

- **Електронни схеми за измерване и управление**
- **Измерване влажност (състав на газови смеси), дефиниция**

Влажността на въздуха е съдържанието на водни пари във въздуха, т.е. е газова смес.

Разглежда се отделно защото влажността на въздуха е свързана с електро-безопасността, с комфорта, със съхранението на храни, вещи и други;

Измерва се влажност и на **твърди материали**, пясък, чай, някои храни и т.н.;

Както и при измерването на другите газови смеси методите са предимно косвени;

Основните методи се основават на:

- промяна на теглото след изсушаване, еталонен;
- промяна на размерите, класически с косъм или друга материя;
- промяна на цвета, контрол на гранични стойности при транспорт (10%, 30%, 60%);
- промяна на температурата вследствие на изпарение или други свойства на водата;

- **Измерване на влажност**

- топлопроводност, както други газове (абсолютна влажност);
- съпротивление (проводимост);
- диелектрична проницаемост;
- скорост на ултразвук;
- поглъщане на микровълни (микровълнова печка);
- спектрален анализ (оптически);
- радиоактивни (поглъщане на лъчение);

Калибриране на уредите за измерване на влажност;

Повечето методи (уреди) измерват влажността с точност около 2-3%, което е много **добър резултат**.

Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност

Влажност, същност, видове.

- абсолютна и относителна, дефиниции;
- във въздуха или в други газове;
- в храни и други стоки (процент от теглото);
- дървесина, строителни материали и други;

Поддържането на относителната влажност

е задължително условие при много технологични процеси, както и за добро здраве. Мухъл.

100% относителна влажност при 60°C съответства на абсолютна 130g/m³, а при 100°C – 600g/m³.

Gas temperature (°C)	Absolute humidity (mg/L)
0	4.85
5	6.8
10	9.4
15	12.8
20	17.3
25	23.0
30	30.4
32	33.8
34	37.6
36	41.7
37	43.9
38	46.2
40	51.1
42	56.5
44	62.5

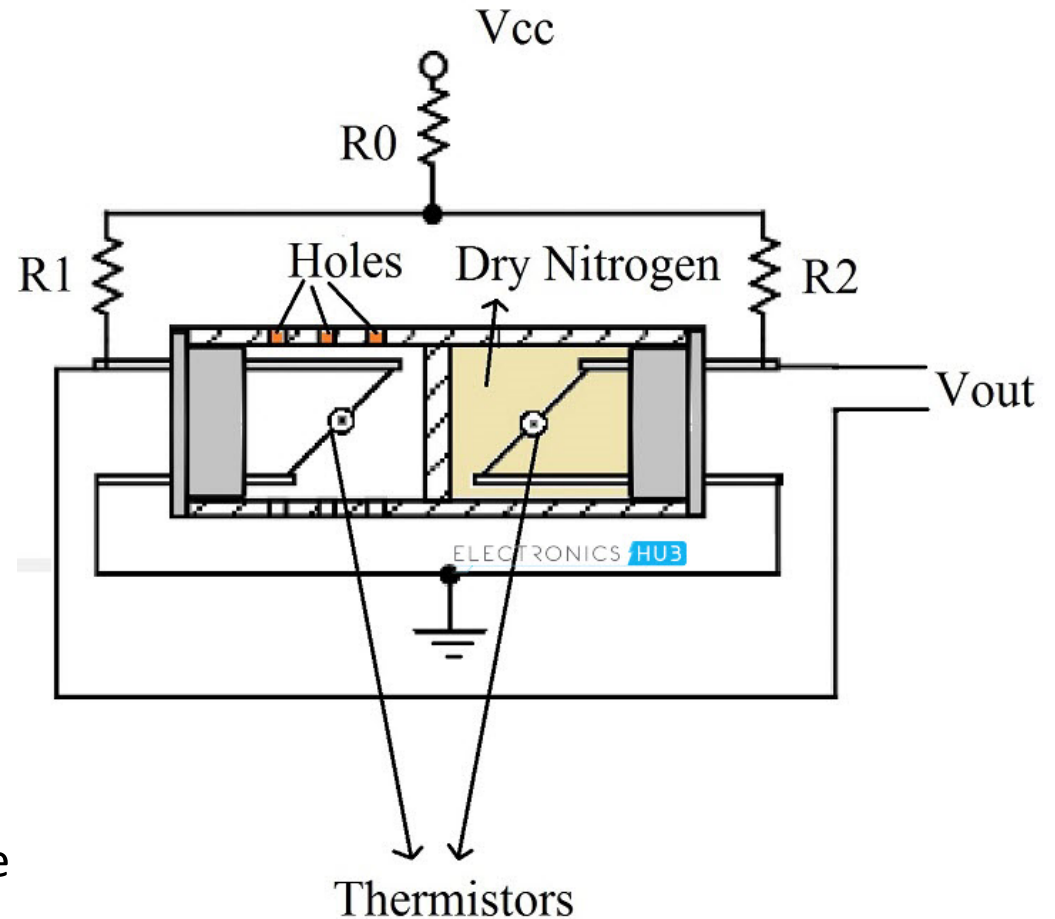
Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност, примери.

Чрез **топлопроводност**, подобно на измерването на други газове. Методът е добър за въздух или за газове с подобна топлопроводност.

Устойчив е на замърсявания и на корозионни съставки.

Принципът се основава на мостова схема която се разбалансира при различна топлопроводност на газа в двете камери. Измерва **абсолютна влажност!**



Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност, примери.

Психрометричен метод или „метод на мокрия и сухия термометър“

Нелинейна но известна зависимост;

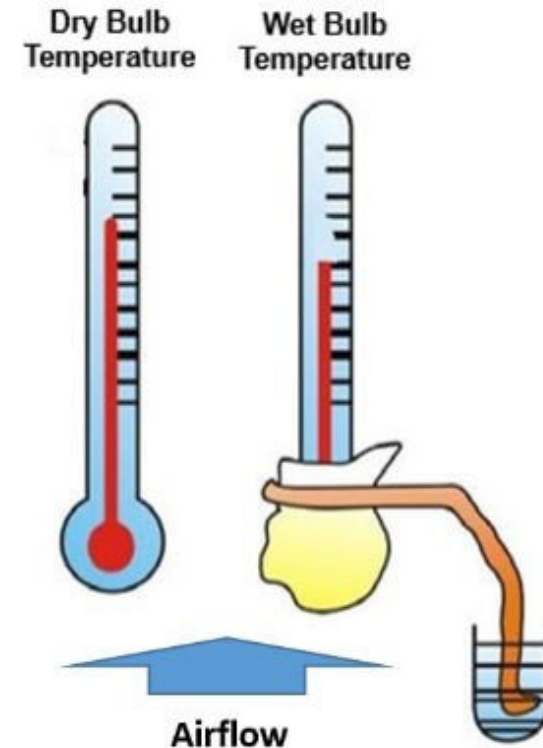
Влияе се от атмосферното налягане;

Неточни резултати при ниски температури;

<http://www.sugartech.co.za/psychro/index.php>

Продължава да се ползва при метеорологични измервания, като е модернизирано мокренето и измерването на температурата.

За да има съпоставимост на резултатите се ползват специални метеорологични къщички с определени размери, цвят, разстояние от земята и т.н. – фиг. на следващата страница.



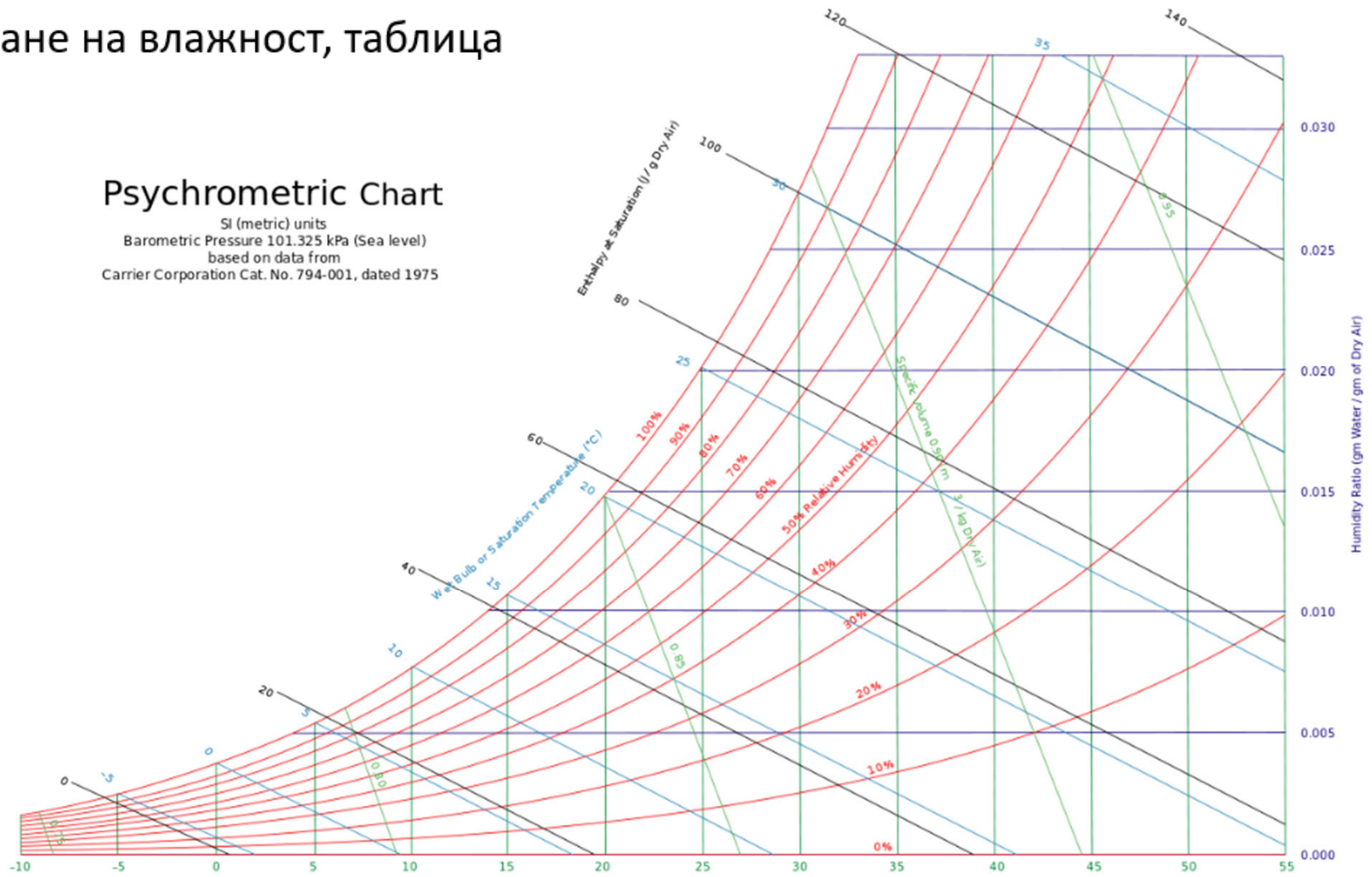
Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност, примери.



Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност, таблица



Електронни устройства за измерване и управление

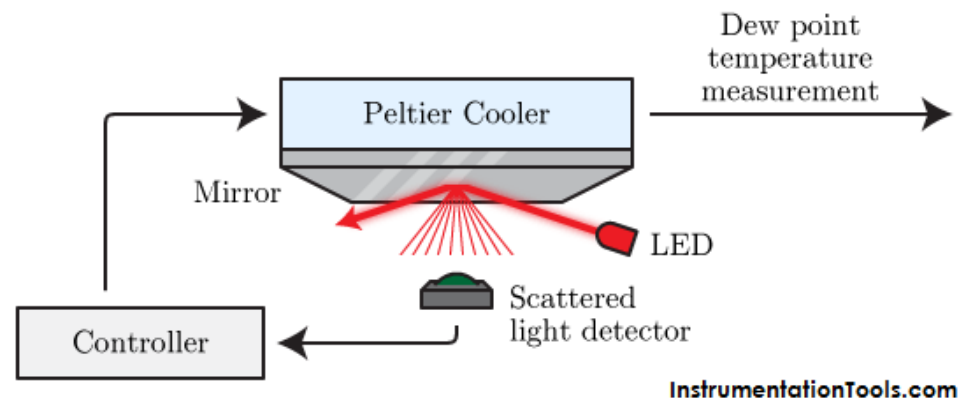
- Измерване на влажност, примери.

Температура (точка) на оросяване.

Също се измерват две температури но тук, допълнително, едната се управлява. От температурата (точката) на оросяване (100% относителна влажност) еднозначно се определя (изчислява абсолютната влажност.

От абсолютната влажност може да се изчисли относителната влажност при всяка друга температура.

Електронните уреди поддържат (определят) температурата на оросяване с нагряване или охлаждане в зависимост от конкретното приложение. Нагряване се използва при определяне на съдържанието на вода в сгъстени газове (в бутилки).



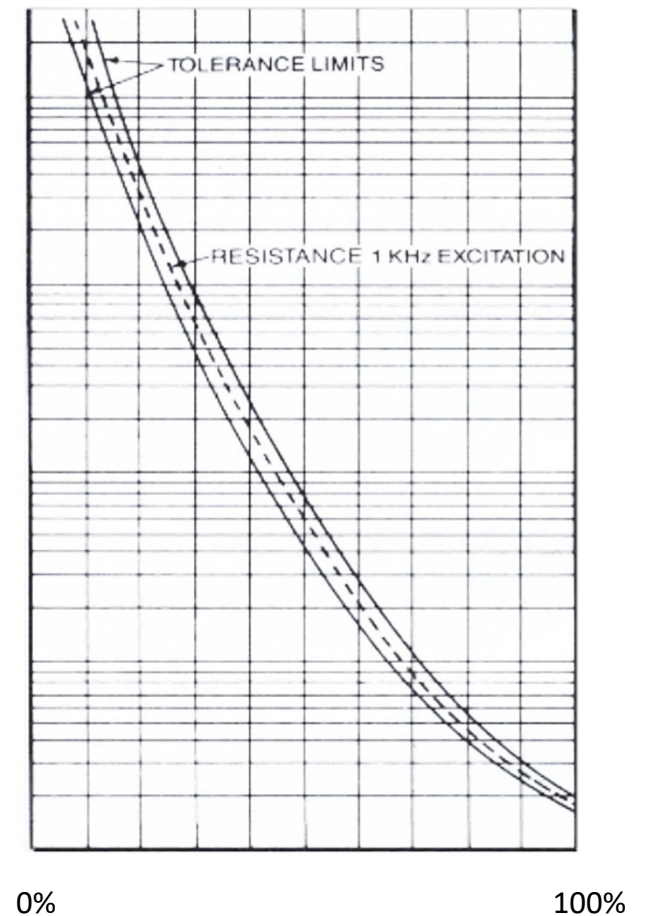
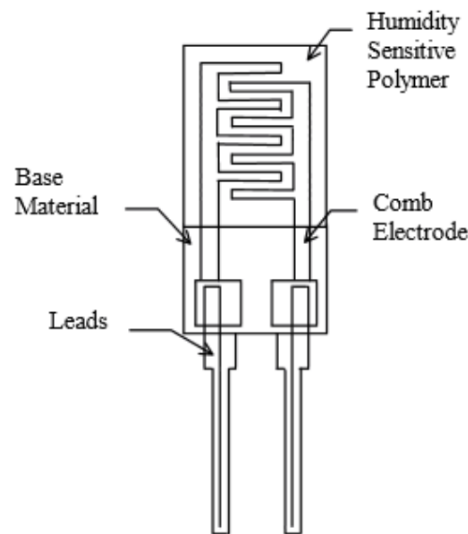
Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност, резистивен пример.

Промяна на съпротивлението от влажността. На графиката е показано съпротивлението на сензора по Y в **логаритмичен** мащаб от влажността (по X – линейно). Промяната е от няколко килоома до няколко мегаома. Логаритмичната зависимост означава голяма **нелинейност**.

Поради **замърсяване на полимерното покритие**, след време, се **влошава точността** при ниска влажност.

Как се мери съпротивление?



Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност, капацитивен метод.

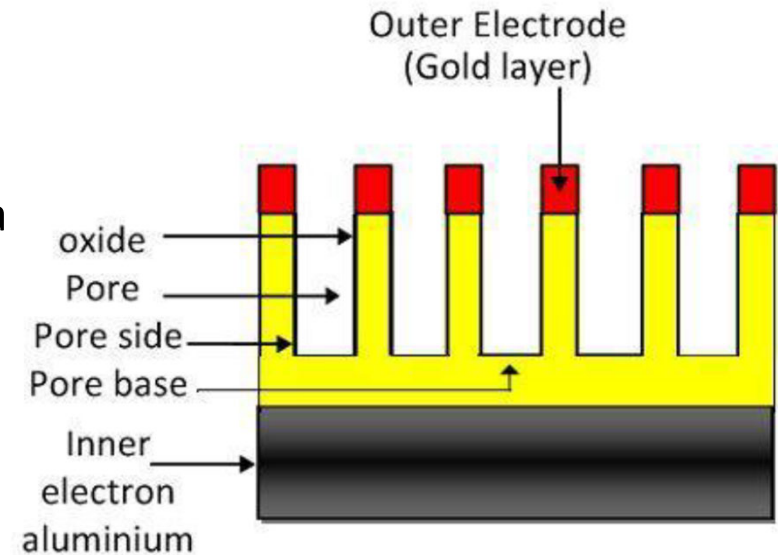
Използва се порест диелектрик – керамика, пластмаса, които, като поемат влагата от въздуха, променят диелектричната си проникваемост, а това води до промяна на капацитета.

При някои има ясно изразена, температурна зависимост, която е известна и може лесно да се компенсира като се измери температурата. В

зависимост от схемата на измерване това може да стане и хардуерно.

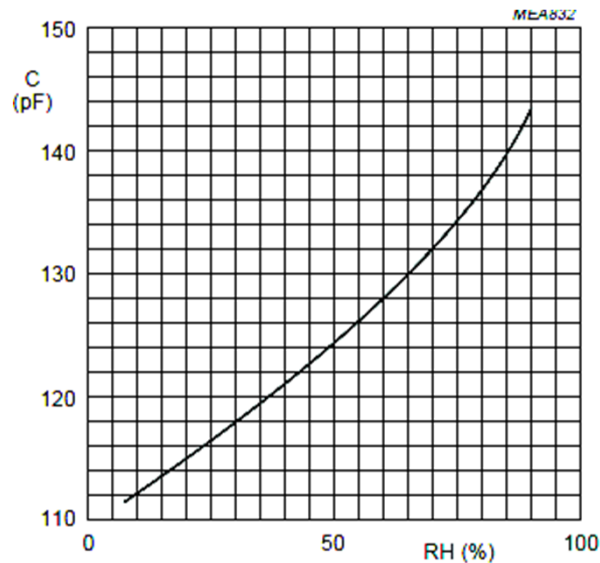
Стойността на капацитета на сензорите обикновено е в границите 50÷500 pF.

Как се мери капацитет? Коментар.



Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност, капацитивен метод. Пример Phillips.



Използва се сензор с много добри параметри. Капацитетът, обаче, освен от влажността се променя и от температурата. Зависимостта е известна, а това позволява да се направи компенсация, която може да е софтуерна или схемна. Когато е софтуерна ще трябва да се **мери и температурата**.

От характеристиката се вижда, че капацитетът е със стойност 100 - 150pF. Това е сравнително малка стойност което означава, че на измерването ще влияят и „паразитните“ капацитети на измервателната схема.

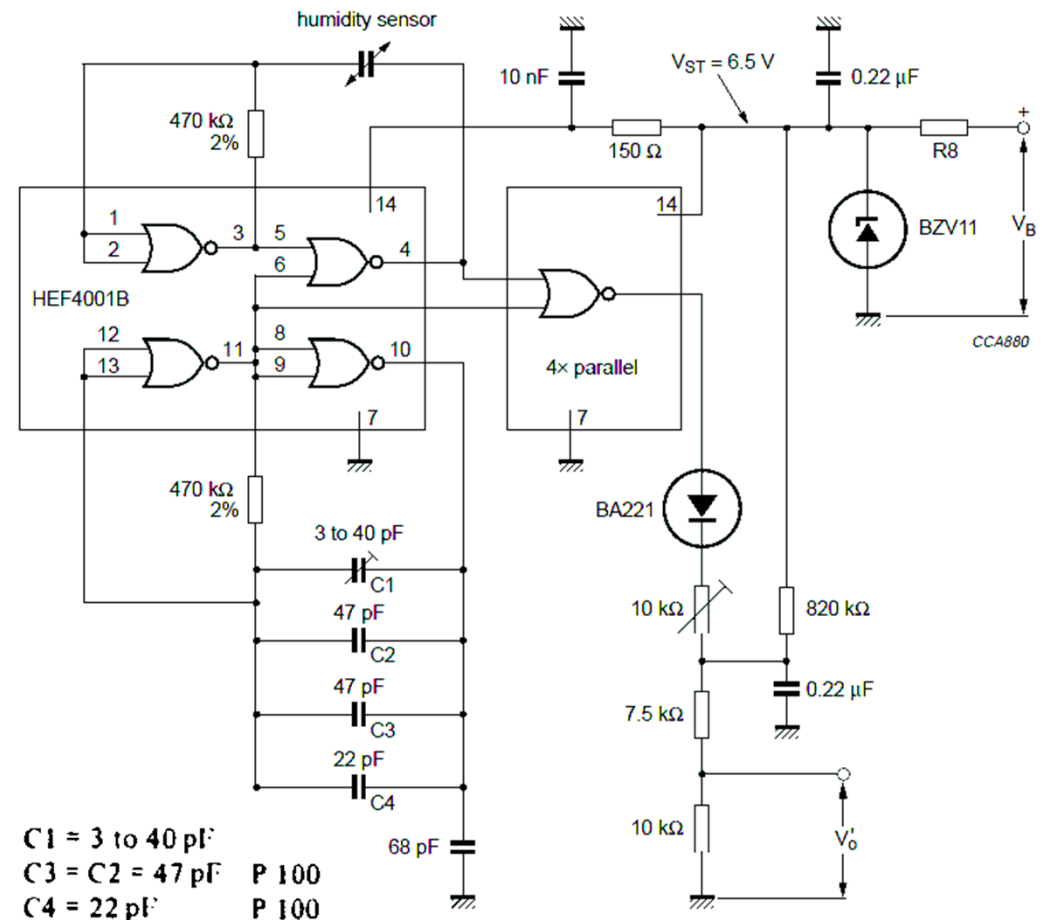
Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност, капацитивен метод. Пример Phillips.

Схемата е пример как се прави компенсация в интелигентните сензори.

В основата са два мултивибратора, като единият синхронизира работата на другия. ИС CD4001 слабо се влияе от температурата.

Температурната зависимост на сензора се компенсира от положителния температурен коефициент на C2, C3 и C4. Чувствителността се настройва с тримера 10kΩ. Нелинейност от диода BA221?



Електронни устройства за измерване и управление

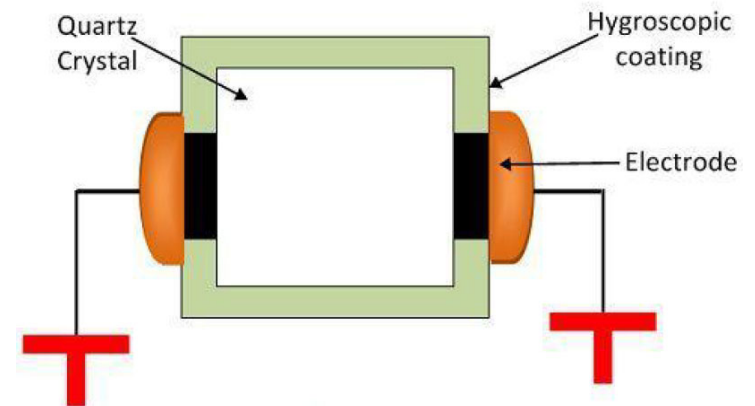
- Измерване на влажност, кварцов резонатор.

Кварцовата пластинка е покрита с материал който поглъща влагата от въздуха. Така се променя теглото и оттам резонансната честота на пластинката.

Замърсяването чрез водните пари слабо влияе на точността. Периодична **калибровка**.

Честота се мери точно и при това с голяма разрешаваща способност.

Резонансната честота на кварцовата пластинка има силно изразена температурна зависимост, която може да се компенсира, ако предварително е известна (записана). Естествено, в този случай, измерването включва и измерване на температурата.



Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност, сензор на базата на LiCl.

LiCl (литиев хлорид) е сол подобна на готварската, силно хигроскопична.

Когато е суха е с голямо съпротивление и обратно.

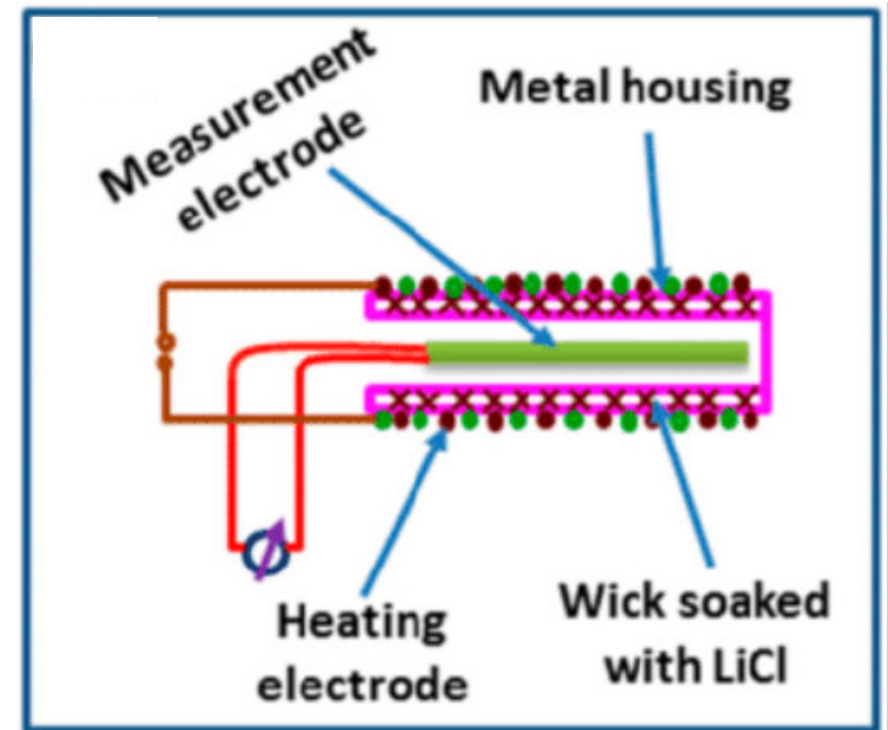
Използват се различни конструкции но всички се свеждат до промяна на проводимостта и до измерване на температура. При захранване със стабилно напрежение (АС или DC) температурата се установява в зависимост от влажността:

65°C - 22%; 85°C - 35%;

70°C - 25%; 90°C - 38%;

75°C - 28%; 100°C - 45%

80°C - 32%;



Електронни устройства за измерване и управление

- **Измерване на влажност, интегрални, интелигентни сензори, примери**

Сензори използвани в примери с Arduino, хоби:

- АНТ20, HDC1080 капацитивни;
- DTH11, HR202 резистивни
- DTH22, капацитивен;
- BME280 (680), HTU21D необявен принцип;

Обикновено в даваните примери **не се коментират параметрите** на измерването.

При избора на сензор да се отчита точност, дълговременна стабилност, хистерезис, повторяемост, време за стабилизиране на резултата, влияние на смущаващи фактори, хранващо напрежение, консумация, интерфейс;

Винаги трябва да се вземат най-лошите параметри!

Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност, калибриране на сензорите.

Създава се среда с достатъчен обем и контролирана влажност. За целта се използват наситени разтвори на соли, които имат свойството, в непосредствена близост, да поддържат постоянна и известна влажност, при това със сравнително слаба зависимост от околната температура.

Salt	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
Lithium Bromide	6.86	6.61	6.37	6.16	5.97
Lithium Chloride	11.3	11.31	11.3	11.28	11.25
Potassium Acetate	23.4	23.11	22.51	21.61	—
Magnesium Chloride	33.3	33.07	32.78	32.44	32.05
Potassium Carbonate	43.15	43.16	43.16	43.17	—
Magnesium Nitrate	55.87	54.38	52.89	51.4	49.91
Potassium Iodide	70.98	69.9	68.86	67.89	66.96
Sodium Chloride	75.61	75.47	75.29	75.09	74.87
Ammonium Sulfate	81.7	81.34	80.99	80.63	80.27
Potassium Chloride	85.92	85.11	84.34	83.62	82.95
Potassium Nitrate	95.41	94.62	93.58	92.31	90.79

Процесът е изключително **бавен**,

необходими са 6-8 часа за стабилизиране на влажността, а понякога и **денонощие!**

Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажността на други вещества, продукти.

Много важни измервания, особено в търговията, когато се работи с тегло (цени).

- прилагат се при измерване на чай, кафе, захар, сол, зърно, месни изделия и много други. Важно е за цената и трайността;

- използват се и в индустрията според изискванията на технологията – пясък, дървесина (особено при мебели) и други;

Методите се основават на измерване

- на тегло преди и след изсушаване;
- на капацитет (различна диелектрична проникваемост);
- на съпротивление (проводимост);
- загуби от вихрови токове;
- микровълново.

Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажността на зърно, примери.

Всички уреди се препоръчва да се калибрират, в началото на сезона, със зърно в района в който ще се ползват. Калибровката става по тегловен метод с изсушаване на зърното. Става при 140°C и изисква 4-6 часа, понякога и повече.

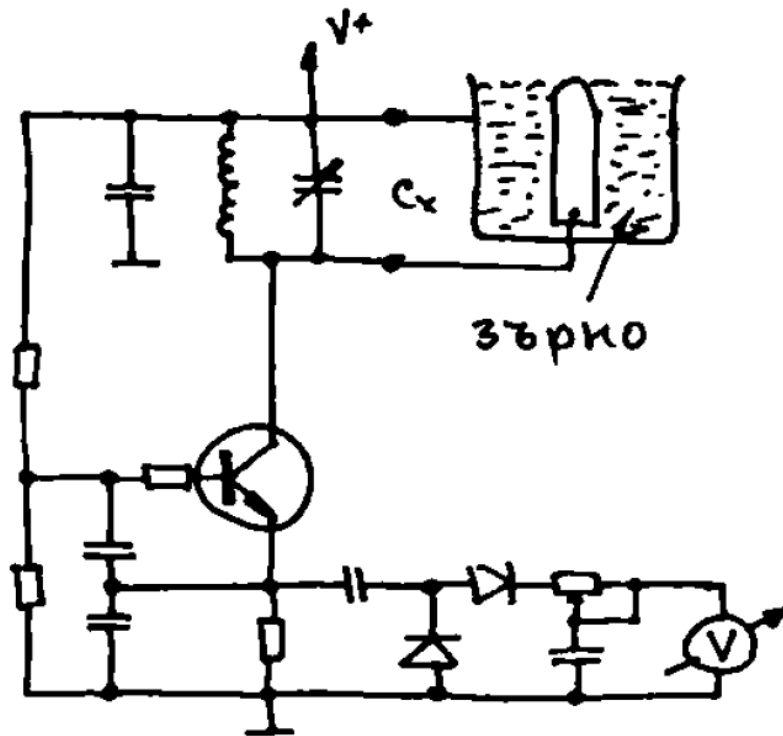
Експресното мерене става с преносими уреди измерващи капацитет, загуби в диелектрик или съпротивление;



Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажността на зърно, примери.

Уредите са специфични за конкретния зърнен материал (пшеница, царевица ...), от сорта и дори от реколтата и района. Показан е уред с дискретни елементи, като $V^+ = 9V$;



Амплитудата на генератора зависи и от качествения фактор на трептящия кръг.

В този случай, тъй като останалите елементи не се променят, диелектриктът на кондензатора определя и капацитета и загубите, а диелектриктът е зърното.

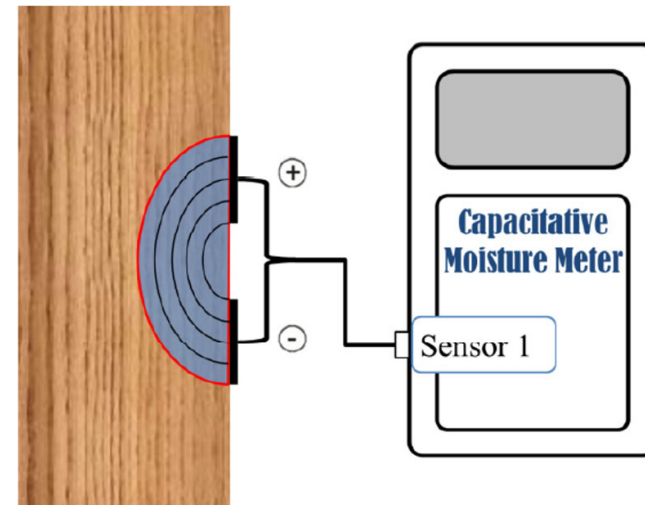
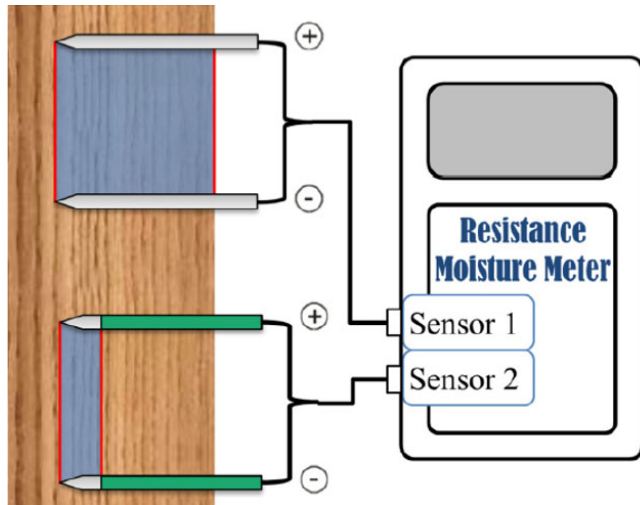
Съвременните решения са на същия принцип но са добавени обработки.

Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажността на дървесина, примери.

Използват се тегловен, съпротивителен, капацитивен и с вихрови токове. В повечето случаи влажността се измерва в близост до повърхността.

Препоръчва се уредите да се калибрират периодично.



Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност, примери.

При измерване по съпротивителния метод обхватът на изменение на стойността е много широк – от $1\text{k}\Omega$ до $20\text{M}\Omega$ (аналогично на измерването на влажност на въздуха). Налага се (защо) схемна линеаризация. За целта често се ползва зависимостта между тока и напрежението на p-n преход.

Методите за измерване на влажността на дървесина се ползват и при измерване на влажността на мазилка в строителството. Разликата е в калибровката. Някои от уредите са предназначени да измерват както дървесина, така и мазилка.

Задачи пред електрониката:

Периодична, текуща калибровка. Запомнени скали в зависимост от материала (зърно, дърво, мазилка). Линеаризация. Преносими с батерийно захранване.

Електронни устройства за измерване и управление

- Измерване на влажност, обобщение.

При подбор на сензорите които да се влагат в електронни уреди се анализират:

- изискванията за качествата на измерването – точност, линейност и др.

- условия за работа. Много от сензорите не могат да работят при наличието на органични разтворители. Има и температурни ограничения;

- готовите сензори много често нямат пълно описание на условията на работа и параметрите;

- обработка на резултата;

- хранване и консумация;

- възможност за удобна проверка и калибровка (настройка);

- решение за закупуване на готов уред или самостоятелна разработка;

Електронни устройства за измерване и управление

- **Теми за тестови въпроси:**

- Как се дефинира влажност, абсолютна и относителна, кога и къде се мери?;
- Основни методи (сензори) за измерване на влажност. Абсолютна и относителна;
- Особености за всеки от методите. Описание;
- Съставяне на блокова схема на уред за някой от методите;
- Описание (параметри) на някой от методите;
- Интелигентни сензори за измерване на влажност. Характерно за всички е... ;
- Калибриране на сензорите за измерване на влажност;
- Методи за измерване на влажност освен на газове и на други вещества;
- Измерване на влажността на зърно (насипни материали), дървесина и др.;
- Схеми за измерване, особености;
- Обяснение на схема, откриване на грешка;

- **Електронни схеми за измерване и управление**

- **Измерване вакуум**

Измерваме отново газова смес но не състава, а количеството. За **вакуум** се говори когато налягането е **по-малко** от атмосферното.

Когато се измерва налягане до 0,1% от атмосферното се ползват същите методи както и при налягане по-голямо от атмосферното – най-често капацитивен или тензо-сензор (деформация на мембрана). Има усъвършенствани капацитивни сензори за налягане които мерят и до 10^{-5} – 10^{-6} от атмосферното.

При по-малко налягане (по-висок вакуум) се ползват други принципи. Има голямо разнообразие от методи, разглеждат се два – на **Pirani** и на **Bayard-Alpert**.

- **Електронни схеми за измерване и управление**

- Измерване вакуум

Мерните единици са същите като за налягане, по СИ това е Pa (Паскал). Освен това, често се ползват и Bar, Torr, атмосфера, английските PSI.

При измерване на вакуум често се ползва mbar, като 1 mbar „изобщо не е вакуум“, според физиците вакуумът започва от 10^{-2} mbar.

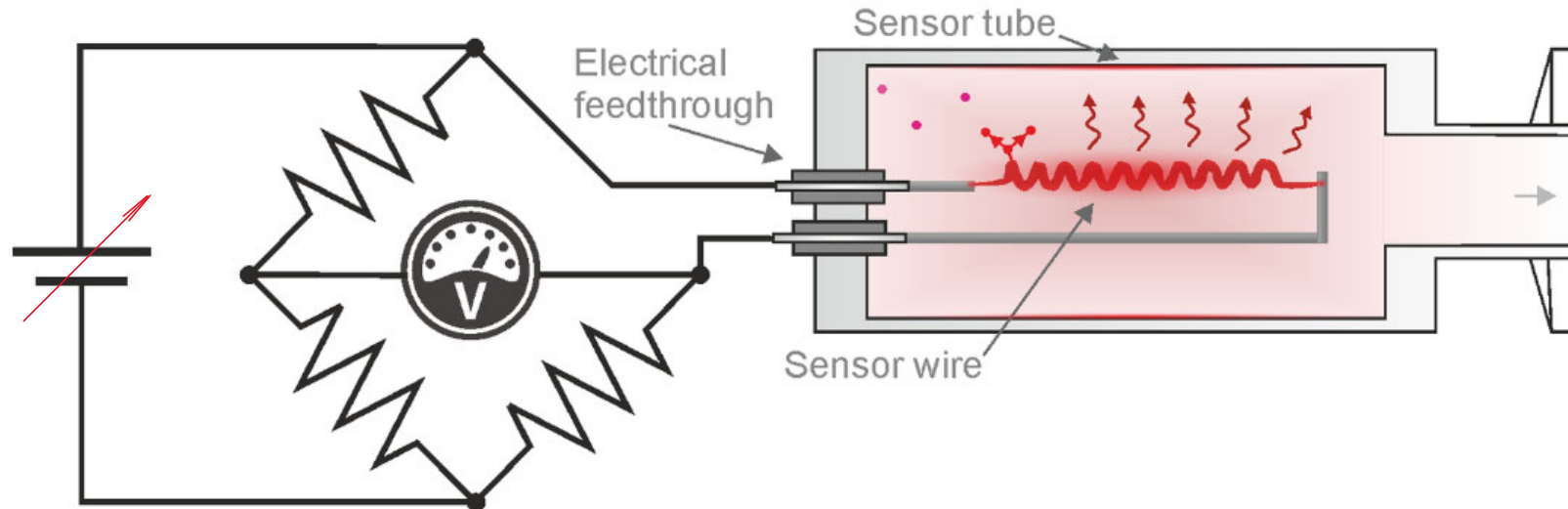
Методът на **Pirani** се основава на топлопроводността на газови смеси. Колкото молекулите са по-малко, толкова и топлопроводността е по-малка. Естествено има **зависимост и от състава на газовата смес** — прави се корекция на показанието.

Методът на **Bayard-Alpert** използва йонизацията на газовете в обема, като резултат от бомбардировка с електрони и измерване на йонен ток.

- **Електронни схеми за измерване и управление**

- Измерване вакуум, метод на **Pirani**, принцип

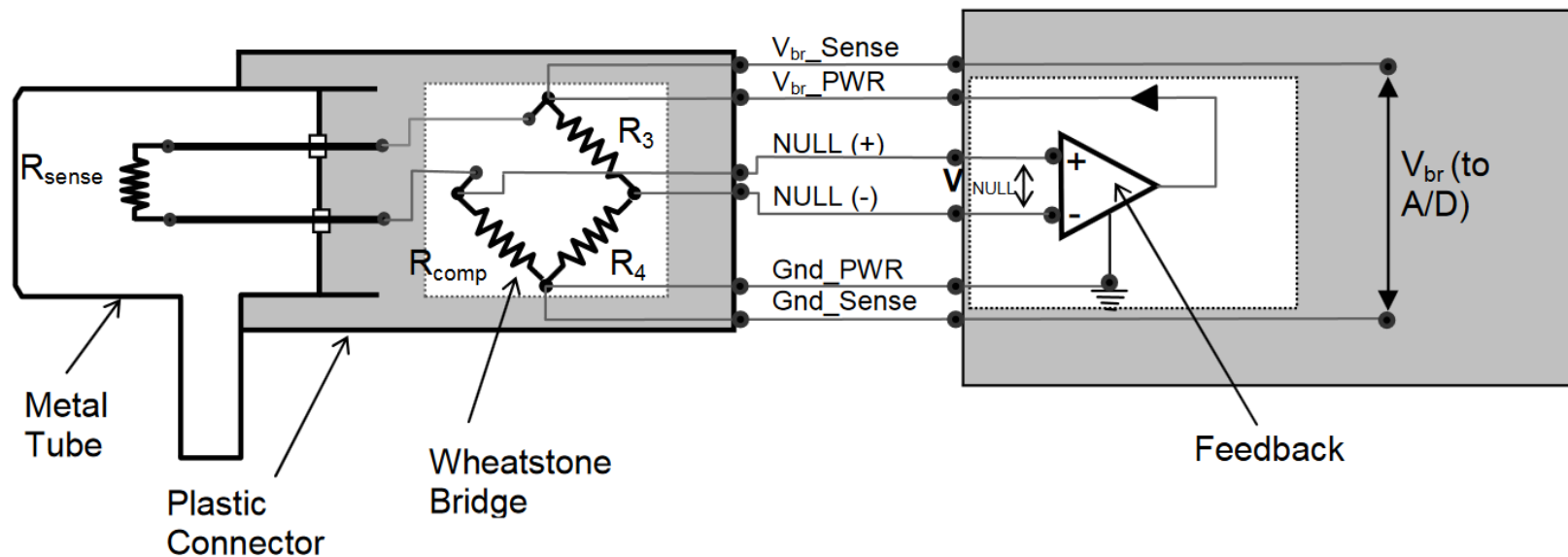
Сензорът, обикновено, е платина или волфрам. **Изходният** сигнал е захранващото напрежение **което се променя докато се уравни мостът**. Обхватът на измерване е от 100 (1000) mbar до 10^{-4} mbar. **Точността е 10-15%. Корекции от състава на газа.**



- Електронни схеми за измерване и управление

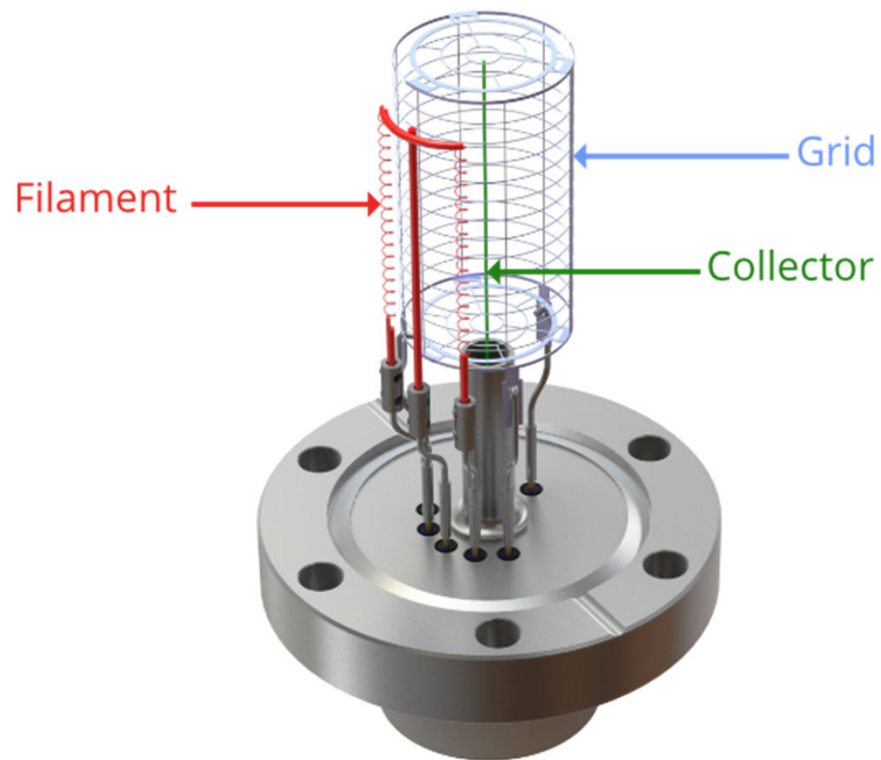
- Измерване вакуум, метод на Pirani, схема на PG105.

В някои случаи близо до вакуумната камера където е сензорът R_{sense} се поставя и компенсираният резистор R_{comp} . Зависимостта между вакуума и V_{br} (изходно напрежение) е близка до логаритмична което е голямо удобство. **Обяснение.**



Електронни устройства за измерване и управление

- Електронни схеми за измерване и управление
- Измерване вакуум, метод на **Bayard-Alpert**, принцип. Конструкция.



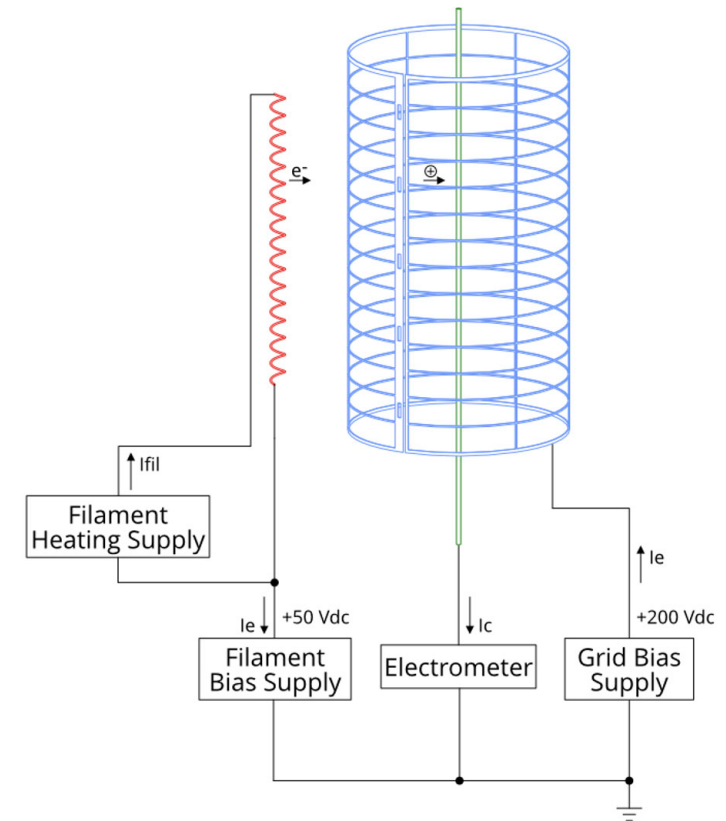
Електронни устройства за измерване и управление

- Електронни схеми за измерване и управление

- Измерване вакуум, метод на **Bayard-Alpert**.

Между катода и решетката се подава напрежение $100 \div 200\text{V}$ което ускорява електроните и те йонизират газовите молекули. Получените положителни йони през измервателния електрод се отчитат като ток пропорционален на налягането. Колкото е по-ниско налягането толкова токът е по-малък. Чувствителността се увеличава с **по-голям** електронен поток (емисия), а това става с **по-висока** температура на катода.

Обхватът на измерване е **$10^{-2} \div 10^{-12} \text{ mbar}$** . Йонният ток е по-малък от $1\mu\text{A}$, а с тока на емисията се сменят обхватите (емисия $10\mu\text{A}$, $100\mu\text{A}$ и 1mA).

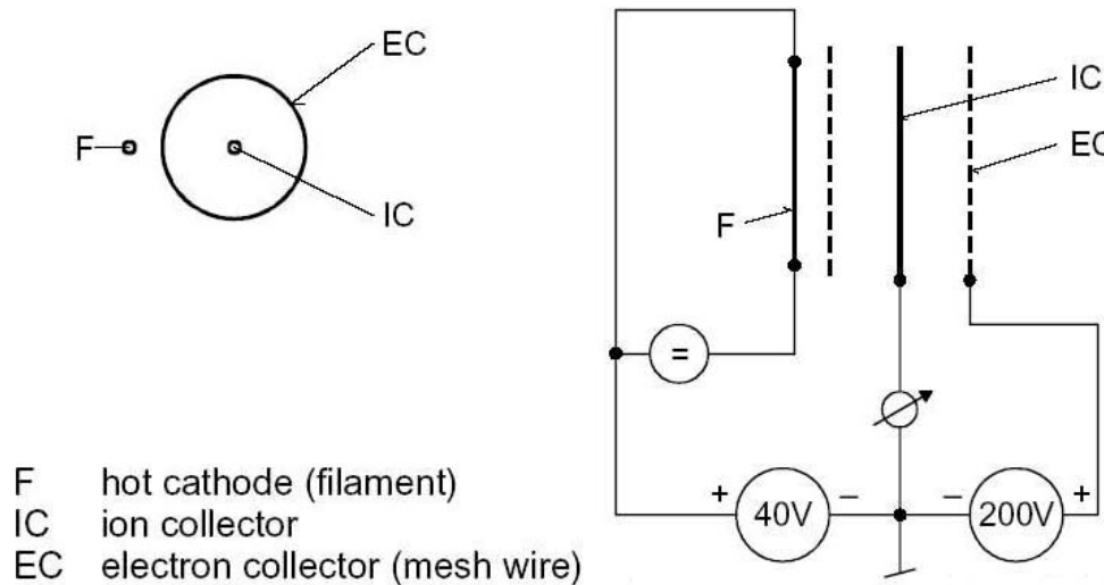


Електронни устройства за измерване и управление

- **Електронни схеми за измерване и управление**

- Измерване вакуум, метод на **Bayard-Alpert**. Подобна схема.

При измерване на висок вакуум (10^{-5}) катодът свети ярко, подобно на лампа с нажежаема жичка. Параметрите уреда силно зависят от конкретната конструкция.



Електронни устройства за измерване и управление

- Теми за тестови въпроси:

- Какво е вакуум, мерни единици?;
- Описание на метода на Pirani, обхват на измерване;
- Описание на метода на Bayard-Alpert, обхват на измерване;
- Съставяне на блокова схема на уред за някой от методите;
- Обяснение на схема, откриване на грешка;