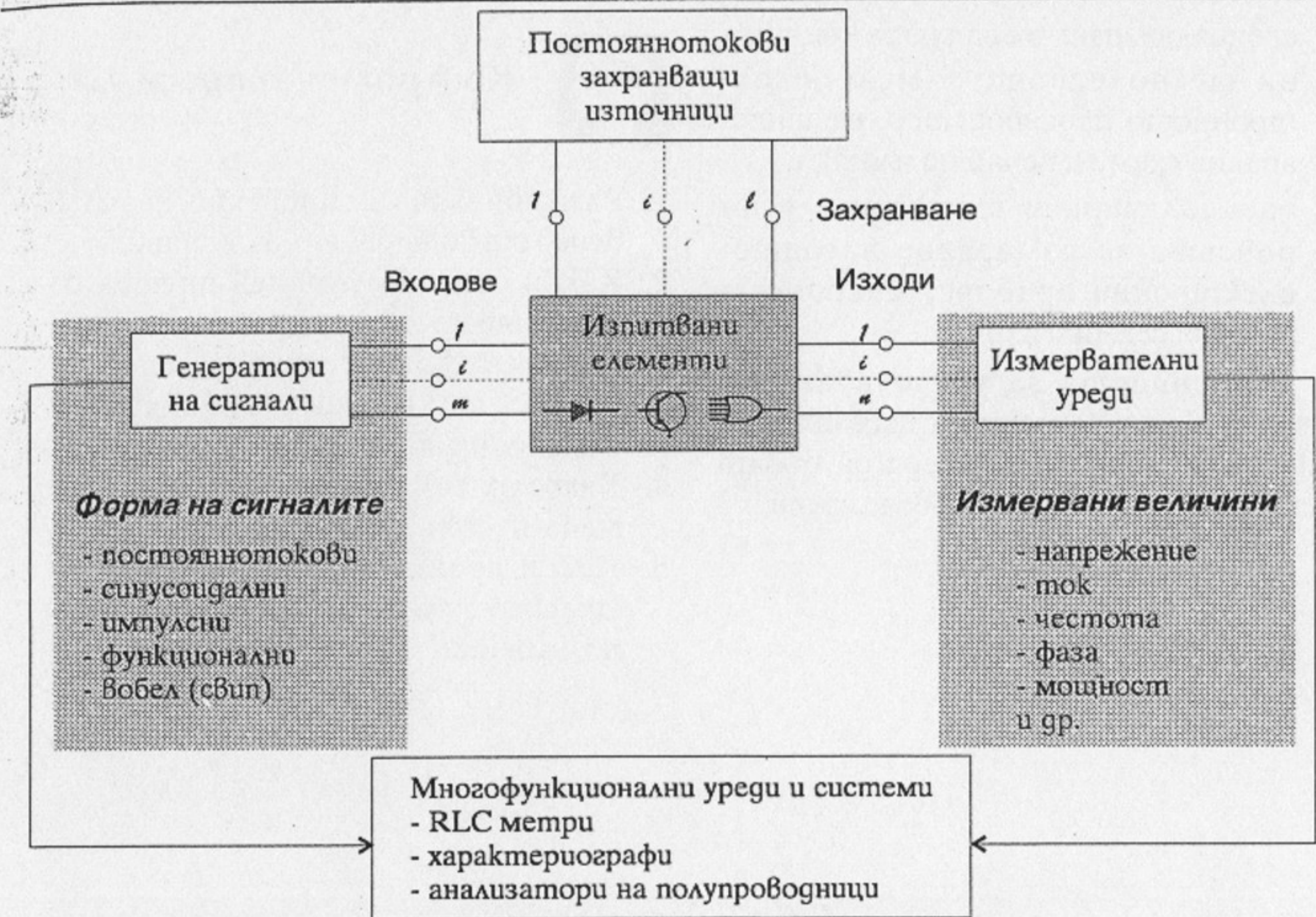
вграден контролер за стандартизирания инструментален интерфейс IEEE-488. Чрез този интерфейс всички системни уреди могат да участват в компютърно управляеми системи. Загължително условие е в компютъра да е вградена специализирана платка – контролер за управление на измервателните функции.

Системните уреди на свой ред също се делят на два вида. Единият вид са уредите, които имат автономно действие, т.е. могат да функционират и без компютър. Вторият вид са модули, които нямат лицева панел с индикация и органи за управление. Функциите по индикацията и управлението се поемат от компютъра.

1.2.3. Функционална класификация

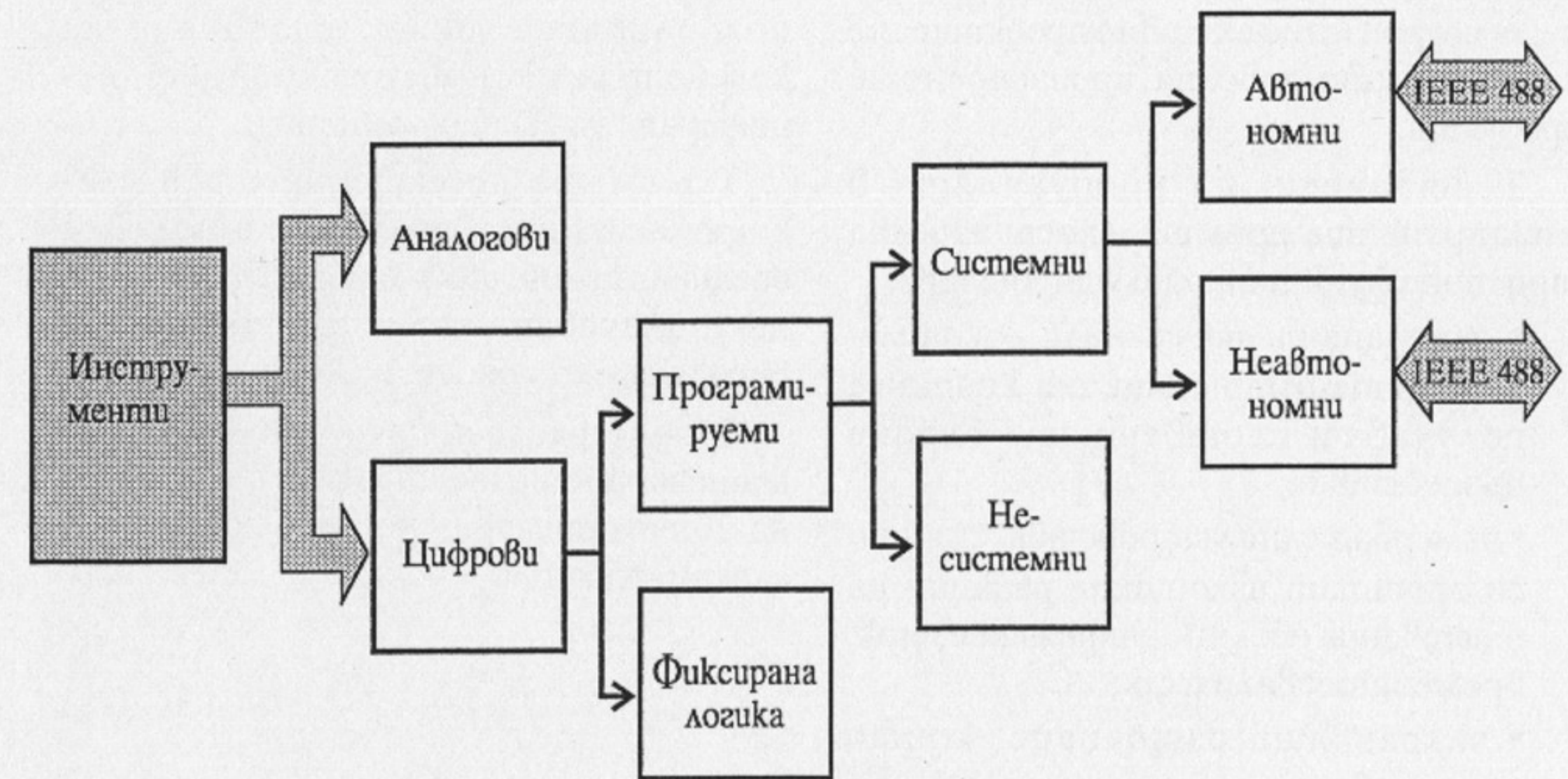
Тази класификация се нарича още търговска, тъй като се използва в каталозите на фирмите производители на измервателна апаратура. В тези каталози може да се намери следното групиране на уредите:

- сигнал-генератори, синтезатори, вобел-генератори, функционални генератори;
- честотни и универсални броячи;
- логически и сигнатурни анализатори;
- цифрови волтметри, мултимери и високочестотни измерватели на мощност;
- измерватели на пасивни и активни електронни елементи;
- измерватели на електромагнитни полета и в микровълновата техника;
- анализатори на електрически вериги, анализатори на спектри, осцилоскопи и др.;



Фиг. 1.2. Класификация на апаратурите за тестване

- според ролята, която играят
- според комплектността



Фиг. 1.3. Класификация на измервателните средства

- според вида на индикацията
- според възможността да се програмират

- специализирани тестери за контрол на технологиите в микроелектронното производство, на интегрални схеми и печатни платки;
- специализирани тестери и устройства за измерване на оптоелектронни прибори, микроелектронни сензори и др.

Тенденцията за увеличаване на многофункционалността става причина някои новопоявили се уреди да бъдат класифицирани в две и повече групи.



Контролни въпроси 1.2

1. Разграничете понятието „измерване“ от понятието „контрол“!
2. Какви основни функции трябва да изпълняват апаратурите за тестване на електронните изделия?
3. Направете кратка класификация на електронните измервателни уреди.
4. Какво означава програмируем, системен и несистемен уред?
5. Какви принципи за изграждане на компютърно-измервателни системи познавате?

Обобщение

Измерванията неизменно съпътстват всички фази на производствения процес. Чрез своята контролираща роля те осигуряват ефективно проектиране и високо качество на произведените продукти.

Тестването на продукцията в електронната промишленост изисква три типа функционални устройства:

- генератори на сигнали – стимулиращите източници, от които се получават съответните входни въздействия;
- измервателни устройства, с които се отчитат изходните реакции на тествания обект – напрежение, ток, времеинтервали и др.;
- захранващи източници, които осигуряват постоянно токовото захранване на изпитваните изделия.

В универсалните измервания все повече се използват програмируемите цифрови уреди от системен тип. Те позволяват гъвкаво създаване на компютърни конфигурации за автоматизиране на експериментите.

Големите производители в електронната промишленост използват специализирани тестерни системи с все по-увеличаващо се бързодействие и висока ефективност на контрола.

Моделирането, придружено с автоматизираното тестване, е в основата на автоматизираното проектиране в електрониката.

2

Основни характеристики на електронните измервателни уреди

Ключови думи

- Точност и грешка
- Чувствителност
- Разделителна способност
- Вярност
- Адитивна грешка
- Мултипликативна грешка
- Нелинейност



Какви знания и умения ще придобиете? Къде се прилагат?

Изучаването на тази тема ще утвърди и осмисли практически вашите познания за:

- характера на грешките при измерванията и техните основни източници;
- начина на тяхното специфициране в съвременните измервателни уреди;
- мерките за повишаване на точността.

Усвояването на темата ще ви даде възможности:

- да преценявате метрологическите качества на измервателните уреди по специфицираната грешка;
- да анализирате влиянието на различните фактори върху точността на измерване.

Въведение

Тази тема ще ви въведе в практическото използване на някои теоретични постановки, засягащи точността на

измерванията.

Показана е измервателната среда, в която уредът контактува с обекта на измерване, и произхождащите от това грешки.

Изтъкната е разликата при специфициране на грешките в аналоговите и цифровите измервателни уреди.

Разгледани са линейните и нелинейните измервателни преобразуватели и съответните грешки от адитивен, мултипликативен и нелинеен характер.

Особено внимание е отделено на методологията за анализ на грешките от влияещи фактори и съответните чувствителности.

Разгледано е моделирането на динамичните грешки чрез аperiодично интегриращо звено, като най-разпространен случай за отразяване на инерционността на измервателните системи. Колебателните процеси са показани в специфичните места на проявление, както е случаят със свързващите коаксиални кабели при високочестотните измервания с осцилоскоп, волтметър и др.

Накрая са съставени случайните и систематичните грешки и са обобщени методите за повишаване на точността.

2.1. Измервателен уред и измервателна среда

Обектът на измерване, инструментът, с който се измерва, и човекът оператор (ако има такъв) определят измервателната среда – фиг. 2.1. В тази среда се очертават съответните източници на грешки:

- грешки на уреда или инструментални грешки;
- грешки от влиянието на околната среда: температура, влага, налягане на въздуха, радиации, електромагнитни смущения;
- грешки от интерфейса обект – инструмент;
- грешки от интерфейса оператор – инструмент (субективни грешки).

Задачи 2.1

1. Обект на измерване е напрежението между две точки

на определена схема, за която чрез теоремата на Тевенен е установено, че $e=10\text{ V}$ и $R_i=100\text{ k}\Omega$. Намерете формулата за грешката, породена от включване на волтметър с входно съпротивление $R_v=1\text{ M}\Omega$, и изчислете нейната относителна стойност.

2. Токът I се намира чрез измерване на напрежителния пад в резистор R :

$$I = \frac{U}{R}$$

Ако грешката в измерването е дадена при температура на околната среда 2°C , намерете максималната температурна грешка при работа на уреда в

температурен интервал от 15 до 40°C .

Температурният коефициент на резистора е

$$TKR = \frac{\Delta R}{R \Delta T} = 1.10^{-3}, ^\circ\text{C}^{-1}$$



Контролен въпрос 2.1

1. Посочете източниците на грешки при измерванията.

2.2. Основни характеристики на измервателните уреди

Качеството на измервателния уред се оценява чрез определени характеристики и параметри. По-важните от тях са измервателен обхват, точност и грешка.

Измервателен обхват

Това е алгебричната разлика между екстремните стойности, които може да заема измерваната величина, без да се превишава допустимата грешка в измерването.

Точност и грешка

Точността е основна характеристика на измерването. Тя отразява близостта на получения от уреда резултат до истинската стойност на измерваната величина. Количествено се оценява чрез допустимото отклонение на получения резултат около истинската стойност на величината, т. е. чрез специфицираната грешка.



Пример
Ако относителната грешка на уреда е $0,1\%$ или $0,001$, точността е

$$\frac{1}{0,001} = 1000$$

При грешка, клоняща към нула, точността клони към безкрайност.

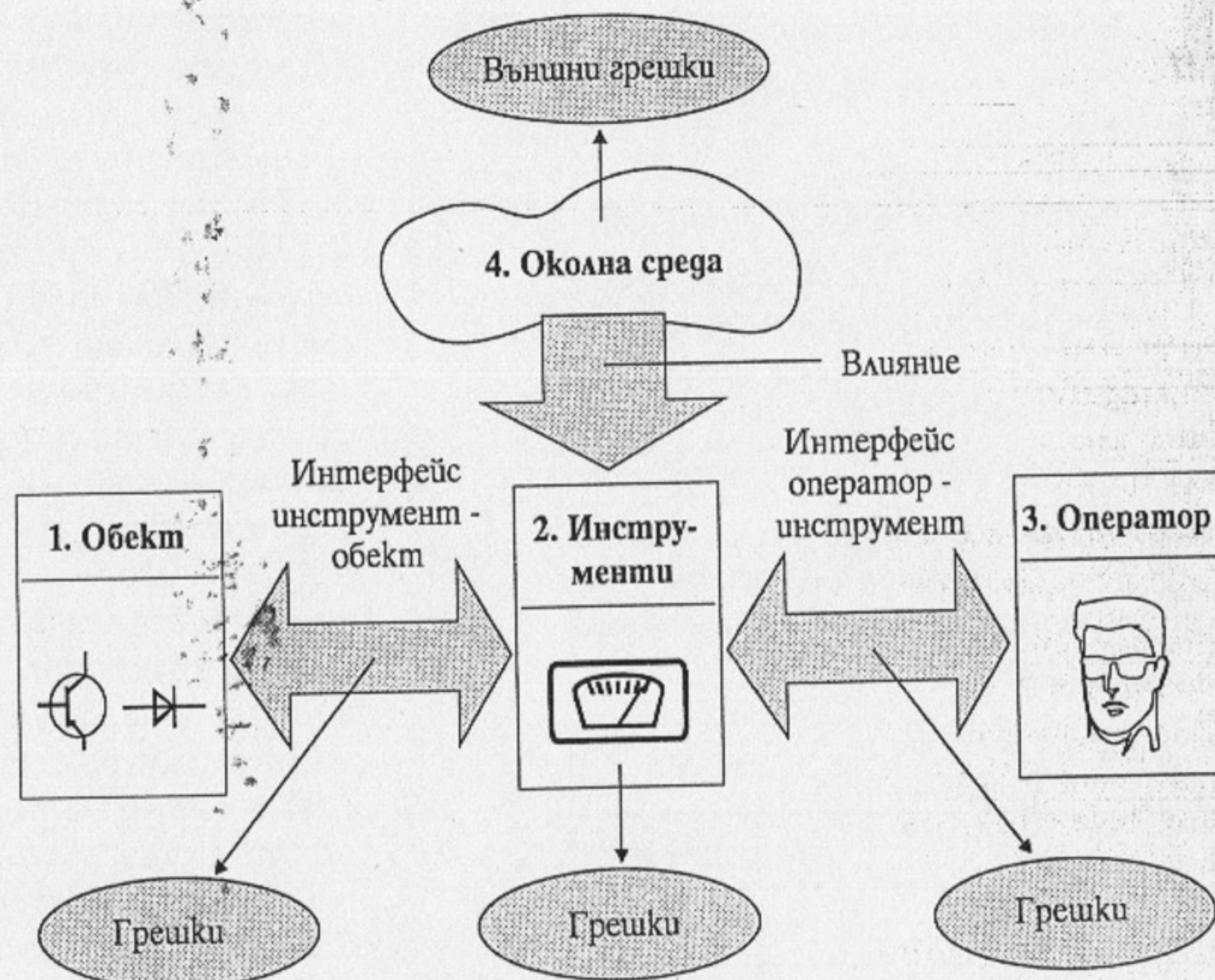
Чувствителност и разделителна способност

Чувствителността е способността на измервателния уред да реагира на изменения на измерваната величина. Оценява се чрез производната на предавателната характеристика „Изход – Вход“.

Разделителната способност е най-малкото изменение на измерваната величина, което измервателният уред може да регистрира. За цифровите уреди се изразява чрез стойността на величината, съответстваща на 1 в най-младшия разред от десетичното число, с което се регистрира резултатът.

Вярност в показанията (повторяемост)

Отразява качеството на уреда да дава повторяеми в голяма близост до една и съща стойност резултати при провеждане на серия от равноточни измервания (на една и съща по стойност величина, с един и същи уред при едни и същи условия на околната среда).



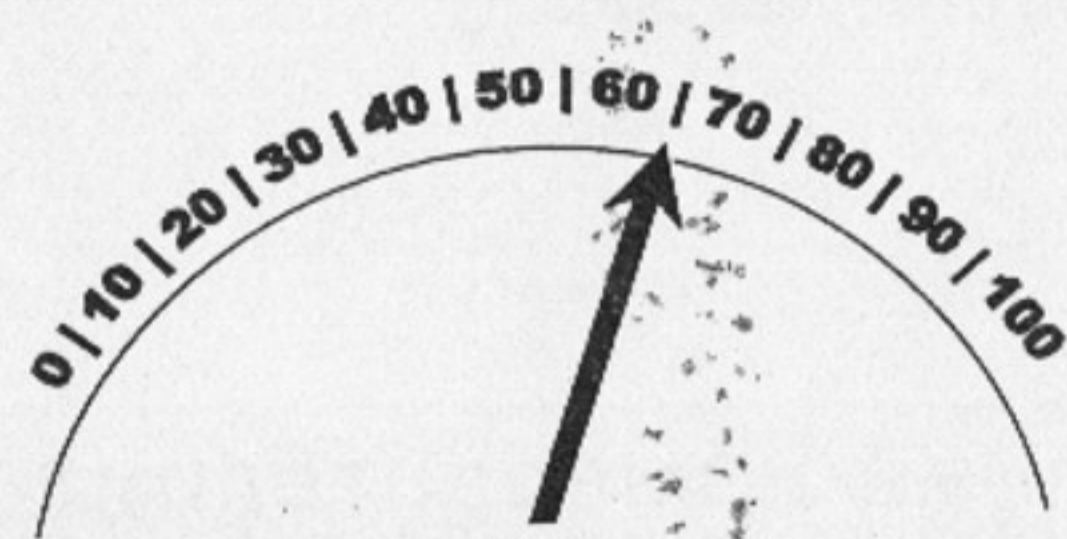
Фиг. 2.1 Измервателна среда

- четири влияещи фактора
- четири групи грешки



Примери

Аналогов измервателен уред



Обхват 0 - 100V

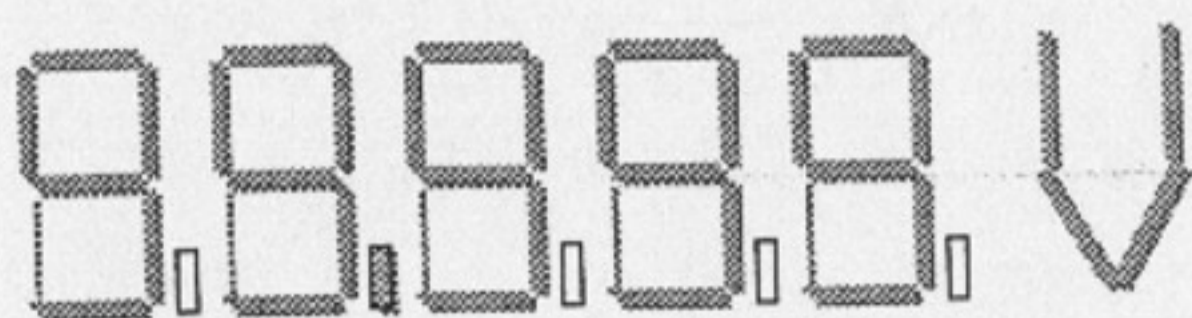
Чувствителност

$$K = \frac{100V}{20\text{дел.}} = 5V / \text{дел.}$$

Разделителна способност

$$PC = 0,5K = 2,5 V / \text{дел.}$$

Цифров измервателен уред



Обхват 0 - 100V

Чувствителност

$$K = \frac{99,999V}{99999} = 1mV / EMR$$

Разделителна способност

PC = чувствителността.

2.3. Основни типове грешки и начини за представянето им

Класификацията на грешките по различни признаци е твърде разнообразна. Тези признаци са: начин на изобразяване, поведение по измервателната скала, скорост на изменение на измервания сигнал, начин на проявление и др.

2.3.1. Абсолютна, относителна и приведена грешка

Абсолютна грешка:

$$\Delta X = X - X_N,$$

където X е измерена стойност; X_N - истинска стойност.

Относителна грешка (спрямо

измерената стойност):

$$\delta = \frac{\Delta X \cdot 100}{X_N} \approx \frac{\Delta X}{X} \cdot 100, \%$$

Приведена грешка (спрямо максималното показание на уреда или спрямо цялата скала):

$$\delta_{FS} = \frac{\Delta X}{X_{max}} \cdot 100, \%$$

където X_{max} е максималната стойност на величината по скалата.



Важно! Точността на аналоговите измервателни уреди се специфицира чрез приведената грешка (спрямо цялата скала).

2.3.2. Адитивна и мултипликативна грешка

Според поведението на абсолютната стойност по скалата грешката бива адитивна или мултипликативна.

Грешката е адитивна, когато абсолютната ѝ стойност е неизменна по цялата измервателна скала. Тази грешка се нарича още грешка на нулата.

Грешката е мултипликативна, когато относителната ѝ стойност е постоянна по скалата.



Внимание! Грешката на цифровите измервателни уреди в повечето случаи се специфицира чрез мултипликативната и адитивната съставки по следния начин:

$$(2.1) \text{ Грешка} = \pm [A\% \text{ от } X + C],$$

където X е измерена стойност; A - бездимензионно число; C - число със съответната мерна единица на величината X .

Грешката често се представя и по следния начин:

$$\text{Грешка} = \pm [A\% \text{ от } X + m_{EMR}].$$

В този случай адитивната съставка се определя с брой единици от младшия (или младшите) разред на отчетеното число - m_{EMR}



Пример

Обхват, разделителна способност и грешка на цифров волтметър:

Обхват	Показание	Разделителна способност	Грешка	
			вариант 1	вариант 2
200 mV	199,9	0,1 mV	0,5 + 0,2mV	0,5 + 2 mV

Адитивната грешка във вариант 1 е представена като

число с дименсия - 0,2 mV. Във втория вариант е означена чрез числото 2, т. е. 2 единици от най-младшия разред, което в случая означава 0,2 mV. Този волтметър е с 3½ цифри (максимално показание 199,9, а не 999,9).



Внимание! В техническата спецификация на някои уреди може да срещнете грешка, зададена по следния начин:

$$\text{Грешка} = A\% \text{ от } X + B\% \text{ от } X_{max}$$

Адитивната съставка на грешката тук е зададена чрез приведената грешка (спрямо цялата скала).



Задачи 2.3

1. Допустимата приведена грешка на волтметър за обхват $U=10 V$ е $\delta_{FS}=0,5\%$. Намерете относителната стойност на допустимата грешка за точки от скалата: 1 V, 2 V, 5 V, 8 V, 10 V!

2. Цифров волтметър за обхват 200 mV (199,9 mV) допуска грешка 0,1% + 0,2 mV. Изчислете относителната стойност на допустимата интегрална грешка за точки от скалата 10 mV, 50 mV, 100 mV и 200 mV! В обща координатна система изобразете графично зависимостите на интегралната, адитивната и мултипликативната грешки (относителните им стойности) от стойността на измерваната величина!

3. Два волтметъра са еднакви по размери, тегло, цена и измервателни обхвати. Но за единия от тях грешката е $\delta_{FS} =$

0,5%, а за другия $\delta = 0,5\%$ от $U + 1 mV$. Обхватът и на двата волтметра е 10 V. Кой волтметър ще предпочетете?

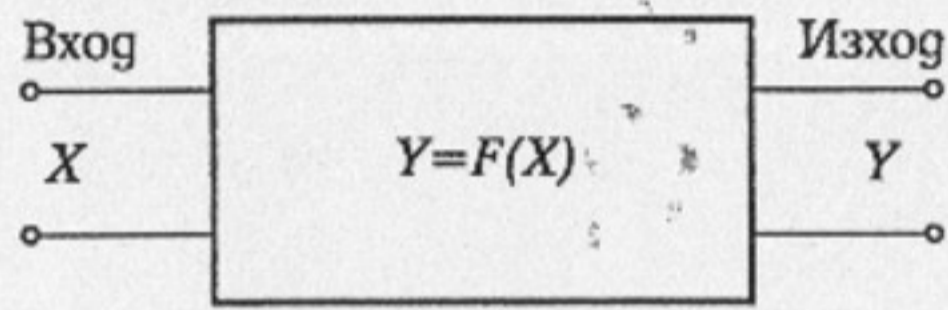


Контролни въпроси 2.3

1. Обяснете защо повечето измервателни уреди са многообхватни.
2. Каква е връзката между понятията вярност (повтаряемост) на уреда и систематична и случайни грешка.
3. Как ще изчислите точността на измерване, ако ви е известна адитивната грешка?

2.4. Измервателни преобразуватели. Статични грешки и грешки от нелинейност

Всеки четириполюсник, чиято статична предавателна характеристика $Y=F(X)$ е подчинена на определени метрологически изисквания, се смята за измервателен преобразувател - (фиг. 2.2).



Фиг. 2.2. Измервателният преобразувател, представен като четириполюсник

В реалните преобразуватели обаче изходната величина Y се изменя не само под въздействието на входната величина X , но и под влиянието на допълнителни (смуцаващи) фактори A_1, \dots, A_n . Ето защо функцията на преобразуване в най-общия вид е

$$Y = F(X, A_1, \dots, A_n).$$

Изменението на изходната величина Y под въздействието на всички аргументи се определя с първите членове от реда на Тейлор:

$$(2.2) \quad dY = \frac{\partial Y}{\partial X} dX + \frac{\partial Y}{\partial A_1} dA_1 + \dots + \frac{\partial Y}{\partial A_n} dA_n = \frac{\partial Y}{\partial X} dX + \sum_{i=1}^n \frac{\partial Y}{\partial A_i} dA_i.$$

Частните производни $\frac{\partial Y}{\partial A_i}$ представляват абсолютните чувствителности на влияние на съответните аргументи:

$$(2.3) \quad S_X^Y = \frac{\partial Y}{\partial X}; S_{A_i}^Y = \frac{\partial Y}{\partial A_i} \text{ и т. н.}$$

Когато чувствителностите са постоянни за определен обхват на изменение на влияещата величина, за абсолютната стойност на грешката може да се напише

$$(2.4) \quad \Delta Y = S_{A_1}^Y \Delta A_1 + \dots + S_{A_n}^Y \Delta A_n,$$

където $\Delta A_1, \dots, \Delta A_n$ са измененията на влияещите величини. Горните зависимости са валидни за систематични отклонения. Когато става въпрос за случайни грешки, използва се не ΔX , а средно-квадратичното отклонение, определено чрез израза

$$(2.5) \quad \sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{\partial Y^2}{\partial A_i^2} \sigma_i^2 + 2 \sum_{k,j} \frac{\partial Y}{\partial A_k} \frac{\partial Y}{\partial A_j} \sigma_k \sigma_j k_{kj},$$

където k_{ij} е корелационен коефициент на грешките, породени от фактори A_i, A_j .

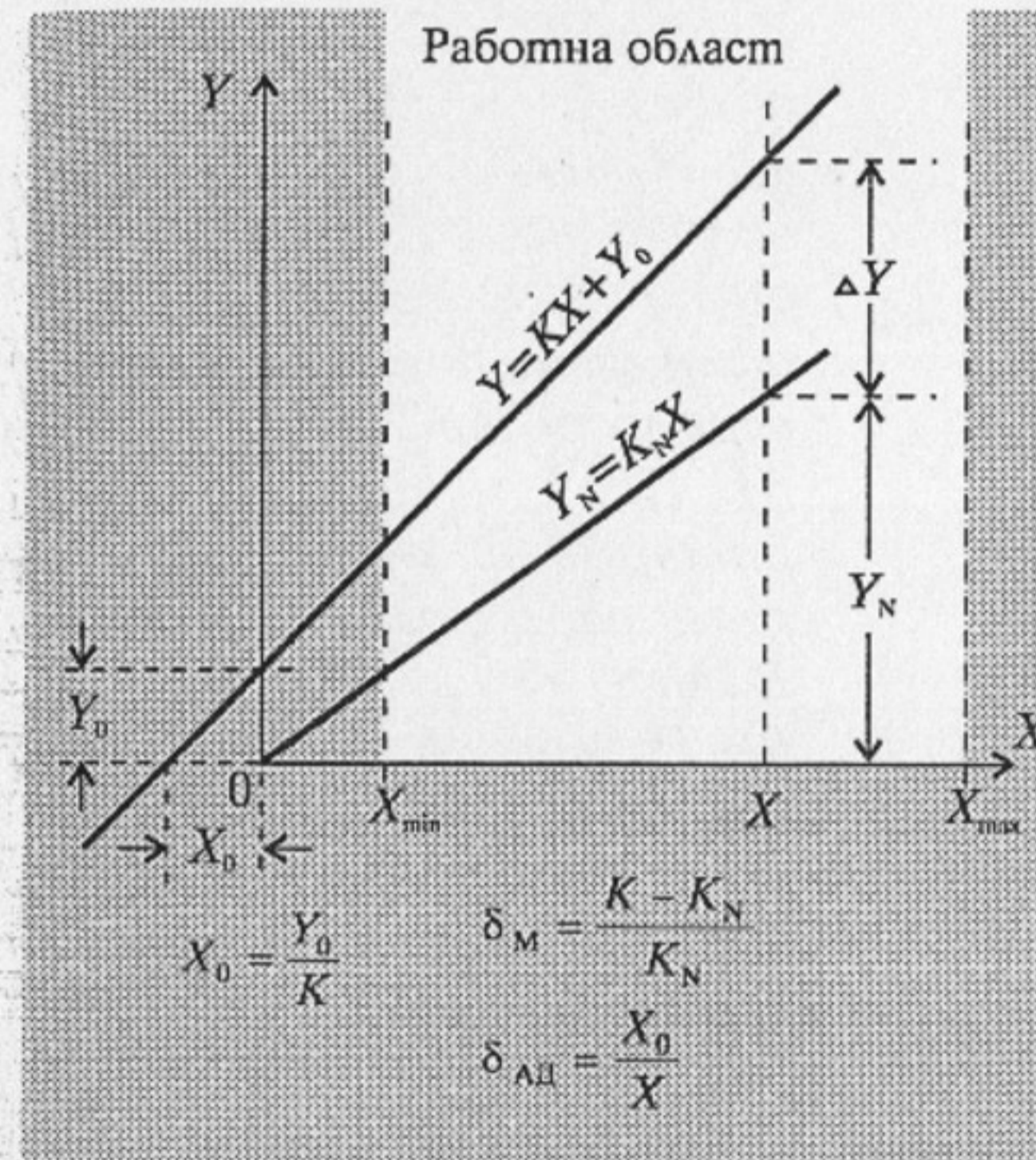
Нормално се приема $k_{ij}=0$ и втората сума във формулата за грешката отпада.

$$X \geq X_{\min} = \frac{X_0}{\delta_{\Delta \text{Дгон}}}$$

2.4.1. Линейни преобразуватели

Линейните преобразуватели са най-широко използваните в електронните измервания. Номиналната (идеалната) функция на преобразуване за тези преобразуватели е

$$Y_N = K_N X$$



Фиг. 2.3. Предавателна характеристика

Реалната функция на преобразуване се отличава от идеалната:

$$Y = KX + Y_0$$

Съответните статични характеристики и свързаните с тях грешки са показани на фиг. 2.3.

Минималната стойност на X при зададена допустима стойност на адитивната грешка $\delta_{\Delta \text{Дгон}}$ се определя

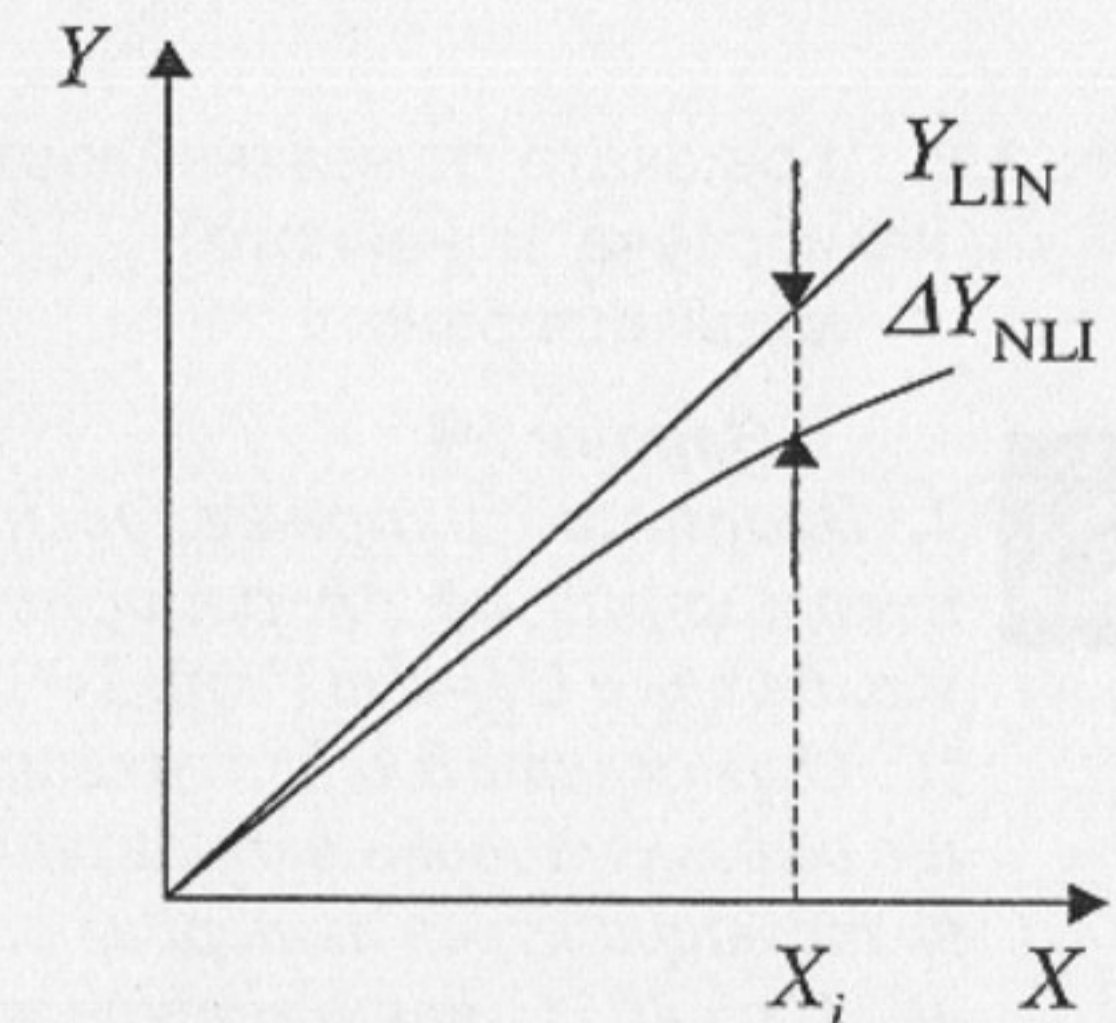
2.4.2. Нелинейни преобразуватели и грешки от нелинейност

Предавателните характеристики на всички преобразуватели, смятани за линейни, се отличават повече или по-малко от правата линия. Интегралната грешка от нелинейност се оценява чрез разликата в четинската стойност на изходната величина на преобразувателя Y и стойността Y_{LIN} , която се получава чрез линеаризиране на предавателната функция с права линия.

$$\delta_{NLI} = \frac{Y - Y_{LIN}}{Y_{LIN}}$$

На фиг. 2.4 е показан случай на линеаризация с права линия, чиято стръмност е равна на диференциалната чувствителност на преоб-

зуване за $X=0$: $S_0 = \frac{dY(0)}{dX}$.



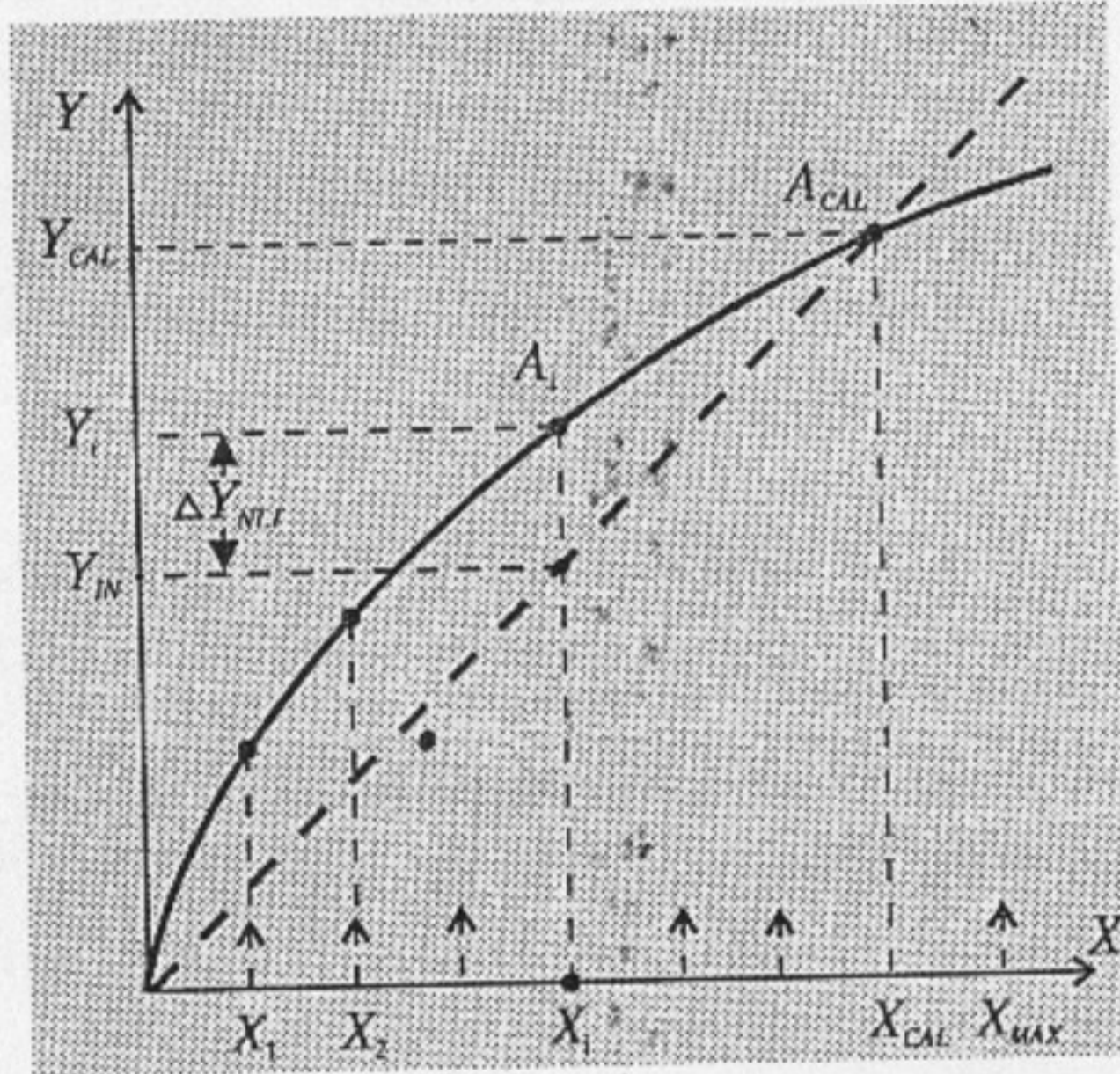
Фиг. 2.4. Грешки от нелинейност

Често в литературата нелинейността се оценява чрез разликите в диференциалните чувствителности:

$$\delta_{NLI} = \frac{S_i - S_0}{S_0}$$

За да се обхване грешката от нелинейност, при местване на измервателните уреди се измерва интегралната грешка за определен брой точки от обхвата $X_1, X_2, \dots, X_p, \dots, X_n$ - фиг. 2.5.

Грешката от нелинейност може да се намали чрез калибровка на уреда в подходяща точка от скалата - A_{CAL} .



Фиг. 2.5. Грешката от нелинейност и калибровка за нейното минимизиране



Задачи 2.4

1. Входното напрежение на несиметрия на операционен усилвател е $U_{in} = 3 \text{ mV}$ при $T = 25^\circ \text{C}$. Определете в какви граници ще се измени това напрежение за температурен интервал от 10°C до 40°C , като знаете, че температурният коефициент (чувствителност) на параметъра е $TKU_{in} = 10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.
2. Входното напрежение на

несиметрия на операционен усилвател е $U_{in} = 3 \text{ mV}$. Да се намери минималната стойност на постоянното напрежение, което може да се усили при грешка $\delta_{Adgop} = 5\%$? Каква относителна грешка се получава при входен сигнал 200 mV ?
3. Преобразователната функция на метален резисторен преобразувател на температура се описва с полином от втора степен

$$R(T) = R_0(1 + AT + BT^2)$$

където T е температурата, $^\circ\text{C}$; $R_0 = 100 \Omega$; $A = 5,49 \cdot 10^{-3}, ^\circ\text{C}^{-1}$; $B = 6,66 \cdot 10^{-6}, ^\circ\text{C}^{-2}$. Изследва се обхват $0 \div 100^\circ \text{C}$.

- а). Намерете грешката от нелинейност, изразена чрез диференциалните чувствителности, за точка $T = 100^\circ \text{C}$ спрямо точка $T = 0^\circ \text{C}$.
- б). По 5 изчислени точки постройте графика на характеристиката при $B = 0$ и $B \neq 0$.
- в). Намерете интегралната грешка за точка $T = 100^\circ \text{C}$.
- г). Определете най-подходящата точка от скалата за калибровка.



Контролни въпроси 2.4

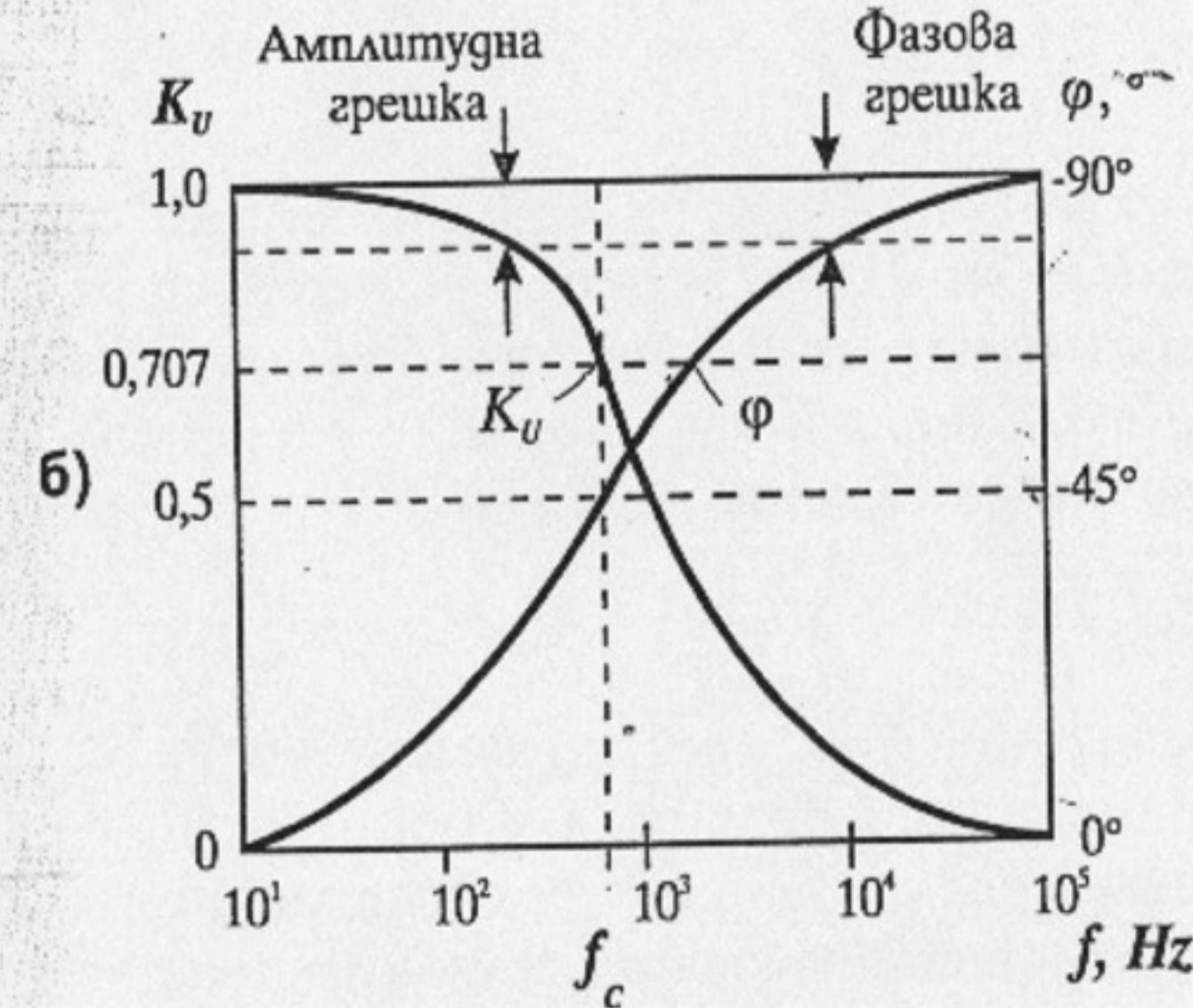
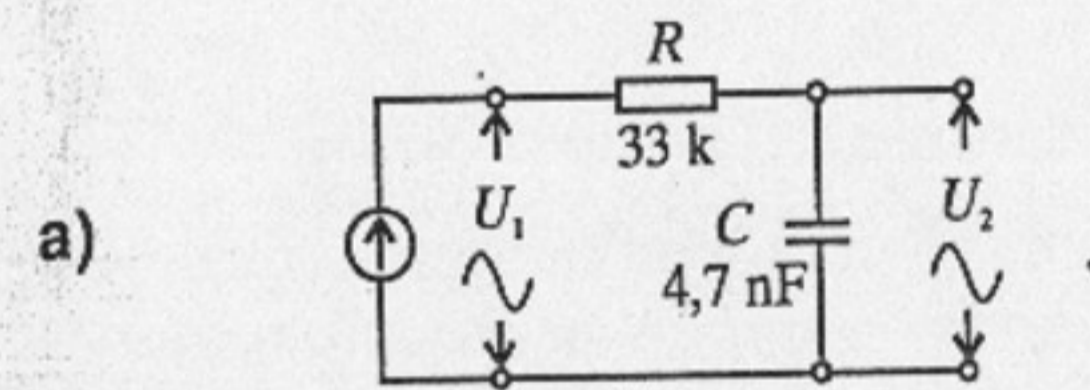
1. Как се осъществява анализът на чувствителността на влияещите върху грешката фактори?
2. Как се оценява грешката от нелинейност? Какво може да се направи за нейното минимизиране?

2.5. Динамични грешки

Динамичните грешки се дължат на инерционността на измервателния преобразувател. Появяват се, когато скоростта на изменение на входната величина става съизмерима с времето за реакция на преобразувателя. Преходните процеси в преобразувателите се моделират най-често с апериодично звено от интегриращ тип или с колебателно звено.

2.5.1. Апериодично звено от интегриращ тип

Апериодично звено от интегриращ тип в аналоговата схематехника е широкоизвестният нискочестотен RC-филтър - фиг. 2.6а.



Фиг. 2.6. Интегриращо звено

- амплитудно-честотна характеристика
- фазово-честотна характеристика

Честотен анализ и честотна грешка

Амплитудно-честотната и фазово-честотната характеристики са показани на фиг. 2.6б.

Аналитичните изрази за тези характеристики са:

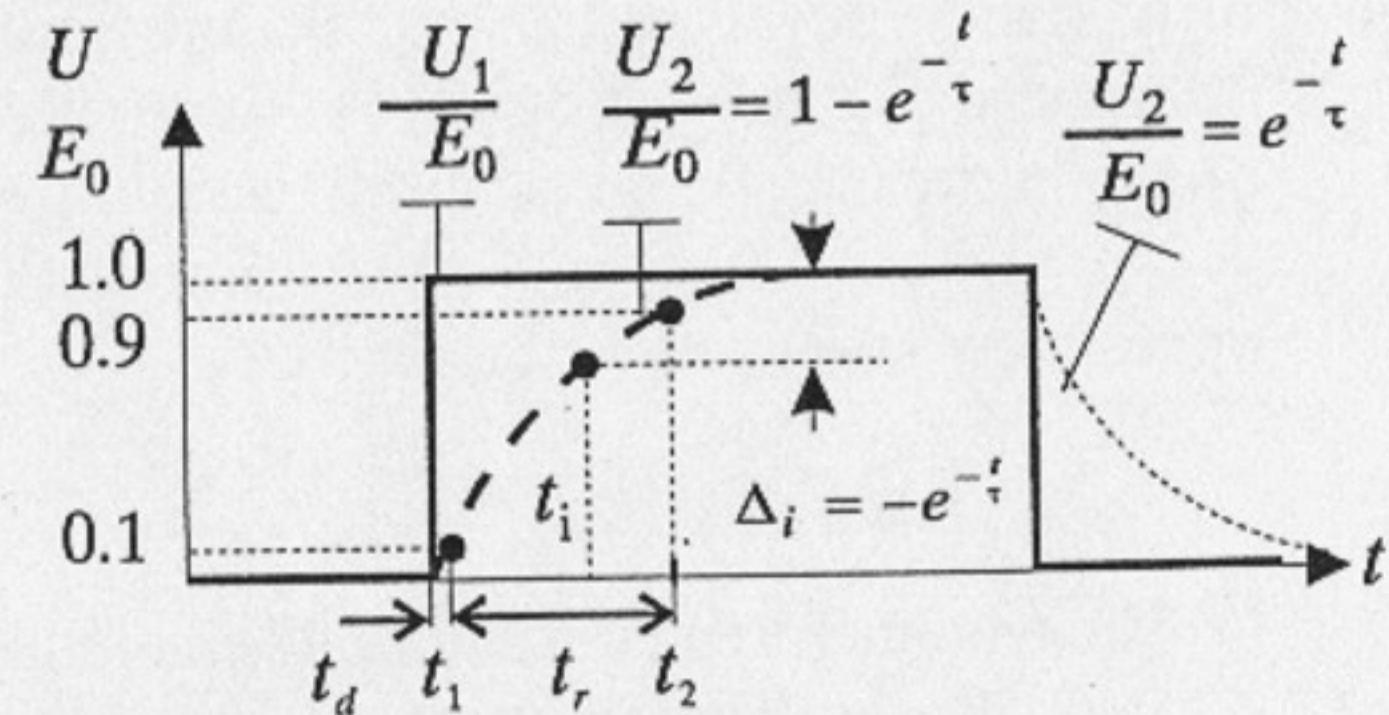
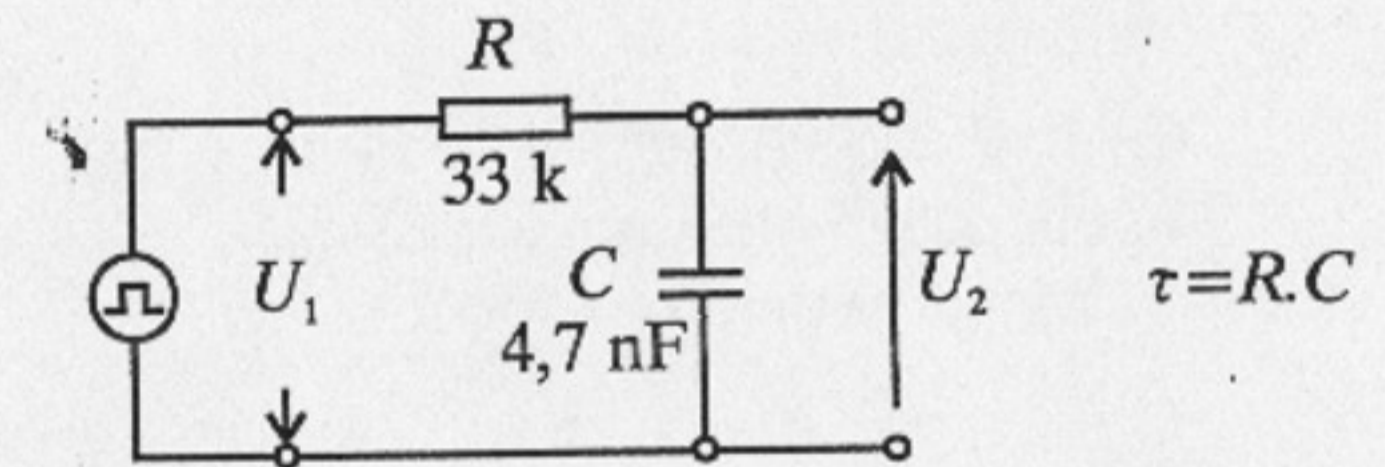
$$K_U = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2}}$$

където f_c е честотата на среза:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}; \quad \varphi = -\text{arctg} \frac{f}{f_c}$$

Честотната грешка на коефициента на предаване K_U за $f < f_c$ се изчислява с приблизителната формула

$$(2.6) \quad \delta_{KU} = \frac{1}{2} \left(\frac{f}{f_c}\right)^2 \cdot 100, \%$$



Фиг. 2.7. Интегриращо звено и динамични грешки

Преходен анализ и оценка на грешката

Схемата на интегриращото звено и времедиagramата на изходната реакция при подаден на входа единичен импулс са показани на фиг. 2.7. Преходният процес на зареждане на кондензатора се описва с изрза

$$U_2 = E_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + U_2(0) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

където E_0 е подаденият скок на напрежението; $U_2(0)$ е напрежението на кондензатора до появата на входния импулс (в случая на фиг. 2.7 $U_2(0)=0$).

В практиката преходният процес се приема за приключил след време $t=3\tau$.

Времетраенето на преходния процес се разделя на два интервала:

t_d – време на закъснение: времето за достигане на 10% от стационарната стойност на изходното напрежение;

t_r – фронт на импулса: временният интервал, заключен между 0,1 и 0,9 от установената стойност.

Динамичната грешка е разликата между моментната и стационарната стойност на изходната величина. Тя е функция на времето t .

м. ном. ст.

$$\delta_D = \frac{U_2 - E_0}{E_0} = -e^{-\frac{t}{\tau}}$$
д. н. ст.

Времето на установяване при зададена грешка δ_D се намира по формулата:

$$t_{уст} = \tau \ln \frac{1}{\delta_D}$$

Връзка между характеристиките на честотния анализ и на преходния анализ

Тази връзка се намира от изрза на преходния процес като се заместят

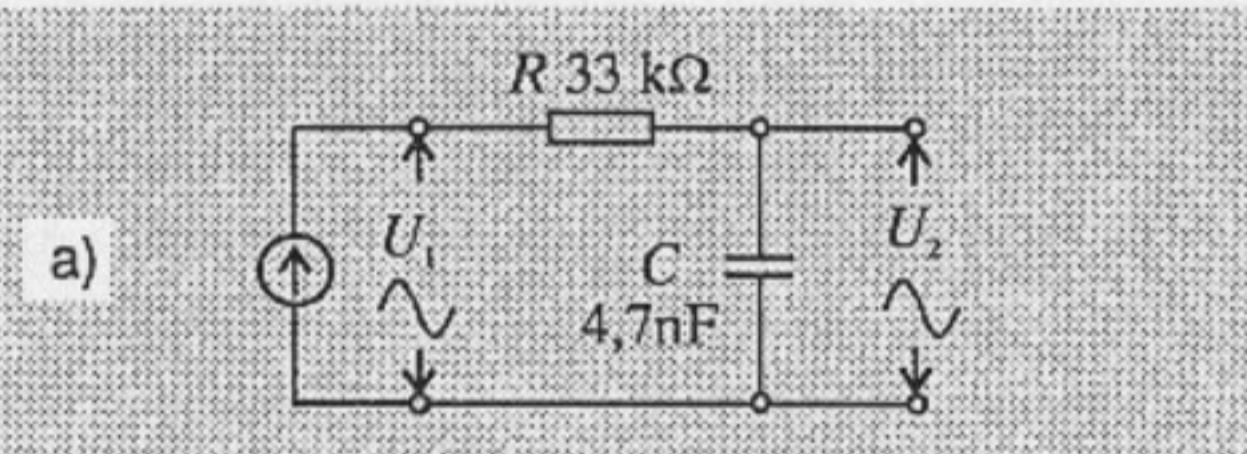
последователно нива за напрежението 0,1 и 0,9 и определи временния интервал между тези две нива. Получава се широко разпространената връзка между фронта на импулса t_r и честотата на среза

$$t_r = \frac{0,35}{f_c}, S.$$

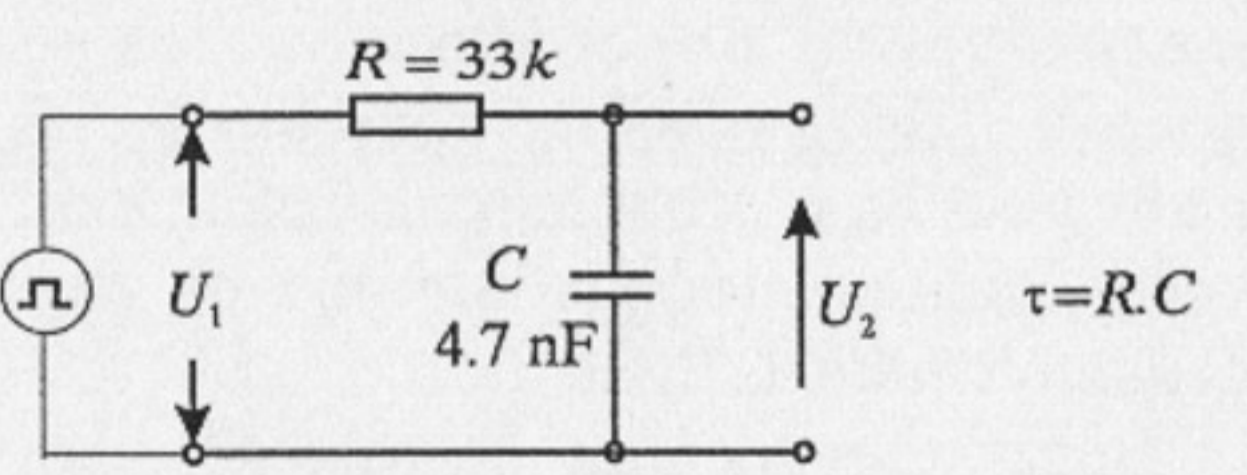


Задачи 2.5

1. За данните, показани на фигурата, определете честотата, при която амплитудната грешка е 2%. Колко е фазовата грешка за тази честота?
2. За схемата от фигурата



- изчислете:
- а) времето на закъснение t_d и фронта t_r ;
 - б) динамичната грешка за $t=3\tau$;
 - в) времето за установяване при грешка 1%;
 - г) честотата на среза f_c чрез фронта на импулса.



Контролни въпроси 2.5

1. Можете ли да оцените амплитудната грешка при моделиране на преходния процес с RC-звено за честота, два пъти по-малка от честотата на среза:

- а) чрез използване на приближителната формула (2. 6);
- б) чрез използване на изрза

$$K_U = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c} \right)^2}}$$

Сравнете двата резултата.

2.6. Случайни и систематични грешки

Проверяваме n на брой равноточни измервания. Възможни са два варианта на получените резултати:

а) Всички измервания дават един и същи резултат, който обаче се различава от истинската стойност. Това определя систематичната грешка на уреда. Тя се минимизира чрез подходящи калибровки, осъществявани както при производството на уреда, така и в процеса на неговата експлоатация.

б) Резултатите x_1, x_2, \dots, x_n са разсеяни около една стойност. Някои от тях се повтарят. Обикновено разпределението на тези случайни величини се подчинява на Гаусовия закон. Най-вероятната стойност е средната стойност

$$x_{cp} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

Разликата между средната стойност x_{cp} и истинската стойност x_N определя систематичната грешка

$$\Delta x_{сист} = x_{cp} - x_N$$

Случайните грешки се оценяват чрез средноквадратичното отклонение

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - x_{cp})^2}$$

Вероятността резултатът от единичното измерване да попадне в границите $\pm\sigma$ е 68%. Тази вероятност нараства до 99,7% за отклонения $\pm 3\sigma$.



Пример

От проведени n на брой равноточни измервания е изчислено

$$\sigma_{отн} = \frac{\sigma}{x} \cdot 100 = 1\%$$

Това означава, че когато проверяваме само едно измерване с уреда вероятността грешката да попадне в интервала $\pm 1\%$ е 68%. Но вероятността да се получи грешка, по-голяма от 3%, е 3 на хиляда. Средноквадратичното отклонение на средната стойност е

$$\sigma_{x_{cp}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

където n е броят на измерванията.

В микропроцесорните измервателни уреди последното обстоятелство често се прилага за повишаване на точността. Обикновено се организира автоматично проверяване на 10, 16 или 256 измервания. От получените резултати се изчислява средната стойност и тя се приема за резултат от измерването.



Контролни въпроси 2.6

1. Какво знаете за случайните и за систематичните грешки?

2. Коя грешка се намалява и с колко при многократните измервания, организирани в измервателните процедури на микропроцесорните измервателни уреди?

2.7. Методи за повишаване на точността

Методите за повишаване на точността могат да се разпределят на две основни групи:

- конструктивно-технологични;
- структурни.

Конструктивно-технологичните методи се състоят в употребата на високостабилни градувни елементи, като резистори, кондензатори, кварцови резонатори, операционни усилватели и др. Към тези методи спадат и често прилаганите екранировки на чувствителни към смущения възли от устройството на уреда, термостапиране на термочувствителни елементи.

Когато влаганите елементи, определящи точността на уреда, не осигуряват необходимата точност при неговото производство, прилагат се калибровъчни операции.

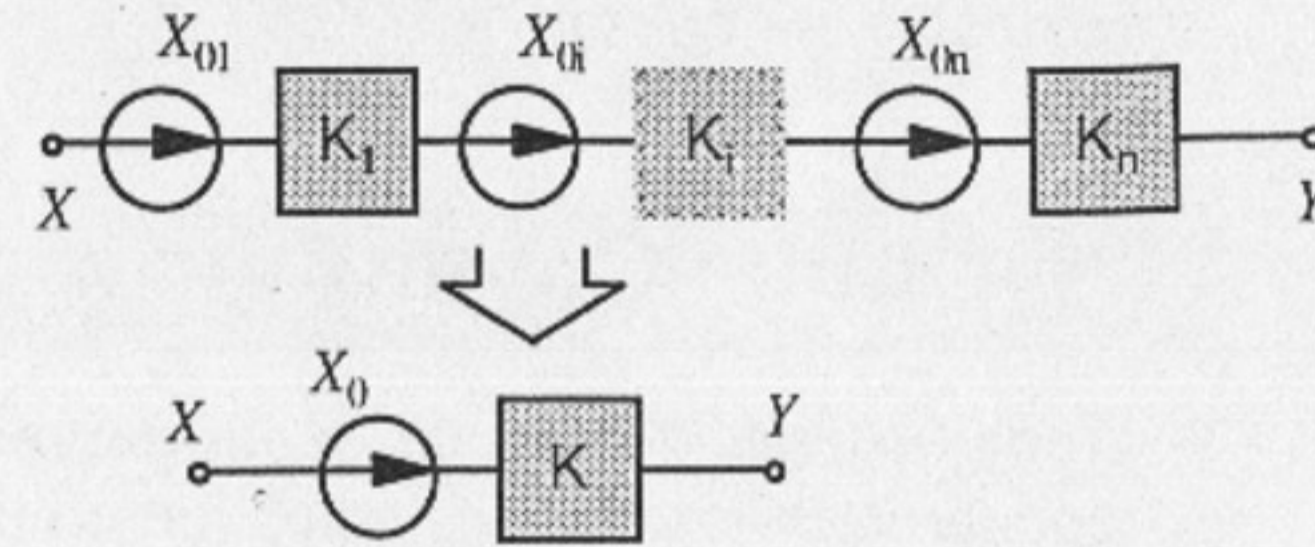
Структурните методи за намаляване на грешките се основават на търсене на подходящи структурни решения. Прилагането на отрицателни обратни връзки е широко използвано средство.



Задачи 2.7

1. За показаната на фигурата отворена структура, съставена от n на брой преобразователни звена, намерете:

а) формулата за приведената към входа адитивна грешка, ако са ви известни адитивните грешки X_{01}, \dots, X_{0n} на отделните звена и техните



коэффициенти на преобразуване K_1, \dots, K_n ;

б) формулите за общия коэффициент на преобразуване

$$K_0 = \frac{Y}{X}$$

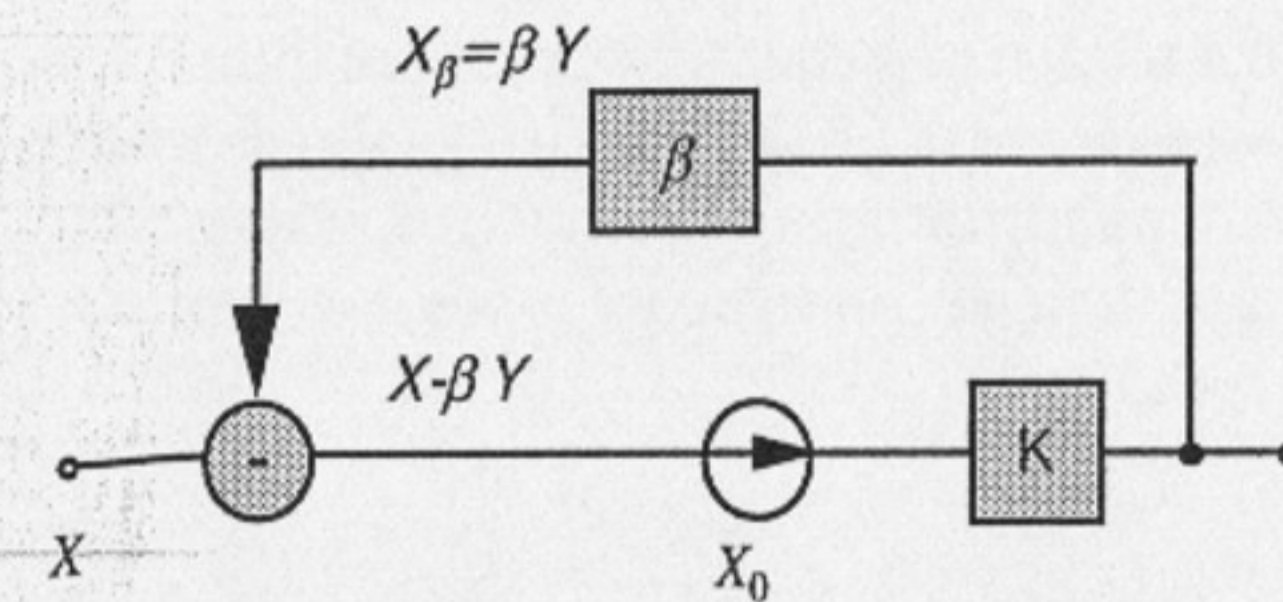
и за неговата относителна грешка, ако знаете относителните грешки на коэффициентите на преобразуване на отделните звена.

в) приведената към входа адитивна грешка (абсолютна и относителна стойност) за тризвенна структура, ако $X_{01} = 1 \text{ mV}$, $X_{02} = -1 \text{ mV}$ и $X_{03} = -1 \text{ mV}$.

г) Средно квадратичната и максимално възможната грешка на общия коэффициент на преобразуване за тризвенна структура, ако относителните грешки за всяко звено са $3\sigma_{\text{отн}} = \pm 0,5\%$.

2. За затворената структурна схема, показана на фигурата, намерете:

а) израза за коефициента на преобразуване $K_F = \frac{Y}{X}$, като знаете, че β е коефициентът на



предаване на четириполусника, включен във веригата на отрицателната обратна връзка;

б) израза за относителната грешка на K_F ако знаете относителните грешки за K и β ;

в) относителната стойност на грешката за K_F при $K=1.10^5$;

$$\delta_K = \frac{\Delta K}{K} = 0,1; \beta = 0,01;$$

$$\frac{\Delta \beta}{\beta} = 0,01.$$



Контролни въпроси 2.7

1. Какви методи за повишаване на точността познавате?

Обобщение

В съвременното измервателно уредостроене доминират цифровите апарати. Допустимата грешка при тях обикновено се дава чрез мултипликативната и адитивната съставка.

Относителната стойност на адитивната грешка нараства с приближаване на резултатите към началото на скалата. Поради тази причина по-голям динамичен обхват се покрива чрез разделянето му на подобхвати. При цифровите измервателни уреди подобхватите са по декади. По-голямата адитивна съставка на аналоговите измервателни уреди налага подобхватите да са в съотношение 1, 3, 10 ...

Върху точността на измерването

влияят фактори от разнообразно естество. Когато се познава чувствителността на влияние, може да се преценят допълнителните грешки, внасяни от тези фактори.

Систематичните инструментални грешки се минимизират чрез прилагане на подходящи калибровъчни процедури. Те са отделни за адитивната и мултипликативната съставка на грешката.

Случайните грешки се намаляват чрез провеждане на многократни измервания. Това често се прилага в микропроцесорните измервателни уреди, при които многократните измервания се осъществяват автоматично.