

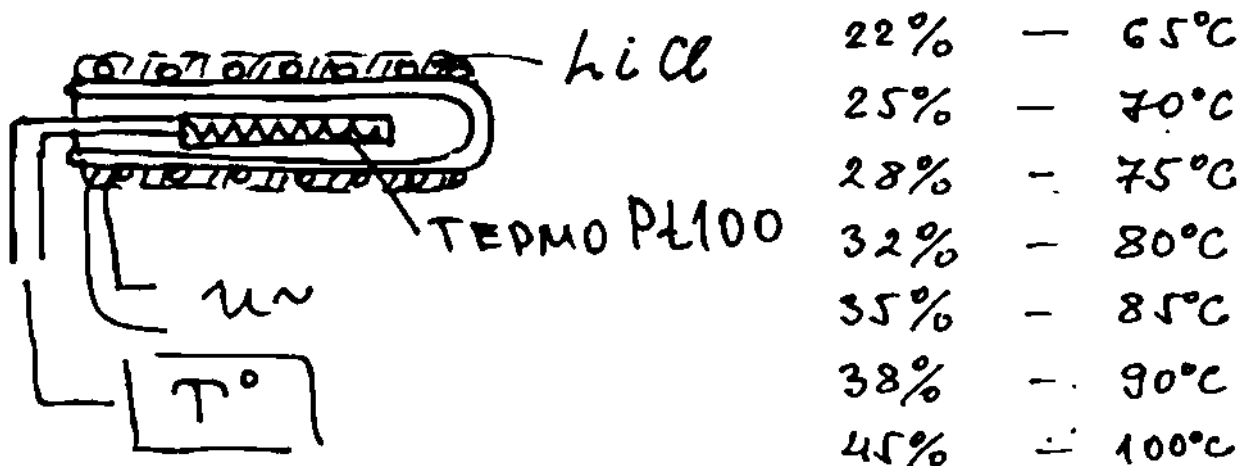
Измерване на влажност.

Влажността както на околния 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 (g/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. Всъщност 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°C -20g, 40°C -60g, 60°C -120g, 80°C -270g, 95°C -450g) поради което при непроменена абсолютната 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°C в продължение на 3-4 часа. В практиката се използват по-неточни, но много по-бързи методи. Най-използваните са:

психометричен 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 овлажнен 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.

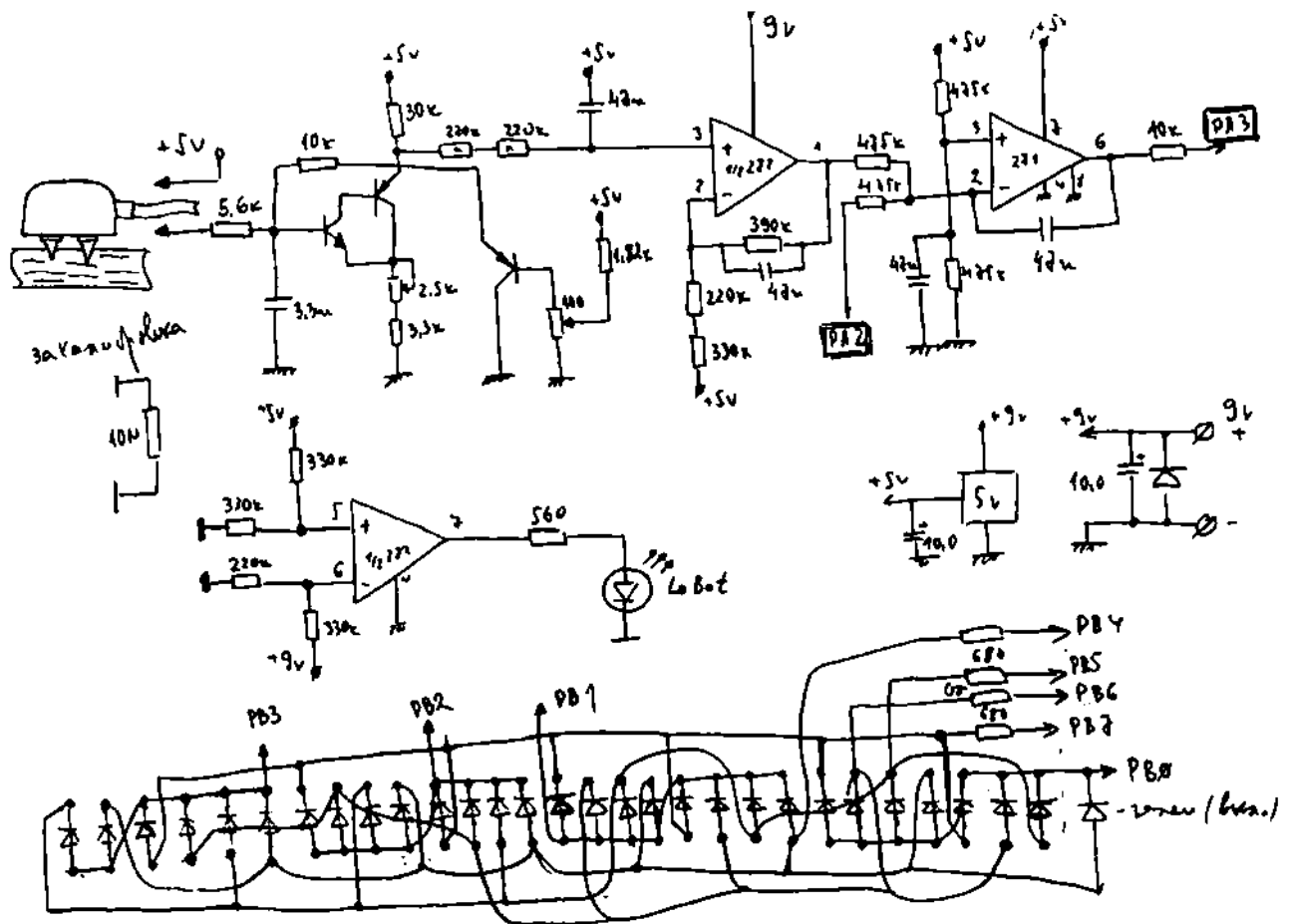


чрез проводимост – един от методите работещи на този принцип може да се използва в не особено чист въздух. Той е базиран на проводимостта на пореста тъкан пропита с литиев хлорид. В зависимост от околната влажност (относителна) LiCl, който е силно хигроскопичен, поема влага

и променя проводимостта на тъканта. Върху нея е навит гол съпротивителен проводник който е захранен с напрежение (променливо или постоянно). При това проводникът се загрева, 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.

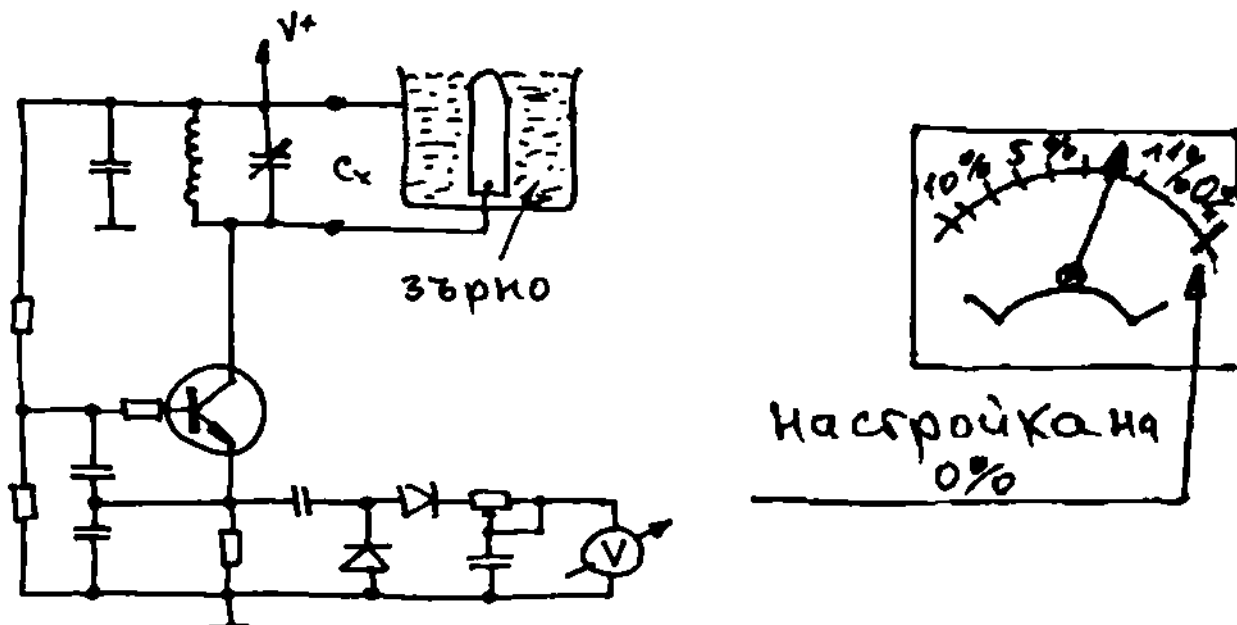
На схемата по-долу е показан измерител на влажност на дървесина, мазилка, гипс и др. В основата е измерване на проводимост. Сензорът е глава с две остриета които се забиват в измервания материал. Поради много голямата нелинейност на метода е въведена логаритмична зависимост на изходното напрежение от входния ток. Управлението става с микроконтролер PIC16C54 чрез който и с ОУ TLC 271и TLC 272 е реализиран АЦП от интегриращ тип. Резултатът се показва на светодиодна стълбичка която се управлява от порт В на контролера. Захранването е от батерийка 9V от която с 78L05 се получават 5V за контролера. За калибровка главата се опира към вграден в уреда резистор 10 MΩ.



капацитивен метод – основава се на промяна на капацитета в резултат от промяната на диелектричната проникваемост 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. Основана е на два мултивибратора реализирани с NEF4001. 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 насипва 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, качественият 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 диелектриктът (зърното). Методът е емпиричен – уредът се калибрира със стандартни проби зърно от всяка реколта и всеки район. Стандартните проби се изготвят по тегловния метод.

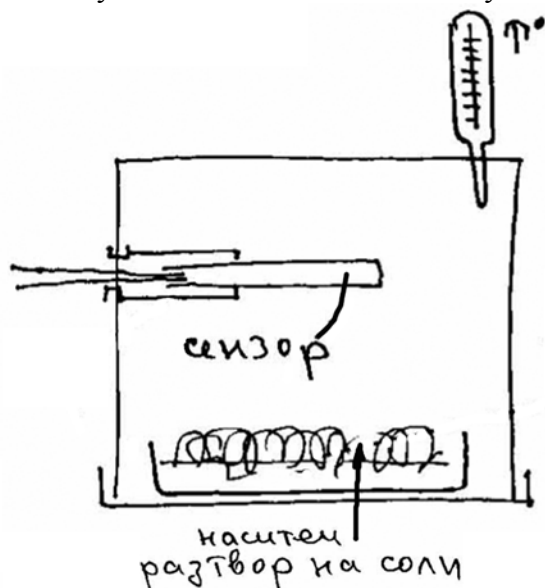
чрез оросяване – определя се температурата (точката) на оросяване (заскрежаване). Методът се състои в понижаване на температурата на въздуха докато започне оросяване – това означава, че при тази температура имаме наситен разтвор – 100% относителна влажност. Предварително, за всяка температура е известно, 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 поглъщането 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 поглъщат радиовълни и се загряват. Измерването се свежда до определяне на поглъщането на СВЧ или загряването на пробата. Има и оптически методи за определяне на влажност – свеждат се до поглъщане или пропускане на светлина с определена дължина на вълната.

Калибриране 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 наситени 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 ₂ / %RH	NaCl / %RH	K ₂ SO ₄ / %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 +18 °C is not recommended as its equilibrium humidity can change permanently.
¹ Greenspan, L.; Journal of Research of the National Bureau of Standards - A Physics and Chemistry Vol. 81A, No. 1 January-February 1977, pp. 89-95

Table 1. Greenspan's calibration table¹ 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 наситения 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.

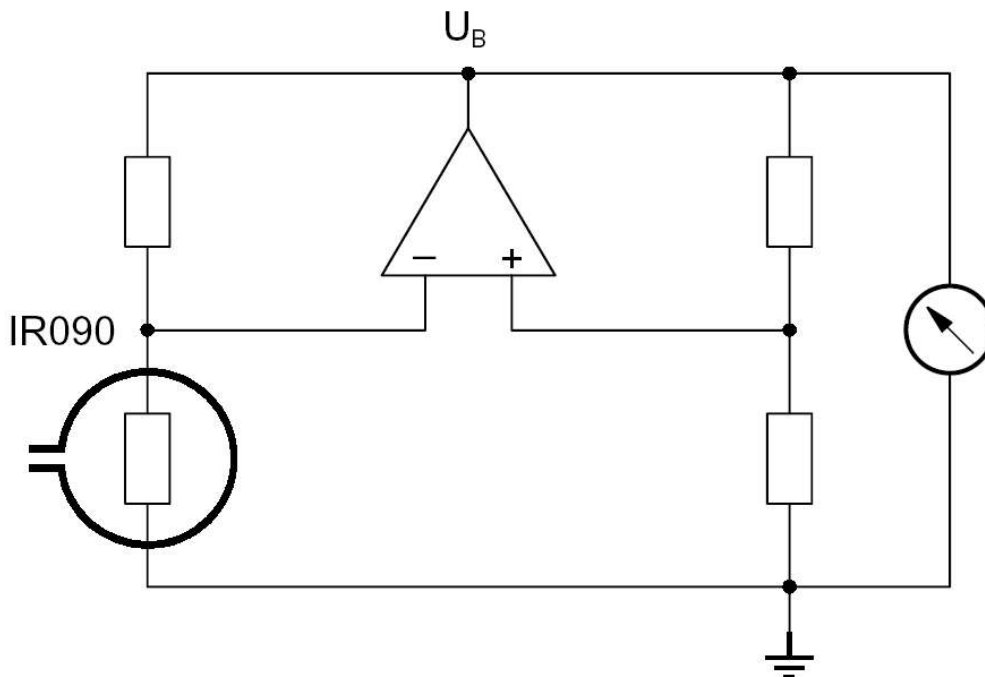
Измерването на вакуум всъщност представлява измерване на налягане и когато то е по-малко от атмосферното говорим за вакуум. Методите които се използват за измерване на “нисък” вакуум ($1/100 - 1/1000$ от атмосферното налягане) са същите както при измерване на налягане – мембрана която се деформира и тази деформация се регистрира чрез измерване на малки премествания. Използват се капацитивни, индуктивни, пиезо, 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 Torr (аналогична на mmHg – милиметри живачен стълб) и 1 атмосфера = 1kg/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 mbar и 1000 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 загрева 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, O₂, N₂ (най-често така се прави) и се мерят други газове показанието трябва да се умножи с коефициенти като следва:

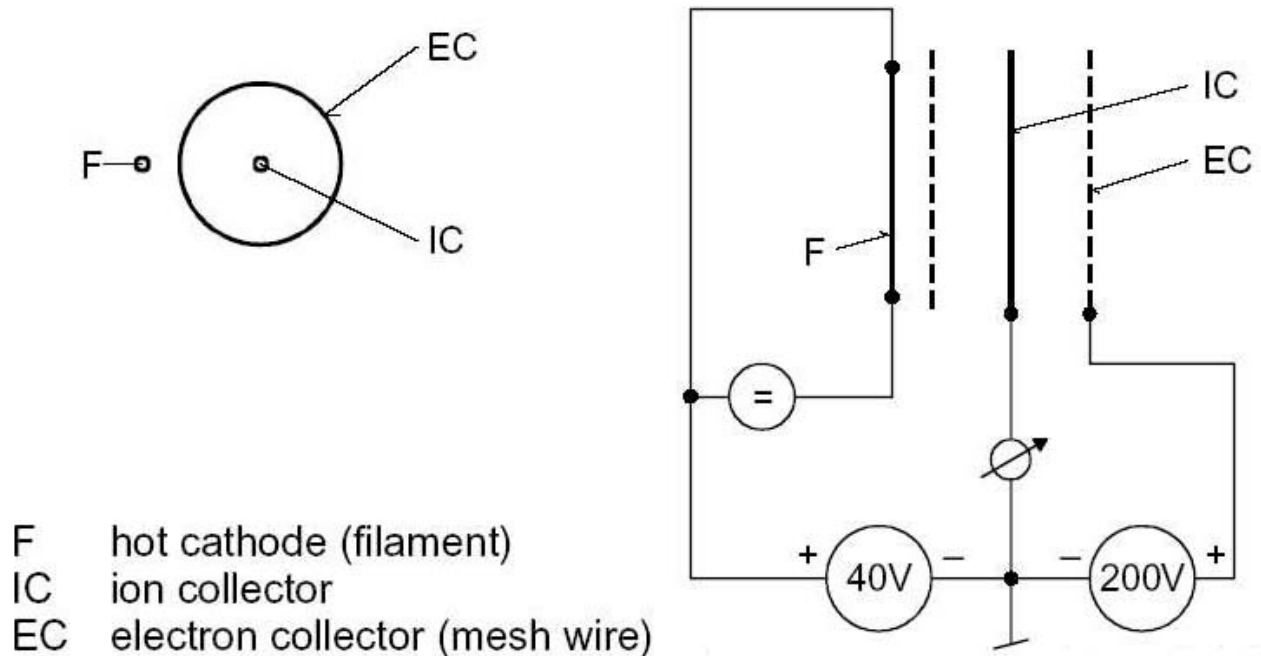
$$\text{Xe} = 0,4 \quad \text{Kr} = 0,5 \quad \text{Ar} = 0,8 \quad \text{H}_2 = 2,4 \quad \text{Ne} = 4,1 \quad \text{He} = 5,9$$

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



Използвана е самоподгриваща 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 йонизационен 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 загрева 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 йонен 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 μA за нисък вакуум, като достига до няколко десетки mA за висок вакуум. Задължително има защиты 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 $700^\circ C$ – 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.