

# **Електронни устройства и системи за контрол и управление**

## **КОНСПЕКТ**

### **1. Електронните устройства в промишлени условия.**

Проблеми при работа. Изисквания към електронната апаратура.

Източници на електрически смущения и мерки за намаляване на влиянието им върху електронната апаратура.

Галванично развързване – трансформаторно, капацитивно и оптронно. Сравнение между тях - предимства, недостатъци.

Електронните устройства във взривоопасни и пожароопасни среди, подходи за работа, токова връзка, примери.

Токовата връзка като индустриален стандарт. Примери.

### **2. Мостови схеми за измерване и регулиране.**

Основни положения, предимства и недостатъци. Видове мостови схеми.

Мостове за променлив ток – особености, основни проблеми. Изисквания към електронната част.

Уравновесени и неуравновесени мостови схеми.

Реохордни и безреохордни мостове.

### **3. Измерване и регулиране на температура. Сензори за измерване на температура, общ преглед.**

Измерване на температура с полупроводникови сензори, особености. Примери.

Термометри с термодвойки, особености. Примери.

Измерване на температура с терморезистори - Pt100. Три и четири-проводна схема на свързване.

Термистори. Линеаризация на характеристиките на сензорите.

Измерване и регулиране на температура – примери.

### **4. Измерване на малки механични премествания - приложение. Методи и сензори за измерване - общ преглед.**

Индуктивни датчици (сензори) за малки премествания. Примери.

Капацитивни и тензосензори за малки премествания. Примери.

Магнитострикционни и пиеzo-сензори. Примери.

Фоторастерни преобразуватели за малки премествания, за ъгли и обороти.

### **5. Измерване на ъгли и обороти. Резолвери. Регулатори на обороти.**

Измерване и регулиране на обороти-примери.

### **6. Измерване на състав на газови смеси. Общ преглед на методите.**

Оптически методи за измерване на състава на газове.

Газоанализатори с измерване на топлопроводност

Терномагнитни (парамагнитни) газоанализатори.

Измерване на влажност. Методи, примери.

Измерване на вакуум. Методи, примери.

### **7. Интелигентни сензори. Особености.**

### **8. Електронни устройства за предупреждение и сигнализация. Електронни релета, основни изисквания. Закъснителни релета, област на приложение, недостатъци.**

Изпитът по дисциплината е писмен. Включва тест с въпроси по целия материал и подробно разглеждане на въпрос по някоя от темите в този конспект.

В окончателната оценка с 50% влизат резултатите от тестовете проведени през семестъра и оценката от лабораторните упражнения.

**Успех!**

Работа на електронните устройства в промишлени условия:

- промишлените условия (производствени, индустритални, в селското стопанство, транспорта и т.н.) са условията които не са лабораторни или домашни условия. Промишлените условия са по-тежки и работата на електронните съоръжения при тях е по-трудна. По-лесно е да дефинираме лабораторните условия, а всичко което е извън тях изискава по внимателен подход:

- тесен температурен обхват от 10-15 до 35-40 градуса.

- ниско ниво на запрашеност, слабо замърсяване от всяка към вид с материали предизвикващи корозия или с органични разтворители и др.

- слаби механични въздействия, удари вибрации.

- ниско ниво на електрически смущения.

Повечето от изискванията са предимно задачи пред механичните конструктори по отношение на използвани корпуси, покрития, бои и др. Естествено има изисквания и към органите за управление по отношение здравина, степен на херметизация, устойчивост на корозия и др. Работата на инженерите по електроника е свързана най-вече с подходящ избор на схемни решения (при конструкторите) и подбор на апаратура предназначена за работа в тези условия.

Изборът на схемни решения, на принцип на работа, както и на входно-изходните стъпала на апаратурата трябва да са съобразени с изискванията за електромагнитна съвместимост. Най-просто тези изисквания могат да се дефинират така:

***Устройството да не пречи на другите и да е устойчиво на въздействия от тях.***

Естествено няма идеални устройства които да имат нулево изльчване и да не се влияят от всички видове смущения. Устройствата се разделят на групи според предназначението им, мощността която управляват или консумират, средата в която работят и др. Изискванията зависят и от отговорността която "носят" устройствата.

Понякога не само електрическите смущения "са работа" на специалистите по електроника – ако условията налагат трябва да се използват съответни решения: в условия на запрашеност не може да се прилага принудително охлаждане (с вентилатор) или кутията трябва да е частично или напълно херметизирана и да се разчита на охлаждане от по-голяма площ.

Възникването на смущения се предизвиква обикновено от не-идеалната захранваща мрежа. Всеки проводник има собствено съпротивление, индуктивност и капацитет към другите. Колкото те са по-големи или комутирианият ток по-голям толкова и генерираните напрежения от самоиндукция са по-големи – достигат до стотици и хиляди волта. Поради наличието на много консуматори в едно промишлено предприятие, които непрекъснато извършват комутации на товари, в електрическата мрежа се появява един непрекъснат "шум" с много широк честотен спектър, най-често отместен към по-високите честоти. Периодично се появяват и единични импулси с по-голяма амплитуда и/или продължителност.

***Като правило смущенията са с малка енергия (мощност) и не повреждат апаратурана.***

Те обаче обръкат нормалната работа на устройствата, а това може да причини големи щети. Освен това трудно се установява причината за грешките при работа – в лабораторни условия същите тези устройства работят безупречно.

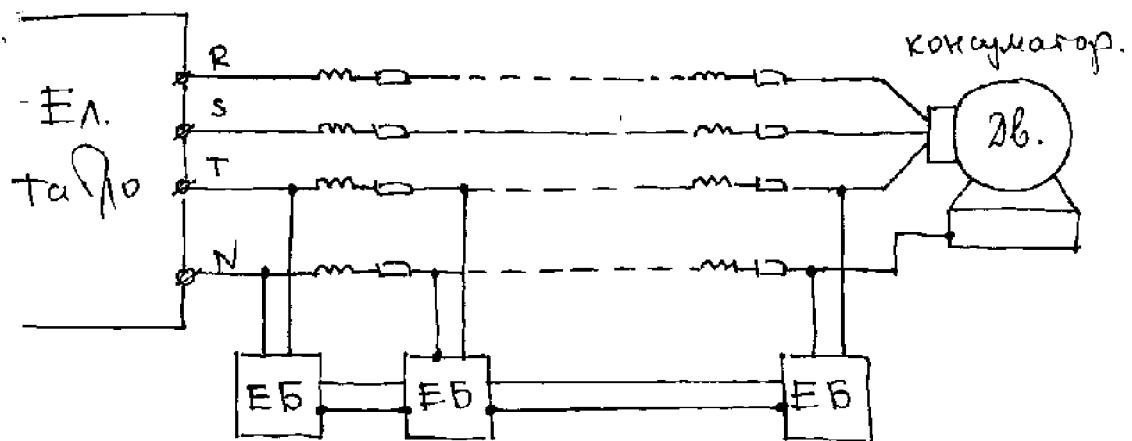
Смущенията проникват в апаратурата по няколко начина:

- през захранващата мрежа. Тези смущения се намаляват с подходящо подбрани схеми или принцип на захранващи устройства, конструктивни мерки (при изработване на трансформаторите) и най-вече посредством подходящи филтри в захранването.

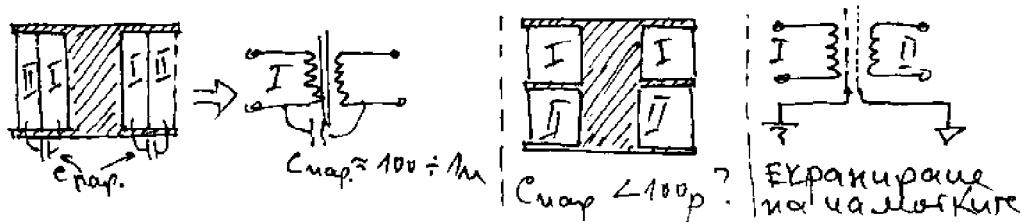
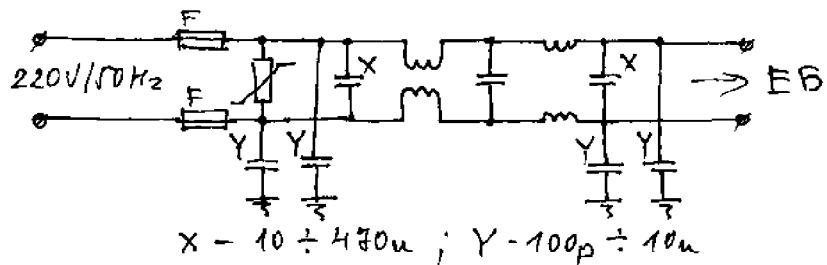
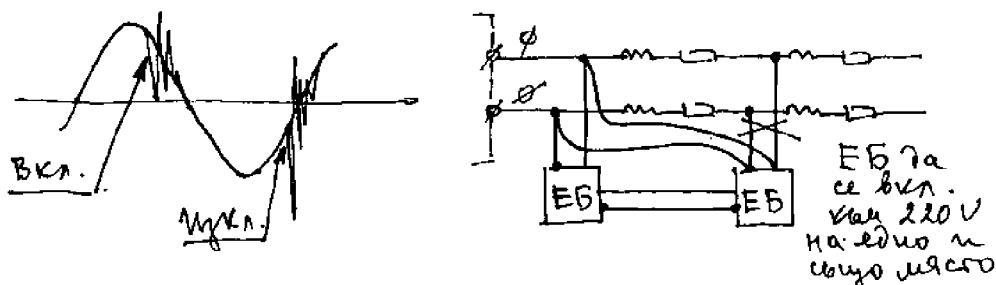
- през връзките с другите устройства. В този случай се подбират интерфейси които са шумоустойчиви, с по-високо ниво на сигналите, по-голяма мощност на предаване (токова връзки), диференциално предаване и др.

- като електромагнитни изльчвания, радиосмущения. Обикновено се проявяват при високо-чувствителна апаратура или при голяма мощност на смущението (гръмотевици). Обикновено подходът е чрез екраниране на устройствата и използване на защитни елементи при мощните смутители (супресори, вариистори, газоразрядници).

***Освен конструктивни мерки следва да се вземат и софтуерни, когато електронните устройства са на базата на компютри (контролери).***



Ел. смущенията възникват при комутации на мощни консуматори вследствие на паразитните индуктивности в електропроводните линии. Амплитудата на смущенията може да достигне до няколко хиляди волта в зависимост от конкретните условия. Като правило енергията на смушващите импулси е недостатъчна за да повреди апаратурата, но може да обърка работата ѝ.



Мерки за намаляване на проникването на смущенията:

-организационни:

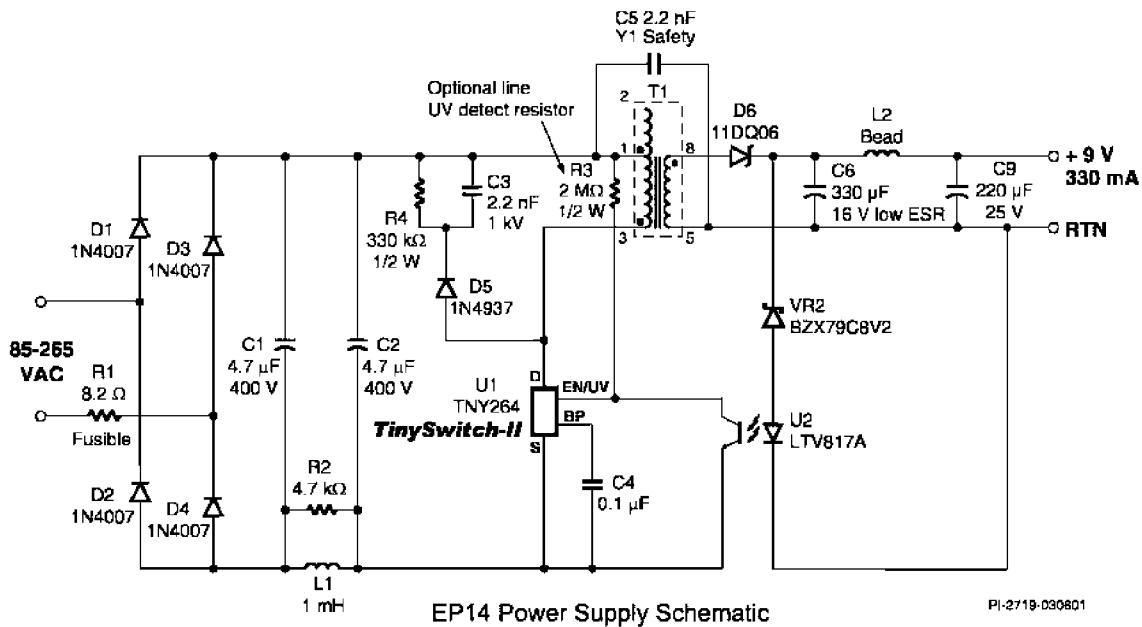
- подходящо свързване на електронните блокове към захранването

- включване към мрежата за осветление поради по ниското ниво на ел.смущения там

- конструктивни:

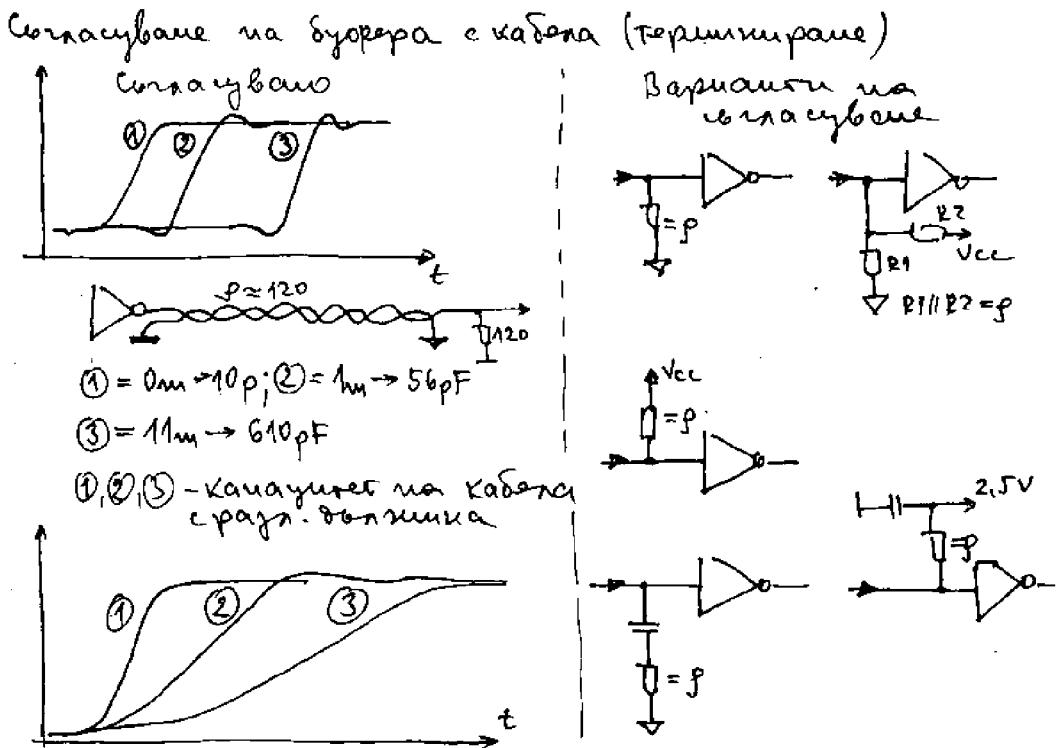
- използване на филтри в захранването

- трансформатори с по-малък проходен капацитет и с екраниране



PI-2719-030801

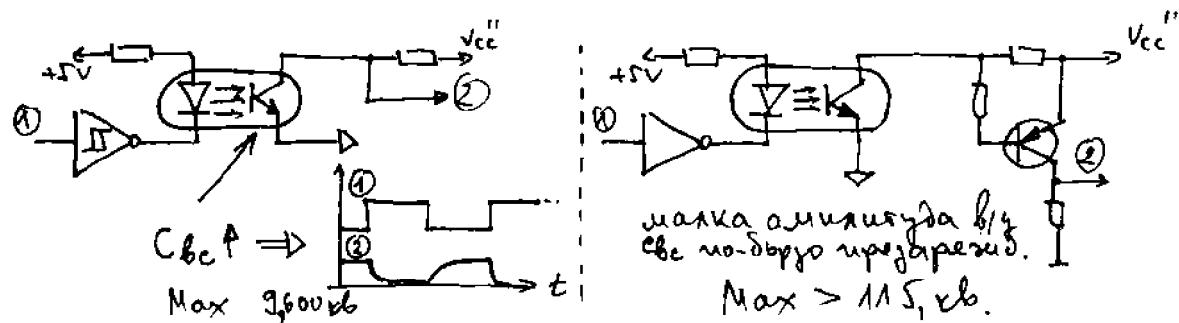
Пример на маломощно ключово (импулсно) захранване в което са взети мерки за намаляване на смущенията - както на тези които самото то създава, така и на проникващите от мрежата. За това са филтриращата група C1, L1 и C2 както и Y1 кондензаторът C5. Кондензаторът C3, освен че предпазва ключовия елемент, намалява и стръмността на импулса, а това намалява смущенията.



За намаляване на проникването на смущения през вход/изходите, при галванична връзка между електронните устройства, се използват подходящи интерфейси: с по-високи нива на сигналите, предаване с повече енергия (с голям ток), диференциални буфери, стесняване на честотната лента с помощта на филтри (RC групи) и др.

Наред с тези мерки е много важно и използването на подходящи линии (кабели) за връзка. При несъгласуване на вълновото съпротивление се наблюдава изкривяване на сигналите и податливост на смущения. Показаните различни варианти на съгласуване са за задаване на начално логическо ниво и по-малка консумация.

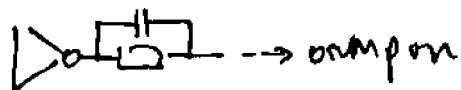
За намаляване на смущенията проникващи през входовете и изходите **радикалното** решение е галваничното развързване. Прилагат се оптронно и трансформаторно развързване.



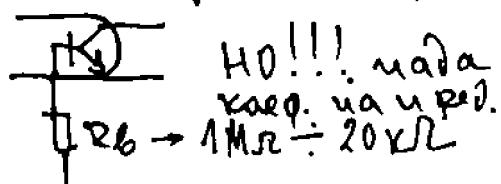
Когато транзисторът на оптрона се използва по схема ОЕ, поради големия капацитет ВС, времето за превключване е голямо – за включване 3-5us, за изключване 10-15us. По тази причина при използване в сериен интерфейс скоростта трудно превишава 9600kb. Значително подобреие се получава при използване на схема близка до ОВ, но за получаване на достатъчна амплитуда на изхода се налага използването на допълнително стъпало. По този начин скоростта на предаване може да се увеличи над 10 пъти. За ускоряване се вземат и други мерки – използване на базов резистор и ускоряваща RC група в предаващата страна.

### Ускоряване

1-и чвр. срама



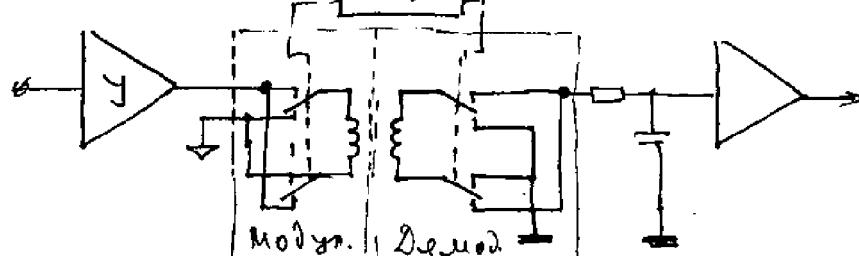
2-и вторична ср.



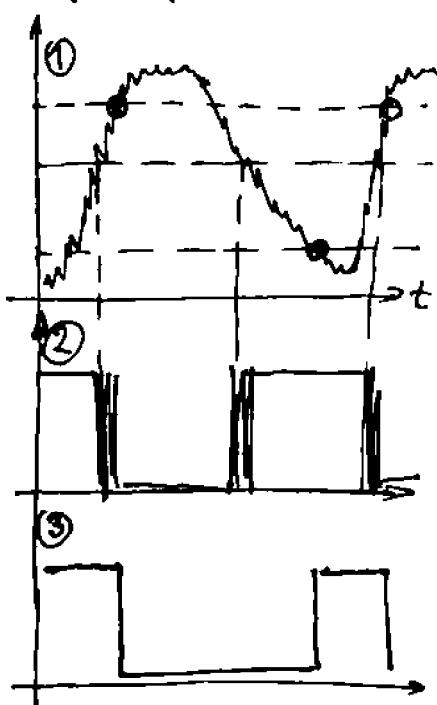
Независимо дали се прилага галванично развързване или не, в повечето случаи е подходящо на входовете да се използват буферни схеми с хистерезис (тригери на Шмидт). Хистерезисът трябва да надвишава нивото на смущения. Ако това не е така трябва или той да се увеличи или нивото на смущения да се намали - с намаляване на сигнала (делител) или с филтър. Във втория случай се стеснява честотната лента и скоростта на предаване на информация се намалява.

Трябва да се има предвид, че хистерезисът на входа може да доведе до изкривяване на формата на предавания сигнал т.е на коефициента на запълване. Ако информацията се предава с коефициента на запълване използването на тригери на Шмидт не е подходящо.

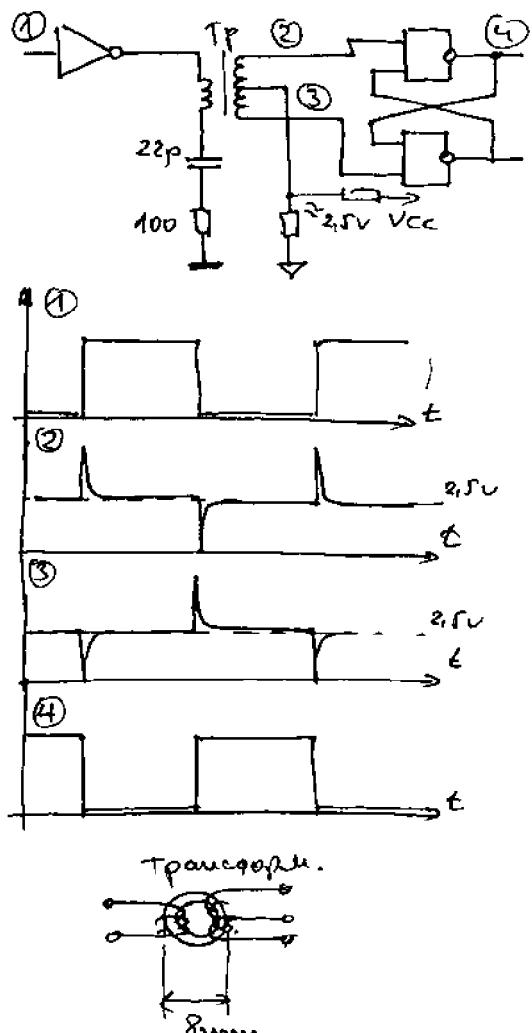
Модулация - не Модулация.



## Тригер на Шилдт



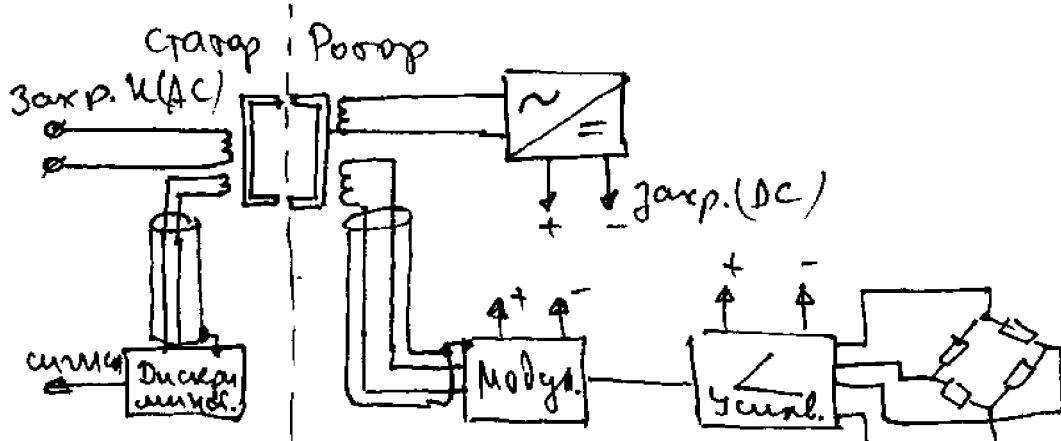
(1) - входен сигнал.  
 (2) - без тригър  
 (3) - с тригър на Шилдт



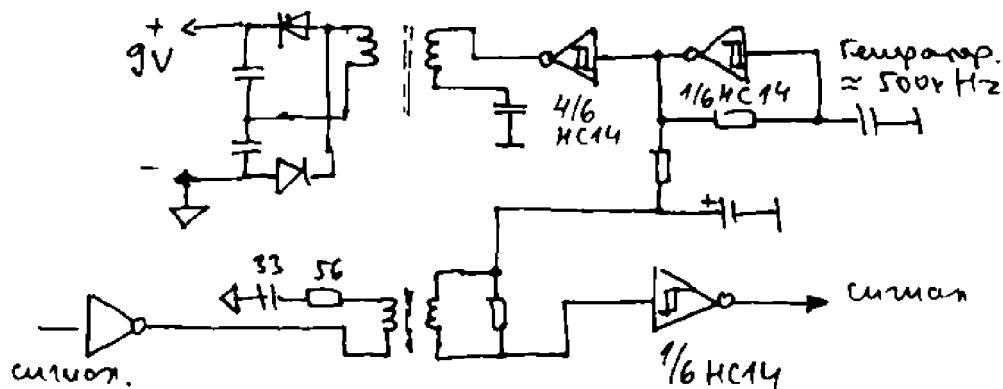
Трансформаторното развързване се използва или за предаване на аналогова информация или за предаване на цифрови сигнали. В първия случай се използват подходите както при усилвателите с модулация-демодулация (МДМ). Тук обаче не се предават малки сигнали и целта не е малък дрейф, а галванично развързване.

За цифрови сигнали се използват импулсни трансформатори. Те са с малки размери и лесни за изработка (ниска цена). По-горе е показана схема за възстановяване на формата на цифров сигнал, защото логическите нива не могат да се прехвърлят с трансформатор.

Удобство при трансформаторното развързване е възможността едновременно (с един и същ транс-



форматор) да се предава сигнал и в двете посоки и на захранване както е показано на схемата. По-долу е даден друг конкретен пример, тема и на лабораторно упражнение.



Импулсният генератор, на базата на един елемент HC14, управлява 4 елемента от същата схема които през трансформатор захранват друго електронно устройство. От това устройство сигналът се прехвърля обратно през втори трансформатор. Импулсите се формират с елемент HC14 от същата схема. Постояннотоковото ниво на входа е в средата на хистерезиса – така се получава максимална шумоустойчивост.

На тази тема са материалите в *isolat.zip*.

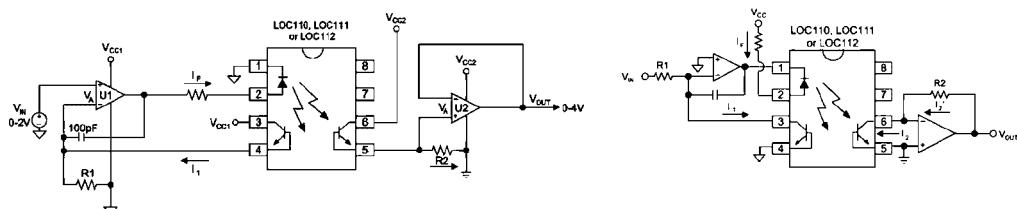
Сравнението между оптронното и трансформаторното галванично развързване показва, че и едните и другите имат определени предимства и недостатъци. В зависимост от конкретната задача се препоръчва едното или другото.

**Недостатъци** на оптронното развързване: нисък КПД, необходимост от захранване и от двете страни, нестабилен коефициент на предаване във времето и от температурата, изискване на по-голяма мощност за предаване на сигнала, ограничения към високите честоти.

**Предимства:** просто управление, гарантирана еднопосочност, ниска цена, лесно предаване на постояннотокови сигнали, малък проходен капацитет, по-лесна реализация на високо пробивно напрежение (чрез увеличаване на разстоянието м/у светодиода и фототранзистора), по-голяма устойчивост на смущения (за предаване се използва по-голям ток).

На практика показателите които са недостатъци и предимства на оптронното развързване, са съответно предимства и недостатъци на трансформаторното.

За предаване на аналогова информация за измервателни цели, обикновеният опtron няма добри параметри (светодиодът старее, което води до намаляване на коефициента на предаване). Има специализирани диференциални оптрони за предаване на аналогова информация.



#### Въпроси:

1. Какво е характерно за промишлените условия?
2. Какви са изискванията към електронните устройства за работа в пром. условия?
3. Какво се разбира под електромагнитна съвместимост?
4. Как възникват ел. смущения?
5. Как електрическите смущения проникват в електронните устройства?
6. Какво е въздействието на ел. смущения върху ел. устройства?
7. Как се намалява въздействието на ел. смущения в/у ел. устройства?
8. Сравнение между оптронно и трансформаторно развързване.

Работа на електронните устройства във взривоопасни и пожароопасни среди:

Това са средите в които вследствие на работата на електронната апаратура може да възникне експлозия или пожар – в химическата, целулозно-хартиената, хранително-вкусовата, военната промишленост, мините и др. Основен проблем е възникването на електрическа искра вследствие на повреда – късо съединение или прекъсване. Затова трябва да се работи с минимална енергия – ограничение на работното напрежение, ток, индуктивности и капацитети.

Съществуват няколко основни подхода за решаването на тази задача:

1. Апаратурата изцяло се прави безопасна – много скъп подход, а при сложни системи и неприложим.

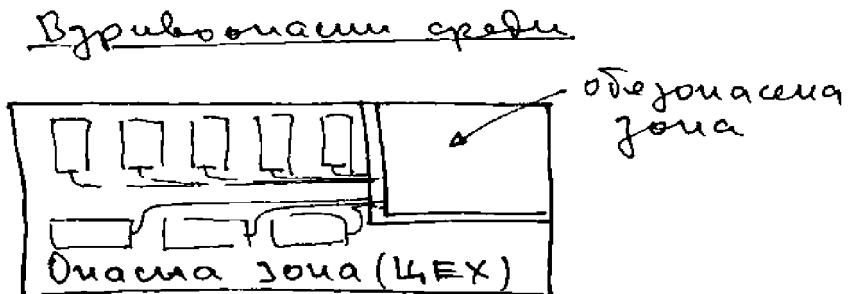
2. Оборудването се разделя на две части: едната безопасна, а другата стандартна – компромисен вариант с приемлива цена.

3. Използване на изцяло не-електрически устройства (пневматични и хидравлични) – налага се при изключително строги изисквания, напр. когато се работи с взривни материали.

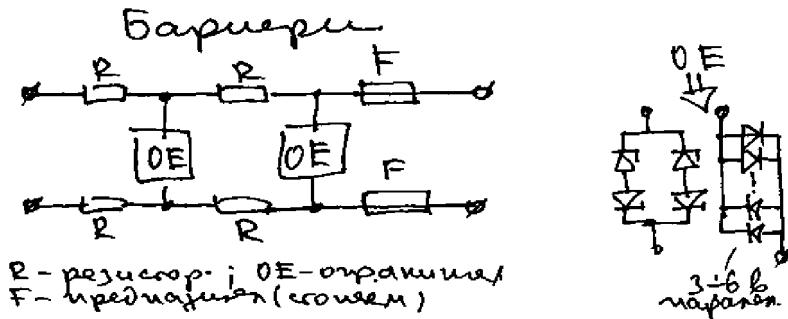
Кой от подходите ще се използва зависи от конкретното приложение и степента на опасност. Всяка промишлена среда се характеризира със степен (клас) на опасност, която е сертифицирана от специализирани лаборатории. За всеки клас са определени максимално допустимите напрежение, ток, индуктивност, капацитет, както и някои други параметри. Има стандартизационни документи поставящи строги изисквания към използваната апаратура, която трябва да е от същия или от по-висок клас от този на средата в която ще работи.

**Във всеки случай на закупуване и монтаж трябва да се спазват изискванията за безопасност, а понякога се изисква и разрешение от специализирана лаборатория.**

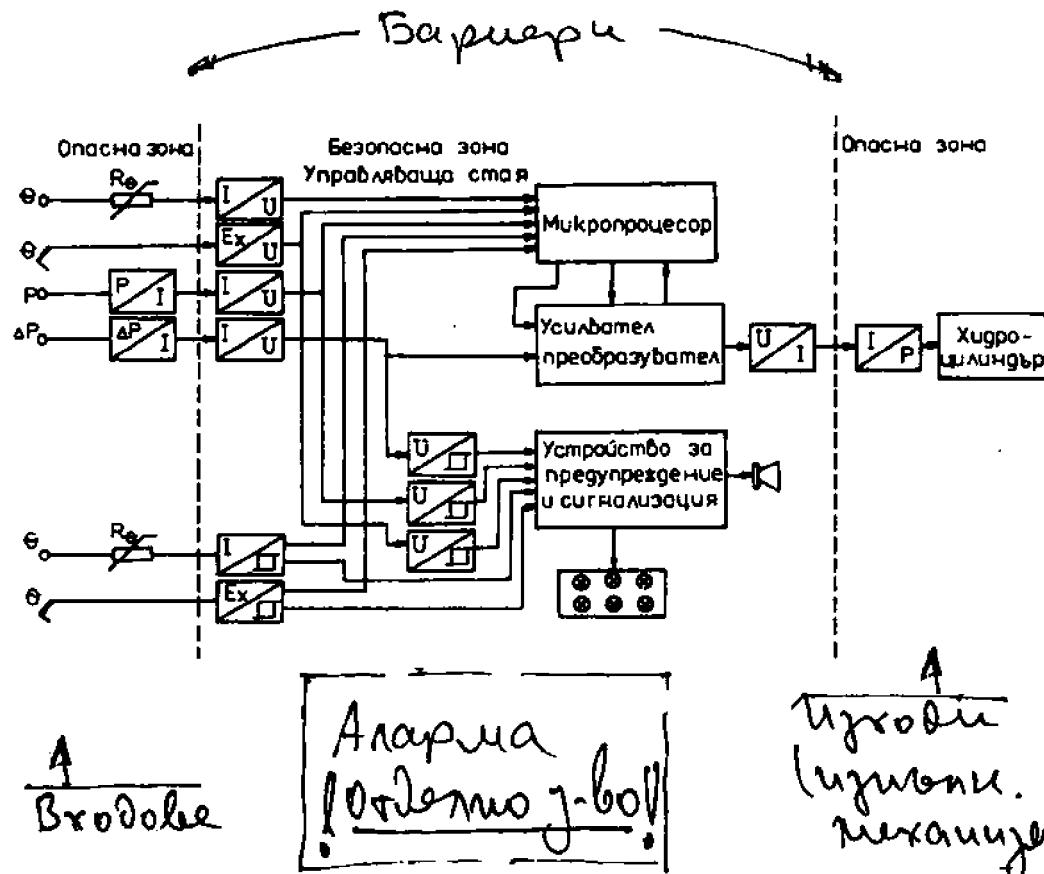
Най-често в практиката се прилага вторият поход за обезопасяване – сензорите, устройствата за първична обработка, изпълнителните устройства се намират в опасната зона и напълно отговарят на изискванията за безопасност. Останалата част от апаратурата (управляващо устройство, индикация, регистратори и др.) е стандартна и трябва да се намира на обезпасено място. Така цената е по-ниска, създават се удобства за персонала, но пък се изисква специално оборудвано помещение. Връзките между двете части на оборудването преминават през специални устройства – бариери. Обикновено обезпасената част се намира на обособено място в производството (в цеха).



Бариерите включват предпазители, ограничителни елементи за ток и напрежение. Всъщност схемите са много прости. Основното изискване е много голяма надеждност – използват се елементи в паралел за дублиране на функциите. Освен това всеки един елемент се измерва и тества. Това прави бариерите много скъпи устройства, но в тях е съсредоточена безопасността.

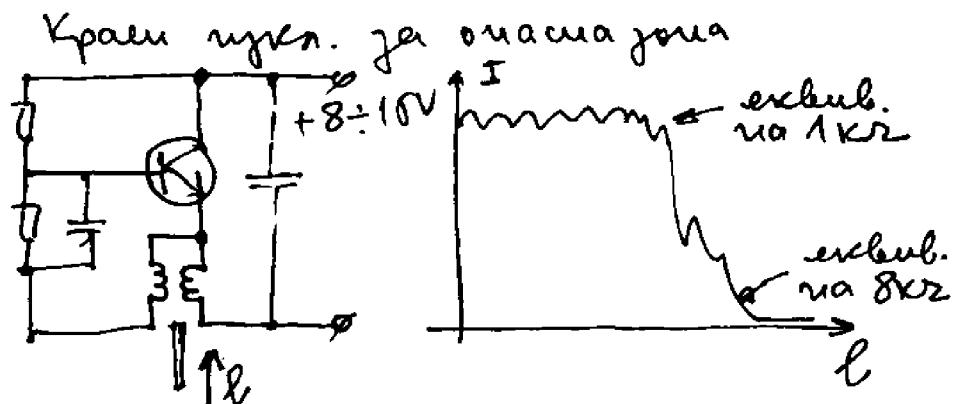


Типичната блокова схема включва входни и изходни преобразуватели на базата на обезпасени прости устройства и управляваща система поставена в безопасна зона.



*На схемата входовете и изходите за прегледност са разделени, но въщност опасната зона е една.*

Много е важно устройството за предупреждение и сигнализация (аларма) да е самостоятелно, а не част от управляващата система. То трябва да е просто, да следи превишаването на максимално допустими стойности и да е много надеждно.



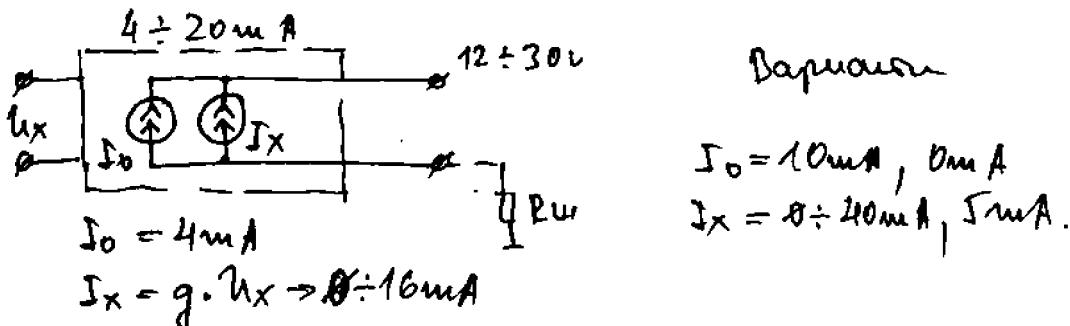
*При приближаване на метал генерациите спират.*

Прост сензор за положение за работа в опасната зона използва генератор с индуктивна обратна връзка. При доближаване на метал вследствие на загубите генерациите спират и еквивалентното съпротивление се променя - приблизително от 1k на 8k. Управляващата система следи консумирания ток.

Токова връзка.

Това е един от най-разпространените начини за предаване на информация в индустрията. Използва се както за събиране на сигналите от първичните преобразуватели, така и за управление на изпълнителните механизми. Поради ограничения максимален ток тази връзка е много удобна и за работа във взривоопасни среди.

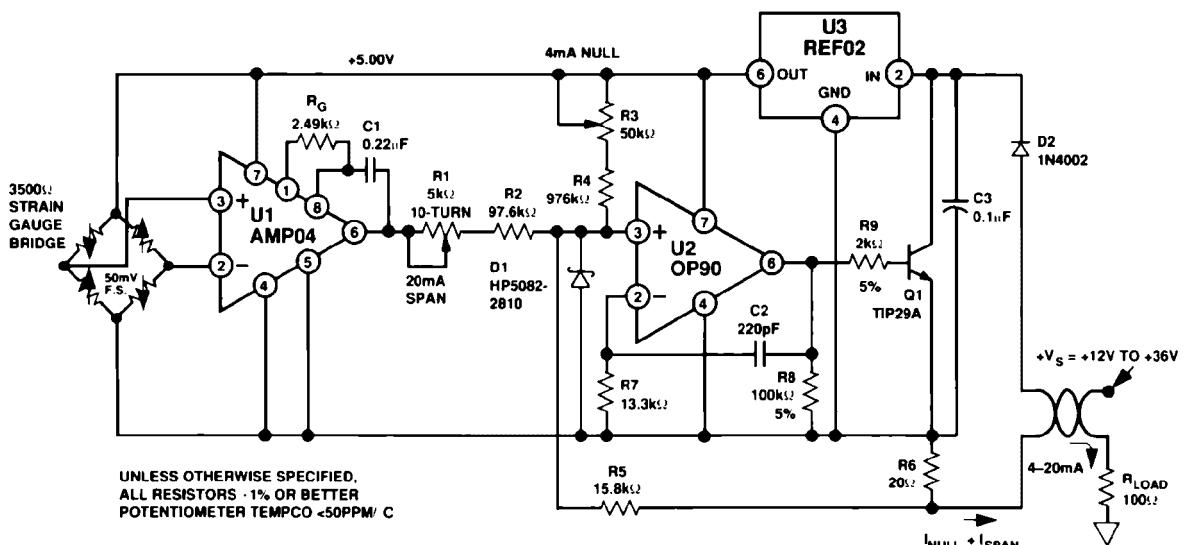
Сигналът пропорционален на измерваната (управлявана) величина се предава с ток. Вариантите на тази връзка са няколко 0-5mA, 4-20mA и 10-50mA. Най-разпространен е този от 4 до 20mA.



Схемата на първичен преобразувател за токова връзка включва генератор на постоянен (начален) ток и генератор на ток управляван от входния сигнал. Началният ток е за захранване на устройството – операционни усилватели, стабилизатори и т.н. Консумираният ток над 4mA се използва за предаване на информация за входния сигнал – при 4 mA входният сигнал е 0%, а при 20 mA – 100%. Поради това устройствата за токова връзка трябва да консумират точно определен начален ток. Всяка неточност се отразява като грешка в изходния сигнал.

Системите за токова връзка се изграждат, като първичните преобразуватели са свързани към централна станция, която подава захранващо напрежение и по консумирания ток получава информация за измерваните величини. Напрежението от станцията е от 12 до 30V, а максималният ток се ограничава (обикновено до 30 mA). При взривоопасни условия връзките са през бариери с подходящи за случая параметри ( $I_{max}$ ,  $U_{max}$ ).

Този тип устройства обикновено работят на разстояние 10-200m от управляващата система поради това захранващото напрежение което те получават ще се променя. Тази промяна зависи от съпротивлението на свързващите проводници и изходния сигнал (4-20mA) и не трябва да влошава параметрите на работа.



Показаната схема е типичен пример на преобразувател за токова връзка. Сигналът от тензо-мост се усилва (U1) и подава на схема на генератор на ток (U2, Q1, R6 и др.). Токът който се консумира преминава през шунтовия резистор и поради дълбоката обратна връзка се получава много добра характеристика на генератор на ток. Удобство е възможността началният ток и максималният ток да се настройват независимо един от друг – 4mA с R3, 20mA с R1.

Изискванията към устройствата за токова връзка могат да се обобщят:

- клас на точност на тези устройства - 0,5 (0,2) ( класът показва в % относителната грешка).
- точна стойност на собствената консумация 4 mA.
- линейна връзка между измерваната величина и консумирания ток.
- характеристиките на генератор на ток да се запазват при промяна на напрежението от 8 до 30V с грешка по-малка от 0,1%.

Голямото предимство на токовата връзка, наложило я като промишлен стандарт, е много добрата шумоустойчивост. Това е така защото устройствата се захранват от едно място – от централната станция, а информацията се предава с ток (с повече енергия). Предимство е и необходимостта само от два проводника (едновременно за захранването и за сигнала) и лесното отделяне на полезната информация. Освен това лесно се установява прекъсване на свързващите проводници – токът (0mA) е извън работния обхват 4-20mA.

Поради това, за да се използват изградените системи за управление и всички предимства на токовата връзка, често в практиката и други устройства поддържат изходи 4-20mA. Поради невъзможността те да се “вместят” в 4mA собствена консумация, изходите им са “активни”, т.е те сами генерираят тока в линията за връзка за разлика от “класическите” преобразуватели които управляват консумирания ток но са захранени от централната станция. Активни са и всички устройства работещи с токова връзка 0-5mA. При тях в централната станция се намират шунтови резистори напрежението върху които е пропорционално на измерваните величини. На този принцип (0-5mA) работят голяма част от първичните преобразуватели в информационните системи в енергетиката.

**Въпроси:**

1. Как се изграждат системи за работа в пожаро- и взривоопасни среди?
2. Какви са изискванията към електронните устройства за работа в такива условия?
3. Как се реализира връзката между опасната и безопасна зони?
4. Какви са главните изисквания към бариерите?
5. Какво представлява токовата връзка като промишлен стандарт?
6. Какви са основните изисквания към преобразувателите за токова връзка?
7. Защо преобразувателите трябва да работят в широк обхват на захранващо напрежение?
8. Защо устройства с токова връзка имат голяма шумоустойчивост?

Мостови схеми за измерване и регулиране.

Измервателният четири-раменен мост се прилага много широко в устройства с промишлено приложение. Основните предимства на моста са следните:

- изходният сигнал е пропорционален на изменението  $\Delta R$  (не  $\Delta R+R$ ), т.е само на полезния сигнал, а така се получава по-голяма разрешаваща способност. Това е много важно, тъй като при повечето промишлени сензори максималното изменение  $\Delta R$  е само няколко процента от  $R$ .

- много добро подтискане на синфазните сигнали. Когато се използват еднотипни резистори грешките от околното въздействие се намаляват значително – и четирите елемента се изменят в една и съща посока от смущенията и сигналът в изхода почти не се променя.

- при подходящо свързване на чувствителния елемент в моста, изходният сигнал може да бъде с желана полярност, може да се увеличава или намалява при изменение на измерваната величина.

- по-лесно се компенсират грешките които възникват от проводниците свързващи сензора с останалите елементи в моста.

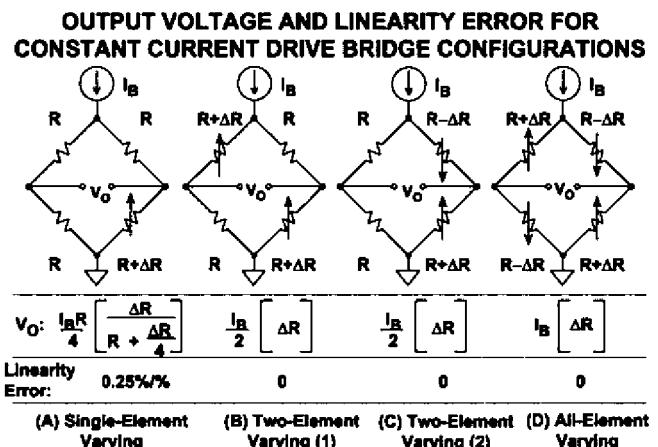
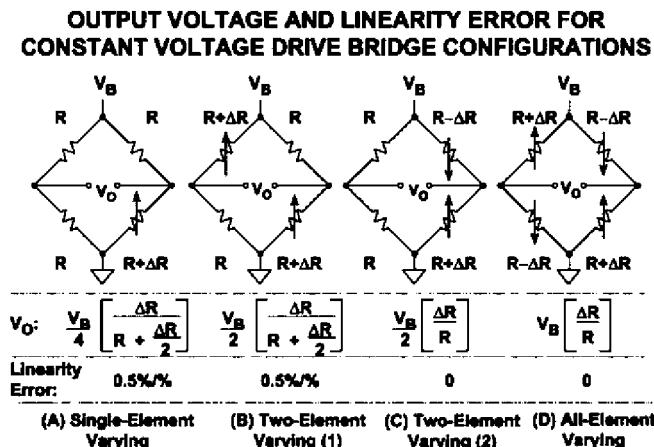
Недостатъци на моста са:

- намаляване на чувствителността на сензора (2 до 4 пъти).

- усложняване на схемата.

- възможност за допълнителни грешки от останалите елементи на моста.

На фигурите по-долу са показани изходното напрежение и грешките при различен брой сензори в моста при захранването му с напрежение и с ток.



Вижда се, че когато се използват резистори които променят стойността си в различна посока при изменение на изходната величина грешката от нелинейност е нула (теоретично). Естествено чувствителността е най-голяма когато и четирите рамена на моста са чувствителни (сензори).

Много голямо е разнообразието от методи и схемни решения при използването на мостови схеми. Те може да се разделят по следния начин:

- постояннотокови и променливотокови мостови схеми. Когато сензорите са от индуктивен и капацитивен тип променливотоковото захранване е задължително. В другите случаи изборът на захранващо напрежение зависи от много други фактори, често от допустимия дрейф на ОУ.

- захранване с генератор на напрежение или генератор на ток. При захранване с ток може да се получи по-малка нелинейност, но схемите на такива генератори са по-сложни, особено за променлив ток.

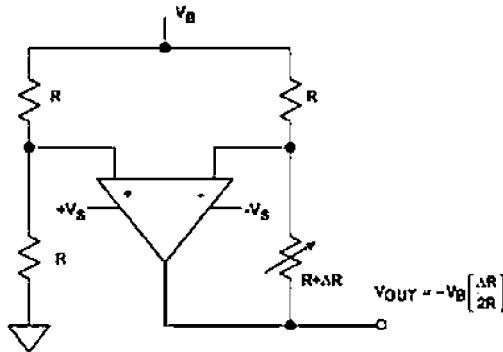
- в зависимост от броя на сензорите в моста. Използват се 1, 2 или 4 чувствителни елемента.

- полу-мостови схеми. Когато едната половина на моста се използва само за задаване на част от захранващото напрежение. Такива например са индуктивните датчици за малки премествания.

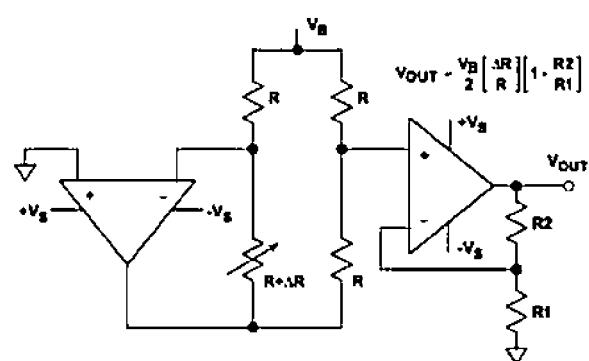
Освен това всяка от групите има множество подразделения в зависимост от избраните начини на измерване, на свързване на сензорите и др.

По-долу са дадени примери за линеаризация и за компенсация на свързващите проводници.

**LINEARIZING A SINGLE-ELEMENT VARYING BRIDGE  
METHOD 1**

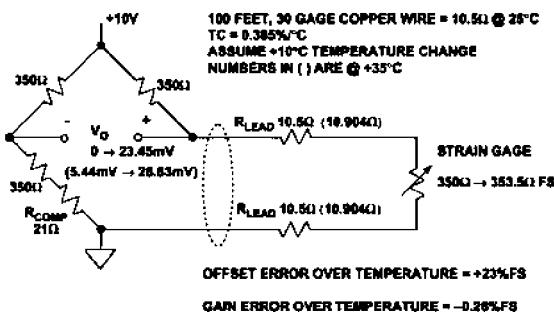


**LINEARIZING A SINGLE-ELEMENT VARYING BRIDGE  
METHOD 2**

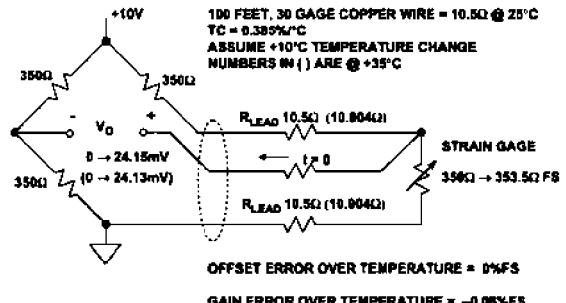


При тези две схеми линеаризацията се основава на запазване на тока през резисторите на моста при промяна на съпротивлението на сензора.

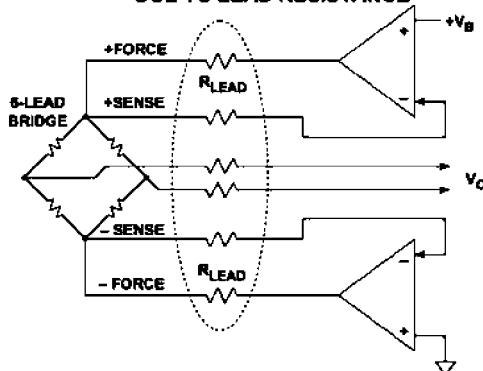
**ERRORS PRODUCED BY WIRING RESISTANCE  
FOR REMOTE RESISTIVE BRIDGE SENSOR**



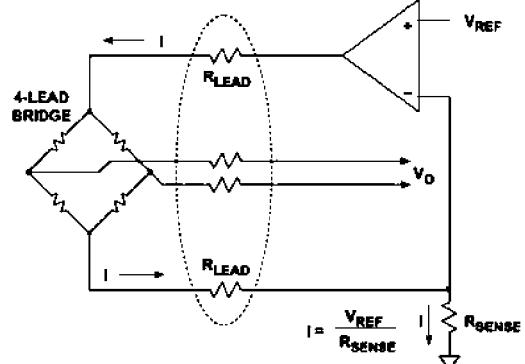
**3-WIRE CONNECTION TO REMOTE  
BRIDGE ELEMENT (SINGLE-ELEMENT VARYING)**



**KELVIN (4-WIRE) SENSING MINIMIZES ERRORS  
DUE TO LEAD RESISTANCE**



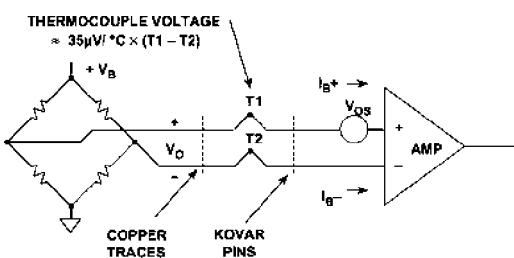
**CONSTANT CURRENT EXCITATION  
MINIMIZES WIRING RESISTANCE ERRORS**



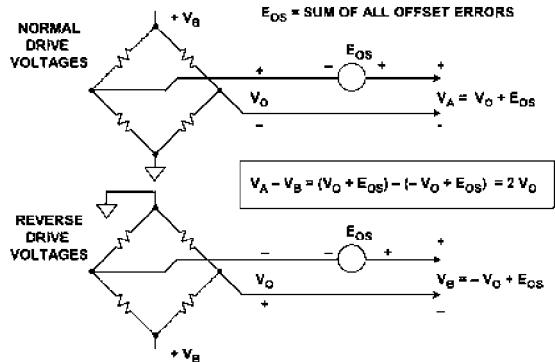
Тук е показана причината за грешки поради съпротивлението на свързващите проводници и различни подходи за нейното намаляване. Най-често това става с четири- или три-проводна схема на свързване, като съпротивлението (вредното) на свързващите проводници се разпредели в двете рамена на моста.

На схемите по-долу е показана причината за възникване на грешки поради термо-ЕДС (ЕДН). За да се намали въздействието се използва променливотоково (AC) захранване.

### TYPICAL SOURCES OF OFFSET VOLTAGE

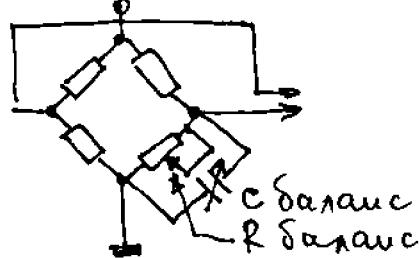
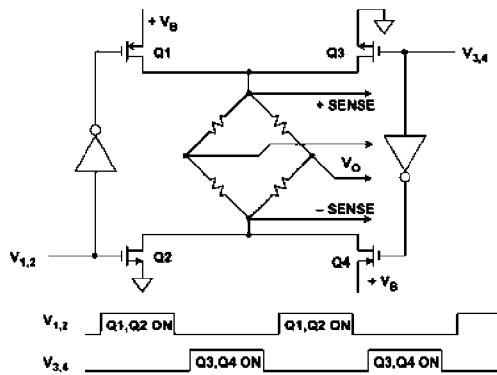


### AC EXCITATION MINIMIZES OFFSET ERRORS



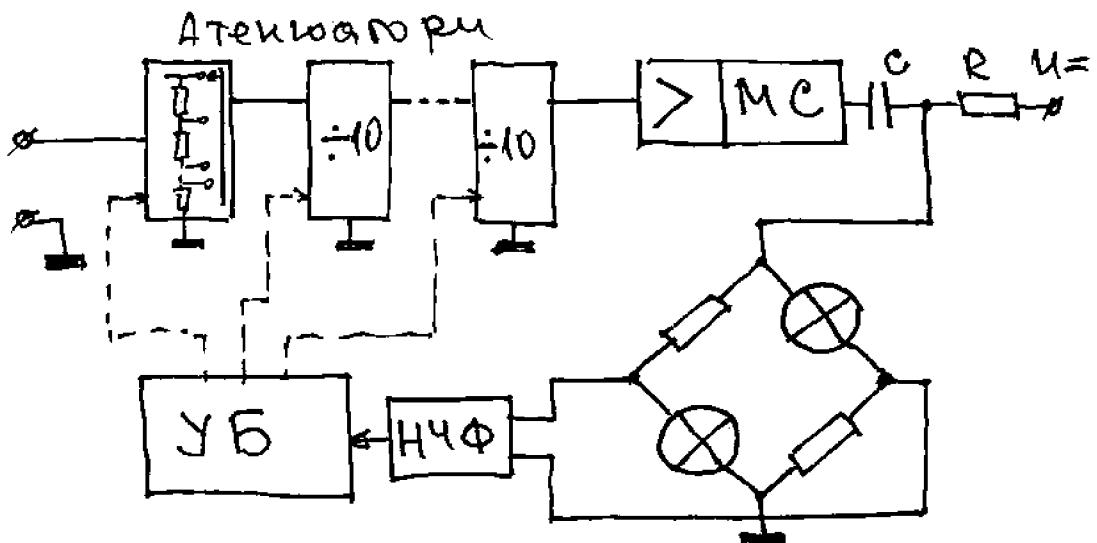
При смяна на поляритета на захранването (AC) постояннотоковото отместване  $E_{OS}$  се премахва. На схемата долу вляво е показана схема за AC захранване с генератор на ток.

### SIMPLIFIED AC BRIDGE DRIVE CIRCUIT



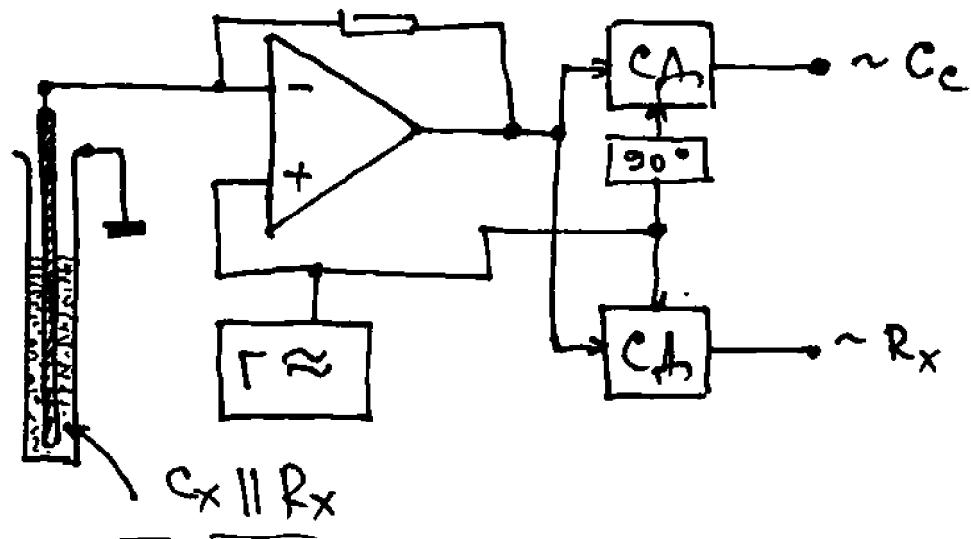
При работа с променливотоково захранване има някои основни изисквания. Преди всичко трябва да се има предвид, че всички елементи имат активна и реактивна съставка и когато има нужда от настройка това се прави и по двете съставки – в практиката това се нарича “R-C баланс”. Тъй-като е по-просто и индуктивната и капацитивната съставка се компенсира с кондензатор – ефектът от капацитет в едното рамо се проявява като индуктивност в противоположното.

За разликата от постояннотоковото захранване което се характеризира само с амплитудата си, променливотоковото има и честота, фаза, хармоничен състав (форма). Това означава, че е значително по-трудно да се направи генератор със стабилни характеристики. Същото се отнася и за всички останали стъпала в едно устройство работещо с променливотоков мост – пред-усилвател, детектор, формирател, усилвател и т.н. Общото изискване е те да имат стабилна амплитудно-честотна и фазова характеристика, да не внасят нелинейни изкривявания. Тъй-като това са много трудни за изпълнение изисквания, в някои устройства се прилагат подходи за “заобикалянето” им. Най-често се прави така, че стъпалата с активни елементи да работят около една и съща точка на характеристиката си – тази при която е извършена настройката на уреда. Пример за такова устройство е показан на блоковата схема по-долу. Дадена е само усилвателната част, а сигналът се взема от променливотоков мост. В тази схема има няколко интересни неща: тя работи винаги с точно определен сигнал на изхода, усилвателите работят с един и същ коефициент на усилване, т.е. в една и съща работна точка. При различен входен сигнал се променя само коефициентът на делене на атенюаторите и доколкото те са пасивни устройства постигането на стабилност е по-лесно. Управляващият блок намира коефициент на делене при който мостовата схема на изхода на мощнния усилвател се балансира. Балансирането става от промяна на съпротивлението на лампите с нажежаема жичка – при по-високо напрежение жичката се нагрява повече и съпротивлението ѝ се увеличава. При точно определено напрежение мостът ще се балансира, а това значи, че и мощното стъпало ще работи около една точка от характеристиката си.



Друго предимство на това устройство е, че отчита истинска ефективна стойност (управлението на съпротивлението на лампите става с топлина – виж дефиниция на ефективна стойност), за разлика от повечето измерители които измерват средна стойност, а отчитат ефективна като “предполагат”, че напрежението е със синусоидална форма.

Възможността да се разделят активната и реактивната съставка позволява да се извършват някои специфични измервания при които полезната информация се носи само от едната съставка. Типичен пример за това е схемата показана по-долу която се използва като нивомер – измерва напълването на резервоари. Информацията се носи от капацитета – реактивната съставка. Съпротивлението  $R_x$  зависи от проводимостта на течността в резервоара и се променя в много широки граници - при отпадъчни води например. С помощта на синхронни детектори отделно се получава информация за капацитета и съпротивлението.

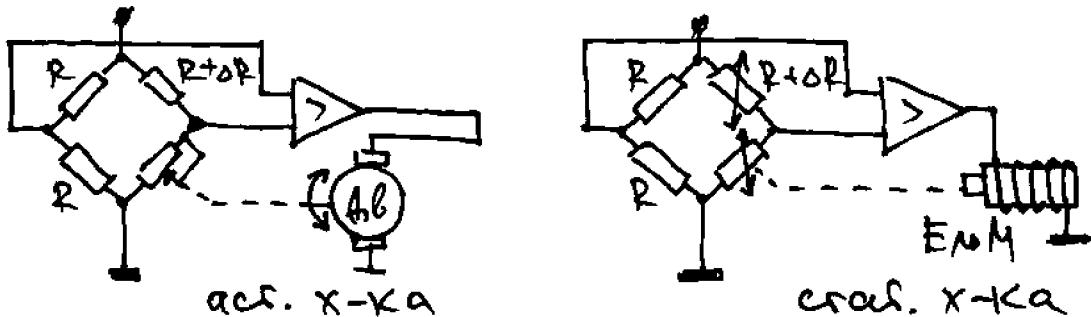


Мостови схеми за променлив ток се използват и при измерване и регулиране на някои величини които се разглеждат по нататък - напр. при малки механични премествания.

Мостовите схеми се разделят и по начина по който се определя измерваната величина. Досега разгледаните са от групата на неуравновесените мостове. При тях на изхода на моста се получава напрежение пропорционално на измерваната величина. Има и друг подход - така наречените уравновесени мостове. При тях, когато се промени измерваната величина и на изхода на моста се появи сигнал, се въздейства така, че в изхода напрежението да стане нула. Примери на

такива мостове са показани по-долу.

## Уравновесени мостове



Уравновесяването при лявата схема става с потенциометър който се променя от двигател. При другата схема се измерват деформации с тензорезистор. Компенсацията става с деформация на тензорезистора в съседното рамо на моста. Първата схема е с астатична характеристика - след като мостът се уравновеси, на изхода напрежението е нула (поради интегриращото звено - двигател). Втората схема е със статична характеристика - при нея винаги остава малка неуравновесеност която усиlena поддържа тока през електромагнита деформиращ тензорезистора. В този случай няма интегриращо звено и ако на изхода на моста напрежението е нула и токът през ел.магнита ще е нула.

Ако се сравнят уравновесените и неуравновесените мостови схеми може да се направят следните изводи:

### неуравновесени мостове:

- те са по-прости и по-евтини, с по-голямо бързодействие
- изходното напрежение е пропорционално на полезнния сигнал, но и на захранващото напрежение (ток). Поради това се изисква стабилно захранване

### уравновесени мостове:

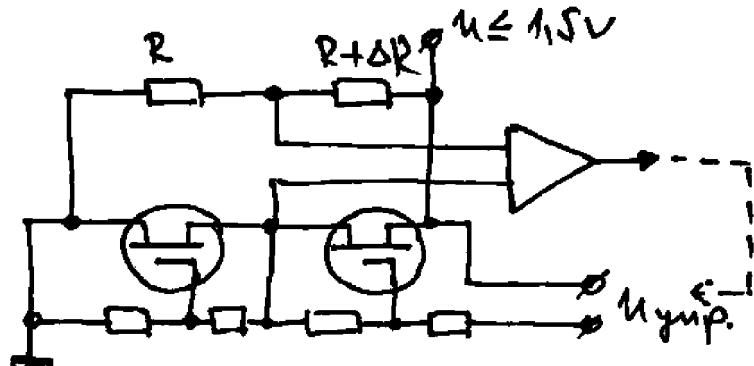
- по-сложни и по-скъпи устройства
- напрежението в изхода им е около нулата. Те не са чувствителни на промените в захранването на моста.
- точността на преобразуване е създадена само в уравновесяващия елемент, а всички други грешки се компенсират от обратната връзка.
- с подходящ избор на компенсиращия елемент може да се влияе на вида на характеристиката – може да се линеаризира, да се въведе логаритмична зависимост и т.н.

Потенциометрите с които най-често се извършва компенсацията се наричат **реохорди**. Това са много прецизни елементи които определят качеството на работа на целия уред. Това ги прави и много скъпи елементи. Обикновено реохордите са жични, линейни, много-оборотни потенциометри с клас 0,1-0,5%. Като електро-механични устройства те имат типични недостатъци:

- скъпи са
- трудно се правят с нелинейност по-добра от 0,1%
- износват се
- имат контактно съпротивление между плъзгача и намотката
- между плъзгача и намотката може да възникне термо-ЕДС
- инертни са (бавни) и не могат да се използват в бързодействащи устройства

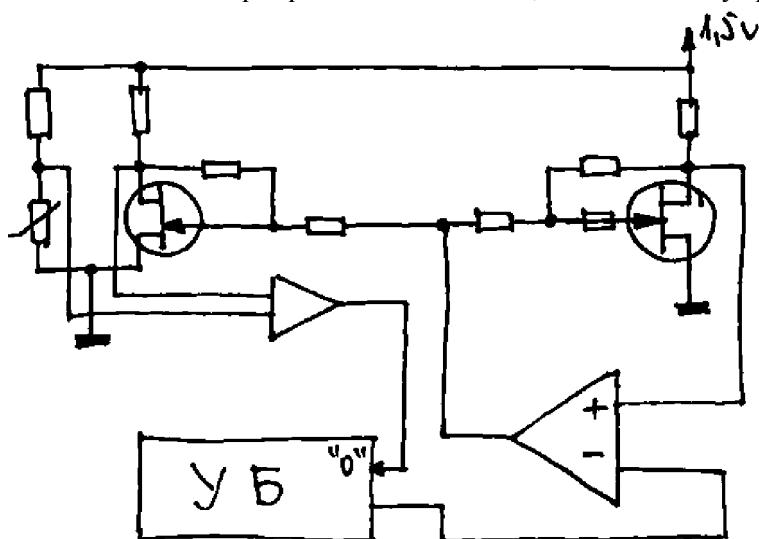
Поради тези причини в някои приложения се предпочитат безреохордни елементи за компенсация. От механичните най-удобни са променливите кондензатори но и те имат част от недостатъците на реохордите, а освен това изискват променливотоково захранване. От електронните елементи MOS транзисторите се използват като управляеми съпротивления. Като полупроводникови елементи обаче те имат типичните недостатъци – температурна зависимост и голяма нелинейност. Затова за компенсация винаги се използват по двойки с еднакви параметри (спрегнати). За намаляване на

нелинейността се прилага обратна връзка между дрейна и гейта, а управляващото напрежение се подава между гейта и сорса. Обикновено е достатъчно двата резистора (дрейн-гейт и гейт-Uпр.) да са еднакви. Това свързване понякога се нарича 50% обратна връзка.



Тъй като зависимостта на съпротивлението дрейн-сорс от напрежението гейт-сорс е линейна само в началния (триоден) участък на характеристиката захранващото напрежение е ниско  $< 1.5V$ .

На схемата показана по-долу, за подобряване на линейността, в обратната връзка е използван транзистор аналогичен на този в моста. Поради дълбоката обратна връзка напрежението в дрейна на транзистора е същото както на инвертиращия вход на ОУ, подавано от управляващия блок -УБ.



В зависимост от алгоритъма избран за работа може или непрекъснато да се следи изменението на сензора или да се приложи методът на развиващо уравновесяване. При този метод напрежението се променя по трионо-образен закон от  $U_{min}$  до  $U_{max}$  и с нулев детектор се отчита моментът в който се получава уравновесяване (нула в изхода). Времето за което се достига до това състояние носи информация за стойността на сензора. Това всъщност е аналогово-цифров преобразуване.

В безреохордните мостови схеми могат да се използват и съвременни потенциометри с цифрово управление. Все още те имат ограничен брой стъпки 256-1000.

#### *Въпроси:*

1. Какви са основните предимства и недостатъци на мостовите схеми?
2. Как се компенсира влиянието на свързващите сензора проводници?
3. Предимствата и недостатъците на уравновесените и неуравновесените схеми.
4. Какви са предимствата и недостатъците на безреохордните мостове?
5. Какви са изискванията към мостовете за променлив ток?
6. Какво представлява R-C балансът, за какво е необходим?

## **Измерване и регулиране на температура.**

Температурата е една от величините която е много важна за ежедневието и работата на хората. По тази причина и измерването на температура се прави много отдавна. "Класическите" методи за измерване се основават най-често на обемно (линейно) разширение. Познати са спиртни, живачни термометри, такива на базата на биметални сензори - др. Те продължават да се използват масово - и в момента голяма част от битовите измерители и регулатори работят на този принцип. Такива са почти всички регулатори за ел. бойлери, ютии, ел. печки, хладилници и др. Това което ги прави предпочтитани е най-вече ниската цена, съчетаването на сензор и ключ (управление на нагревател или друг изпълнителен механизъм), а и достатъчната точност за целите – за бойлер 2-5 градуса.

Тук обаче ще бъдат разгледани само част от сензорите които могат да се използват с електронни схеми т.е сензори от които да се получава електрически сигнал. Такива са:

**-полупроводникови сензори.** Един от основните недостатъци на ПП елементи - зависимост от температурата се използва за получаване на полезен сигнал. Най-често при дискретни елементи в схемите се използват обратният ток, усилването и напрежението върху P-N прехода.

**-термодвойки.** Използва се генерирането на термо-ЕДН при контакт между два различни метала (сплави).

**-термосъпротивления.** Използва се промяната на специфичното съпротивление на металите от температурата. Добри качества имат платината -Pt, никела -Ni и медта -Cu.

**-термистори.** Това са резистори направени от полупроводникови материали. Класическите термистори имат отрицателен ТКР и голяма чувствителност. Има и термистори с положителен ТКР с подобрена линейност и стабилност предназначени за измервателни цели.

По-долу са дадени обхватите на работа и основните параметри на четирите типа сензори. Трябва да се има предвид, че в различните източници (литература) има известно разминаване в числените стойности, но то не е голямо.

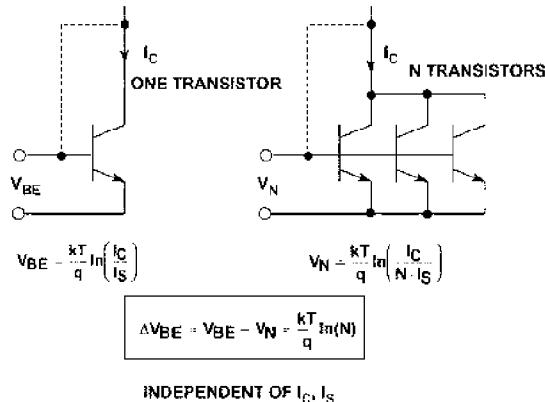
THERMOCOUPLE	RTD	THERMISTOR	SEMICONDUCTOR
Widest Range: -184°C to +2300°C	Range: -200°C to +850°C	Range: 0°C to +100°C	Range: -55°C to +150°C
High Accuracy and Repeatability	Fair Linearity	Poor Linearity	Linearity: 1°C Accuracy: 1°C
Needs Cold Junction Compensation	Requires Excitation	Requires Excitation	Requires Excitation
Low-Voltage Output	Low Cost	High Sensitivity	10mV/K, 20mV/K, or 1µA/K Typical Output

Други сензори за измерване се основават на вещества които сменят цвета си под влияние на температурата. За дистанционно измерване пък се използват инфрачервени сензори или измерители на "цветна температура" - така се измерва температурата на слънцето и другите звезди. В практиката тези методи се използват в металургията, медицината и на места където директният контакт е невъзможен. Такива измервания не са предмет на този курс.

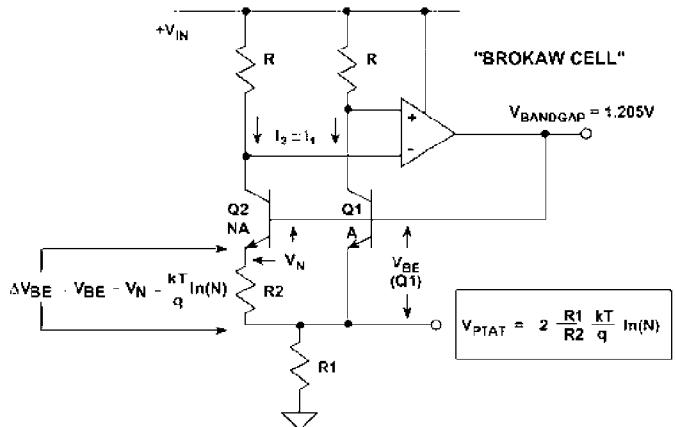
По-нататък се разглеждат по-подробно четирите типа сензори.

**Полупроводникови сензори.** Основната зависимост която се използва за температурни измервания е напрежението върху P-N прехода. То се променя с около  $-2.2\text{mV}$  на градус. Не се препоръчва използването на обратния ток и коефициента **B** на усиливане на транзистор. При стандартни елементи тези параметри се контролират само по отношение преминаването на граничните стойности, а те са значително по-големи от типовите – обратният ток е няколко  $\text{nA}$ , но при тестване се следи да не е по-голям от  $1\text{-}5\text{\mu A}$ .

### BASIC RELATIONSHIPS FOR SEMICONDUCTOR TEMPERATURE SENSORS



### CLASSIC BANDGAP TEMPERATURE SENSOR

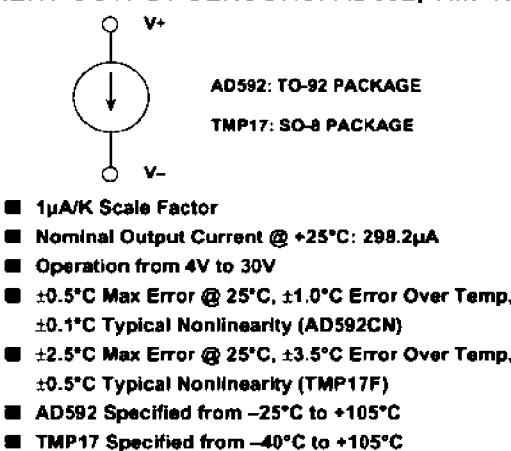


На фигураните са показани основните схеми на свързване и зависимостите на напреженията в отделни точки. Вижда се, че напрежението  $V_{BE}$  е зависимо от температурата. Теоретично тази зависимост е на един диод, но на практика се използват транзистори независимо дали това се прави с дискретен елемент или в интегрално изпълнение. Основното предимство на транзистора е поради по малкия ток през базовата област. Ако диодът е идеален зависимостта е еднаква, но на практика съществуват съпротивления на областите (анод и катод) които се променят от температурата – това е една от причините за грешките при този тип сензори. Влиянието на тези съпротивления е по-малко при по-малък ток, а при транзисторите е  $B$  пък е по-малък.

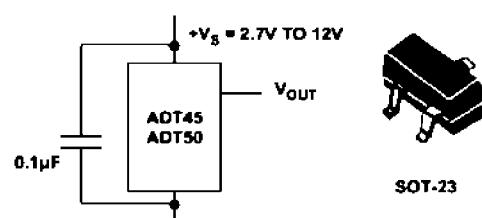
На дясната схема е показан източник на термо-независимо напрежение –  $V_{bandgap}$ .  $V_{PTAT}$  пък е зависимо от температурата. Някои от прецизните опорни източници имат и двата изхода – единия за  $U_{ref}$  на АЦП, а другия за измерване на температурата в уреда и евентуално за температурна компенсация.

Когато се използват дискретни елементи използваните схеми са много разнообразни но всичките имат няколко особености – гарантиране на малък измервателен ток, високо входно на волтметъра с който се мери  $U_{BE}$  и изваждане на началното напрежение (при 0 гр. напрежението е около  $500\text{mV}$ ), “обръщане” на характеристиката поради отрицателният TKU. Най-често се използват мостови схеми или диференциален усилвател – виж лабораторното упражнение.

### CURRENT OUTPUT SENSORS: AD592, TMP17



### ADT45/ADT50 ABSOLUTE VOLTAGE OUTPUT SENSORS



- $V_{OUT}$ :
  - ◆ ADT45, 250mV @ 25°C, 10mV/°C Scale Factor
  - ◆ ADT50, 750mV @ 25°C, 10mV/°C Scale Factor
- $\pm 2^\circ\text{C}$  Error Over Temp (Typical),  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  Non-Linearity (Typical)
- Specified  $-40^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$
- 60 $\mu\text{A}$  Quiescent Current

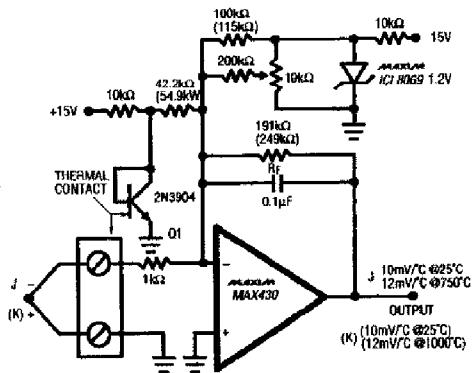
При специализираните сензори са известни както с токов изход така и с напрежителен. Различията са в изходната скала - Целзий или Фаренхайт. В много случаи е предвидена настройка на изходния сигнал 1-10 mV. По-горе са дадени основните параметри на типични представители на токови и напрежителни сензори. Подробности в [termo\\_addr.rar](#) – [termo1.pdf](#) и [termoNS.pdf](#).

Дискретните елементи се използват при компенсация на околната температура – обхватът в който се изменя температурата е сравнително тесен и може да се постигне добра точност. Схемата по-долу е пример за това – предусилвател за термодвойка с транзистор 2N3904 за компенсация.

## Thermocouple Preamp

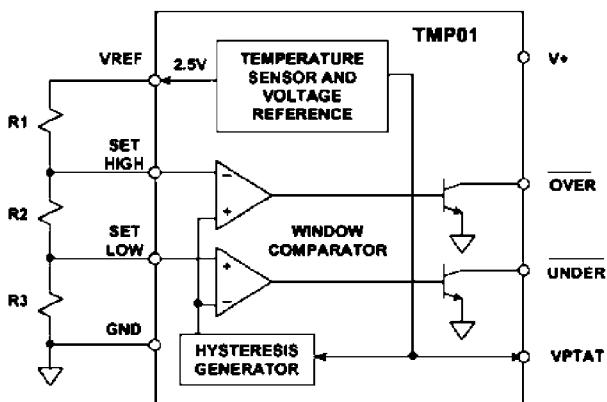
The MAX430 is operated at a gain of 191 to convert the  $52\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  output of the type J thermocouple to a 10mV/ $^\circ\text{C}$  signal. The  $-2.2\text{mV}/^\circ\text{C}$  tempco of the 2N3904 is added into the summing junction with a gain of 42.2 to provide cold junction compensation. The ICL8069 is used to remove the offset caused by the 600mV initial voltage of the 2N3904. Adjust the 10K trimpot for the proper reading with the 2N3904 and isothermal connection block at a temperature near the center of the circuit's operating range.

Use the component values shown in parentheses when using a type K thermocouple.



За регулиране на температурата има много специализирани схеми. Пример за такава схема е даден по-долу. Дадени са и основните параметри:

**TMP01 PROGRAMMABLE SETPOINT CONTROLLER**



**TMP01 SETPOINT CONTROLLER KEY FEATURES**

- $V_c$ : 4.5 to 13.2V
- Temperature Output: VPTAT,  $+5\text{mV}/^\circ\text{C}$
- Nominal 1.49V Output @ 25°C
- $\pm 1^\circ\text{C}$  Typical Accuracy Over Temperature
- Specified Operating Range:  $-55^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$
- Resistor-Programmable Hysteresis
- Resistor-Programmable Setpoints
- Precision 2.5V  $\pm 8\text{mV}$  Reference
- 400 $\mu\text{A}$  Quiescent Current, 1 $\mu\text{A}$  in Shutdown
- Packages: 8-Pin Dip, 8-Pin SOIC, 8-Pin TD-99
- Other Setpoint Controllers:
  - ◆ Dual Setpoint Controllers: ADT21/ADT22 (3V Versions of TMP01 with Internal Hysteresis)
  - ◆ Quad Setpoint Controller: ADT14

Използват с и интелигентни сензори за измерване на температура. Те са с цифров изход (най-често коефициент на запълване) и ще бъдат разгледани в съответния раздел за интелигентни сензори.

### Въпроси:

1. Какви сензори за температура познавате?
2. Кои сензори за температура са с положителен и кои с отрицателен TKR?
3. Какви са основните параметри на полупроводниковите сензори?
4. Дайте примери за използване на ПП температурни сензори?

## Термодвойки.

Термодвойката е един от основните сензори използвани в промишлеността. Принципът на работа се основава на възникването на термо-ЕДН в двата края на проводник намиращи се при различна температура. Това напрежение зависи както от температурната разлика, така и от проводника - вида метал или сплав. Ако запоим два различни проводника в единия край, то в другия ще се получи напрежение което е функция и на температурата. На практика всички проводници проявяват такъв ефект – в повечето случаи това пречи на прецизните измервания. Измерването на температура с термодвойки има някои характерни особености:

- много широк температурен обхват – от -180 до +2300 С.
- голямо разнообразие на термодвойки, основни са 8 типа, но с под-типовете стават много.
- голяма нелинейност при повечето типове.
- малка чувствителност която е различна за различните типове и се променя значително в целия обхват. Обикновено е в границите 4-50uV/ С.
- ниско изходно съпротивление – съпротивлението на двата проводника.
- изходният сигнал е функция на температурната разлика между двата края (топъл и студен) и при измерване на температурната разлика трябва да се отчита и околната температура.

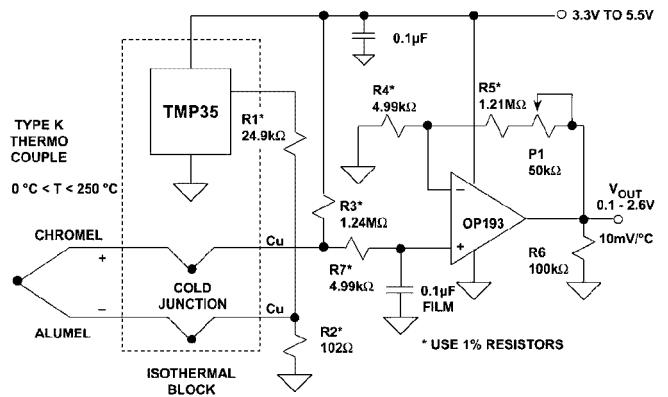
В приложените материали, в *AN369.pdf* има принципите на работа на термодвойките.

По долу са дадени параметрите на основните типове термодвойки и схема за компенсация на околната температура (компенсация на студения край):

**COMMON THERMOCOUPLES**

JUNCTION MATERIALS	TYPICAL USEFUL RANGE (°C)	NOMINAL SENSITIVITY ( $\mu\text{V}/\text{°C}$ )	ANSI DESIGNATION
Platinum (6%)/ Rhodium-Platinum (30%)/Rhodium	38 to 1800	7.7	B
Tungsten (5%)/Rhenium - Tungsten (26%)/Rhenium	0 to 2300	16	C
Chromel - Constantan	0 to 982	76	E
Iron - Constantan	0 to 760	55	J
Chromel - Alumel	-184 to 1260	39	K
Platinum (13%)/Rhodium-Platinum	0 to 1593	11.7	R
Platinum (10%)/Rhodium-Platinum	0 to 1538	10.4	S
Copper-Constantan	-184 to 400	45	T

**USING A TEMPERATURE SENSOR FOR COLD-JUNCTION COMPENSATION (TMP35)**



Основните изисквания към електронните устройства които ще работят с термодвойките като сензори са:

- голяма чувствителност (голямо усилване) поради малкия сигнал който се получава от термодвойките.

- много малък дрейф на входните стъпала - типичният дрейф на обикновените ОУ е по стойност съизмерим с чувствителността на термодвойките. Прилагат се усилватели с много малък дрейф (скъпи), усилватели с модулация-демодулация или когато се изисква голяма разрешаваща способност входните стъпала се термостатират.

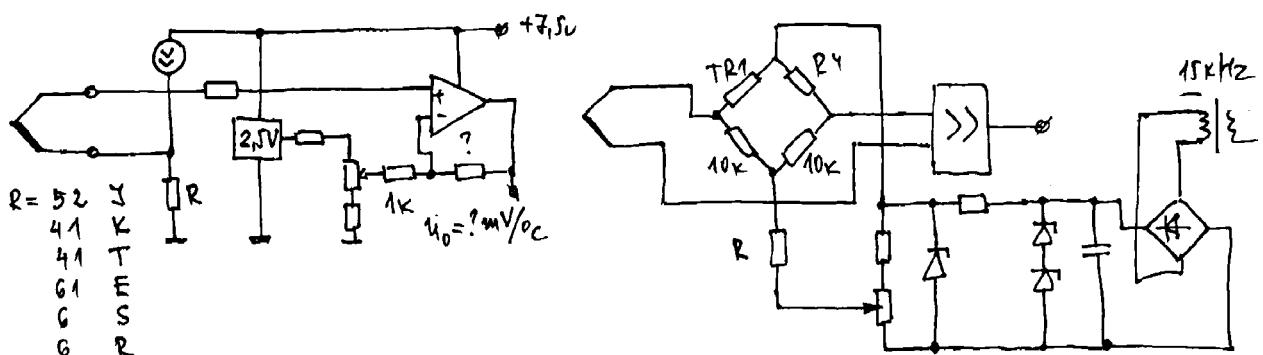
- компенсация на студения край. Студеният край е там където проводниците на термодвойката преминават в два еднакви проводника (най-често медни). В много случаи това е входа на уреда. Не рядко при термодвойки от скъпи материали и когато уредът е отдалечен (при измервания в металургията на високи температури) студеният край е изнесен. Компенсацията на студения край представлява отчитане на температурата при която той се намира и коригиране на изхода. Има два вида компенсация – апаратен и програмен. При апаратния метод се генерира напрежение отговарящо на напрежението на термодвойката при температурата на студения край. Това напрежение се сумира с напрежението на термодвойката и се подава за по-нататъшна обработка. Много е важно точното измерване на температурата на студения край – сензорът и студеният трябва край се намират в изотермално блокче. За компенсация най-често се използват

полупроводникови сензори чиято чувствителност се прави еднаква на тази на термодвойката. Това е сравнително лесно с делители защото чувствителността на термодвойката е много по-малка от тази на ПП сензори.

При програмната компенсация се измерва околната температура, напрежението на термодвойката и температурата се получава по изчислителен път. Тук, много често се прави грешка като към околната температура се добавя температурата отчетена от термо-двойката. Това би било вярно само при линейна характеристика, но това не е така. Правилният подход е: Измерва се температурата на студения край, от характеристиката на термодвойката се определя напрежение което тя би генерира при такава температурна разлика, това напрежение се сумира с напрежението от термодвойката и с получената стойност от характеристиката (таблица или формула) се отчита температурата.

- линеаризация на характеристиката. При някои от термодвойките характеристиката е монотонна и лесно се поддават на линеаризация. С помощта на съвременните микроконтролери това обикновено се прави програмно (таблици). При силна нелинейност понякога се налага предварителна схемна корекция на характеристиката.

- поради ниското изходно съпротивление на термодвойката няма високи изисквания към входното съпротивление на предусилвателите. То трябва все пак да не е много ниско за да няма влияние на свързващите проводници и схемите за компенсация на студения край при апаратна компенсация.



В тези две схеми е демонстрирана апаратна компенсация на студения край. Генераторът на ток е термо-чувствителен ( $1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ ), а резисторът се подбира според типа на термодвойката. Дясната схема показва компенсация с терморезистор Pt100 включен в мост. Напрежението в изхода на моста има същата чувствителност от температурата като термодвойката (при тази околнна температура). За да може единият проводник на термодвойката да е свързан към масата на захранването на уреда, мостът е захранен от отделен източник на стабилно напрежение. Важно е студеният край на термодвойките и компенсиращите елементи да са при една и съща температура – в термостат или изотермално блокче.

На следващата страница е дадена зависимостта на изходното напрежение на термодвойка тип J от температурата.

#### *Въпроси:*

1. Какво характерно за термодвойката като сензор?
2. Какви са основните параметри на полупроводниковите сензори?
3. Какви са изискванията към електронните блокове които работят с термодвойки?
4. Какво представлява и как се реализира компенсация на студения край?
5. Дайте примери за компенсация на студения край!

# Type J Thermocouple EMF Values (BS EN 60584-1:1996)

deg C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-210	-8095									
-200	-7890	-7912	-7934	-7955	-7976	-7996	-8017	-8037	-8057	-8076
-190	-7659	-7683	-7707	-7731	-7755	-7778	-7801	-7824	-7846	-7868
-180	-7403	-7429	-7456	-7482	-7508	-7534	-7559	-7585	-7610	-7634
-170	-7123	-7152	-7181	-7209	-7237	-7265	-7293	-7321	-7348	-7376
-160	-6821	-6853	-6883	-6914	-6944	-6975	-7005	-7035	-7064	-7094
-150	-6500	-6533	-6566	-6598	-6631	-6663	-6695	-6727	-6759	-6790
-140	-6159	-6194	-6229	-6263	-6298	-6332	-6366	-6400	-6433	-6467
-130	-5801	-5838	-5874	-5910	-5946	-5982	-6018	-6054	-6089	-6124
-120	-5426	-5465	-5503	-5541	-5578	-5616	-5653	-5690	-5727	-5764
-110	-5037	-5076	-5116	-5155	-5194	-5233	-5272	-5311	-5350	-5388
-100	-4633	-4674	-4714	-4755	-4796	-4836	-4877	-4917	-4957	-4997
-90	-4215	-4257	-4300	-4342	-4384	-4425	-4467	-4509	-4550	-4591
-80	-3786	-3829	-3872	-3916	-3959	-4002	-4045	-4088	-4130	-4173
-70	-3344	-3389	-3434	-3478	-3522	-3566	-3610	-3654	-3698	-3742
-60	-2893	-2938	-2984	-3029	-3075	-3120	-3165	-3210	-3255	-3300
-50	-2431	-2478	-2524	-2571	-2617	-2663	-2709	-2755	-2801	-2847
-40	-1961	-2008	-2055	-2103	-2150	-2197	-2244	-2291	-2338	-2385
-30	-1482	-1530	-1578	-1626	-1674	-1722	-1770	-1818	-1865	-1913
-20	-995	-1044	-1093	-1142	-1190	-1239	-1288	-1336	-1385	-1433
-10	-501	-550	-600	-650	-699	-749	-798	-847	-896	-946
0	0	-50	-101	-151	-201	-251	-301	-351	-401	-451
0	0	50	101	151	202	253	303	354	405	456
10	507	558	609	660	711	762	814	865	916	968
20	1019	1071	1122	1174	1226	1277	1329	1381	1433	1485
30	1537	1589	1641	1693	1745	1797	1849	1902	1954	2006
40	2059	2111	2164	2216	2269	2322	2374	2427	2480	2532
50	2585	2638	2691	2744	2797	2850	2903	2956	3009	3062
60	3116	3169	3222	3275	3329	3382	3436	3489	3543	3596
70	3650	3703	3757	3810	3864	3916	3971	4025	4079	4133
80	4187	4240	4294	4348	4402	4456	4510	4564	4618	4672
90	4726	4781	4835	4889	4943	4997	5052	5106	5160	5215
100	5269	5323	5378	5432	5487	5541	5595	5650	5705	5759
110	5814	5868	5923	5977	6032	6087	6141	6196	6251	6306
120	6360	6415	6470	6525	6579	6634	6689	6744	6799	6854
130	6909	6964	7019	7074	7129	7184	7239	7294	7349	7404
140	7459	7514	7569	7624	7679	7734	7789	7844	7900	7955
150	8010	8065	8120	8175	8231	8286	8341	8396	8452	8507
160	8562	8618	8673	8728	8783	8839	8894	8949	9005	9060
170	9115	9171	9226	9282	9337	9392	9448	9503	9559	9614
180	9669	9725	9780	9836	9891	9947	10002	10057	10113	10168
190	10224	10279	10335	10390	10446	10501	10557	10612	10668	10723
200	10779	10834	10890	10945	11001	11056	11112	11167	11223	11278
210	11334	11389	11445	11501	11556	11612	11667	11723	11778	11834
220	11889	11945	12000	12056	12111	12167	12222	12278	12334	12389
230	12445	12500	12556	12611	12667	12722	12778	12833	12889	12944
240	13000	13056	13111	13167	13222	13278	13333	13389	13444	13500
250	13555	13611	13666	13722	13777	13833	13888	13944	13999	14055
260	14110	14166	14221	14277	14332	14388	14443	14499	14554	14609
270	14665	14720	14776	14831	14887	14942	14998	15053	15109	15164
280	15219	15275	15330	15366	15441	15496	15552	15607	15663	15718
290	15773	15829	15884	15940	15995	16050	16106	16161	16216	16272
300	16327	16383	16438	16493	16549	16604	16659	16715	16770	16825
310	16881	16936	16991	17046	17102	17157	17212	17268	17323	17378
320	17434	17489	17544	17599	17655	17710	17820	17876	17931	
330	17986	18041	18097	18152	18207	18262	18318	18373	18428	18483
340	18538	18594	18649	18704	18759	18814	18870	18925	18980	19035
350	19090	19146	19201	19256	19311	19366	19422	19477	19532	19587
360	19642	19697	19753	19808	19863	19918	19973	20028	20083	20139
370	20194	20249	20304	20359	20414	20469	20525	20580	20635	20690
380	20745	20795	20855	20911	20966	21021	21078	21131	21186	21241
390	21297	21352	21407	21462	21517	21572	21627	21683	21738	21793
400	21848	21903	21958	22014	22069	22124	22179	22234	22289	22345
410	22400	22455	22510	22565	22620	22676	22731	22786	22841	22896
420	22952	23007	23062	23117	23172	23228	23283	23338	23393	23449
430	23504	23559	23614	23670	23725	23780	23835	23891	23946	24001
440	24057	24112	24167	24223	24278	24333	24389	24444	24499	24555
450	24610	24665	24721	24776	24832	24887	24943	24998	25053	25109
460	25162	25220	25275	25331	25386	25442	25497	25553	25608	25664
470	25720	25775	25831	25886	25942	25998	26053	26109	26165	26220
480	26276	26332	26387	26443	26499	26555	26610	26666	26722	26778
490	26834	26889	26945	27001	27057	27113	27169	27225	27281	27337

deg C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
500	27393	27449	27505	27561	27617	27673	27729	27785	27841	27897
510	27953	28010	28066	28122	28178	28234	28291	28347	28403	28460
520	28516	28572	28629	28685	28741	28798	28854	28911	28967	29024
530	29080	29137	29194	29250	29307	29363	29420	29477	29534	29590
540	29647	29704	29761	29818	29874	29931	29988	30045	30102	30159
550	30216	30273	30330	30387	30444	30502	30559	30616	30673	30730
560	30788	30845	30902	30960	31017	31074	31132	31189	31247	31304
570	31362	31419	31477	31535	31592	31650	31708	31765	31823	31881
580	31939	31997	32055	32113	32171	32229	32287	32345	32403	32461
590	32519	32577	32634	32691	32748	32805	32862	32920	32978	33044
600	33102	33161	33219	33276	33337	33395	33454	33513	33571	33630
610	33689	33748	33805	33862	33918	33974	34034	34093	34161	34220
620	34279	34338	34397	34457	34516	34575	34635	34694	34754	34813
630	34873	34932	34992	35051	35111	35171	35230	35289	35348	35408
640	35470	35530	35590	35650	35710	35770	35830	35889	35948	36010
650	36071	36131	36191	36252	36312	36373	36433	36494	36558	36615
660	36675	36734	36793	36852	36918	36979	37040	37101	37162	37223
670	37284	37345	37406	37467	37528	37589	37651	37712	37773	37835
680	37896	37958	38019	38081	38142	38204	38265	38327	38389	38450
690	38512	38574	38636	38698	38760	38822	38884	38946	39008	39070
700	39132	39194	39256	39318	39381	39443	39505	39568	39630	39693
710	39755	39818	39880	39943	40005	40068	40131	40193	40256	40319
720	40382	40445	40508	40570	40633	40696	40759	40822	40884	40949
730	41012	41075	41138	41201	41265	41328	41391	41455	41518	41581
740	41645	41708	41772	41835	41899	41962	42026	42090	42153	42217
750	42281	42344</								

## **Термосъпротивления.**

Принципът на работа на тази група сензори се основава на зависимостта на съпротивлението на металите от температурата. Намират приложение платинени, медни и никелови термосензори. Тези на основата на платина (Pt) са известни като индустриален стандарт поради много добрите им качества. Другите (Cu, Ni) се използват когато изискванията не са много високи поради по-ниската им цена – например в абонатните станции на топлофикацията се използват медни резистори.

Терморезисторите от платина (Pt) се характеризират с:

- съпротивление  $100\Omega$  при  $0\text{ C}$  (има  $1000\Omega$ ,  $2000\Omega$ , ...) и  $138,5\Omega$  при  $100\text{ C}$ .
- положителен температурен коефициент (TKR)  $0,38-0,40\%$  на градус  $\text{C}$ .
- слаба нелинейност, в тесен обхват е по-малка от  $0,1\text{ C}$ . При обхват от  $200\text{ C}$  зависимостта се описва с функция от втори ред (коefициенти  $a$ ,  $b$ ), а за целия работен диапазон - от трети ( $a,b,c$ ).
- много добра повторяемост на параметрите позволяваща взаимозаменяемост.
- стабилност във времето и устойчивост на външни въздействия.

По-подробни данни за този тип сензори има в допълнителните материали: [\*Termo1.pdf\*](#), [\*Pt100.rar\*](#) и [\*TC\\_or\\_RTD.rar\*](#).

Тези параметри на резисторите определят и изискванията към електронната апаратура с която ще се извърши измерването. Много разпространени са мостовите схеми при които лесно се отделя началният сигнал (съответстващ на  $100\Omega$ ) като в изхода остава само изменението. Почти винаги се налага компенсиране на съпротивлението на свързващите проводници – те най-често са от мед, а нейният TKR е около  $0,4\%$  т.е е съизмерим с този на платината. Изисквания към електрониката:

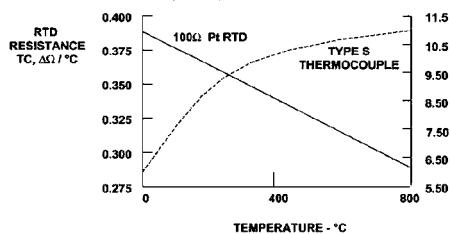
- схемата да е за измерване на съпротивление – омметър. Токът с който се извършва измерването трябва да е малък за да не загрява резистора. За точност около  $0,1\text{ C}$  токът през резистора да е по-малък от  $1\text{mA}$ .
- средна чувствителност - по-голяма от чувствителността на термодвойките, по-малка от тази на ПП сензори и значително по-малка от тази на термисторите.
- четири- или три-проводна схема на свързване за компенсация на свързващите проводници.
- схемно или програмно линеаризиране на характеристиката.

На графиката по-долу е показано изменението на чувствителността от температурата на Pt100 и на термодвойка. Сравнението показва значителното предимство на резистивния сензор – в целия обхват чувствителността се променя само от  $0,3$  до  $0,4\%$  за  $\text{C}$ . На схемата до тази графика пък е показано как свързващите проводници влияят върху измерването. Свързващите проводници добавят съпротивление със стойност която отговаря на изменение за съпротивлението на сензора при промяна на околната температура с  $55\text{ C}$ . Това означава, че ще е необходима индивидуална настройка (нулиране и усиливане) за всеки сензор което е неудобство, но може да се приложи. Промяната на съпротивлението на свързващите проводници от температурата обаче, няма как да се компенсира при използването на два проводника. Затова се използва четири-проводно свързване – два от проводниците се използват за пропускане на ток през сензора, а други два (които са свързани директно в двата края на Pt100) се използват за отвеждане на напрежението до волтметъра. Поради това, че входният ток на волтметъра е много малък, падът на напрежение върху тези проводници също е много малък. При този начин на мерене на практика грешката от свързващите проводници се отстранява напълно. Това става чрез осъкъпяване – два проводника в повече. Ако се приеме (това обикновено е така), че напрежението върху двата захранващи проводника е еднакво, би могло да се използват три вместо четири проводника, като от изходното напрежение се извади пада на напрежение върху единия проводник. За това е необходимо да се използва подходяща схема на свързване.

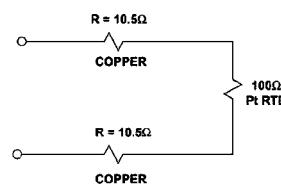
Интересна схема на свързване е показана за измерване на съпротивление с високоразряден АЦП. Напрежението върху резистора (Pt100) се сравнява с напрежението върху еталонен резистор  $6,25\text{k}\Omega$ , като и двете напрежения се подават по отделни проводници. По този начин точността на измерване зависи само от еталонния резистор и качествата на АЦП. Не е нужно отделно опорно напрежение с високо качество.

### RESISTANCE TEMPERATURE DETECTORS (RTD)

- Platinum (Pt) the Most Common
- 100Ω, 1000Ω Standard Values
- Typical TC = 0.385% / °C,  
0.385Ω / °C for 100Ω Pt RTD
- Good Linearity - Better than Thermocouple,  
Easily Compensated

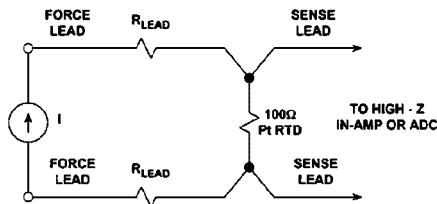


### A 100Ω Pt RTD WITH 100 FEET OF 30-GAUGE LEAD WIRES

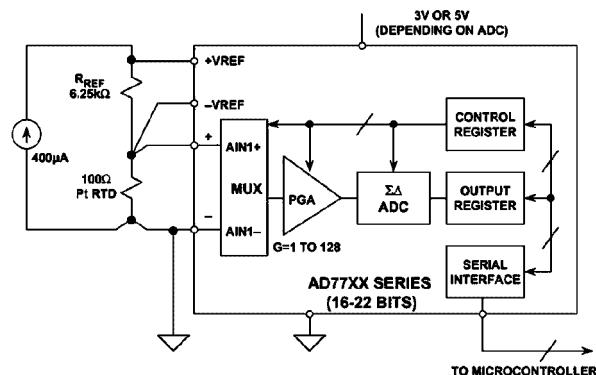


RESISTANCE TC OF COPPER = 0.40% / °C @ 20°C  
RESISTANCE TC OF Pt RTD = 0.385% / °C @ 20°C

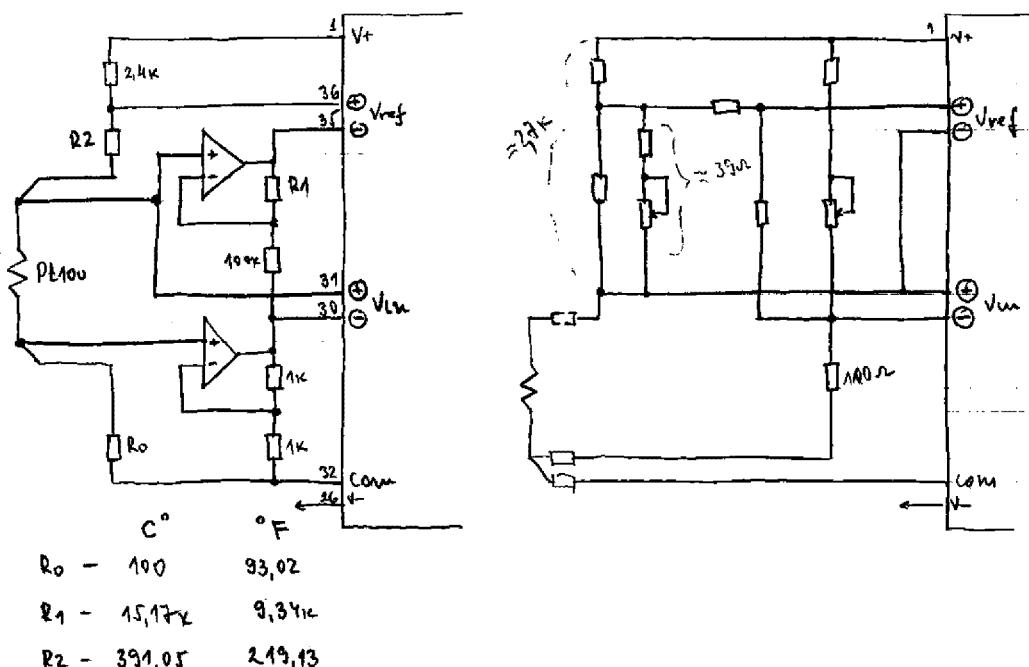
### FOUR-WIRE OR KELVIN CONNECTION TO Pt RTD FOR ACCURATE MEASUREMENTS



### INTERFACING A Pt RTD TO A HIGH RESOLUTION ADC



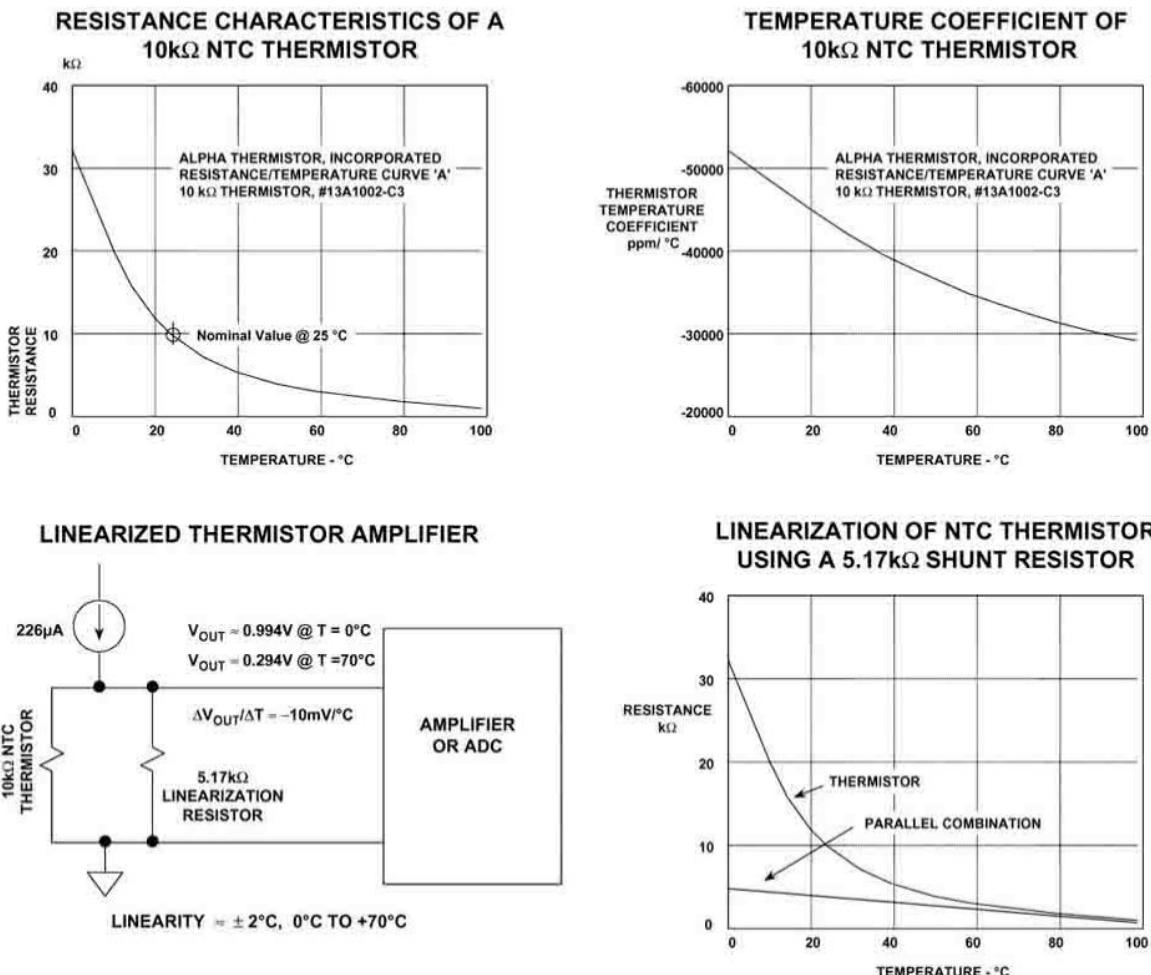
За линеаризация често се използват схеми при които опорното напрежение е функция на температурата. Така се въвежда малка нелинейност с която се компенсира нелинейността на сензора – получава се грешка 0,1-0,2 С при обхват 0-100 С. Такива решения са дадени по-долу.



Друг начин е програмна компенсация с таблица или формула. Доколкото нелинейността е малка то и формулата не е сложна и се реализира сравнително лесно дори и с най-простите контролери.

## Термистори.

Тези сензори се изработват от полупроводникови материали. Имат много голям обхват от стойности – от няколко  $\Omega$  до няколко  $M\Omega$ . Съпротивлението намалява от температурата с  $3-5\%/\text{C}$ , т.е имат около 10 пъти по-голяма чувствителност в сравнение с Pt100. Температурният коефициент е отрицателен и се променя от температурата. Това прави термисторите едни от най-нелинейните сензори. На фигураните по-долу са показани как зависят от температурата съпротивлението и температурния коефициент на термистора.



За измервателни цели е задължително да се използват схеми за линеаризация. Обикновено това става с добавянето на резистори – серийно и паралелно. По-добрата линейност се получава за сметка на чувствителността. Подробно използването на термисторите е дадено в допълнителната литература - *AD7711\_T.pdf* от *Termo\_add.rar* и *betatherm.rar*.

При използването на термисторите трябва да се знае следното:

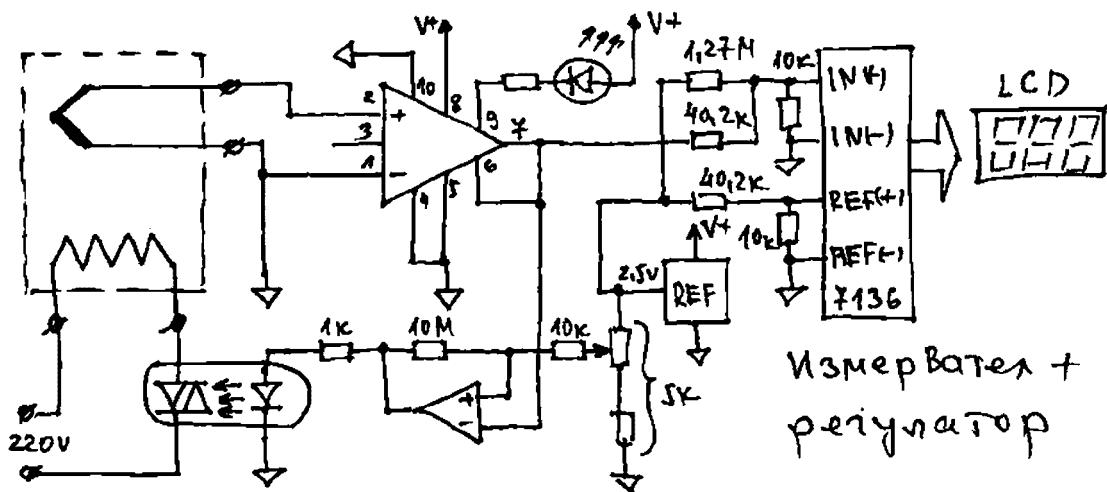
- това са сензори с голяма чувствителност с отрицателен TKR.
- характеризират се с голяма нелинейност.
- отделните екземпляри имат големи толеранси (10-20%), това налага индивидуална настройка при смяна на сензора.

Без предварителна линеаризация тези сензори се използват в схеми на терморегулатори, особено когато се поддържа температурата в тесен обхват.

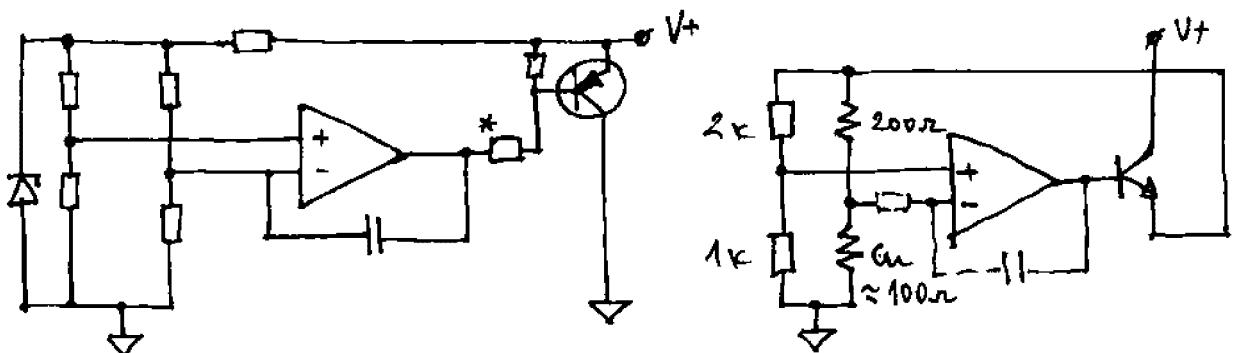
При подготовката за изпита по дисциплината трябва да се отдели внимание на схемите за линеаризация и на основните параметри на термисторите като сензори.

### Примери на схеми за измерване и регулиране на температура.

На първата схема е показан терморегулатор с оптотриак като управляващ елемент. Използвана е специализирана схема за измерване с термодвойки AD594/595.



На изхода на AD594 се получава сигнал пропорционален на температурата. След това са включени две независими схеми – едната за цифрова индикация, а другата регулатор. Индикацията използва специализирана схема ICL7136 на фирма INTERSIL която представлява цифров волтметър. Стойностите на резисторите са подбрани така, че да се получи показване в градуси. Регулаторът представлява компаратор с хистерезис (положителна обратна връзка), като температурата се задава с потенциометър.

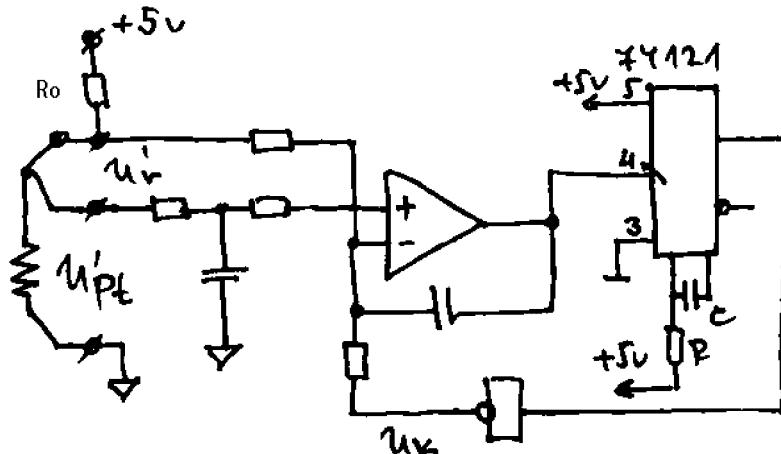


На схемите по-горе са показани два регулатора, които имат интересно конструктивно изпълнение. Лявата схема е с термистор като сензор. Нагревателният елемент е мощният транзистор. Термисторът е разположен директно върху корпуса на транзистора. Резисторът който е означен със звездичка служи за началния ток през транзистора.

Втората схема използва меден резистор като сензор. Медният проводник е навит върху цилиндър (термостатираното тяло) и едновременно е сензор и нагревател. Резисторът  $200\Omega$  също е нагревател и е от манганин (нулев TKR). При показаните стойности на схемата поддържаната температура ще е тази при която медният резистор е със стойност  $100\Omega$ .

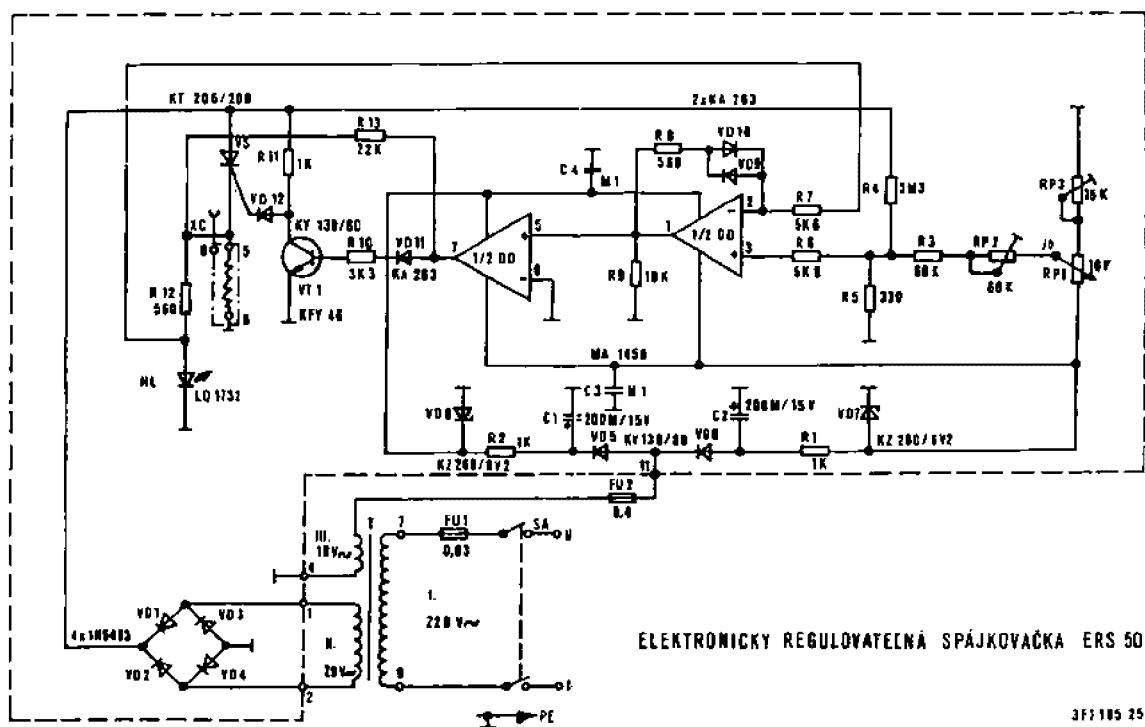
Схемата на следващата страница е измервател на температура с Pt100 като е използвана три-проводна схема на свързване. Операционният усилвател е свързан така, че от напрежението върху Pt100 ( $U'_{pt}$ ) се изважда напрежението върху свързващия проводник ( $U'_{g}$ ). Напрежението  $U'_{pt}$  е сума от напрежението върху сензора и това върху другия свързващ проводник. Ако двете напрежения върху свързващите проводници са равни за преобразуване се подава напрежението върху сензора. Чакащият мултивибратор SN74121 изработва импулси с продължителност  $t$  която

се задава от RC групата. Средната стойност на напрежението в изхода на инвертора е  $V_{c.t}/T$  където  $T$  е периодът. Напрежението се сравнява с това върху Pt100:  $U_{pt} = V_{c.t} \cdot Pt100 / (Ro + Pt100)$ . Ако двете формули се изравнят се получава  $V_{c.t} \cdot Pt100 / (Ro + Pt100) = V_{c.t}/T$ . След преобразуване се вижда, че изходната честота ( $1/T$ ) е функция на  $Pt100$ . Ако  $Ro \gg Pt100$ , зависимостта е близка до стандартната, ако не е, се получава допълнителна нелинейност в характеристиката.



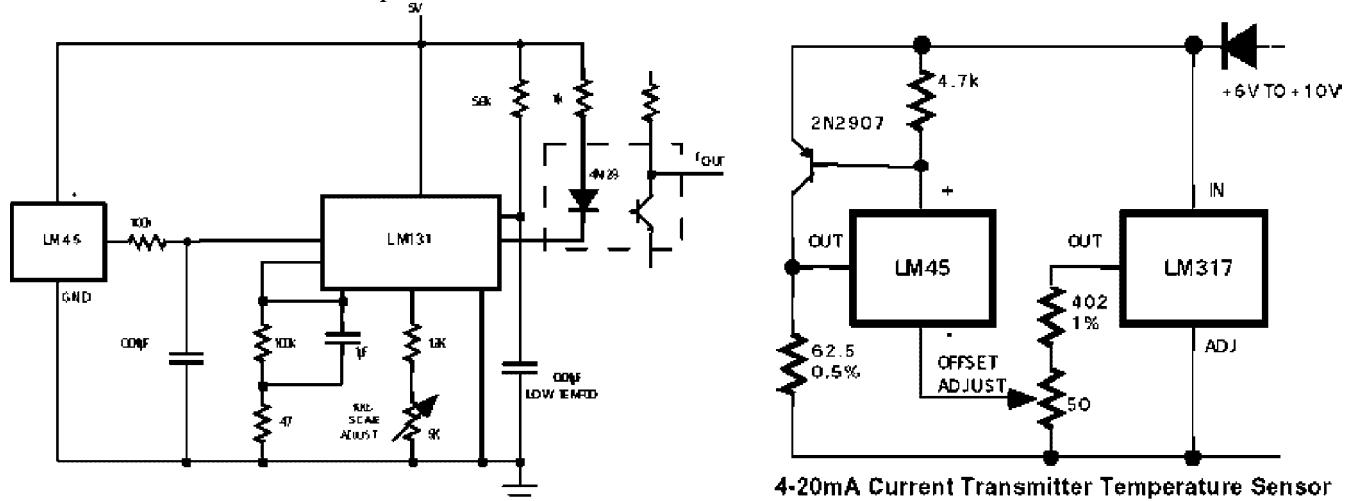
Основни източници на грешка в този преобразувател са стабилността на импулса, дрейфа на ОУ, както и стабилността на резистора  $Ro$  от температурата и във времето.

Схемата по-долу е на паялник с регулатор. Сензорът е термодвойка тип J, която се образува между корпуса (желязна тръбичка) на нагревателя и самия нагревател (константан). Проблем в схемата е, че полезният сигнал (20-25mV) се смесва с напрежението за нагряване на паялника – около 40V. Сравнението дали е достигната зададената температура може да се прави само когато мрежовото напрежение преминава през 0V. През останалото време ОУ са претоварени (наситени) и затова трябва да са достатъчно бързи – за да излизат навреме от насищане. Ако температурата е по-ниска от зададената тиристорът се включва. Паралелно на нагревателя има светодиоден индикатор който свети когато нагревателят нагрява.



Поялникът се настройва с тример-потенциометрите RP3 и RP2. Първият задава начината работна температура ( $T_{min}$ ), а вторият ширината на обхват (T<sub>max</sub>-T<sub>min</sub>). Обикновено температурата се задава от 150 до 400 С. Двете настройки не са напълно независими, налагат се няколко итерации.

Схемите по-долу показват две приложения за измерване на температура с ПП сензор LM45. Едната схема е преобразувател на температура в честота. Изходният сигнал на LM45 е 10mV/ С. Напрежението пропорционално на температурата се подава на специализираната схема LM131 (прецизен преобразувател U-f). При подходящо подбрани и качествени елементи линейността на преобразуване на тази схема е около 0.01%, което означава, че точността на измерване ще зависи само от качествата на сензора LM45.



Другата схема е предназначена за токова връзка 4-20mA. Схемата дава 160uA/ С, а това съответства на разрешаваща способност 0,1 С и обхват 100 С (при токовата връзка за сигнала са отделени 16mA). Тази чувствителност на изхода се получава от 10mV (изходен сигнал на LM45 за един градус С) и от резистора 62,5Ω (10mV/62,5=160uA). С тример-потенциометъра 50Ω се настройва нулевият ток – 4mA. Тази схема не е от най-прецизните защото разчита на постоянна консумация на сензора LM45 и на стабилизатора LM317 при промяна на захранващото напрежение и на околната температура.

### *Въпроси:*

1. Какво характерно за термосъпротивлението като сензор?
2. Какви са основните параметри на термисторите като сензори?
3. Какво се изисква от електронните блокове работещи с термосъпротивления?
4. Защо е необходимо да се линеаризира характеристиката на термисторите?
5. Дайте примери на измерватели (регулатори) с различни сензори!

## Измерване на малки механични премествания.

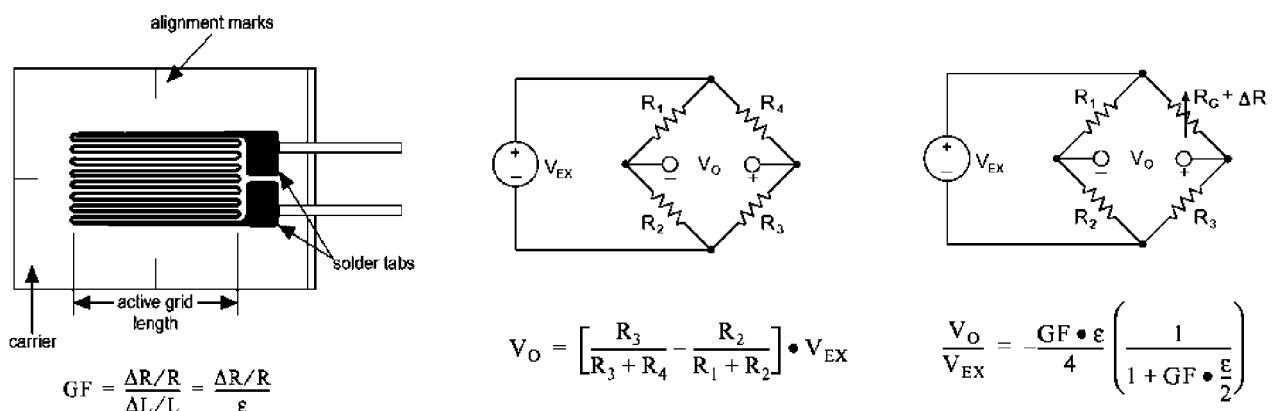
Измерването на "малки" механични премествания се използва освен директно в машиностроенето и косвено при контролирането на много други величини. Преди всичко дефиницията за "малки" не е много ясна. В случая става въпрос за механични премествания (или размери) които се отчитат с разрешаваща способност няколко микрона ( $0.1 - 10\mu m$ ). Обикновено работният обхват е от един до няколко милиметра. При някои по-прецизни (еталонни) измервателни съоръжения обхватът е значително разширен и достига до 1-2 м. В тези случаи изискванията към условията при които се извършват измерванията са много сериозни – изискава се темпериране на измервателната стая в продължение на часове при поддържана температура с точност 0,1-0,2 С.

Принципите и съответно сензорите за малки премествания са много различни. Използват се съпротивителни, капацитивни, индуктивни, пиеzo и други сензори. Много разпространени са и оптическите методи. За много малки премествания (измерване на вибрации) се използва интерференцията на светлината, както и мехатронни сензори които работят на принципа на радиолампата (променя се разстоянието между катода и решетката). Според приложението се предпочитат едни или други сензори – например за измерване в машиностроенето се предпочитат индуктивни сензори, за измерване на сили и тегло – тензосензори, за налягане – капацитивни, индуктивни и тензосензори и т.н. Освен това изборът на сензор зависи и от обхвата в който се изменя величината и условията при които се работи.

В допълнителните материали за подготовка са дадени подробности за различните методи и сензори. Тук се разглеждат накратко най-разпространените от тях.

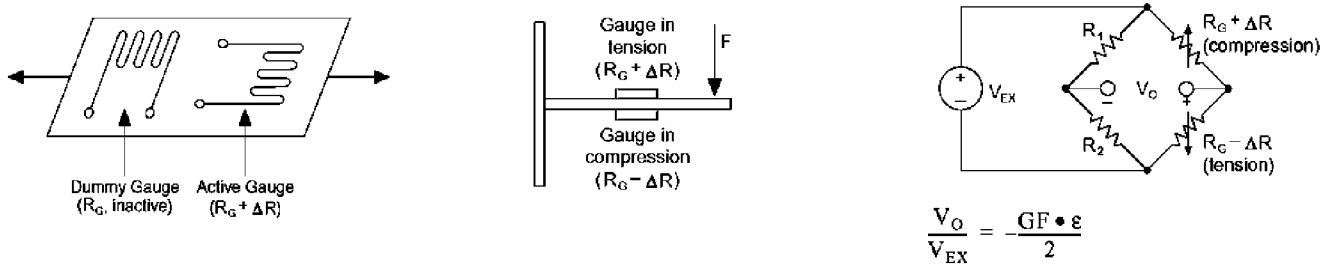
### Тензосензори:

Това са съпротивления които са чувствителни на деформация. При промяна на размерите им се променя съпротивлението вследствие на промяната на дължината и сечението на проводника от който са направени. Изработват се от материали с много малък (нулев) температурен коефициент. Конструкцията им е такава, че да са чувствителни само в една посока. Най-често се използват за измерване на деформации, а оттам и на сила, тегло, налягане и др. Обикновено те се залепват на подходящо място върху еластично еталонно тяло (греда). При деформация тялото разтяга или свива тензосензора и от това се съди за силите които са предизвикали деформацията. За да няма остатъчна деформация на сензора (и на съпротивлението му) промените трябва да са сравнително малки – до няколко процента, като зависят от използваните материали и допустимата грешка. Много голямо внимание се отделя на залепването на сензора върху еластичното тяло за да няма приплъзване между тях. По долу е показан типичен тензосензор и зависимостите на изходния сигнал от деформациите при свързване в мостова схема.

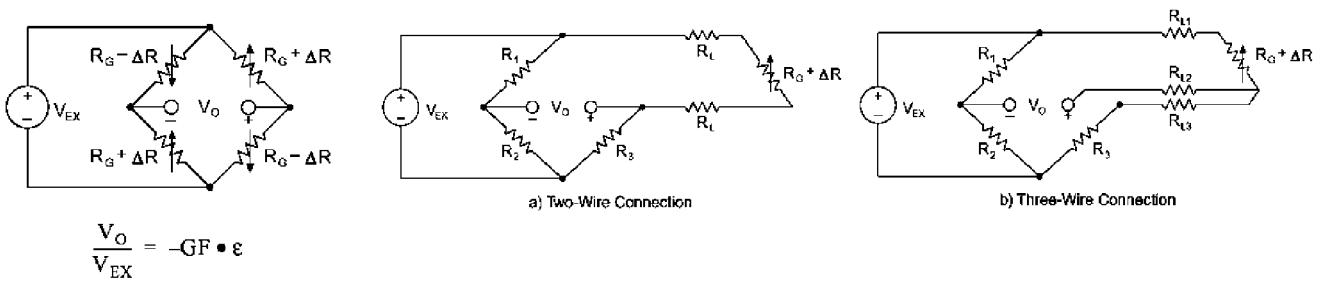


Изискванията към електронните устройства за работа с тензосензори са аналогични на тези за работа с мостови схеми със сензори с малка чувствителност. Освен това има и някои специфични особености – използване на компенсиращ тензорезистор (Dummy Gauge) който е част от измервателния мост, но е разположен така, че не се деформира, а само компенсира влиянието на

синфазните смущения (температура). За по-добра линейност и чувствителност се използват два тензорезистора – единият се разтяга, а другият се свива.



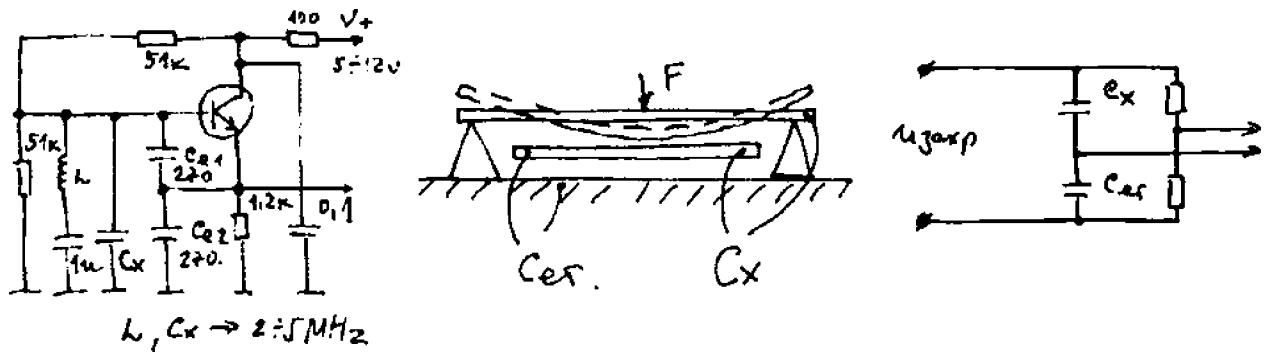
Най-голяма чувствителност се получава когато се използват четири тензорезистора образуващи мост – два от тях се свиват, два разтягат. Когато се използват единични сензори се налага да се работи по три или четири-проводна схема за компенсация на съпротивлението на свързващите проводници защото обикновено собственото съпротивление на тензосензорите не е голямо.



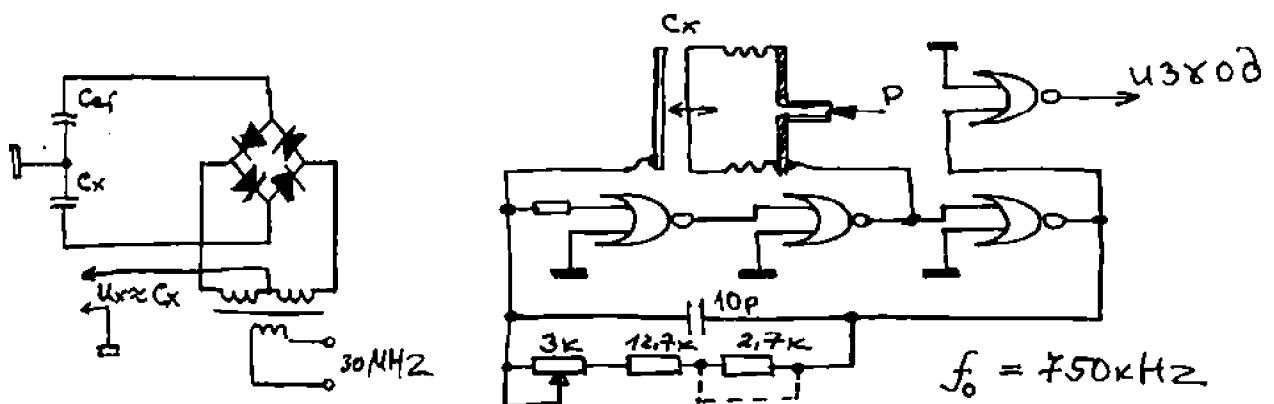
Много добри параметри имат полупроводниковите тензосензори. Най-често те се използват за измерване на налягане. Обикновено представляват четири раменен мост при който два по два резисторите се променят в различна посока. Така се получава по-добра линейност, по-висока чувствителност и се компенсираат синфазните смущения (температура). Тези сензори се предлагат в няколко разновидности – компенсирани, некомпенсирани, с термосензор и др. При тези които са компенсирани в заводски условия се балансира мостът и се добавя схема за компенсация на чувствителността от температурата. Компенсацията включва лазерна настройка на резисторите и управление на захранващото напрежение на моста от температурата. При некомпенсираните (те са значително по-евтини) мерките за компенсация се вземат в електрониката. Когато се използват микроконтролери резултатите при използване на некомпенсиран сензор са по добри, естествено за сметка на индивидуалната настройка на всеки сензор. Когато има и вграден термосензор (диод) външната компенсация дава още по-добри резултати.

### Капацитивни сензори:

Този тип сензори използват зависимостта на капацитета на кондензатор от площта на пластинките или разстоянието между тях. Обикновено за по-малки премествания се използват сензори при които се променя разстоянието между пластинките, а при по-големи – площта. Вторите имат значително по-сложна механична конструкция. По отношение на схемите за измерване двата вида сензори са еднакви. Трябва да се отчита и това, че капацитетът зависи и от диелектричната проницаемост и ако тя се промени ще се получи грешка. Това налага да се прави компенсация. На фигурата по-долу е показана схема на генератор чиято честота зависи от кондензатора  $C_x$ . Тази схема е предназначена за капацитивен сензор с капацитет 100-200 pF който се променя с 5-10%. В дясната част на схемата е показан сензор при който при деформация се променя разстоянието между пластинките. За да се компенсира грешката от промяна на околните условия (диелектрична проницаемост и температура) в сензора е вграден еталонен кондензатор, а измерването се извършва по мостова схема. Тъй като изходният сигнал зависи от отношението ( $C_x/C_{et}$ ) на двата кондензатора еднопосочните (синфазни) изменения не влияят. Когато такъв сензор се използва за



измерване на капацитети 1-2 pF с разрешаваща способност 0.01 pF работната честота трябва да е висока - 30-50 MHz. Използваната схема (вляво долу) е на ринг-модулатор и се прилага при измерване на гладкост на твърди дискове. Вдясно е показана схема за измерване на кръвно налягане. Сензорът е еластичен цилиндър който променя размерите си пропорционално на



налягането, при което се променя капацитетът между челото на цилиндъра и неподвижната опора. Този капацитет е включен в схема на мултивибратор с логически елементи от тип CD4002. Всъщност логическите елементи се използват като инвертори, но тази схема дава най-добри резултати по отношение на стабилност и слаба зависимост от температурата. За по-стабилна работна точка при серийно производство се използват три инвертора (стандартната схема е с два). Честотата се настройва плавно с тример 3k, а грубо с превключване на резистора 2,7k.

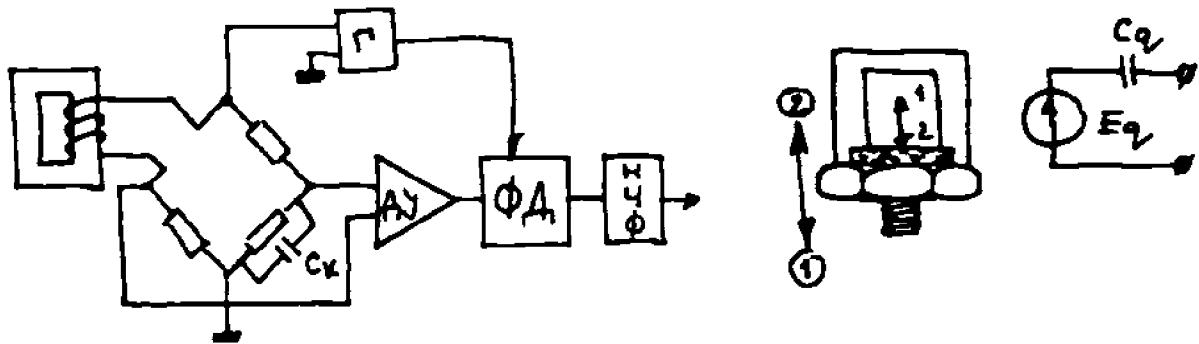
### Магнитострикционни сензори:

Магнитострикционният ефект който се използва при тези сензори се състои в следното:

Когато магнитен материал се постави в магнитно поле той променя размерите си, а когато такъв материал се деформира – променя магнитните си свойства. При някои материали този ефект е по-силен – такива са никелът и неговите сплави, повечето ферити и др. Това е и причината да се използват честоти над обхвата на чуващост (20 kHz) при изработването на ключови захранвания, компактни луминисцентни лампи и т.н.

Този ефект се използва както за технологични цели, за създаване на мощно ултразвуково излъчване – за заваряване, във флотационните процеси и т.н., така и при измерване на малки премествания – прилага се за измерване на тегло. Деформациите от приложената сила водят до промяна на индуктивността и до разбаланса на мост. Типична схема за измерване е показана на фигурата по-долу. В схемата няма нещо особено – стандартен променливотоков мост, който с кондензатор  $C_k$  се компенсира по реактивната съставка (активната се компенсира с резисторите).

Когато е необходимо да се определи и посоката на силата се използва фазов детектор. Ако това не е нужно се използва обикновен изправител. След това сигналът се филтрира и измерва.



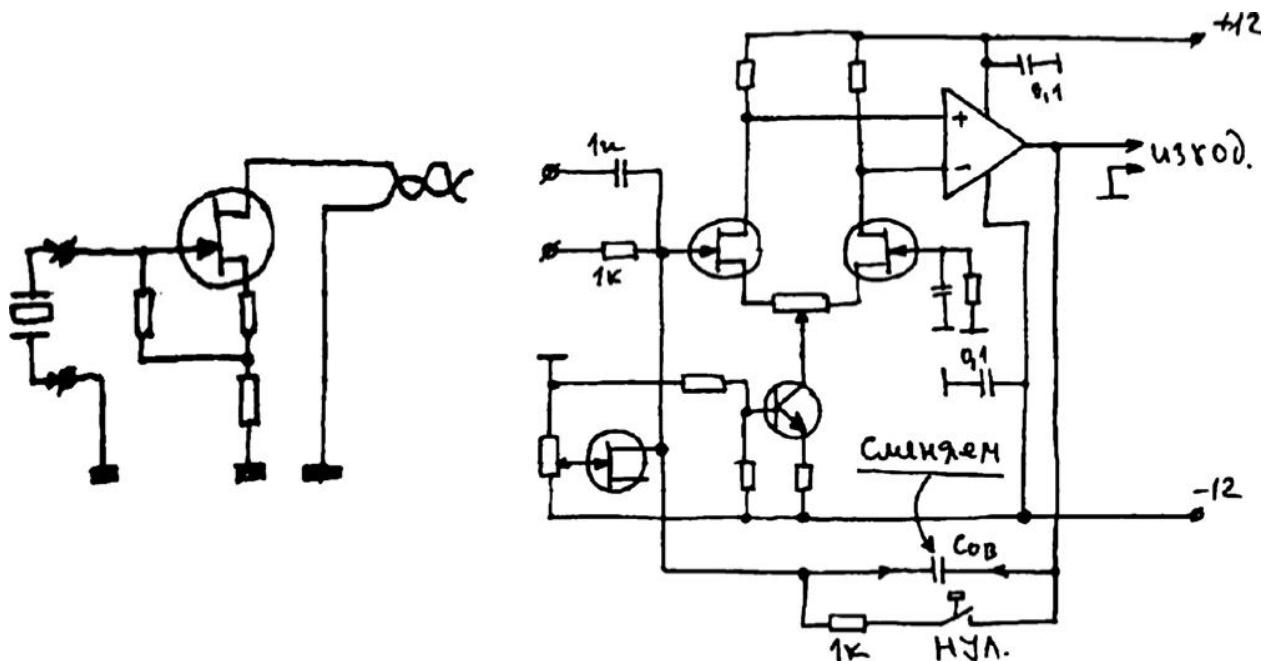
### **Пиезо-сензори:**

Пиезо-електрическият ефект се проявява при някои вещества с кристална решетка – природен кварц, сегнетова сол, литиев сулфат, някои керамични материали и др. Когато такъв кристал се постави в електрическо поле променя размерите си синхронно с промените на полето (използва се за генериране на звукови и ултразвукови сигнали). Когато кристалът се деформира в подходяща посока се генерира електрически заряд.

За измерване на малки премествания сензорът има конструкция показана горе вдясно. Върху пластинката от пиезоелемент, която е поставена на основа, се поставя инерционна маса. При движение на основата в посока 1 – 2 инерционната маса се противопоставя (иска да запази състоянието си на покой) и деформира пиеzo-пластинката. Силата е  $F = m \cdot a$ . Така се генерира електрически заряд който е пропорционален на ускорението. Това е важно да се знае за понататъшната обработка на сигнала – с интегриране може да се получи скоростта и амплитудата на преместването. Типичните стойности на чувствителността на тези сензори са  $0,5\text{--}50 \text{ mV}\cdot\text{s}^2/\text{m}$  при честотен обхват  $0,1 \text{ Hz}$  до  $200 \text{ kHz}$ .

Тази конструкция най-често се използва за измерване на вибрации при контролиране на състоянието на различни машини. Вибрациите на машините са показателни за възникващи повреди които може да се установят дни и седмици преди да настъпи авария, т.е да се планира ремонт в подходящо време.

Еквивалентната електрическа схема на пиеzo-сензорите включва генератор на напрежение пропорционално на ускорението. Изходното съпротивление има капацитивен характер и е със стойност равна на капацитета на пиеzo-пластинката – 0,1-10nF. От това се определят и основните



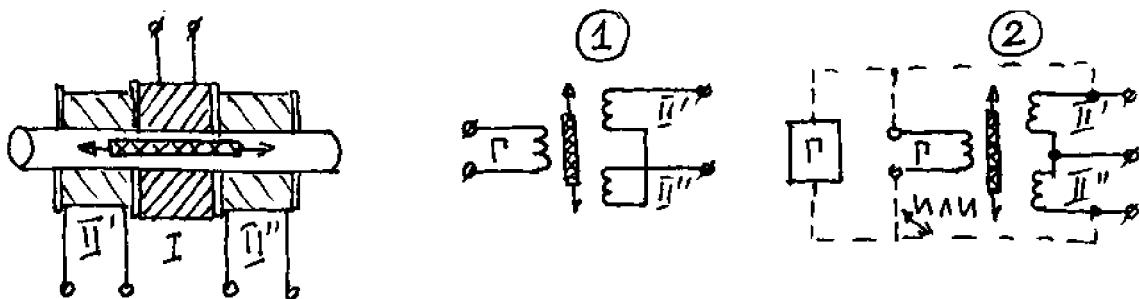
изисквания към електрониката предназначена за работа с пиеzo-сензори. Изходният капацитет ограничава честотната лента откъм ниските честоти. Колкото е по-ниска изискваната работна честота толкова по-голямо трябва да е входното съпротивление на предусилвателя. За работна честота няколко херца изискваното съпротивление е  $50-100 \text{ M}\Omega$ . В много от конструкциите в сензора се вгражда и предусилвател. Типичен предусилвател е показан на схемата по-горе. Той е реализиран с полеви транзистор с p-n преход. Схемата на свързване е с повищено входно съпротивление. Сигналът се предава по захранващия проводник.

Повечето от сензорите нямат вградени предусилватели. Ако се използват с усилватели на напрежение възникват сериозни проблеми поради малкия изходен капацитет на сензора. Между него и капацитетите на свързващия кабел, входния капацитет на стъпалото, както и с паразитните капацитети се образува делител. Така коефициентът на предаване ще е различен при отделните случаи. Това налага използване на индивидуална настройка при различни уреди или при смяна на кабела който свързва сензора с усилвателя. Налага се използването на специални кабели за които е гарантирана стабилност на капацитета при огъване и преместване – при повечето приложения сензорът е поставен на подвижна част от машината. Специалните кабели са много по-скъпи от обикновените но не решават проблема с необходимостта от индивидуалната настройка при всяка измервателна постановка. В тези случаи се предпочитат електронните усилватели на заряд. При тях обратната връзка е капацитет – Сов. Като се напише формулата за коефициента на предаване с кондензатори в обратната връзка се получава:  $U = Eq.Cq/Cov$ , като поради големия коефициент на усилване на ОУ влиянието на другите капацитети може да се пренебрегне. Тъй като  $Eq.Cq = q$  е заряда който се генерира от сензора този тип усилватели се наричат усилватели на заряд. Поради това и много фирми дават чувствителността на сензорите в заряд на единица ускорение. При тези схеми долната гранична честота се определя от елементите задаващи постояннотоковия режим – резисторът в обратната връзка. Когато се изисква ниска гранична честота резисторът трябва да е много голяма стойност. Входното съпротивление на усилвателя също трябва да е много голямо –  $10^{14} - 10^{16} \Omega$ . То се реализира със специални полеви транзистори. На фигураната по-горе вдясно е показан такъв усилвател на заряд. Особеност при него е компенсирането на входния ток на полевия транзистор с аналогичен – двата прехода са свързани противопосочно. При настройката токовете се изравняват с потенциометъра. За максимално входно съпротивление в обратната връзка няма резистор, а . постояннотоковият режим на ОУ се поддържа, като периодично, преди измерване, се включва бутон (реле) НУЛ. Коефициентът на предаване се сменя с подбор на кондензатора в обратната връзка Сов.

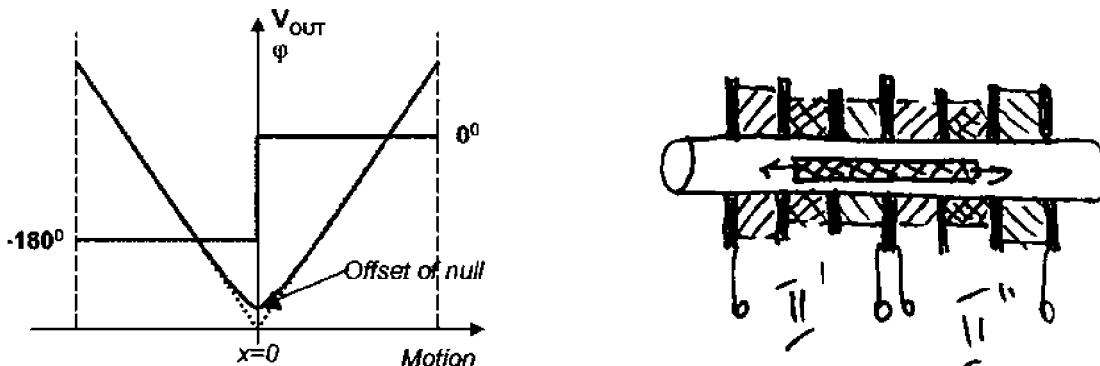
### Индуктивни сензори:

Основата на този метод е промяната на индуктивността на бобина (намотка) при преместване на феромагнитната й сърцевина. В зависимост от предназначението и точността има различни сензори които се различават един от друг най-вече по конструкцията на бобините. За измерване се използват предимно сензори с две бобини. Така се гарантира по-добра линейност и се компенсира влиянието на околните фактори, най-вече на температурата. Сензори с една бобина се използват по-често като крайни изключватели или при измерване с малка точност.

Две конструкции са намерили най-голямо приложение – с две и с три бобини. На фигураната

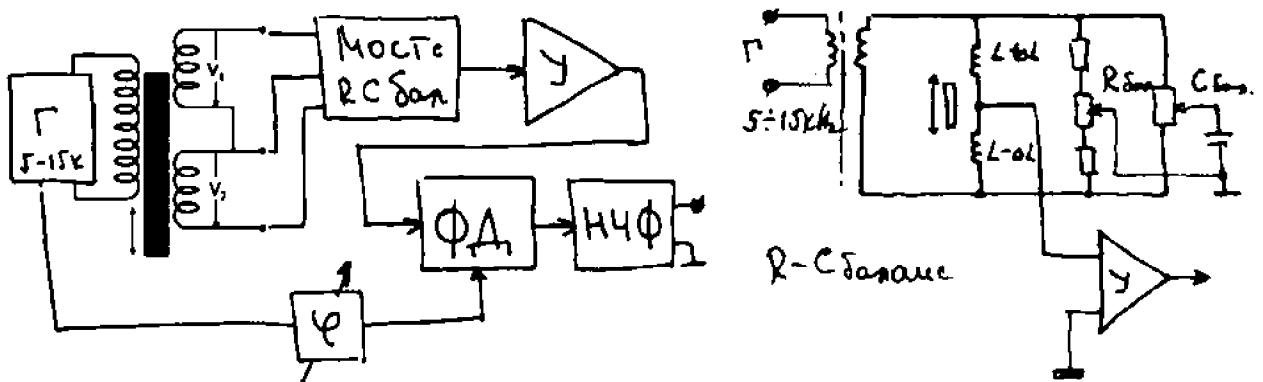


схематично е показана конструкцията. В средата е генераторната намотка, а от двете страни – вторичните намотки. Има два варианта на свързване на вторичните намотки. При единия (1) сигналите от двете намотки се изваждат, а при другия (2) двете намотки са свързани последователно. При втория вариант е задължително да се използва мостова схема. И двата варианта на свързване се използват и имат предимства и недостатъци. При втория има възможност конструкцията да се опрости като се премахне генераторната намотка и вторичните намотки да се захранват директно от генератора както е показано на фигурата. При този вариант се усложнява електронната част защото е задължително използването на мостова схема. При схемата (1) с изваждане има проблеми около нулата *Offset of null* както е показано по-долу. Ефектът се дължи на



капацитивното прехвърляне на сигнал от генератора. При втория вариант с отделното балансиране на моста по активна и реактивна съставка (R-C баланс) този проблем е решен. За по-добра линейност вторичните бубини се разделят на секции с различен брой навивки – така значително се увеличава линейния участък. Подробности за тези сензори (на английски са познати като LVDT) са дадени в допълнителните материали Add\_M2.rar – lvdt\_sens.rar.

Пример на блокова схема за работа с този тип сензор е дадена по долу. Изискванията към



отделните електронни блокове се свеждат до:

- генератор: постоянна честота и амплитуда, малки нелинейни изкривявания в широк обхват от температури.

- мостова схема: да има възможност за балансиране (нулиране) по активна и реактивна съставка. Примерно решение е показано на фигурата.

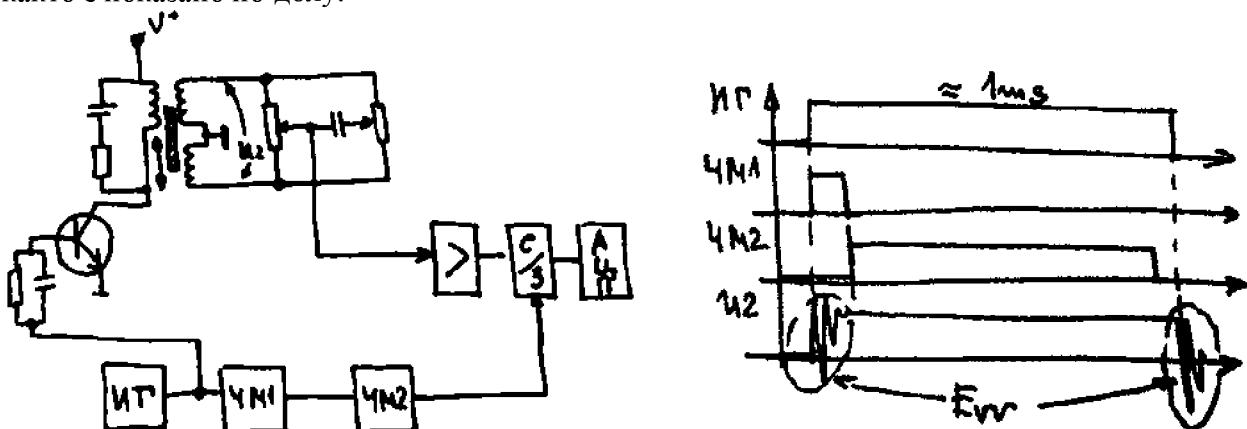
- предусилвател: стабилна амплитудно-честотна и фазова характеристика. Работната честота обикновено е в обхвата 5-15 kHz. Повечето операционни усилватели с вътрешна честотна корекция при тази честота имат недостатъчно усилване без обратна връзка. Например LM741, който за постоянен ток има усилване >100 000, при 10 kHz усилва само 100 пъти и то без ОВ. Това е така защото поради вътрешната корекция усилването започва да спада още при 10 Hz с 10dB/dec. Добър предусилвател се прави с ОУ с външни корекции подбрани за конкретния коефициент на усилване.

- фазов (синхронен) детектор: използването на фазов детектор е задължително когато трябва да се установи посоката на преместването. Ако това не е необходимо например при еднопосочко преместване, може да се използва обикновен изправител (детектор). И при двата детектора се изисква линейност в характеристиката при работната честота. Обикновено се налага и да се настройва фазата на опорния сигнал от генератора за да се компенсира закъснението в предуслитвателя.

- нискочестотен филтър: изискванията към филтъра се отнасят до ширината на честотната лента. Когато се измерват нискочестотни сигнали (тегло, механични размери и др.) лентата не е важна и се ползва RC група с голяма времеконстанта. Когато тези сензори се използват в системи за управление, при измерване на вибрации и др. се изисква максимално широка лента. Естествено честотната лента е ограничена от честотата на генератора. С подходящи активни филтри може да се достигне до горна гранична честота  $\frac{1}{2}$  от генераторната.

След нискочестотния филтър сигналът може да се преобразува в цифров или да се използва като аналогов за обратна връзка.

Изходният сигнал на индуктивните сензори е пропорционален на преместването и на напрежението от генератора. От друга страна чувствителността на електронната част се определя от шумовете на предуслитвателя и качествата на детектора. За увеличаване на разрешаващата способност на измервателния уред трябва да се увеличи сигнала от сензора. Увеличаването на напрежението увеличава и разсейваната мощност върху сензора и той се загрява. Това води до влошаване на характеристиките му. Производителите на сензори ограничават ефективната стойност на променливото напрежение при което е гарантирано качеството. За да се увеличи чувствителността на измерването без да се прегрява сензора се използва импулсно измерване – както е показано по-долу.



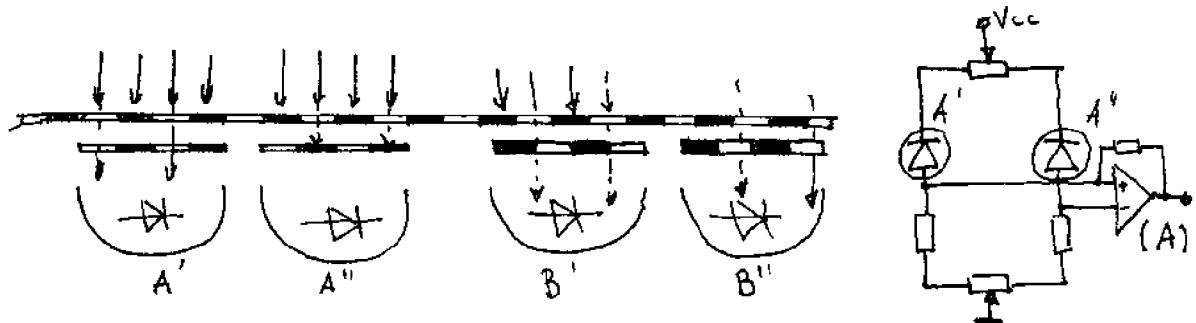
Импулсен генератор подава напрежение на моста като изходният сигнал се запомня в схема следене запомняне. Схемата С/З се “отваря” малко след началото на импулса и затваря малко преди края. Това е необходимо за да се избегнат преходните процеси и се реализира с двата чакащи мултивибратора ЧМ1, ЧМ2. Дължината на импулсите зависи от индуктивността на сензора и се подбира така, че грешката от спадането на амплитудата да е по-малка от зададената. И при тази схема за измерване се налага RC баланс на моста. Друго важно изискване е да се използва импулсен усилвател с параметри гарантиращи зададената грешка на преобразуване.

### Фоторастерни преобразуватели:

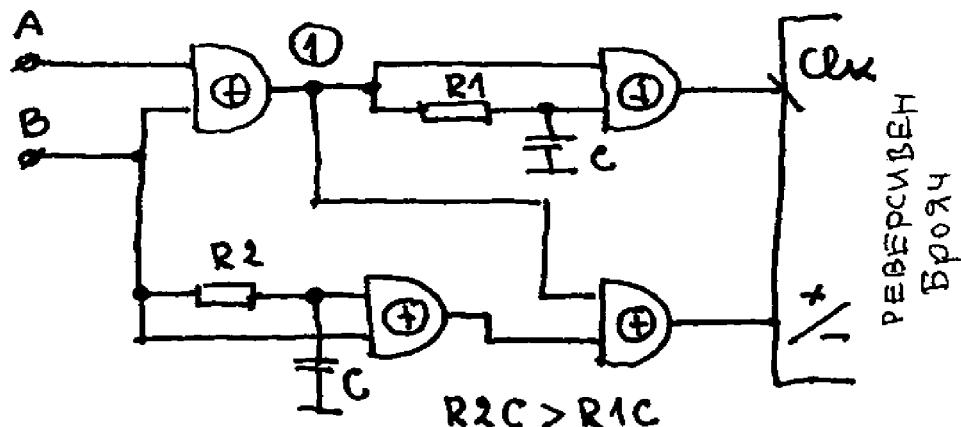
Тези сензори работят на принципа на пропускане на светлината преминаваща през специално изработени маски. Маските представляват прозрачни и непрозрачни ивици (растер). Светлината която преминава през маските попада на фотоприемник и променя фототока през него. Ако ивиците са изработени по подходящ начин (цифров код) може да се установи мястото на маската, т.е да се определят координатите. В този случай точността и разрешаващата способност зависят от

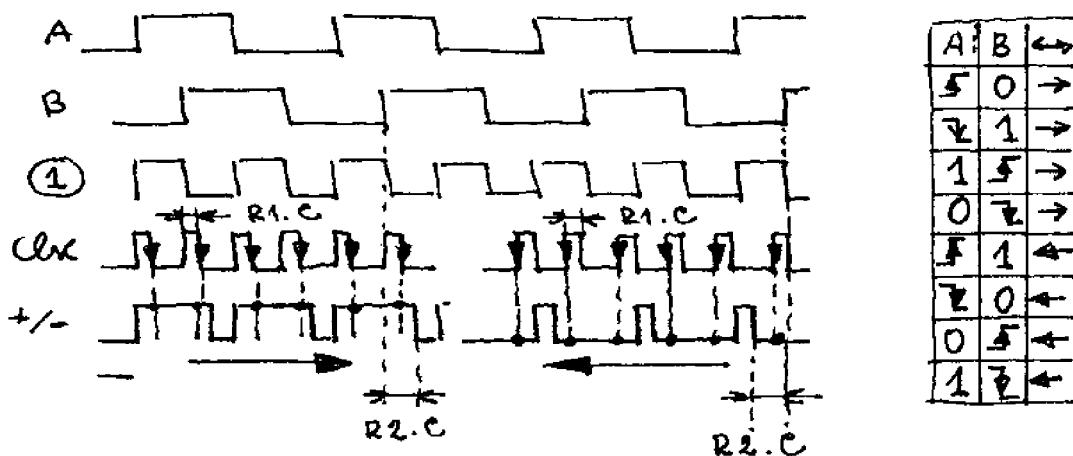
размерите на фотоприемника. Тези размери на са достатъчно малки за да се извършва прецизно измерване. Предимство на такъв преобразувател е, че се получават абсолютните координати на маската (съответно на измерваната величина). Цифровият код обикновено се подбира да е код на Грей за да няма грешни отчитания при междинните положения на маската.

Съвременните методи позволяват фоторастерът да се изработи с много по-малка стъпка и така да се получи по-голяма разрешаваща способност. В този случай фотоприемникът не може директно да "разпознава" растера поради по-големия си размер. Използва се неподвижна маска пред фотоприемника както е показано на фигурата. Когато растерът на подвижната маска съвпадне с този на неподвижната преминалата светлина е с максимална стойност, когато прозрачните участъци са срещу непрозрачните се получава минимум на светлината. По този начин



се получава информация за движението на маската като разрешаващата способност се определя от стъпката на растера на маските, а не от размерите на фотоприемника. За по-голяма прецизност се използват две неподвижни маски в "противофаза". Когато едната ( $A'$ ) пропуска максимално другата ( $A''$ ) пропуска минимално. Сигналите от тези фотоприемници се използват за формиране на една поредица А в която всеки импулс съответства на преминаване на една ивица от растера. Двата фотоприемника позволяват да се компенсира стареенето на светлинния източник и промяната на режимите на фотодиодите защото сигналът  $A'$  в компаратора не се сравнява с постоянно ниво, а с инверсния сигнал  $A''$  получен при същите условия. За да се определи и посоката на движението се използва втора двойка фотоприемници  $B', B''$ . Сигналът получен от тях е в квадратура (90°) спрямо този от двойката А. В зависимост от нивото на сигнала на поредицата В, при преход ( $0 \rightarrow 1$  или  $1 \rightarrow 0$ ) на поредица А, се определя посоката на движение. Доколкото двете поредици се получават по един и същ начин и двете могат да се използват за отброяване на ивици и за определяне на посоката. Най-голяма разрешаваща способност се получава когато се отчита преместването на всеки един фронт и на двете поредици. Така ако растерът е със стъпка 20  $\mu m$  се получават 5  $\mu m$  разрешаваща способност. До 1  $\mu m$  се стига от същия растер като аналогово се измерва изходният сигнал от фотоприемниците – достатъчни са пет нива. Освен А и В поредиците се използва и С която се използва за начало. Поредиците А и В показват промяна на положението





на маската но не дават абсолютните координати. Затова при включване на такъв измерител трябва да се определи нулевото положение – затова се използва сигналът С. Поради тази особеност на този тип фоторастерни преобразуватели те често се наричат **инкрементални** защото изходният им сигнал е пропорционален на нарастването, а не дава абсолютни координати. На схемата по-горе е показано как от двете поредици А и В се управлява реверсивен брояч. Неговото състояние показва местоположението на подвижната маска, съответно измервания размер. В схемата е използвана една интегрална схема “сума по модул две”. От двете поредици А и В се прави една - (1). Така и двете поредици ще се използват за отчитане на преместването и ще се получи по-голяма разрешаваща способност. С помощта на групата R1C при всеки преход се получава импулс на входа Clk на брояча. От таблицата се вижда, че когато импулсите се получават от поредицата В, логиката за определяне на посоката е инверсна, т.е посоката на броене трябва да се смени. Това става с R2C, като тази времеконстанта трябва да е по-голяма от R1C, т.е по време на задния (активен) фронт към Clk, сигналът на входа за посоката (+/-) да е инвертиран.

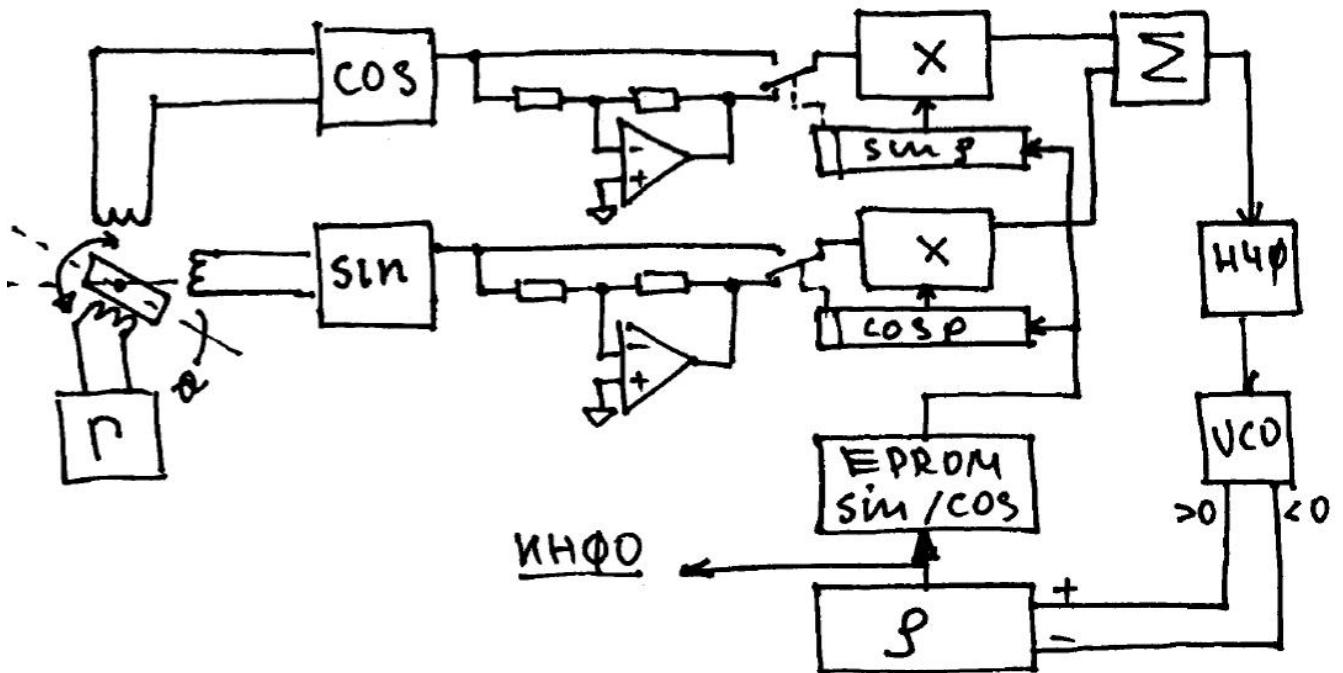
По-подробно за фоторастерните сензори в Add\_M2.rar – Incr.zip(incrSen.htm).

### Въпроси:

От лекциите!

## Измерване на ъгли и обороти.

В промишлеността тези измервания се използват както при прецизните обработващи машини така и при роботизираните комплекси за точно определяне на местоположението (координатите) на изпълнителни механизми. Много често линейното движение се преобразува във въртеливо. Така сензорите стават по-компактни. Пример за такова приложение са фоторастерните преобразуватели разглеждани по-горе – линейното преместване на принтери, плотери, различни машини се измерва като въртеливо на фотомаската изпълнена като диск. В промишлеността се използват и специални сензори за измерване на ъгли (обороти) – **резолвери**. Поради по-голямата им механична здравина в някои случаи те са предпочитани. Резолверът представлява електромеханично устройство оформено като двигател с три намотки – две статорни и една роторна. Всъщност това е “въртящ” трансформатор на който първичната намотка се върти спрямо вторичните. Амплитудата на индуцираното напрежение от ротора в статорните намотки зависи от ъгъла между ротора и статора. Конструктивно двете вторични намотки са така разположени, че когато индуцираното напрежение в едната е максимално в другата е минимално – като функциите  $\cos$  и  $\sin$ . Затова и двете намотки се наричат косинусова и синусова.



Измерването на ъгли и обороти се свежда до измерване на ъгъла между ротора и статора на резолвера. Ако сигналът от синусовата намотка умножим по косинуса от един ъгъл  $\rho$ , а този от косинусовата по същия ъгъл и извадим двета резултата ще получим синус от разликата между двета ъгъла (единият е между ротора и статора, а другия  $\rho$ ). Ако променяме ъгъла  $\rho$  нулев резултат се получава само когато двета ъгъла са равни. Така, като определим  $\rho$ , ще измерим ъгъла между ротора и статора. Схемата по-горе изпълнява тази задача – след умноженията сигналите се подават на суматор, а неговия изход управлява VCO (генератор управляван от напрежение). От изходите на този генератор се подават импулси към реверсивен брояч. Когато на изхода на суматора напрежението стане нула в реверсивния брояч е стойността на търсения ъгъл. За умножители се ползват ЦАП, като стойностите за  $\sin$  и  $\cos$  като таблици се намират в EPROM. Тъй като тези ЦАП не могат да умножават по отрицателни числа, а  $\sin$  и  $\cos$  се изменят от -1 до 1, когато  $\sin$  или  $\cos$  е отрицателен се подава абсолютната стойност и се сменя поляритета на входния сигнал – с инвертиращ ОУ. Особеност на тези ЦАП е наличието на резистори допълнително изработени на кристала с R-2R матрицата. Тези резистори имат същия температурен коефициент като матрицата и са за обратната връзка на ОУ след ЦАП.

Едновременно със сравнително точните резолвери и фоторастерни преобразуватели се използват и по-прости – за измерване на ъгли и обороти с малка точност (до няколко процента). Повечето от тях могат да измерват само обороти, т.е не могат да установяват местоположение (ъгъл). Сензорите за такива цели работят на няколко принципа:

- тахогенератори: това са електрически генератори с постояннотоков или променливотоков изход. Постояннотоковите са с четки и колектор (динамо) и дават изходно напрежение което е пропорционално на оборотите. Техни недостатъци са електрическите смущения които се предизвикват от работата на четките, износването на колектора и четките, ниското ниво на сигнала при малки обороти.

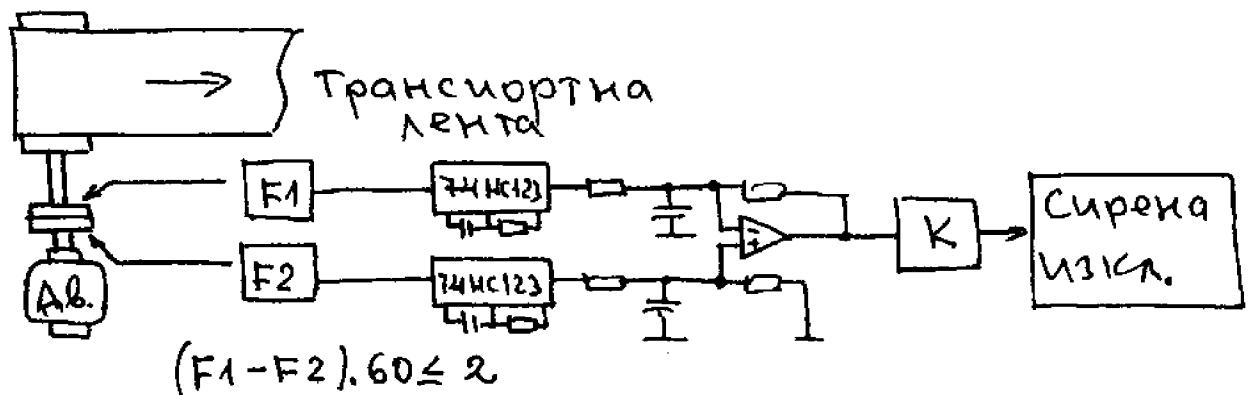
Променливотоковите са по-евтини. Изходното им напрежение е с честота и амплитуда пропорционални на оборотите. Те нямат проблемите предизвикани от наличието на колектор и четки. Ако се използват с изправител те имат по-лоша чувствителност при ниски обороти (малък сигнал). По-добър резултат се получава когато те се използват като източник на честота пропорционална на оборотите. И при тях измерването на ниски обороти е затруднено поради малката амплитуда на сигнала.

- импулсни сензори: така може да се обобщят всички сензори които генерираят честота пропорционална на оборотите. Оптическите използват различни растери (маркери) нанесени върху въртящия се обект или дискове с прорези и др. Общото е, че имат излъчвател и фотоприемник който работи на отражение или директно. В изхода се получава честота пропорционална на броя на дупките (марките) за едно завъртане и на оборотите. При по-ниски обороти, за по-голяма чувствителност се използват дискове с повече прорези (дупки).

Индуктивните сензори ползват постоянен магнит който преминава покрай намотка или датчик на Хол. Предимство на сензорите с намотка (от генераторен тип) е, че изходният сигнал е с достатъчна амплитуда и не се налага допълнителна обработка. Освен това механично те са по-здрави. Проблем са ниските обороти защото амплитудата на сигнала зависи от оборотите. Преобразувателите на Хол изискват допълнително захранване и отделен преобразувател. За сметка на това изходният им сигнал не зависи от оборотите и те могат да се използват при много ниски обороти (вкл. 0).

Когато импулсни сензори ще се използват при измерване на обороти, които се променят в широки граници (вкл. 0), се препоръчват оптически или сензори на Хол, когато измененията не са големи – индуктивни от генераторен тип. Последните се различават от тахогенераторите по това, че при тях *не са гарантира* пропорционалност между генерираното напрежение и оборотите.

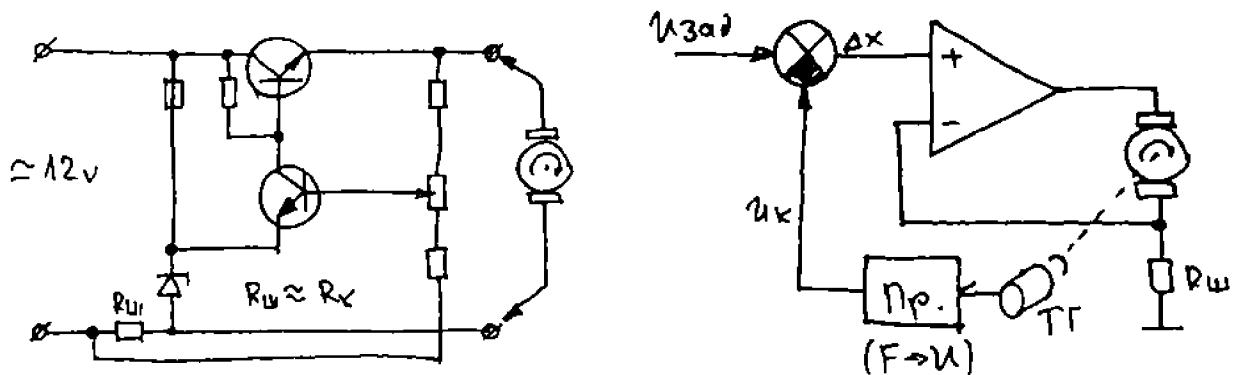
Сигналите от тези преобразуватели се ползват или за директно измерване на обороти или като обратни връзки в различни системи за регулиране. За работа в аналогови системи най-удобни са постояннотоковите тахогенератори – те директно дават сигнал за сравнение. Използват се в по-стари системи. В по-новите се предпочита използването на по-евтините импулсни сензори или променливотоковите тахогенератори, като сигналът от тях се преобразува (честота-напрежение) в постояннотоков. При използване на цифрови системи (микроконтролери) честотата от сензорите директно се ползва като информация за оборотите. Пример за типично приложение на прост



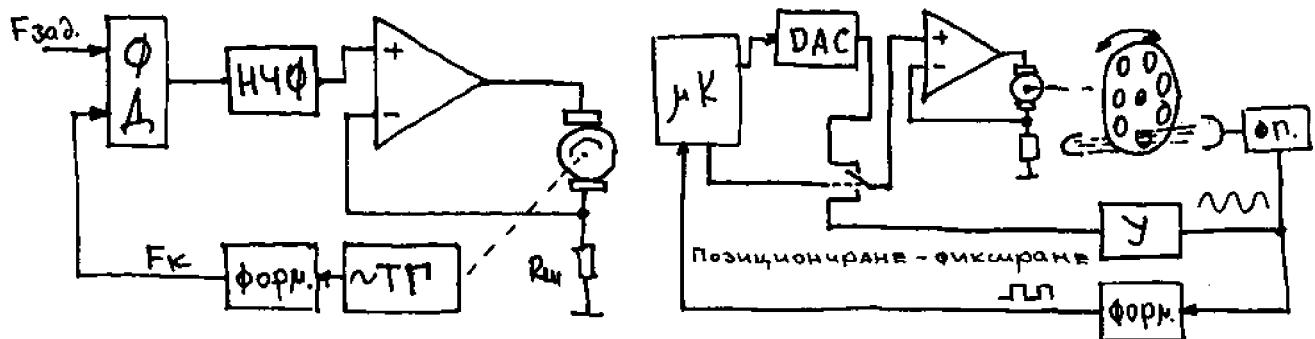
сензор с преобразуване F-U е даден на фигурата по-горе. Използва се за контрол на работата на транспортна лента. При претоварване на лентата съединителят започва да припльзва. Когато оборотите от двете страни на съединителят се различават с повече от 2 се задейства система за предупреждение и аварийно изключване. Всеки един от двата преобразувателя на честота в напрежение е изпълнен с чакащ мултивибратор 74HC123 (в един корпус са два). Точността на преобразуване се определя от стабилната амплитуда и продължителността на импулсите. Средната стойност на напрежението на изхода на всеки мултивибратор е  $U_o = (V_{cc} \cdot t) / T$ , като се приема, че амплитудата на импулса е равна на захранващото напрежение  $V_c$  (за схеми от сериите HC и HCT). Продължителността на импулса е  $t$ . Тъй като  $V_c$  и  $t$  не се променят, то изходното напрежение ще е пропорционално на  $1/T$  т.е на честотата. Двете изходни напрежения се сравняват в компаратор.

### Регулиране на обороти – примери:

Примери на прости регулатори са дадени по-долу. Най-лесен за управление е постояннотоковият двигател – той се върти с обороти пропорционални на подаденото напрежение. При натоварване поради увеличения консумиран ток подаваното напрежение спада вследствие на напрежителния пад в намотката му (котва). Ако регулаторът на напрежение с което се управлява двигателят има отрицателно изходно съпротивление, равно по абсолютна стойност на съпротивлението на котвата оборотите ще са стабилни независимо от натоварването. Отрицателното съпротивление може да предизвика самовъзбуждане (генерации) на регулатора. За да не става това обикновено не се прави пълна компенсация на съпротивлението на котвата. Отрицателното съпротивление се получава от положителната обратна връзка през  $R_w$ . Когато е необходима по-голяма точност се използват схеми с обратна връзка. На фигурата е показано как се използва постояннотоков тахогенератор. В този случай регулаторът е със статична характеристика – в установен режим винаги остава грешка в оборотите  $\Delta X$  необходима за да се поддържат оборотите. Освен това е въведена и обратна връзка по тока на двигателя – така се получава по-плавно управление и двигателят се предпазва от размагнитване на постоянните магнити.

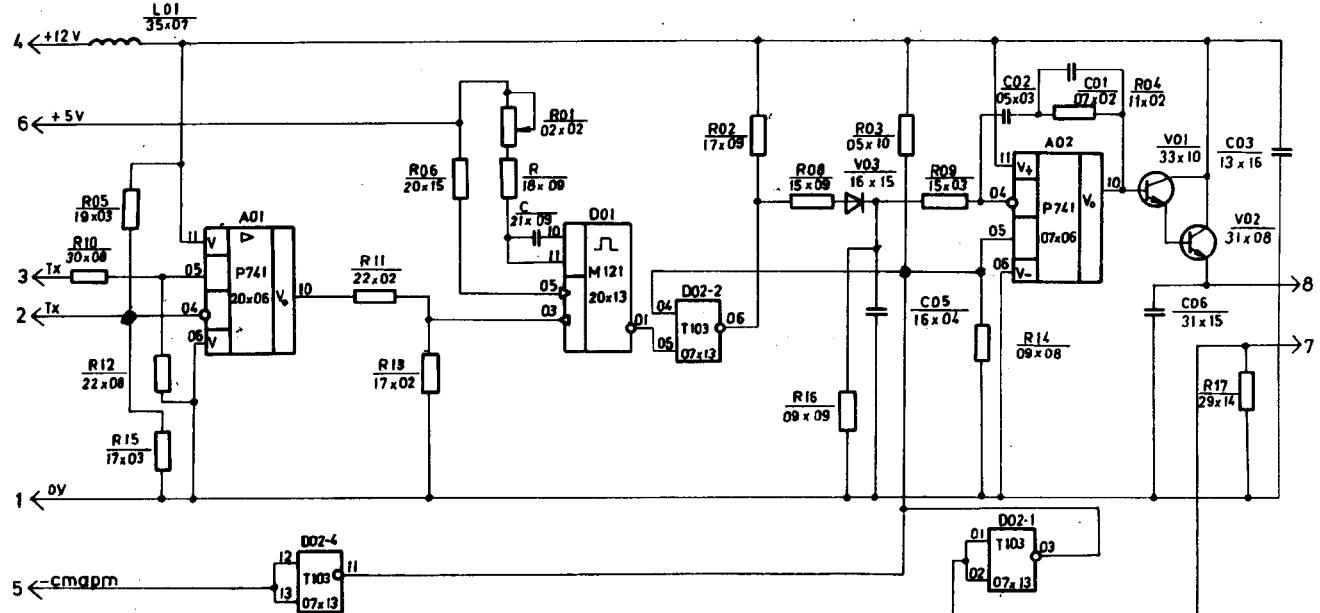


При използване на променливотокови тахогенератори по-просто е управлението да не минава през междинно преобразуване в напрежение. На фигурата по-долу е показана схема на регулатор в която оборотите се задават с честота, обратната връзка е с променливотоков тахогенератор (импулсен сензор), а сравнението се извършва с фазов детектор. Използването на фазов детектор внася интегриращо звено в структурната схема. По този начин регулаторът става с астатична характеристика, т.е теоретично няма грешка между зададените и получени обороти. На същата фигура е показана по-сложна схема на регулатор. Той служи за позициониране, като алгоритъмът на работа включва преместване между две точки и удържане в избраното положение. Позиционирането е разделено на две части – преместване и фиксиране. Преместването се отчита с импулсен сензор. При достигане на зададеното положение се включва аналогова следяща система която държи двигателя неподвижен. Обратната връзка поддържа фотоприемника полу-осветен,



като и най-малкото движение променя фототока, при което се изработка компенсиращ сигнал и се възстановява зададеното положение.

На следващата фигура е показана електрическата схема на регулатор на обороти за флопидисково устройство. Сензорът е променливотоков тахогенератор – изработка напрежение с честота пропорционална на оборотите. Сигналът от него се формира от ОУ 741, който в случая работи като компаратор. Точността на задаване на оборотите зависи от ЧМ 74121. Този мултивибратор има много добри параметри по отношение на стабилността на генерирания импулс. За да се



K 53,089,003,201	
НМГМД ИЗЛТ 5050 Е, ЕС 5088 РЕГУЛЯТОР /РЕГЛ/ СХЕМА ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ	лист 1 вс. листов 1

получи и стабилна амплитуда сигналът от изхода на чакащия мултивибратор преминава през схема с отворен колектор 7403. Така амплитудата се определя от захранващото напрежение 12V. Средната стойност получена върху кондензатора C05, която е пропорционална на оборотите се сравнява с напрежението на делителя R03, R14. Сравнението се извършва от операционен усилвател A02 – 741, който чрез транзисторите V01, V02 управлява двигател свързан към изводи 7 и 8. Предимство на схемата е, че точността на работа не зависи от стабилността на напрежението 12V. Това е така защото и двете напрежения (пропорционалното на оборотите и зададено с R01, R14) се получават от 12V, а ОУ следи двете да са равни независимо каква е стойността им. Ако двета резистора са равни на единия вход на ОУ ще има  $\frac{1}{2}$  от 12V и регулаторът ще работи така, че коефициентът на запълване в изхода на чакащия мултивибратор да е  $\frac{1}{2}$ . В схемата, посредством R17, е въведена защита по ток – когато токът достигне определена стойност (1,5V)

логическият елемент D02-1 се задейства и намалява задаващото напрежение на входа на ОУ, като не позволява по-нататъшно увеличаване на тока.

Когато се налага измерване на много ниски обороти, вкл. 0, стандартните прости решения са неприложими. Трябва да се използват фоторастерни преобразуватели или резолвери. Тогава се изисква много сложна управляваща (микроконтролерна) система. Има по-просто решение, като се използва еталонен двигател. Тогава оборотите се измерват не спрямо неподвижната основа, а спрямо еталонния двигател. Така, ако еталонният двигател се върти с 2000 оборота, а се измерят 2000,1 или 1999,9 това означава, че измерваният двигател се върти с 0,1 оборота в едната или в другата посока. В този случай има проблем с предаването на захранване и информация между движещи се части. Този въпрос е разгледан в – eusku00.pdf.

### **Управление на стъпкови двигатели:**

Стъпковите двигатели като изпълнителни механизми имат едно голямо предимство – не е нужен сензор за определяне на местоположението им. Те имат две или повече намотки, като изпълняват стъпка (завъртане на определен ъгъл) при промяна на тока в коя да е намотка. Промяната става с превключване на напрежението към намотките. При по-малка промяна на тока от номиналната се изпълняват микро-стъпки което позволява по-плавно управление, но с по-малък въртящ момент.

За да се получи по-голямо бързодействие на стъпковите двигатели се прилага краткотрайно повишаване на напрежението в момента на превключване (тогава се извършва завъртане и е необходима по-голяма енергия), а през другото време се подава номиналното напрежение което е необходимо за удържане на положението на двигателя. Това значително увеличава скоростта на работа на двигателя, особено при старт/стопен режим, например при принтери.

Значително по-голямо увеличаване на скоростта на стъпковите двигатели се получава като се следи реакцията на намотката която се превключва. Задният фронт дава информация дали дадена стъпка е изпълнена или не. Така без да се използва сензор се следи въртенето на двигателя. По-голямото бързодействие се дължи на това, че при изчисление на скоростта при “класическото” управление се вземат предвид най-тежките условия на работа – промени на захранването, съпротивление на обекта, сгъстяване на смазката и др. Това е задължително за да не се получават грешки. Когато обаче се отчита дали стъпката е изпълнена, може да се работи като се допусне възникване на определен процент грешки, които след това се коригират с повторение на стъпката. Доколкото реалните условия са значително по-благоприятни и скоростта се увеличава.

### **Въпроси:**

1. Какво представлява тахогенераторът? Видове.
2. Какъв е изходният сигнал от тахогенераторите?
3. Какво представлява резолверът?
4. Кога се използват сензори на Хол и кога индуктивни сензори?
5. От какво се определя точността при измерване с преобразуване  $f \rightarrow U$ ?
6. Как се увеличава бързодействието на стъпкови двигатели?
7. Как се измерват много ниски обороти?

**Г л а в а 3**  
**ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ЗА ИЗМЕРЯНЕ. КОНТРОЛ  
Р АНАЛИЗ НА ГАЗОВЫХ СРЕДАХ**

толчното състояние на трак и възела ѝ въздуха, вър-  
тятелна, електрическата на монтажа и др.  
Работата на извадка със стоманен кор-  
пус на датчика и на се разделят изп-  
лнения на лампата и електронната част. Останалите  
електронни части в модулно изпълнение се прикрепят спо-  
вържани на извадка с поизводство. Капакът на модула съ-  
ществува в унитарен и гълъбоподобен вид.  
В такъв обикновено е съединен и елементарни съ-  
мокторът на работното състояние, при който възникне-  
тната се течет в автомобилни и заведени на индика-  
торни уреди за наблюдаване.

Анализът на извадки със същността на използваните въ-  
прокъм технологията процеси, чрез които подготвя съз-  
даването на начинът на изпълнение и крайния конфигурационен  
изход от системата на този ласно се упътва към създаването на  
процесите и начинът на производството. Постепенно об-  
разува се приложението на електронните устройства за  
измерване, контрол и управление на традициите със  
спредържане на създадените на динамики газове във  
въздуха около технически инсталации.

Процесът на изходните газове на движищата със  
твърдо гориво:

Създаването на дюймени и защитни газове, проверка на  
стъпките на изпълнение на гориво;

Установяване на деформационни пропорции, контрол на  
запасоването на въздухъ, контрол на въздушоподси-  
лено токсично действието на газови компоненти и др.

Анализът на изпълненията от използвани неискривенска-  
чи асборбция на инкорпориран или ултрависокото лъ-  
чение, инкорпорирана област в характеристика-  
на за кетерогените газови молекули и свързаните им  
на съставнини сплити, между 5, 5 и 12,5 μm.  
Това значи спектралните характеристики, показана  
по фиг. 1, която е в основата на изобретението на изпълнение на  
ах - дюйми на измънка. Изобретението на изпълнение на  
въздушоподсилено област в типична за дължина на  
въздушоподсилено около 250 μm.

Друга част от газоводната извадка са изградени по  
метода, основан на различаваната топлоизолация и на  
отделните газови компоненти (Фиг. 3-2). Този метод  
има следните изобретености:

1. в съединение със същността на изпълнение чрез  
изпълнение на изпълнение на газови компоненти по  
съединение със същността на изпълнение чрез  
изпълнение на изпълнение на газови компоненти, наричан съз-  
даването група употреба на изпълнение на изпълнение чрез

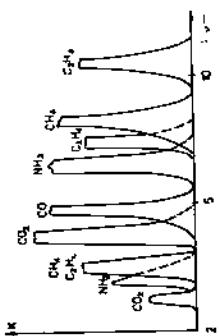
### 3.1. Овши положения

三

градуса высок или тверд нико наділать висока температура, спаджання на прах, висока температура відповідає, самівським згубливим від. Що зовсім не сподіваємось, гла тварі да се погоди за кілька днів вспомінанім іншими членами чрез ряд овереній за коріннями — одинствені от принос, подібнія не підітаке

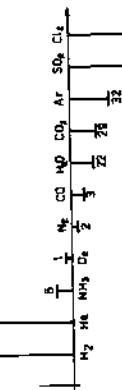
3.2. ЗИЛОВЕ ЕЛЕКТРОННИЙ ГАЗОДІАЛІНІЗТОРИ

Газодинамическият метод да се изграждат и на об-  
ектове на физико-химични мотои, свързани с пром-  
исловия на спешни химически реакции на измества-  
ние и окисление, или на електрохимични мотои —  
известните катодни и анодни процеси, извършувани в  
така наречените "плъвки" за изместване на много малки  
атомни частици. Поради работата на газодинамически замеси от  
този тип, съществуващи производствени установки при изместването.



ΦΕΡΤΑ

### **3.2.1. Информационные технологии**



۱۷



Уравнение (1.6) можно записать в виде

$$u_4(1_{\text{ст}}) = \frac{u_4(1_{\text{ст}})}{u_2(1_{\text{ст}})} - u_3(\beta_{\text{ст}}), \quad u'(1_{\text{ст}}) = \frac{u'_4(1_{\text{ст}})}{u_2(1_{\text{ст}})} - u'_3(\beta_{\text{ст}}).$$

$$u'(\lambda_{\text{em}}) = \frac{u_1(\lambda_{\text{em}})}{u_2(\lambda_{\text{em}})} = u_3(\lambda_{\text{em}}), \quad u''(\lambda_{\text{em}}) = \frac{u_1(\lambda_{\text{em}})}{u_2(\lambda_{\text{em}})} = u_4(\lambda_{\text{em}})$$

Съ подават на аналогово дистилано устройство, АКС-700, където се очакват с  $\eta_1$  и  $\eta_2$ , приоритетни на изхода на аналого-цифровия преобразувач, съдържащ също АКС-700.

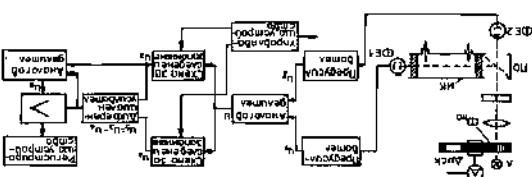
в задаче на оптимизацию.

След второ дължено на изхода на втория аналогов дели-  
тел се получава

$$U_6(\lambda) = \frac{U_3(\lambda_{em}) - U_4(\lambda_{em})}{U_1(\lambda_{em})}$$

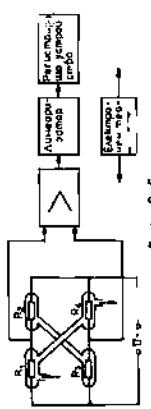
Това направление в пропагандирането на обясненията и на издаването на изследовани компоненти, във внимание е положено, че издаването на изследовани компоненти на деянията на Потъмно-Балканския фронт са изложени във вид на съобщение за практичен опит във военна и политическа система. Изложени са съществените и важни за практиката и политическата система. Изложени са съществените и важни за практиката и политическата система.

### 3.2.3. Термокондуктметрични газораздигатоди



126

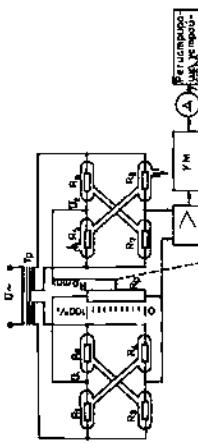
2



卷之三

Нюкелова схема се захранва от някои или на тес-  
то да се състои от утюгови мост с терморезистори  
и Р4 и Р5, разделителни възтупи, пред които се  
насаждат кондензатори Г1, Г2 и термодействащи  
пълнители Г3, Г4, пред които са съставени (и попас-  
ват) съответно съдовете за измеряване на температура  
и давление. Тези съдове са изработени от  
стъклени и силициеви елементи, които са  
включени в състава на изследваните газови  
термопарни съдове. Тези съдове са изработени  
от стъклени и силициеви елементи, които са  
включени в състава на изследваните газови  
термопарни съдове.

Кара-Калпакской АССР), член Ученого совета Академии наук Узбекской ССР и ведущий научный сотрудник Института физики и химии газов Академии наук Узбекской ССР. Схемы его работ опубликованы в журналах «Физика», «Химия», «Химическая инженерия» и др.



— 4 —

для Капоренка.  $R_1$  и  $R_2$  от польки моста с поста-  
вены в амплуту с течью по системе стоянок на  
находится на измерительной обвязке. В  $R_2$  и  $R_3$  са-  
разложены в амплуту с разом, что стоят отдельно  
на края  $\Psi$ . Следовательно, первый мост не в ранго-  
вске. На изходном пути излагается схема  
о напряжения на разыкателю, которое се-  
лько приводит  $R_6$  и  $R_7$  от вторичного моста са-  
точеским на измерительном дифференциальном  
приемнике. Мосты на частотах от  $\Omega_{\text{специальный}}$  до  $\Omega_{\text{из-}}$   
 $\Omega_{\text{специальный}}$  и  $\Omega_{\text{измерительный}}$  находятся на частотах от  $\Omega_{\text{специальный}}$  до  $\Omega_{\text{из-}}$   
меньше погрешности и изолиния нормы са-  
зывания и измерительного приемника постепенно  
уменьшается, в то время как выходные зеркала  
изолятеля, в контуре  $\Psi$  уменьшаются между ними  
также на разыкателе на вторичном мосте из начи-  
нается то же направление на ресорах. Увеличение ма-  
нокости зазывания резонанса приводит, когда изме-  
няется разыкателю, диктуя са-постигие разыкателю

129  
е пълно състоянието ...

$$U_1 \frac{R_P}{R_{P,\min}} = U_1 \frac{\alpha_p}{\alpha_{p,\max}} = U_2 .$$

Където  $U_1$  и  $U_2$  са стоящите напрежения на разпределение на дават място:  $R_p$  е частта от съпротивлението на токова мрежа между изваждача и зоната на край;  $R_{pp}$  – пътното съпротивление на редовете на:  $\alpha_p$  и  $\beta_p$  – коффициентите на  $R_p$  и  $R_{pp}$ .

издадените величини на уреда

$$\alpha_p = \frac{U_p}{U_i} \alpha_{\text{тюл.}}$$

В процесът на измеряване се съществува та линея на измерването. Ако се приеме чисто баланс от измервателно напрежение и температура и останал ток  $I_0$  в функция на температурата  $\chi$ , то в резултат на измерването  $\chi$  ще се получат величини на тока и на измервателната съпротивителност, зависящи от плаващия узел на възпроизвеждане.

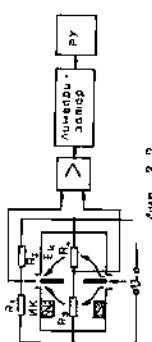
$$\alpha_p = \frac{U_p}{U_i} \alpha_{\text{тюл.}} = \frac{f_i(U_p, \vartheta)}{f_i(U_i, \vartheta)} \alpha_{\text{тюл.}} = f(\vartheta)$$

В процес на измерване се съществува следещи-  
та двете не явяват напрежението, ако са прилож-  
ените въвеждане от захранващото напрежение и оканата  
температура и същевто  $\frac{U_0}{U}$  в допълнение на състава  
на на измервателният  $\Phi$ , в резултат на изискванието  
на измервателният  $\Phi$ , в резултат на изискванието  
за измерване на токове не бъде не-  
записана от главния съчленен възействие:

221 *Tanakawa et al.*

В този вид човек се използва като единичен елемент на кислородните молекули и пъленето теракомат-  
ични токаници. При въздействие на постоянно мак-  
роскопични поле в гърлота средата се създава нервно-им-  
пулс, която изменя условията на окисление на  
тъкмоизделията, работещи в състояние на самоиз-  
празване. От този тип е терапевтичният кислороден ап-  
арат на Иванов.

Дади от разносторонната -  $R_1$  и  $R_2$  - на изброяванието чистота със същите съдържания и превъзложени съответно в измерителна и етранделна  $R_3$ .

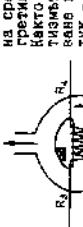


3.7

и човек с единими географическими, харктическими. Посто-  
вата схема е изтървана от категория на постигането на -  
примечание, осъществявано чрез такъв тип пред геодезисти-  
чните, че да се заговори до определена тематика -  
на измервателни измерения във времето и в пространството -  
на постепенно нарастващия във времето и в пространството  
и човека с единими географическими, харктическими. Посто-  
вата схема е изтървана от категория на постигането на -  
примечание, осъществявано чрез такъв тип пред геодезисти-  
чните, че да се заговори до определена тематика -  
на измервателни измерения във времето и в пространството -  
на постепенно нарастващия във времето и в пространството  
и човека с единими географическими, харктическими. Посто-  
вата схема е изтървана от категория на постигането на -  
примечание, осъществявано чрез такъв тип пред геодезисти-  
чните, че да се заговори до определена тематика -  
на измервателни измерения във времето и в пространството -  
на постепенно нарастващия във времето и в пространството  
и човека с единими географическими, харктическими. Посто-

Рий. В文學ратурниот развој на јазот не е никако нивре-  
зен. В измервателниот развој на јазот не е никако нивре-  
зен. На разета на разета, пропорционално на килодра-  
ните концепции. Това направува се усилува, линеа-  
ризира и подобрива на детектиралото употребување.  
Протенденциите спроведуваат в Букмакеровата си-  
стема, па са земените от морски и кавалитич-  
ки јазовици, често извршени системи за изготвува и  
пространствена структура, чисто две половини со сръд-  
на на с направена съгласие, тройка – напр. наисторији-  
анализатор „Могила“ (обр. 3-3). Едрия външна стро-  
јка на тройници в Наконото платнишко дело на Иза-  
бела в средната точка. Две по полини Р. и А. пок-  
ачуваат в полета на постепен шампион. Средният пок-  
ача е съществено по јакост на захвашането, докол-  
ку пътищните резистори са състинки на северната гра-  
ница. Когато в изложението тази не се съзира килодра-  
ните направени на тробина на претърпяващата каска.  
Не против гас, при начин на каскада част от мо-  
делизациите се привидат от шампион и попадат в напреч-  
ната тройника. Так че се направят до температурата

на сърдечета, определящо от на-  
чала плавното превъртане.  
Като е известно, параметри-  
трансформатора, наложени  
на телевизората при усилва-  
не на сигналите възникват и ст-  
руктурни и силовото въздействие  
върху кислородните модули.  
Задача със сърдечета е да  
започне от извънредно ниско по ис-  
траждане токова напрежение. В разработат  
на трансформатора се образува поток от кислород  
на сърдечето, но концентричната на ки-  
слородния ток изчезва разпределеното на темпе-  
ратура върху сърдечета, като възниква ох-  
лаждането е по-интензивно. В резултат на спадането  
загряването на модула, например на радиочастотното  
установление на променен генератор, се  
започва да се появлява на сърдечето преобразуване на  
неко-



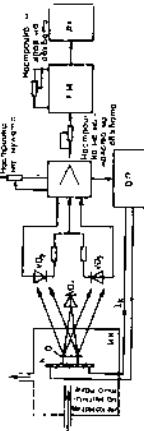
1

### 3.2.5. Устройство и эксплуатация гидротрансформаторов

Този устройството използва електромагнитни явления. Например, лавината със звукови вълни може да концентрира на мястото на извиването, да превърне гравитационните сили в създадените от същите вълни съпротивления. Идеята е, че създадените вълни ще създадат съпротивление, което ще предизвика движение на земните кори, което ще създаде нови вълни и т.н. Така земните кори ще създадат вече създадените вълни и т.н. Така земните кори ще създадат вече създадените вълни и т.н.

$$\omega_x = \frac{1}{\pi F} \text{erf}\left(\frac{\omega_x - \omega_0}{\sigma}\right)$$

Бъдете се общ гезов Константина;  
F - Константата на Фарадей;  
G - температурата. К.



53

Тезисът поддържа и използва електрохимични явления.

Този устройството използва електромагнитни явления. Нагревателният лампичък за измеряване на концентрацията на  $D_2$  в дима на газ приставява на пакетния елемент, покрит с прозорец от стъклодарен цирконий (ZrO<sub>2</sub>). При температура над 800 °C концентрацията на ионите в  $ZrO_2$  е много голяма. Той предава на мистърския твърд електролит гравитацията на  $D_2$  в областта на разлики парчани на  $D_2$  в измеряванията на  $D_2$ . При различни парчани между  $T_{\text{X}}$  и  $T_{\text{Y}}$  възниква електрическа сила, която се използва по формулата на Нерст:

13



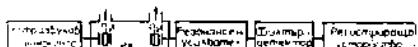
метан, въздух и пропан, бутан, бензинови пари (сехозол, тодуол и др.), въздух и въглероден окис и др.

#### 3.2.6. Ултразвуков измервател на газови среди

В уредите от този тип се използва различната ~~сърд~~ скорост на разпространение на ултразвук в различните газови среди, т.е. скоростта на разпространение на ултразвука зависи от концентрацията на изследваната съставка. Блоковата схема на подобен уред е показана на фиг. 3.12.

В измервателната камера ИК са разположени керамични пневомикрофон *ПМ* и пневоприемник *ПП*. *ПМ* се захранва от генератор на електрически трансформатор на ултразвукова частота. Приеманите трептения се усиливат от резонансен усилител и след изправление и филтриране се подават на регистриращо устройство. Изследвателят и приемникът могат да се преместват един спрямо друг на такова разстояние между работните им повърхности, че в пространството между тях да се получат стоящи вълни. При това положение се реализира максимално акустично взаимействие върху приемника и съответно максимално отклонение на регистриращия орган.

Първоначално камерата се запълва с еталонен газ и разстоянието се настройва до получаване на максимално отклонение на индикатора. Това е кулевата точка (репер) на скалата, която по отношение на свояте начало и край е обсърката. При въвеждане на изследвания газ се изменят скоростта и дължината на вълната на трептенията. Намалява енергията, въздействаща върху приемника, и това се регистрира от индикатора.



Фиг. 3.12

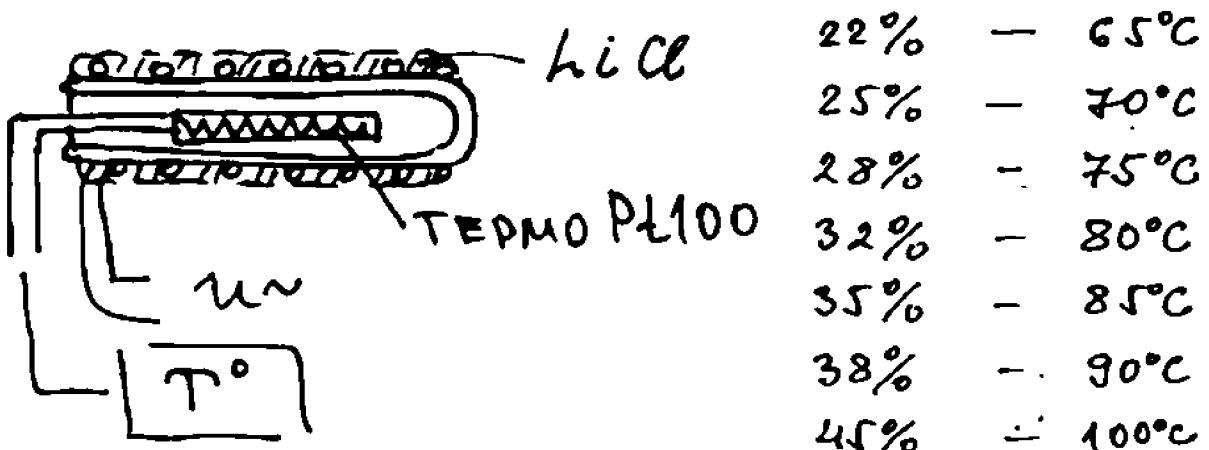
## Измерване на влажност.

Влажността както на околнния въздух така и на редица продукти и материали има голямо значение в практиката. Атмосферната влажност от една страна влияе на усещането за комфорт, студ и горещина, а от друга е свързана с опазването и съхранението на хранителни и нехранителни стоки, строителни материали, музейни ценности и др. Влажността на продуктите, освен че влияе на цената им, гарантира дълготрайното съхранение – зърнени храни, фуражи, чай, кафе, “сухи” месни продукти и т.н.

**Абсолютна и относителна влажността на въздуха.** При измерване на влажността се ползват и двете понятия. Абсолютната влажност показва съдържанието на вода (водни пари) в единица обем. Обикновено се дава като грамове в кубически метър ( $\text{g}/\text{m}^3$ ). Абсолютната влажност не зависи от околната температура, налягането и т.н. Относителната влажност показва в проценти съдържанието на вода спрямо максималното при дадени условия. Максималното количество вода зависи от околната температура и налягането. Въщност атмосферата може да се разглежда като вода разтворена във въздух. Когато се достигне насищане на разтвора започва да вали. В този случай имаме около 100% относителна влажност. При повишаване на температурата способността на въздуха да разтваря вода се увеличава ( $20^\circ\text{C}$  - $20\text{g}$ ,  $40^\circ\text{C}$  - $60\text{g}$ ,  $60^\circ\text{C}$  - $120\text{g}$ ,  $80^\circ\text{C}$  - $270\text{g}$ ,  $95^\circ\text{C}$  - $450\text{g}$ ) поради което при непроменена абсолютна влажност относителната влажност намалява. Това свойство на въздуха се използва за изсушаване – температурата се понижава и влагата кондензира.

Поради голямото значение на измерването на влажност и методите за измерване са много. Еталонните методи са свързани с директно определяне на количеството вода – след изсушаване и измерване на промяната на теглото. Този подход се прилага при измерване на влажността на въздуха и на различни продукти, например зърно. Това е много точен но бавен метод – при зърно се прилага изсушаване при температура около  $140^\circ\text{C}$  в продължение на 3-4 часа. В практиката се използват по-неточни, но много по-бързи методи. Най-използваните са:

**психрометричен метод** – основава се на измерването на температурната разлика между “сух” и “мокър” термометър. Сухият термометър измерва околната температура, а резервоарчето (чувствителната част) на мокрия е овлажен с пореста тъкан (фитил). Колкото относителната влажност е по-ниска толкова изпарението на водата е по-интензивно. Вследствие на това се понижава температурата на повърхността от която се извършва изпарението. За определяне на относителната влажност се използват таблици – Psychro1.pdf Psychro2.pdf. Измерителите които работят на този принцип използват термометри с Pt100 и микроконтролери в които са “въведени” таблиците. В момента това е най-разпространения метод в хранително-вкусовата промишленост – сензорите са много по-устойчиви на околната среда при тези производства.

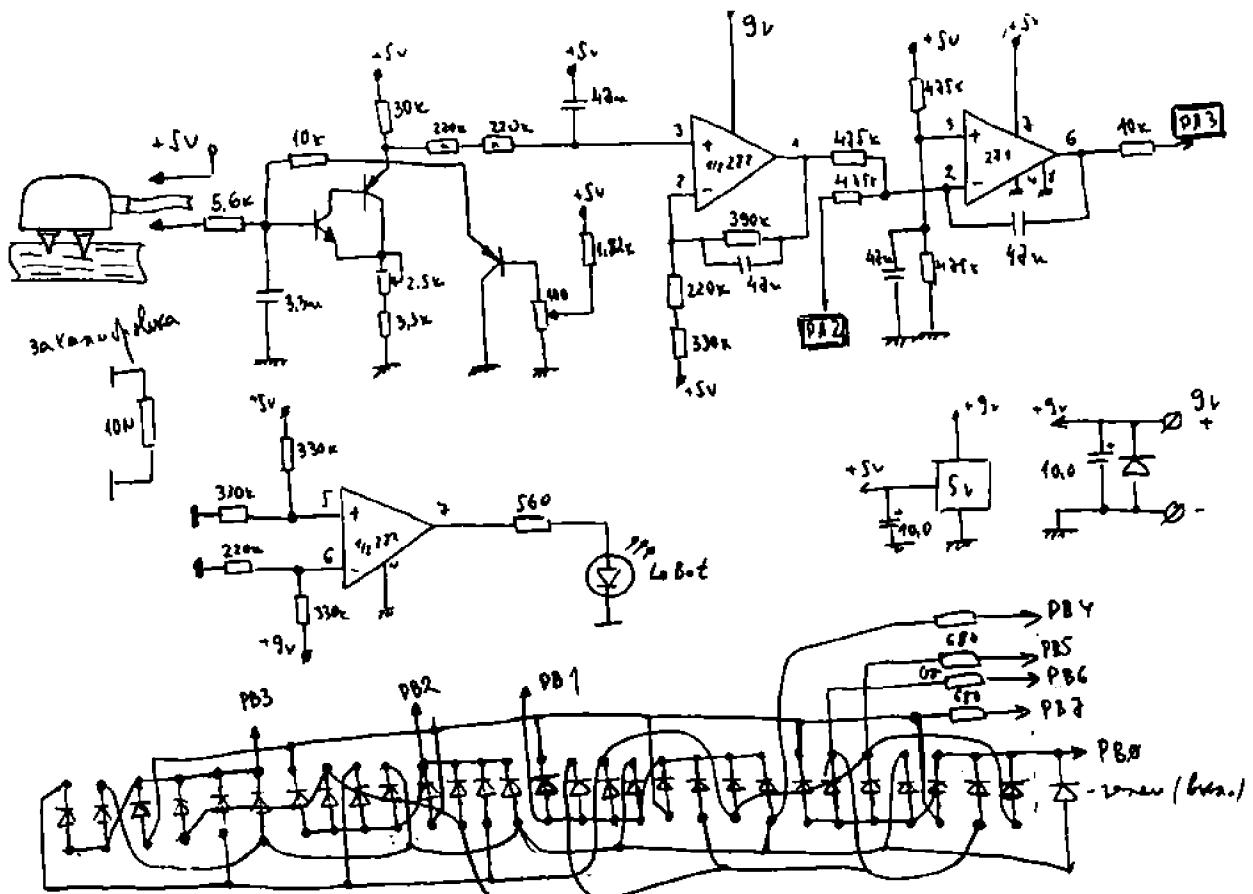


**чрез проводимост** – един от методите работещи на този принцип може да се използва в не особено чист въздух. Той е базиран на проводимостта на пореста тъкан пропита с литиев хлорид. В зависимост от околната влажност (относителна)  $\text{LiCl}$ , който е силно хигроскопичен, поема влага

и променя проводимостта на тъканта. Върху нея е навит гол съпротивителен проводник който е захранен с напрежение (променливо или постоянно). При това проводникът се загрява, водата се изпарява и проводимостта намалява – при определена температура се достига равновесие между поетата и изпарената вода. Тази температура е функция на относителната влажност – от фигурата се вижда, че зависимостта не е линейна. Температурата се измерва с Pt100. Обхватът на работа на тези измерители е 15-50%.

Има и други сензори работещи чрез измерване на проводимост. Използва се това, че водата значително увеличава проводимостта на тънки слоеве. Изменението е от няколко мегаома при ниска влажност до няколко килоома при висока влажност. Измерването е много лесно защото се мери съпротивление, но зависимостта е силно нелинейна. Проблем е, че тези сензори се “отравят”, т.е след известно време променят характеристиките си – обикновено съпротивлението намалява. Това се дължи на поемането от сензора на вещества от атмосферата.

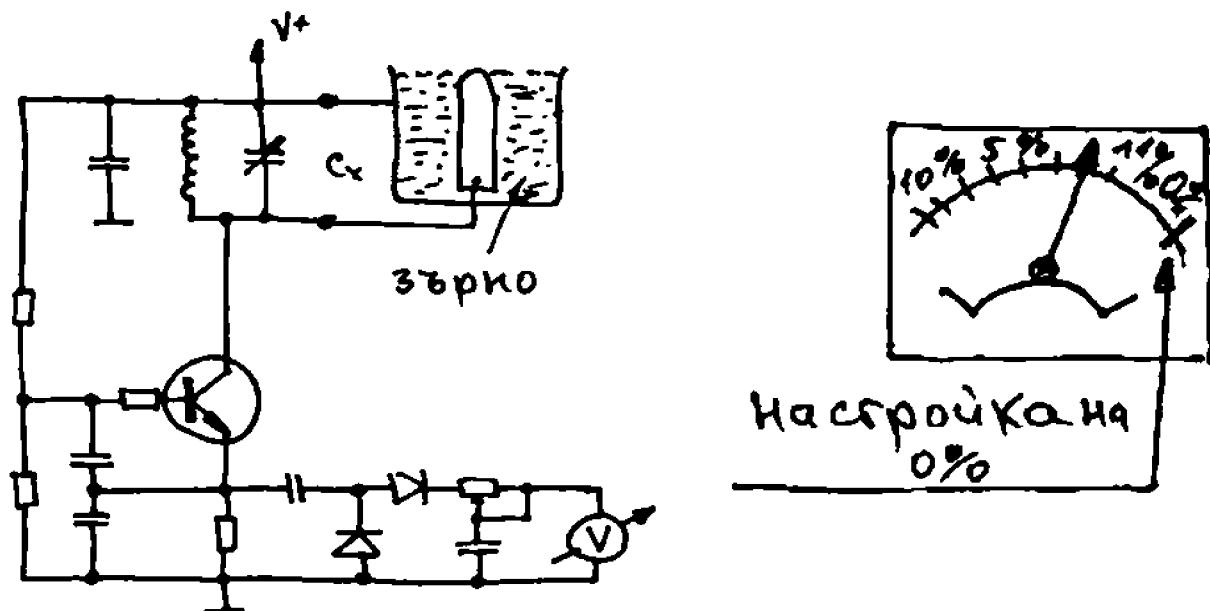
На схемата по-долу е показан измерител на влажност на дървесина, мазилка, гипс и др. В основата е измерване на проводимост. Сензорът е глава с две остриета които се забиват в измервания материал. Поради много голямата нелинейност на метода е въведена логаритмична зависимост на изходното напрежение от входния ток. Управлението става с микроконтролер PIC16C54 чрез който и с ОУ TLC 271 и TLC 272 е реализиран АЦП от интегриращ тип. Резултатът се показва на светодиодна стълбица която се управлява от порт B на контролера. За калибровка главата се опира към вграден в уреда резистор  $10\text{ M}\Omega$ .



**капацитивен метод** – основава се на промяна на капацитета в резултат от промяната на диелектричната проницаемост като функция на влажността. Обикновено тези сензори са с капацитет от около 100 до 1000 pF. Капацитетът им се увеличава с увеличаване на влажността. Използват се в сравнително чисти среди където не се получава оросяване (кондензация). Сензорите са на полиестерна пореста основа – C\_hum\_sen.pdf. Основен недостатък е голямата им

чувствителност към органични разтворители (повреждат се). Това ги прави неприложими в много сектори – хранително-вкусова промишленост, складове за съхранение на плодове и зеленчуци и др. Капацитетът им освен от влажността зависи и от температурата. Това налага схемно или програмно да се компенсира резултатът (трябва да се измерва температурата). В hum1.pdf е дадена схема на прост измерител с такъв сензор. Основава се на два мултивибратора реализирани с HEF4001. Единият работи в автогенераторен режим, а другият като чакащ мултивибратор. Продължителността на импулсите на единия е еталонна, а на другия зависи от влажността. Разликата генерира напрежение, което е функция на влажността. Температурната зависимост на сензора се компенсира с ТКС на еталонния кондензатор. Тъй като зависимостта на изходното напрежение от влажността не е линейна е приложена линеаризация с диод BA221.

Схема за експресно измерване на влажността на зърно е показана по долу. Зърното се насиства в чаша която е оформена като кондензатор – метален (проводим) цилиндър и среден



електрод. В зависимост от влажността се променя капацитетът, а от там и честотата на генерации. При по-голям капацитет честотата е по-ниска, качественияят фактор също и амплитудата на сигнала пада. Амплитудата се мери с детектор и стрелкова система. Зависимостта е сложна защото амплитудата зависи и от загубите които внася диелектрикът (зърното). Методът е емпиричен – уредът се калибрира със стандартни преби зърно от всяка реколта и всеки район. Стандартните преби се изготвят по тегловния метод.

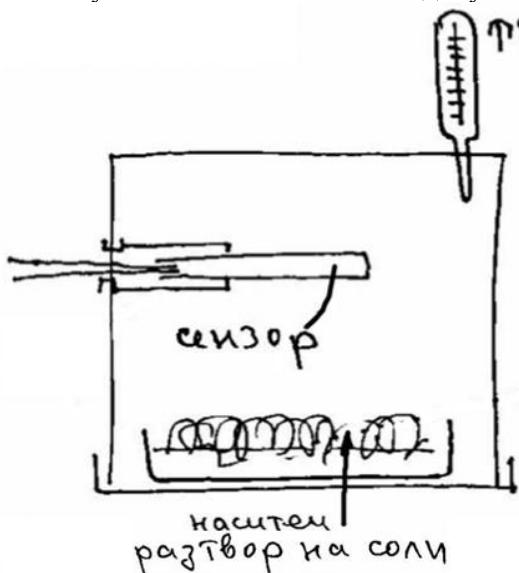
**чрез оросяване** – определя се температурата (точката) на оросяване (заскражаване). Методът се състои в понижаване на температурата на въздуха докато започне оросяване – това означава, че при тази температура имаме насыщен разтвор – 100% относителна влажност. Предварително, за всяка температура е известно, при каква е абсолютната влажност се получава насищане. Така като определим абсолютната влажност на въздуха може да изчислим и относителната влажност за всяка температура. Има таблици за тази зависимост които са подобни на психрометричните. Обикновено понижаването на температурата става с елементи на Пелтие или чрез адиабатно разширение на газа чиято влажност се мери. Моментът на оросяване се определя оптически (по отражението от огледална повърхност) или капацитивно (при рязка промяна на капацитета). Този метод се използва в компресорни станции при пълнене на бутилки с Азот, Кислород, въглероден двуокис и др. В тези случаи има много строги изисквания за съдържанието на влага в газовете – то трябва да е много малко. В противен случай при изпускане на газа по време на работа, вследствие на адиабатното разширение, температурата се понижава и

водата замръзва като запушва отвора през който излиза. При допълнително отваряне на крана той може да се откъсне от бутилката и да се стигне до инциденти.

**радиоактивни, СВЧ и други методи** – тези методи изискват специфично оборудване, защитни мерки и специална подготовка. Радиоактивните методи се основават на погълщането и пропускането на някои лъчения от водородната молекула – такива устройства се използват в строителството при производството на бетон. Подобен е и СВЧ метода – както в микровълновите печки водните молекули погълщат радиовълни и се загряват. Измерването се свежда до определяне на погълщането на СВЧ или загряването на пробата. Има и оптически методи за определяне на влажност – свеждат се до погълщане или пропускане на светлина с определена дължина на вълната.

### Калибиране на измерителите на влажност.

Повечето от измерителите работят като използват емпирични методи. Това налага периодична проверка и настройка. За целта трябва да се създадат условия с известна влажност. За целта се използват насытени разтвори които поддържат определена влажност в близост до повърхността си. Такава установка е показана по-долу. Подбрани са соли които поддържат относителна влажност в



Temp./°C	LiCl / %RH	MgCl <sub>2</sub> / %RH	NaCl / %RH	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> / %RH
0	•	33.7 ±0.3	75.5 ±0.3	98.8 ±1.1
5	•	33.6 ±0.3	75.7 ±0.3	98.5 ±0.9
10	•	33.5 ±0.2	75.7 ±0.2	98.2 ±0.8
15	•	33.3 ±0.2	75.6 ±0.2	97.9 ±0.6
20	11.3 ±0.3	33.1 ±0.2	75.5 ±0.1	97.6 ±0.5
25	11.3 ±0.3	32.8 ±0.2	75.3 ±0.1	97.3 ±0.5
30	11.3 ±0.2	32.4 ±0.1	75.1 ±0.1	97.0 ±0.4
35	11.3 ±0.2	32.1 ±0.1	74.9 ±0.1	96.7 ±0.4
40	11.2 ±0.2	31.6 ±0.1	74.7 ±0.1	96.4 ±0.4
45	11.2 ±0.2	31.1 ±0.1	74.5 ±0.2	96.1 ±0.4
50	11.1 ±0.2	30.5 ±0.1	74.4 ±0.2	95.8 ±0.5

\* The use of an LiCl solution at temperatures below +38 °C is not recommended as its equilibrium humidity can change permanently.

Table 1. Greenspan's calibration table for generated humidity levels for four commonly used salts over a temperature range of 0 to 50 °C. In each column, the numbers on the right indicate Greenspan's uncertainty for the reference humidity of the salt.

целия обхват. Вижда се, че в някои случаи поддържаната влажност зависи и от температурата. Затова е предвиден термометър. В насытения разтвор е потопен влакнест материал – памук, конци или нещо подобно за да се увеличи площта и подобри изпарението.

### Въпроси:

1. Какво е относителна/абсолютна влажност?
2. Избройте методите за измерване на влажност които познавате!
3. Какво представлява методът с определяне на точката на оросяване?
4. Какви са предимствата на метода .....
5. Какви са особеностите на капацитивния метод?
6. Как се измерва експресно влажността на зърнени храни?

## Измерване на вакуум.

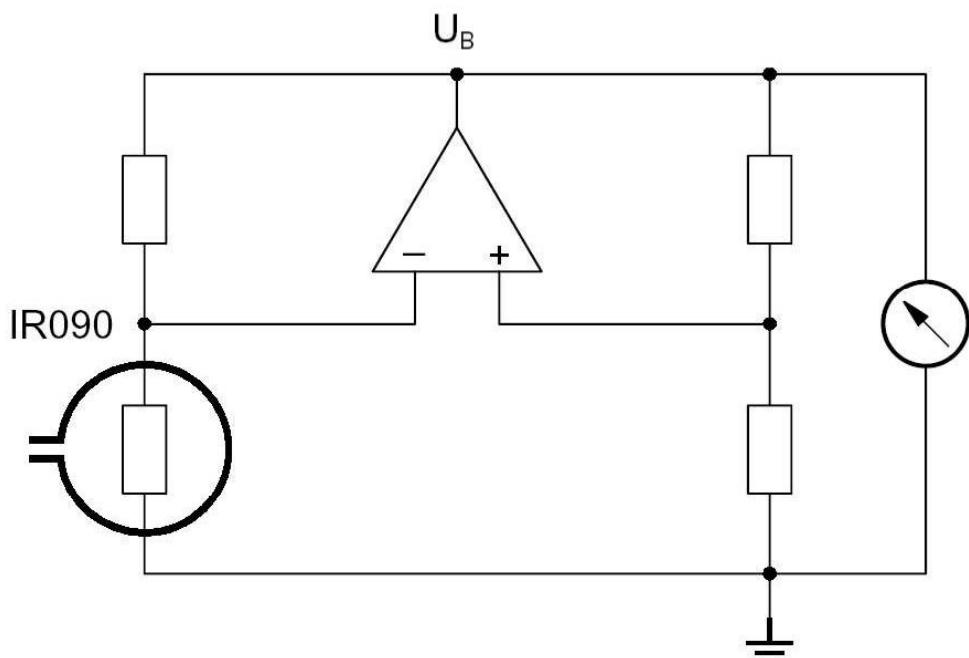
Измерването на вакуум всъщност представлява измерване на налягане и когато то е по-малко от атмосферното говорим за вакуум. Методите които се използват за измерване на "нисък" вакуум ( $1/100 - 1/1000$  от атмосферното налягане) са същите както при измерване на налягане – мембрана която се деформира и тази деформация се регистрира чрез измерване на малки премествания. Използват се капацитивни, индуктивни, пиеzo, тензо и т.н. сензори. При "висок" вакуум тези методи са много нечувствителни и почти не се ползват (изключение правят специални капацитивни сензори). Най-разпространени са йонизационните методи и тези с измерване на топлопроводност.

Единиците за измерване на вакуум които се използват, всъщност са единиците за измерване на налягане. "Официалната" единица съгласно системата СИ е Паскал (Pa). В практиката поради традиции и удобство се ползва и единицата bar. Останали са и все още се ползват Тор (аналогична на mmHg – милиметри живачен стълб) и  $1 \text{ атмосфера} = 1\text{kg/cm}^2$ , както и величини на базата на английските мерни единици инч и паунд. В практиката при измерване на вакуум най-често се използва **mbar** –  $1\text{mbar} \cdot 100 = 1\text{Pa}$ . Атмосферното налягане е около  $1000 \text{ mbar}$  и  $1000 \text{ hPa}$ . Трябва да се има предвид, че отношението между mbar и Pa не е точно 100 но най-често се приема тази стойност. Това се прави защото грешката на добрите уреди за измерване на вакуум е около 10% и "уточняване" на коефициенти с 0,1-0,3% е безсмислено.

За измерване на вакуум в обхвата  $100 \text{ mbar} - 1 \cdot 10^{-4} \text{ mbar}$  се използва метод на базата на топлопроводност. Метална жичка, най-често от волфрам, се загрява до достигане на определена температура съответно до достигане на определено съпротивление. Енергията която е необходима за това зависи от топлоотдаването на жичката. Освен от другите фактори това зависи и от средата в която се намира – налягане и състав. Колкото е по-голяма топлопроводността толкова по-голямо трябва да е напрежението което се подава (жичката лесно изстива). Този метод е силно зависим от състава на газовете – различните газове имат различна топлопроводност при едно и също налягане. Така, ако уредът е настроен за въздух, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> (най-често така се прави) и се мерят други газове показанието трябва да се умножи с коефициенти като следва:

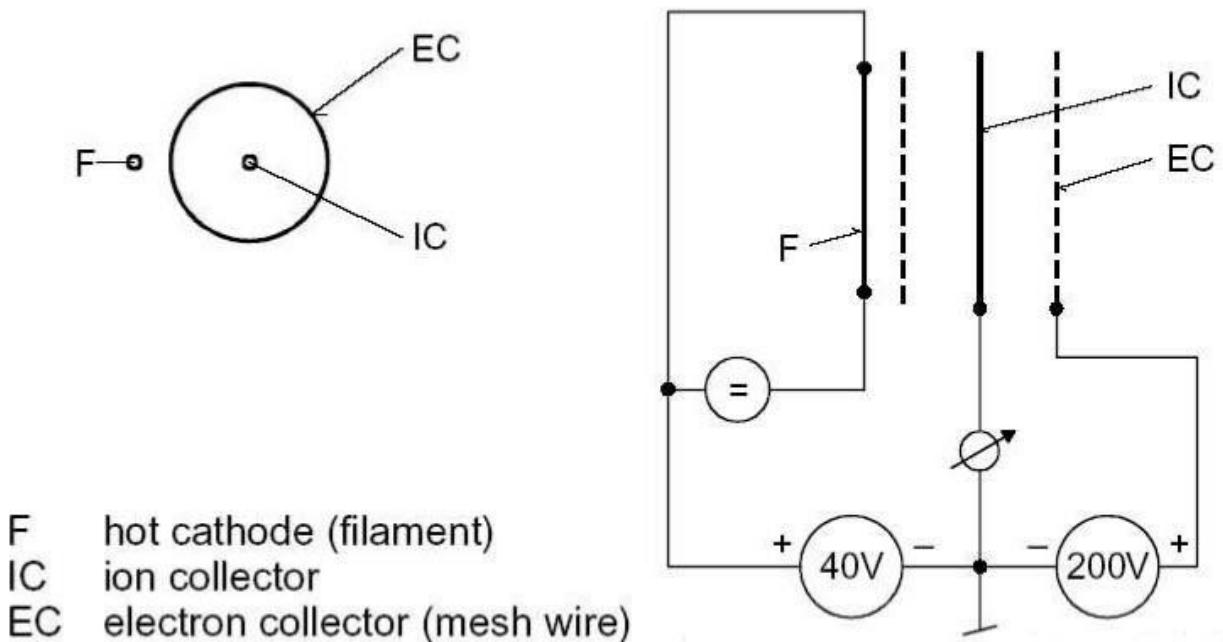
$$\text{Xe} = 0,4 \quad \text{Kr} = 0,5 \quad \text{Ar} = 0,8 \quad \text{H}_2 = 2,4 \quad \text{Ne} = 4,1 \quad \text{He} = 5,9$$

На схемата по-долу е илюстриран принципът на работа на вакууммер, известен още като **Pirani** измерител, който работи чрез измерване на топлопроводност.



Използвана е самоподгряваща се мостова схема. В установен режим мостът е балансиран, т.е съпротивлението на сензора се поддържа едно и също чрез промяна на захранващото напрежение на моста. Това напрежение зависи от топлопроводимостта съответно от вакуума и е изходният сигнал на уреда.

За по-висок вакуум описаният Pirani метод не е чувствителен. За налягане (вакуум) от  $10^{-2}$  до  $10^{-10}$  mbar се използва ионизационен метод – метод на Bayard-Alpert. При него, вследствие на електронна емисия, газовите молекули се йонизират като йонният ток  $I_+$  е пропорционален на



налягането. Ако се поддържа постоянна електронна емисия (катоден ток  $I_e$ ) налягането  $p$  се определя по формулата:  $p \cdot (I_e \cdot C) = I_+$ . Коефициентът  $C$  зависи от конкретната конструкция. Схематично измерителят е показан на следващата схема. Стойността на емисията през катода  $F$  се поддържа постоянна (различна за отделните обхвати). Това става чрез постояннотоков източник с който се загрява катода – при по-висока температура електронната емисия е по-голяма.

На решетката **EC** се подава високо напрежение което ускорява електроните. Те удрят газовите молекули и ги йонизират. Йоните се събират от централен електрод **IC** – така се получава ионен ток който е пропорционален на налягането. Преднапрежението на централния електрод е отрицателно (събират се само йони с положителен заряд). За да се получи добра чувствителност катодът се обработва (покрива се с Торий), а цялата конструкция се прави от материали устойчиви на корозия и висока температура.

За да може да работи в много широк обхват ( $10^{-2}$  -  $10^{-10}$ ) токът на електронната емисия се променя (обикновено на стъпки) и е няколко  $\mu\text{A}$  за нисък вакуум, като достига до няколко десетки  $\text{mA}$  за висок вакуум. Задължително има защити за намаляване на тока при рязко увеличаване на налягането (лош вакуум). В противен случай катодът ще изгори.

Температурата на катода и решетката при екстремни режими достига до  $700^\circ\text{C}$  – катодът, а в някои случаи и решетката светят.

Проблемите към електронната част са свързани с измерването на много малки токове през централния електрод и поддържането на стабилна електронна емисия в широки граници, като това става при сравнително високи напрежения.

## **Интелигентни сензори. Особености.**

***Този въпрос трябва да се подготвя самостоятелно!***

При това да се има предвид следното:

1. Няма точна и наложила се дефиниция за интелигентен (intelligent), умен (smart) сензор. Обикновено изразът се употребява за сензори или първични преобразуватели в които е извършена някаква предварителна обработка на величината – температурна компенсация, линеаризация, премахване на дрейф и т.н.
2. Обикновено, но не непременно, тези сензори са с цифров изход – код, честота, коефициент на запълване и др. Изходът може да е напрежителен или токов, обикновено по някой от стандартите – 0-5mA, 4-20mA, 0-10V и др. Най-модерните сензори от този клас могат да се свързват посредством съвременните (мрежови) интерфейси – Ethernet, CAN, I2C, USB, SPI и др.
3. Захранването на сензорите много често се осъществява по линиите на интерфейса, ако това е възможно. Обикновено има галванично развързване между интерфейса и измервателната част.
4. Понякога се злоупотребява с употребата на изразите Intelligent, Smart Sensors, като за такива се представят или сензори съдържащи само предусилвател или цели устройства. Обикновено интелигентните сензори са с малка консумация и размери, често в интегрално изпълнение. Като такива от по-старо поколение са преобразувателите за термодвойки на фирмата Analog Devices AD594/595 с напрежителен изход в които се извършва компенсация на студения край.

## **Ключови думи за търсене:**

*Smartsensor, Smart Sensor(s), Intelligent Sensor(s) Technology*

## **Литература в електронен формат:**

int\_sen.pdf  
smarts.pdf  
DupuisSMART.pdf  
edc-pap.pdf

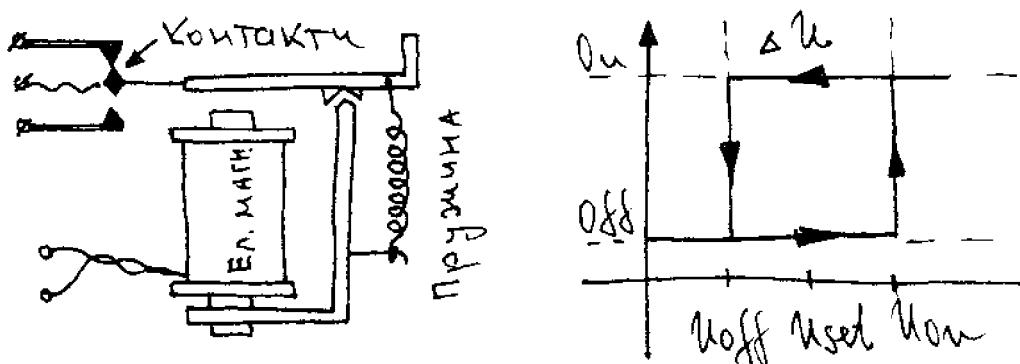
## Електронни устройства за предупреждение и сигнализация.

Тези електронни устройства имат много широко приложение – от алармени системи и системи за достъп до най-прости релета, мигалки, светофарни уредби и т.н. Тази тема би могла да бъде обект на цял учебен курс. Тук ще бъдат разгледани въпроси свързани с някои видове релета.

### Електронни релета, основни изисквания.

Под електронно реле обикновено се разбира устройство което следи една или няколко величини и се задейства (подава изходен сигнал) при изпълнение на определени условия – преминаване на предварително зададени граници или изтичане на определено време. В някои случаи релетата се използват и като регулатори – едно реле нагласено на определена температура, с изход който управлява нагревател, поддържа температурата в помещение, пещ, резервоар и др.

Разнообразието на електронни релета е голямо, както по отношение на приложението им, така и по отношение на контролираните величини и изходния сигнал. В много случаи изходът представлява “класическо” (електромагнитно) реле. Част от параметрите на електромагнитните релета се отнасят и за електронните. Принципът на работа на класическите релета е показан на фигурата по-долу. Електромагнит привлича “котва” която превключва контакти. Включването

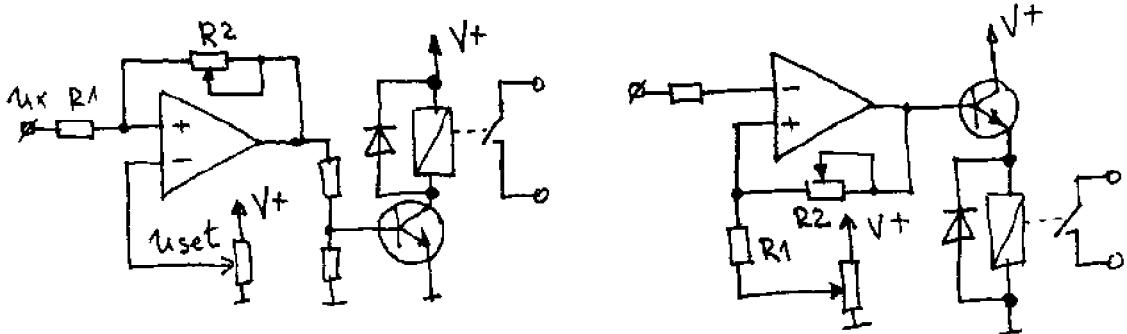


става при напрежение  $U_{on}$ , а изключването при  $U_{off}$ . Двете напрежения са с различна стойност и разликата определя ширината на хистерезиса. Тя зависи преди всичко от конструкцията на релето, силата на пружината, от магнитната верига. В зависимост от приложението релетата се правят с по-широк или по-тесен хистерезис. Обикновено напрежението на включване е 2-3 пъти по-голямо от напрежението на изключване. При специална конструкция на магнитната верига ширината на хистерезиса може значително да се намали. Пак от конструкцията зависи дали едно реле може да работи с променливо напрежение. Ако релето не е предназначено за променлив ток ще “щрака” с честотата на напрежението.

При електронните релета трябва да има възможност стойностите на напреженията на включване и изключване да се задават. Това е едно от главните изисквания към тях. Задаването става или поотделно за  $U_{on}$  и  $U_{off}$  или се задава  $U_{set}$  и ширината на хистерезиса. В някои случаи вторият начин е по-удобен. Например за регулиране на температура се задава стойността, а хистерезисът се определя от режима на работа и инертността на обекта. Естествено се изисква стабилност на тези параметри във времето и от влиянието на околните условия. При приложения когато изходът на електронно реле управлява електромагнитно е естествен въпросът: “Защо не се ползва само второто?”. Причината е в много по-стабилните параметри ( $U_{on}$ ,  $U_{off}$ ) на електронните релета и във възможността те да се настройват (променят).

В зависимост от входната величина релетата може да са за напрежение, ток или параметрични. Терминът параметрични се отнася за съпротивителни, индуктивни, капацитивни, честотни, пиеzo и др. сензори. Изходната величина на електронните релета почти винаги е цифрова – включено/изключено (On/Off). Понякога с три позиции: включено в плюс, изключено, включено в минус. Естествено състоянията на включено и изключено не винаги се задават с напрежение или ток – те могат да се задават с различни честоти, стойности на резистори и т.н. Освен това не винаги “изключено” се задава с нулева стойност. Главното е стойностите On/Off да

са стабилни. Когато изходът е обикновено реле не бива да се разчита на неговия хистерезис, а винаги се препоръчва в електронното реле да има хистерезис, дори да не е необходима прецизност. Така се предпазва изходното стъпало на електронното реле (транзистор) от прегряване. На фигурата са показани прости схеми на електронни релета. С резисторите  $R_2$ ,  $R_1$  се задава ширината на хистерезиса ( $\Delta U$ ). Много е важно настройката на  $U_{set}$  и  $\Delta U$  да е независима, т.е когато се променя едната величина да не се променя другата. В това отношение е по-добра лявата схема, но тя изисква ниско изходно съпротивление на източника на напрежение  $U_x$ . Дясната схема е с много по-високо входно съпротивление, но при промяна на  $U_{set}$  се променя и  $\Delta U$  защото към

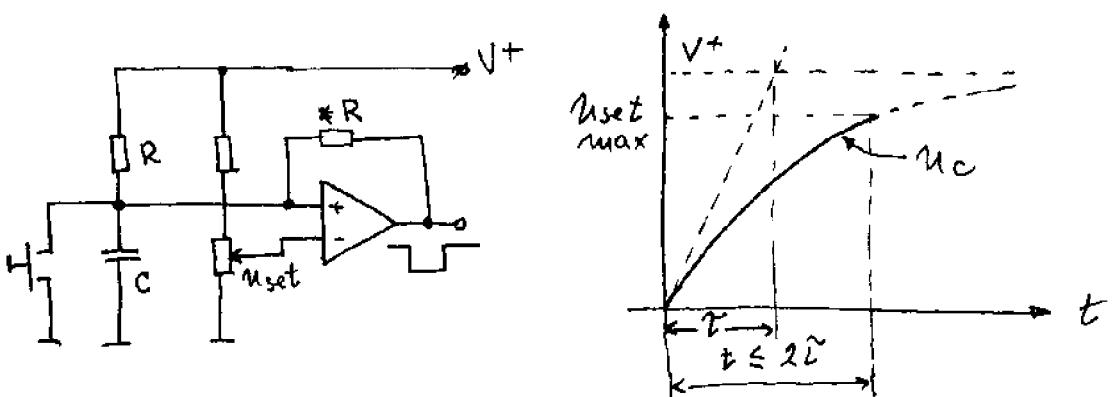


съпротивлението на резистора  $R_1$  се добавя това на потенциометъра, а то се променя при въртене на пъзгача. За да е по-слабо това влияние,  $R_1$  трябва да бъде много по-голямо от съпротивлението на потенциометъра.

### Закъснителни релета, област на приложение, недостатъци.

Това са електронни релета с които могат да се задават временни интервали. Те се използват при най-различни технологични процеси, при управление на светофарни уредби и други. В зависимост от приложението за задаване на временните интервали може да се използват кварцови генератори, синхронни двигатели, таймери (интегрални схеми) или обикновени RC закъснителни вериги. Правилното решение е това, с най-ниската цена, което изпълнява зададените изисквания. Най-ниската цена се определя не само от разходите по проектиране и производство на устройството но и от срока на експлоатация, както и от разходите по поддръжка и ремонт. Поради тази причина, при определени условия, по-скъпите изделия излизат по-евтино.

Най-простите закъснителни релета се правят с една RC група, бутон и напрежително реле.

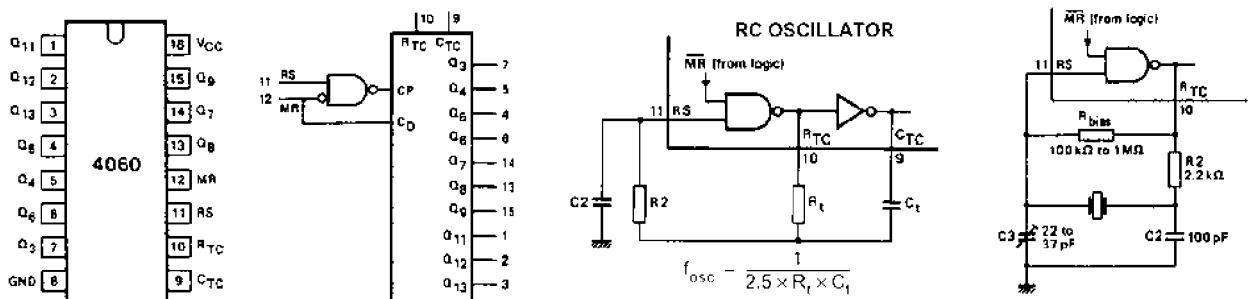


При натискане на бутона кондензаторът се разрежда, а след отпускане започва да се зарежда. Когато напрежението върху него достигне прага на напрежителното реле изходът сменя състоянието си. Така се формира импулс с определена продължителност. Продължителността на импулса зависи от времеконстантата и от прага на напрежителното реле. Освен това към това време се добавя и продължителността на натискане на бутона. Когато не се изисква голяма точност не се вземат мерки за нейното елиминиране. При необходимост натискането се "дозира" с тригер или чакащ мултивибратор. Обикновено това се налага при по-кратки импулси.

Основен проблем на закъснителните релета от този тип е стабилността на импулса по продължителност, особено при по-големи интервали. Съображенията по-долу се отнасят за времена по-големи от няколко десетки секунди. За да се получи голямо закъснение се използват по-големи резистори и кондензатори. По-големите резистори определят и изискването за по-голямо входно съпротивление на напрежителното реле. При големите кондензатори има и проблеми свързани с бързото разреждане на капацитета за формиране на нов импулс. Освен това по-големите (по стойност) кондензатори са електролитни, а те имат някои особености. Най-вече това са по-големите утечки. Те се проявяват като резистори свързани паралелно на капацитета които намаляват общата времеконстанта. Утечките зависят от температурата и от конкретния екземпляр кондензатор. По тази причина е безсмислено да се използват време-задаващи резистори по-големи от няколко  $M\Omega$ . Релетата в които се използват електролитни кондензатори обикновено нямат добра повторяемост на продължителността на импулсите (5-10%). Освен това стойността на електролитните кондензатори варира в широки граници (+50/-30%) по отношение на маркираната, а това изисква допълнителна настройка. В много случаи, за по-голяма прецизност, се предпочита използването на генератори с не-електролитни кондензатори и делител на честота след това. Естествено така се усложнява схемата и се повишава цената.

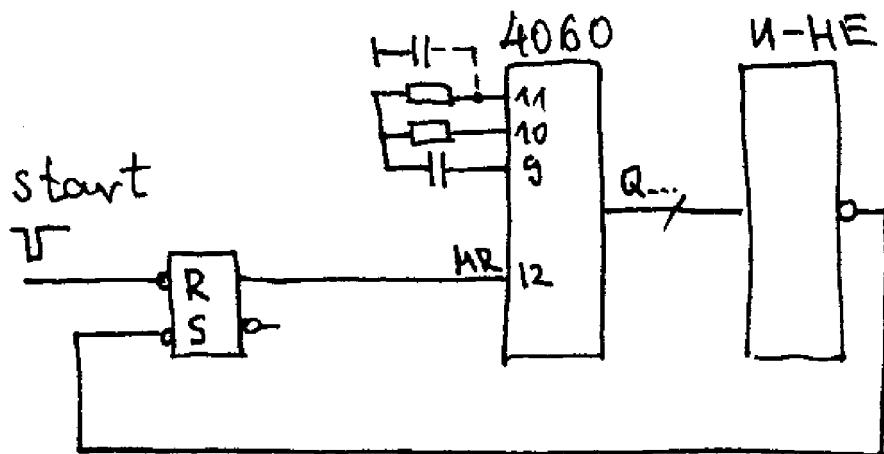
При дадена времеконстанта продължителността на импулса зависи и от напрежителното реле. Колкото прагът на задействане е по-нисък толкова импульсът е по-кратък. Колкото прагът е по-висок импульсът е по-дълъг, но изменението на напрежението става по-плавно и влиянието на шумовете е по-голямо. По тази причина не се препоръчва прагът на задействане да съответства на повече от две времеконстанти. Ако време-определящият резистор и делителят с който се задава прага на напрежителното реле са свързани към едно и също напрежение продължителността на импулсите не зависи от това напрежение. В такъв случай не е необходимо стабилизирано захранване.

За да се получи линейна връзка между прага на задействане и продължителността на импулсите кондензаторът трябва да се зарежда от генератор на ток. В този случай обаче се изисква стабилизация на захранващото напрежение.

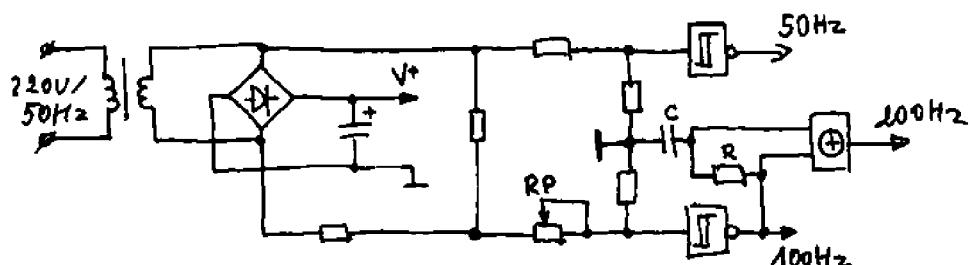


Когато са необходими стабилни по продължителност временни интервали бе споменато, че се препоръчва по-сложно решение вместо да се използват големи RC групи. При по-голяма сериеност могат да се използват и малки микроконтролери. Естествено цената в този случай е значително по-висока. За такива цели може да се използва и CMOS интегралната схема 4060 (74hc4060.pdf). Тя има вграден генератор който може да работи с RC групи или с кварцов резонатор. Схемата има 14 тригера което позволява делене на  $2^{14}$ . Схемата се захранва с 2-6V. В зависимост от исканата точност се избира кварцов резонатор (стабилност по-добра от  $10^{-5}$ - $10^{-6}$ ) или RC генератор ( $10^{-2}$ - $10^{-3}$ ). Поради ограничения брой изводи на корпуса не всички тригери са изведени (липсват Q0-Q2 и Q10). На фигураната по-долу е показано как тази интегрална схема може да се използва за задаване на временни интервали. За да се получи единичен импулс се използва допълнителен R-S триггер с който се стартира броенето чрез входа за нулиране MR на 74HC4060. Импульсът свършва когато в изходите се получи комбинация която съответства на зададеното време. Изходите се следят с логическа схема И-НЕ (NAND), като осем входа (7430) обикновено са достатъчни. Естествено в една практическа схема трябва да се предвидят и елементи с които да се

формира стартовия импулс, както и да се гарантира състоянието на R-S тригера след включване на захранващото напрежение – иначе при включване ще се изработи един “фалшив” импулс, а той може да е с продължителност няколко минути.



Друг начин за задаване на временни интервали е като се използва мрежовата честота 50Hz. Тя е достатъчно стабилна – отклонението много рядко е над 0,5%. Естествено такъв подход е възможен само при устройства свързани към мрежата. Формирането на импулси с мрежова честота е показано на следващата фигура. При еднофазно захранване може да се получи честота 50Hz или 100Hz. Ако е необходимо може да се приложи умножение на честотата, което е сравнително лесно, защото става въпрос за фиксирана основна стойност 50Hz. С потенциометъра RP се настройва коефициентът на запълване на сигнала с честота 100Hz да е около  $\frac{1}{2}$  – така се получават “по-добри” импулси с честота 200Hz. Като се избере подходяща RC група и сигналът 200Hz ще е с коефициент на запълване  $\frac{1}{2}$  и от него по аналогичен начин може да се получи 400Hz и т.н. Естествено могат да се използват и специализирани схеми на умножители, но усложняването едва ли е оправдано, защото е по-просто (и по-евтино) да се използва специализирана схема таймер (LM555) която е с по-добра стабилност (0,05%) от мрежовата честота.



В промишлеността са намерили място и релета за време на базата на синхронни двигатели. Те също използват мрежовата честота като опорна. Естествено това са по-големи, по-скъпи и тежки устройства които имат предимството, че имат много мощен изход – двигател.

#### Въпроси:

1. Какви са основните изисквания към напрежителните релета?
2. Къде (за какво) се използват напрежителни релета?
3. Дайте схема на напрежително реле?
4. Защо закъснителните релета с RC група не са много прецизни?
5. Дайте пример за закъснително реле?
6. Какви начини (с какви елементи) за направа на закъснителни релета познавате?

**Б\_Г\_№ Име**

**Дата \_\_\_\_\_ Гр. \_\_\_\_\_ ,Ф.№:**

Желая резултатът от изпита да се публикува на страницата на ЕУКУ в интернет с парола:

..... ( 6 знака )

Отговорите на въпросите 1-7 от този тест се развиват на отделен лист(и), като всеки отговор дава от -7 до +7 точки. Останалите въпроси (8-17) дават от -5 до +5, като верните отговори на тези въпроси може да са повече от един, а може и да няма верен отговор. Верните отговори на въпросите (8-17) се отбелязват в подчертаното поле пред тях. Теоретичният въпрос се развива на отделен лист(и).

Оценката на изпита се изчислява от получените точки от развития теоретичен въпрос и от този тест (въпроси 1-17), като и двете оценки трябва да са по-високи от Слаб 2!

В общата оценка по дисциплината този тест и теоретичният въпрос дават 50%. Останалите 50% се определят от оценката от лабораторните упражнения и от тестовете през семестъра.

Отличен 6 - 80т.      Мн. Добър 5 - 70т.      Dobър 4 - 60т.      Среден 3 - 50т.

**Теоретичен въпрос:**

*Приложение на галваничното развързване. Видове – сравнение.*

---

**1. Как се работи с електронни устройства (изграждат системи) във взрывоопасни среди?**

- отговор с 2-3 изречения

**2. Сравнете уравновесена и неуравновесена мостова схема:**

- отговор с 2-3 изречения

**3. Характеристика на полупроводниковият диод (P-N переход) като температурен сензор?:**

- отговор с 2-3 изречения

**4. С какво се правят безреохордните мостови схеми?:**

- отговор с 2-3 изречения

**5. Какво представляват индуктивните датчици за малки премествания:**

- отговор с 2-3 изречения

**6. Какви методи (сензори) за измерване на влажност познавате?:**

- отговор с 2-3 изречения

**7. Електронни релета – основни изисквания:**

- отговор с 2-3 изречения

- 08. Най-характерно за промишлените условия е:**
- околни температури от 10 до 35 °C
  - влажност по-малка от 25%
  - по-голямо изменение на честотата на мрежата (220V/50Hz) в сравнение с лабораторните условия
  - по-големи смущения в електрическата мрежа
  - задължително се използва компенсация на студения край
- 09. Предимство на мостовите схеми е:**
- по-голямото входно съпротивление
  - зависимост от захранващото напрежение
  - малкият изходен сигнал
  - устойчивост на синфазни въздействия
  - по-ниската цена
- 10. Термодвойките като сензор за температура:**
- има температурен коефициент около +0,4% за 1°C
  - може да работят и при температури >1500 °C
  - имат голямо изходно съпротивление
  - са линейни за целия работен обхват
  - имат висока чувствителност
- 11. Магнитострикционните преобразуватели се използват в електронни схеми :**
- за измерване на обороти
  - за измерване на тегло
  - на уравновесени мостове
  - за измерване на скорост
  - за измерване на вибрации
- 12. Тахогенераторите се използват за измерване на:**
- малки механични премествания
  - на ъгли (ъглово преместване)
  - на големи временни интервали
  - обороти
  - не се използват за измерване, а за захранване
- 13. Резолверите са:**
- терmostатирани пиеопреобразуватели
  - въртящи се потенциометри с висока линейност
  - въртящи се трансформатори за измерване на ъгли
  - пиеопреобразуватели с противотежест
  - трансформатори за галванично развързване
- 14. Капацитивните датчици за измерване на влажност:**
- работят в една и съща работна точка на характеристиката
  - имат изходен сигнал пропорционален на температурата
  - са с капацитет около 150 nF
  - увеличават капацитета си при увеличаване на влажността
  - намаляват капацитета си при увеличаване на влажността
- 15. При измерване на газосъдържание чрез топлопроводност:**
- е необходимо терmostатиране на измервателния мост
  - се контролира мрежовата честота
  - трябва да се поддържа постоянен газов поток
  - задължително се прави галваническо развързване
  - са необходими групи за компенсиране на реактивната съставка
- 16. Тензорезисторите са сензори:**
- които работят в тесен температурен обхват
  - които обикновено имат цифров изход
  - са с вградени групи за RC баланс
  - се използват за измерване на механични деформации
  - линейни в обхват от -20 до 250 °C
- 17. Методът на Bayard-Alpert за измерване на вакуум се основава на:**
- измерване на йонен ток
  - поддържане на състава на измервания газ
  - измерване на електронна емисия
  - измерване на топлопроводност
  - поддържане на постоянно налягане