

## Електронни рН-метри

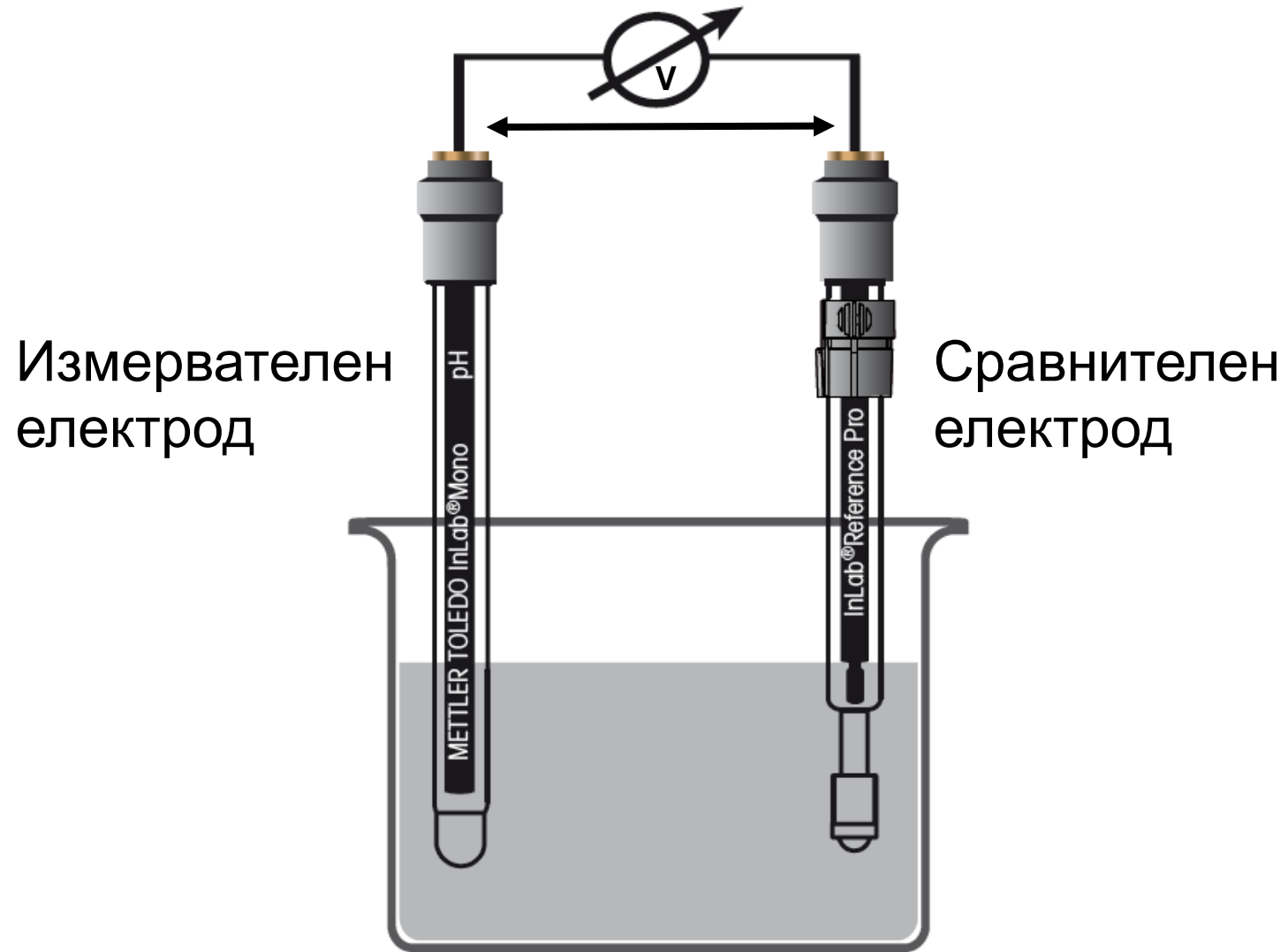
рН-метрите са уреди за измерване на киселинността на разтворите.

Показател за киселинността на разтворите е концентрацията (активността) на водородните йони. Тя се дефинира като отрицателен логаритъм от активността  $pH = -\lg A_{H^+}$  или концентрацията  $pH = -\lg C_{H^+}$ . В литературата се срещат и двете дефиниции за рН.

Следователно, ако рН е 7 това означава, че концентрацията е  $10^{-7}$ . Такава е концентрацията на водородни йони в чистата вода.

За измерване се използват специални електроди, които генерират напрежение, като между него и концентрацията има връзка.

# Електронни рН-метри



Принцип на измерване на **pH** с измервателен и сравнителен електрод

## Електронни рН-метри

Действието на рН-електродът се основава на принципа, че електрически потенциал се развива, когато две течности с различно рН влязат в контакт от противоположните страни на тънка стъклена мембрана. Следователно са необходими два вида електроди – измервателен и сравнителен (опорен, каломелов). В много случаи двата електрода са поместени в един корпус – получава се комбиниран електрод. Обикновено електродите са оформени като епруветки с много тънки стъклени мембрани.

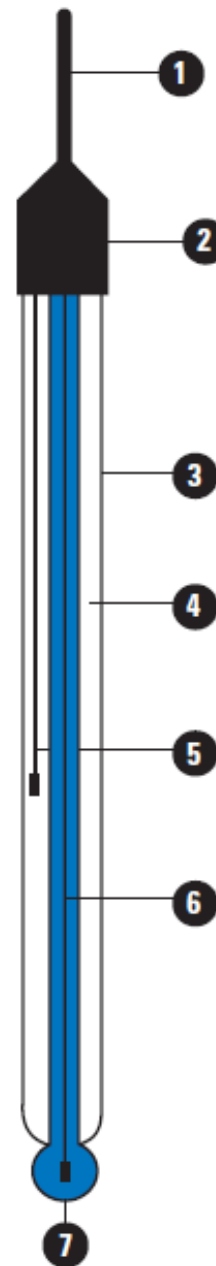
## Електронни рН-метри

Съвременните **рН**-електроди използват тези принципи за измерване на **рН** за различни приложения включително пречистване на вода, химическа обработка, медицинска апаратура и системи за мониторинг на околната среда. Те най-често са комбинирани и включват две основни части - стъклен електрод и сравнителен електрод.

Стойността на **рН** се определя по същество чрез измерване на разликата в напрежението между тези два електрода, които имат следната конструкция, представена по-долу.

# Електронни рН-метри

- 1) Кабел
- 2) Капачка
- 3) Тяло - стъкло или епоксидна смола
- 4) Еталонна камера, пълна със сравнителен разтвор
- 5) Вътрешен елемент на сравнителния електрод
- 6) Вътрешен елемент на **pH** електрода
- 7) Стъклена чувствителна мембрана



## Електронни рН-метри

На върха на електрода е тънката мембрана, направена от специфичен вид стъкло, което позволява обмен на йони (7). Именно този елемент е чувствителен към концентрацията на водородни йони в тествания разтвор. Потенциалът на сравнителния електрод е постоянен и се генерира от вътрешния елемент на този електрод (5), който контактува със сравнителния разтвор (с рН седем (4)). Във всички случаи сравнителният електрод трябва да има стабилен и повторяем потенциал, независимо от разтвора, който се измерва.

## Електронни рН-метри

Когато се проектира електронен уред с **рН**-електрод, както при всеки сензор, е важно да се разберат неговите характеристики и как те влияят на конкретно приложение. Към тези характеристики се включва дали сензорът е активен или пасивен, с еднополярен или биполярен изходен сигнал и дали изходният сигнал е напрежение или ток. Чувствителността на сензора, линейността, динамичният обхват и изходният импеданс също трябва да се вземат под внимание.

**рН**-електродът е пасивен сензор, което означава, че не се изисква енергия от източник на възбуждане (напрежение или ток).

# Електронни рН-метри

Тъй като изходният сигнал на електрода може да се променя над и под еталонната стойност, той се класифицира като биполярен сензор. Изходният сигнал е напрежение, което зависи линейно от **pH** на измервания разтвор.

Изходният импеданс на **pH**-електрода е много висок, тъй като тънката стъклена мембрана има голямо съпротивление, обикновено в обхвата от 10 MΩ до 1000 MΩ. Това означава, че електродът може да бъде включен само към измервателен уред с високо входно съпротивление.



# Електронни рН-метри

Предавателната функция на рН-електрода е:  $pH(X) = pH(S) + \frac{(E_S - E_X) F}{RT \ln(10)}$

където:

- $pH(X)$  – рН на измервания разтвор(X);
- $pH(S)$  – рН на сравнителния разтвор;
- $E_S$  – потенциал на сравнителния електрод;
- $E_X$  – потенциал на рН-електрода;
- $F$  – константа на Фарадей =  $9,6485309 \cdot 10^4$  C mol<sup>-1</sup>;
- $R$  – универсална газова константа =  $8,314510$  J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>;
- $T$  – абсолютната температура.

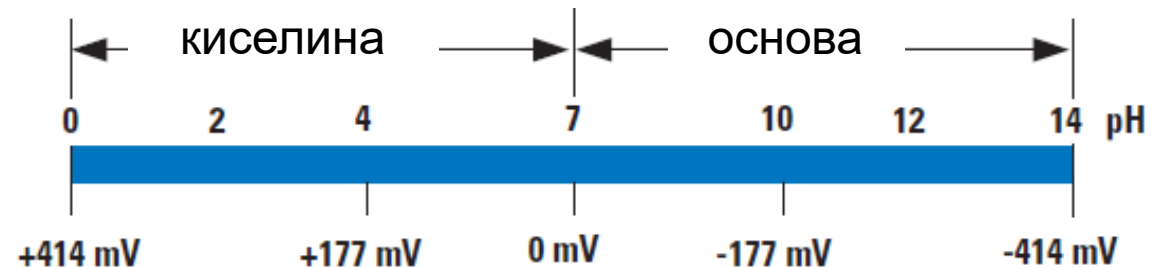
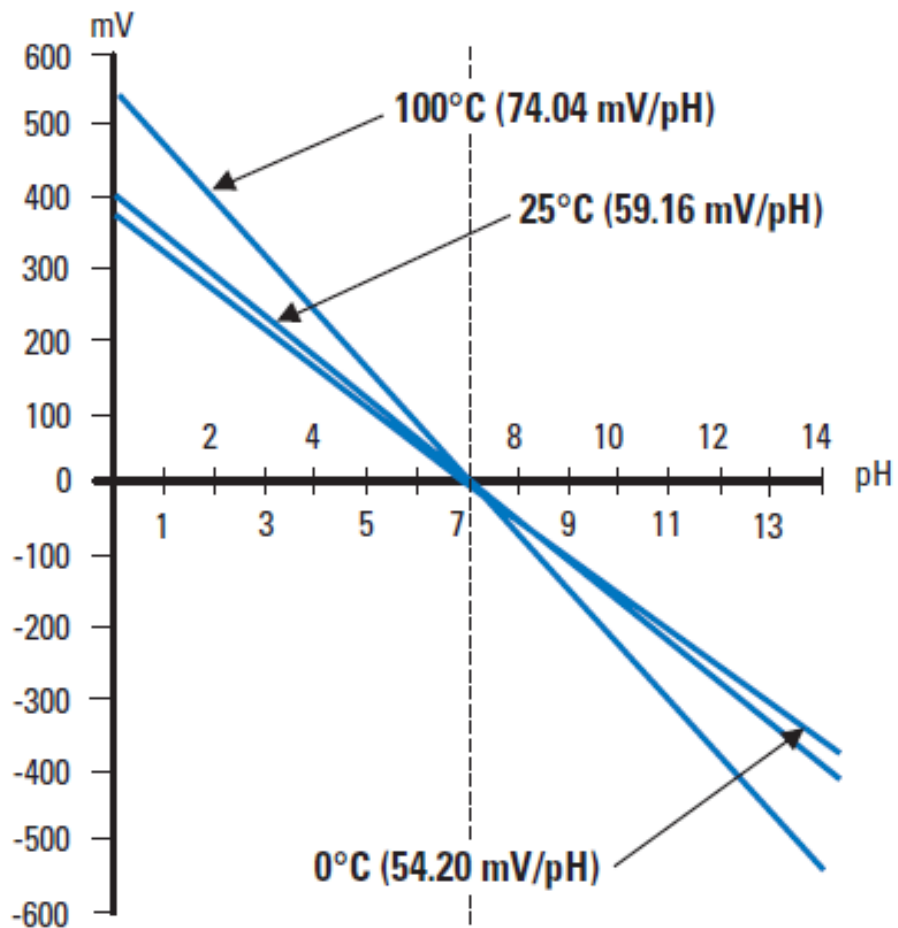
## Електронни рН-метри

Тази формула е универсална и при подходящи електроди се използва за измерване на концентрацията и на други йони – например за измерване на нитрати. Независимо какви йони и с какви електроди се мерят, изискванията към електронния уред са практически еднакви, освен индикацията – вместо **pH** се показва **mg/kg**.

Като се анализира формулата се виждат някои от характеристиките на изходното напрежение. То зависи от стойността на **pH** и от температурата – константите дават само коефициенти. Ако формулата се преобразува се получава, че числената стойност на напрежението е:

# Електронни рН-метри

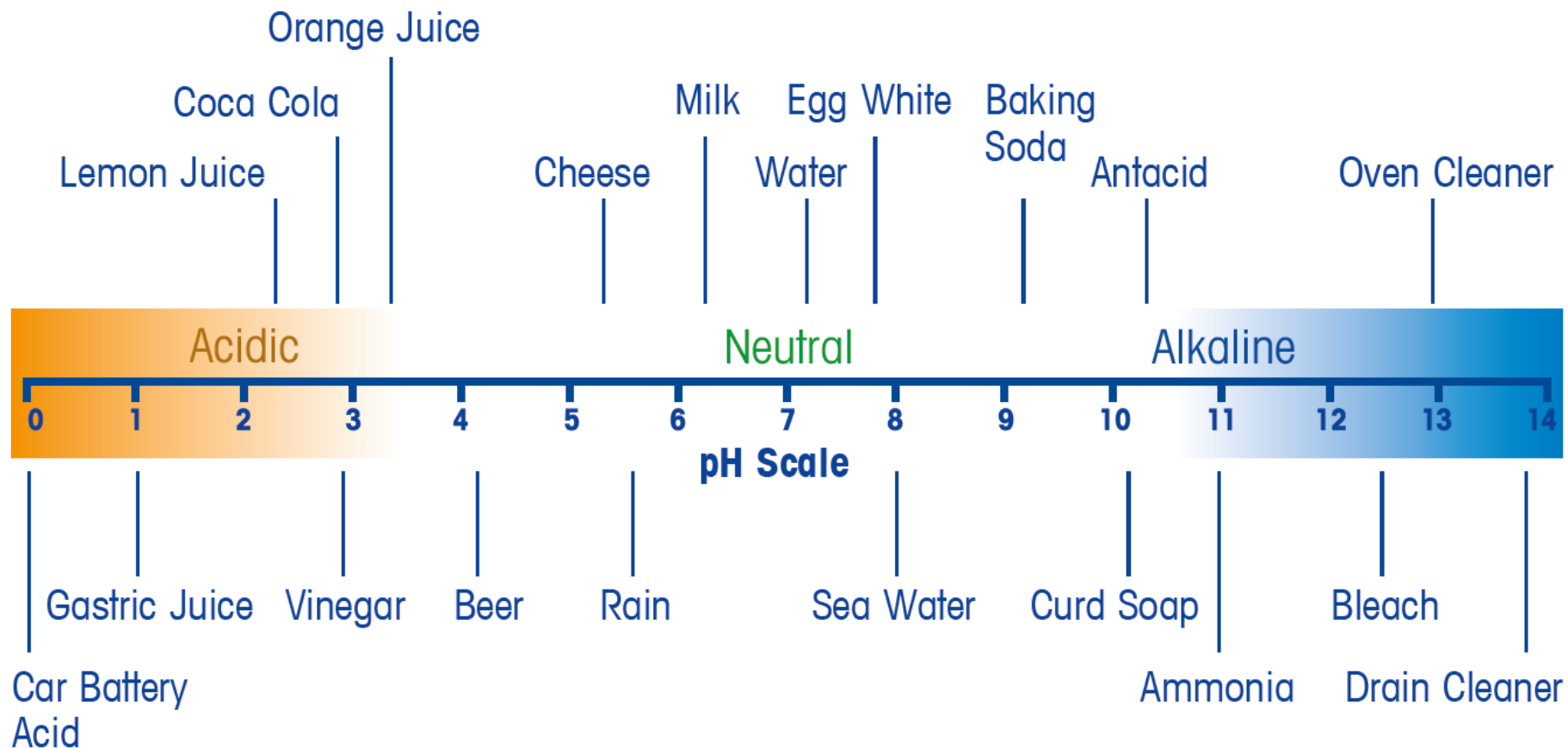
$54,197+0,1984T$ , т.е около  $59,16\text{mV/pH}$  при  $25^\circ\text{C}$



Динамичен диапазон на рН-електрода

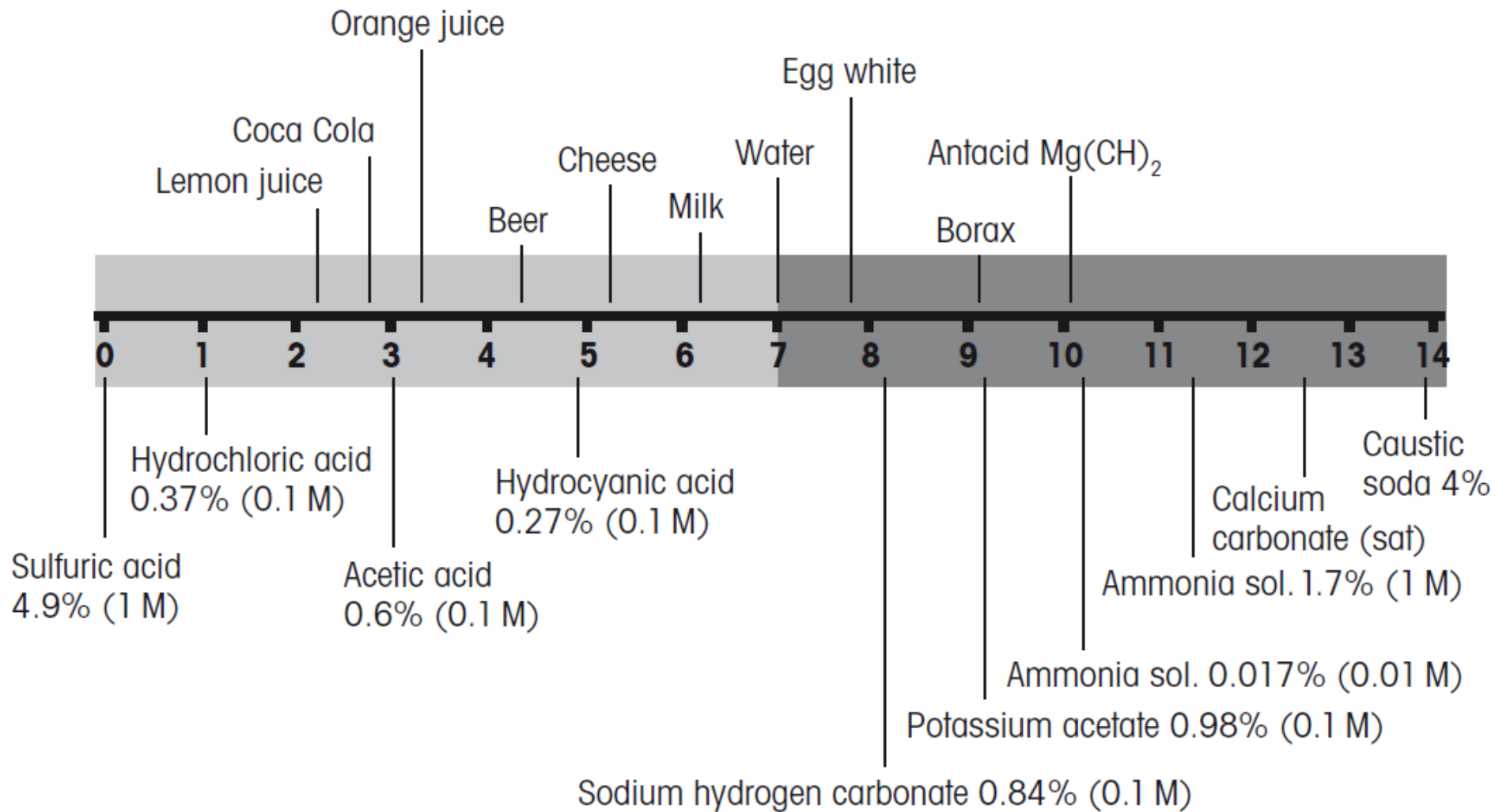
Предавателна функция на рН-електрода

# Електронни рН-метри



Стойности на **pH** за хранителни и домакински продукти

# Електронни рН-метри



Стойности на рН за хранителни и химически продукти

# Електронни рН-метри

От проучването за приложението на електронни уреди за измерване на рН става ясно, че типичните стойности за рН са с разрешаваща способност 0,1. За някои научни изследвания се работи с 0,01 и само за специфични медицински измервания 0,001рН.

Стойностите на рН се променят в границите от  $-2$  за концентрирани киселини до 16 за най-силните основи, като за неутрален разтвор  $\text{pH} = 7$ .

Така може да се пресметне каква да е разрешаващата способност на измерването на напрежение и работният обхват.

## Електронни рН-метри

От формулата се вижда, че изискванията за уреда, като волтметър не са строги 0,001 от 50 mV – около 50 $\mu$ V. Това е разрешаващата способност на уреда.

Ако приемем, че при високи температури изходното напрежение на електродите достига най-много до 100mV/pH и pH се променя от -2 до 16, за целия обхват се получава  $\pm$  900 mV. Може да приемем обхват  $\pm$ 1000mV и 15 разряден АЦП. Тъй като процесите на измерване на pH са изключително бавни, може да се използва всеки интегриращ АЦП. За тях 15 - 16 разряда са по-скоро долна граница.

## Електронни рН-метри

Електродите са много сложни и нестабилни елементи.

Те още при производството трудно се получават еднакви, а и променят параметрите си с времето – стареят. Това се отнася най-вече за чувствителността – тя спада. Обикновено „животът“ на един електрод, в зависимост от употребата е 1-2 години. Срокът за експлоатация зависи и от точността, която се изисква от измерването. При рН 0,1 електродите може да се ползват и по-дълго време.

Отмества се и нулевата точка – тази, която съответства на рН 7.

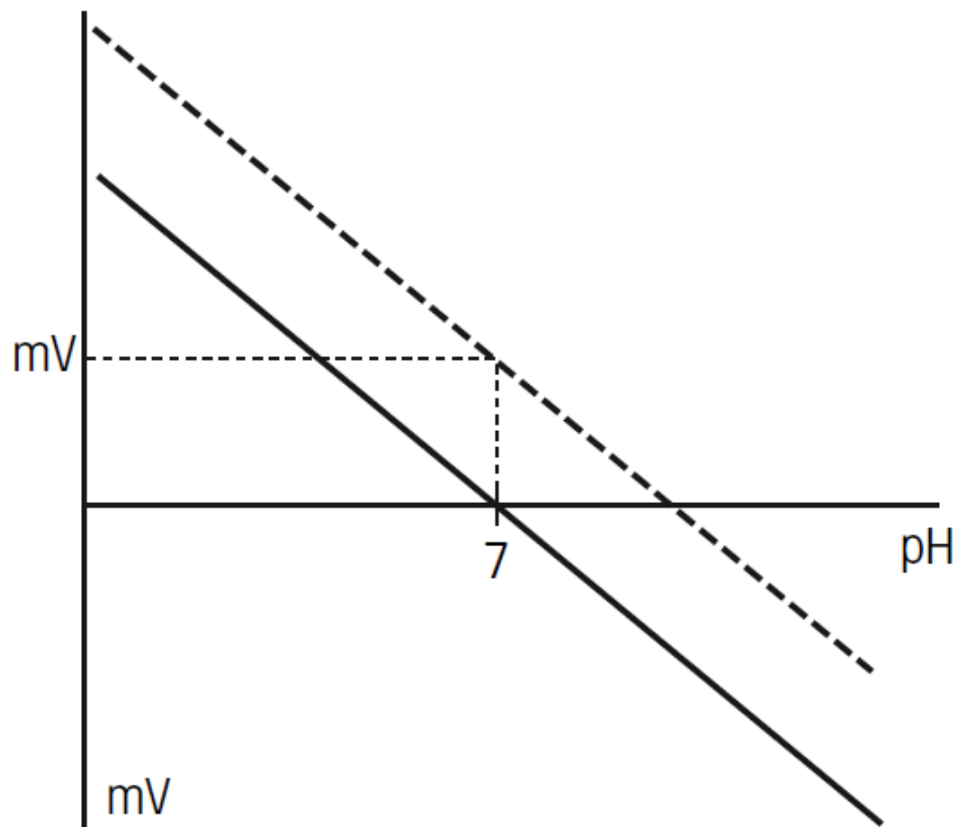


## Електронни рН-метри

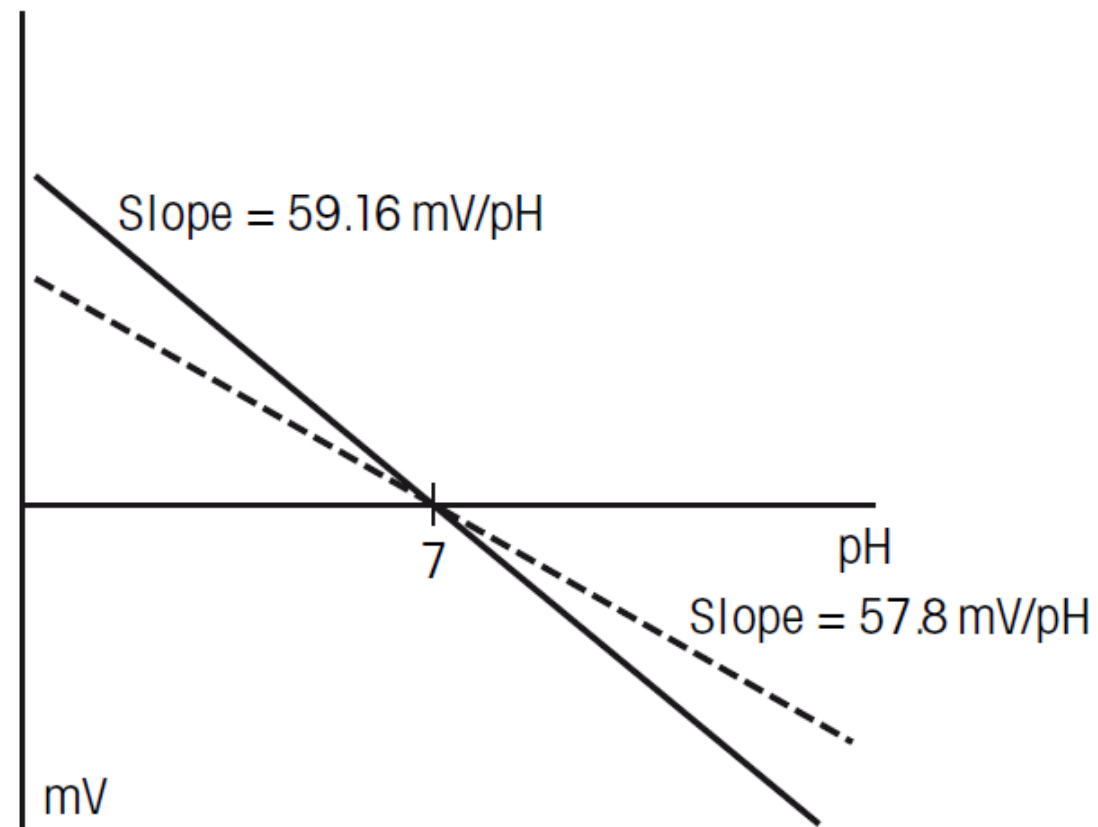
Следователно електродите налагат някои задължителни настройки.

Настройката на уреда към електрода включва двете “класически” настройки – на наклона и на нулата. Обикновено за настройка се използват така наречените буферни разтвори. Това са стандартни разтвори със стабилни параметри които запазват стойността на рН при значително разреждане и замърсяване. При това се използват поне два еталонни разтвора, като стойностите на техните рН се препоръчва да са в краищата на обхвата в който ще се използва уреда.

# Електронни рН-метри



Настройка на “нулата”



Настройка на “наклона”

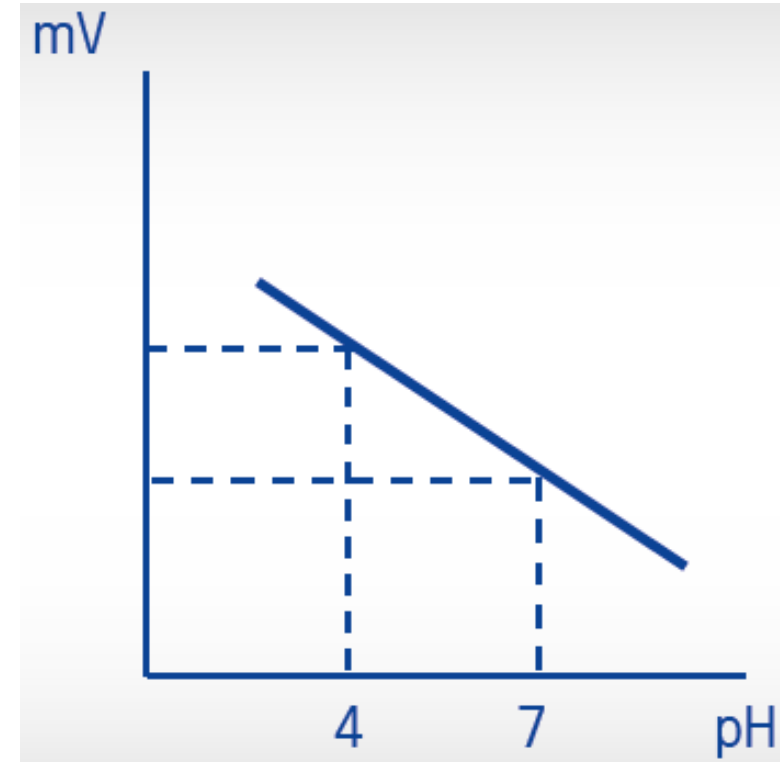
## Електронни рН-метри

При по-съвременните уреди настройката е почти автоматизирана – електродът се поставя в единия буферен разтвор и се въвежда стойността на неговия рН, след това операцията се прави и с другия разтвор. Софтуерът по две точки изчислява правата линия на характеристиката. При ръчна настройка е по-трудно и се налагат няколко итерации. Първо се настройва наклона на характеристиката, като се нагласява стойността на разликата между рН на двата разтвора. След това характеристиката се “нулира” чрез настройка на точната стойност. Това може да стане с трети разтвор с рН в средата на обхвата.

# Електронни рН-метри



Буферни разтвори



Настройка с буферни разтвори

## Електронни рН-метри

Всички измервателни уреди имат предвидени настройки.

Изискването е да се предвиди лесна и сигурна настройка, която да се извършва от оператора (химик), а не от сервизен работник. За получаване на точност 0,001pH уредите се калибрират преди самото измерване, за 0,01 – ежедневно и т.н.

Температурна корекция се изисква при промяна на температурата на измерваните разтвори в широки граници или при измерване с по-голяма точност.

## Електронни рН-метри

От формулата за изходното напрежение се вижда, че зависимостта от температурата е около  $0,4\% / ^\circ\text{C}$ . Ако измерването е с точност  $0,1\text{pH}$ , в границите на  $20^\circ\text{C}$  може да не се прави температурна корекция. Уредите за масово приложение работят именно така – настройват се за  $25^\circ\text{C}$  и при стайна температура се гарантира точна работа. Температурната корекция се прави или автоматично, като се използва електронен термометър, или ръчно като се въвежда в уреда.

Ръчното въвеждане се прави когато се измерват силно агресивни среди, в които електронните термометри не издържат.

## Електронни рН-метри

Според действащия в момента стандарт за електронни уреди рН метри - БДС 11379:1973 входното съпротивление трябва да бъде по-голямо от  $10^{12}\Omega$ . Това се постига със съвременните входни стъпала, реализирани с операционни усилватели или дискретни елементи на базата на полеви транзистори (MOS, JFET). В миналото в рН-метрите са използвани специални електрометрични лампи с много голямо входно съпротивление.

Високото входно съпротивление въвежда и затруднение, което се изразява в индуктирането на смущения върху него, както и чрез влиянието на хранващата мрежа.

# Електронни рН-метри

Измервателният електрод заедно с разтвора са една голяма “антена” която събира всякакви електромагнитни излъчвания. Затова при някои приложения се налага автономно захранване от батерия и освен това синхронизация на измерването с мрежовата честота.

Допълнителни изисквания към електронните рН-метри добавя времеконстантата на установяване на изходното напрежение. Тя е няколко минути (2-5). Критерий за край е скоростта на промяната на резултата и зависи от исканата точност.



## Електронни рН-метри

Времеконстантата се определя от времето за изравняване на температурите на електрода и разтвора (електродът се потапя в разтвора) и от времето за достигане на динамично равновесие на йоните. За прецизни измервания това време трябва да се изчаква. Когато обаче, се прави разтвор с някаква стойност на рН, би било много по-удобно да се работи по-бързо. Най-модерните рН-метри прогнозируют стойността на рН по хода на изменение, като екстраполират кривата по експонента или по друга крива според характеристиките на електрода. Така се спестява време когато разтворът е далече от необходимата стойност на рН.

# Електронни рН-метри

Естествено окончателните измервания се правят нормално бавно – изчаква се необходимото време.

В резултат на целия процес на проучване може да се подготвят данните за техническото задание на рН-метър. То ще включва само основните параметри, без размери и тегло:

- измерване на напрежение  $\pm 1V$ ;
- разрешаваща способност  $50\mu V$ ;
- входно съпротивление  $> 10^{12}\Omega$ ;
- възможност за настройки на предавателната характеристика;

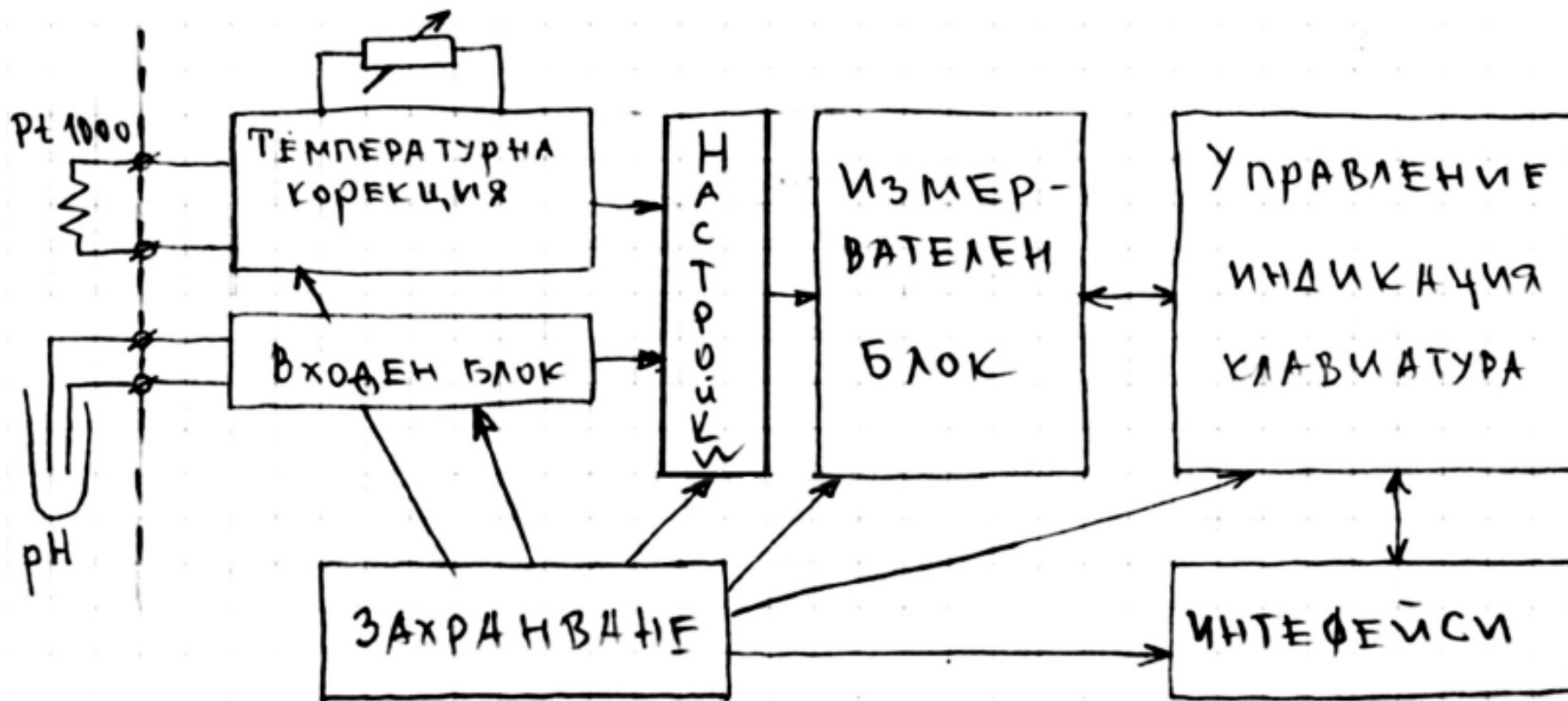
## Електронни рН-метри

- температурна корекция на усилването;
- индикация 4 или 5 разрядна, със знак;
- захранване от мрежа 230V. В зависимост от приложението е възможен и преносим вариант с батерии;
- допълнителни възможности, когато е с микроконтролер – интерфейс, статистика, прогнозиране на резултата и др.

Основните блокове на уреда са входно стъпало, блок настройки, блок за температурна корекция, измервателен блок, управление с клавиатура и индикация, блок захранване. Може да има и блок за интерфейс.

# Електронни рН-метри

Блокова схема на рН - метър



# Електронни рН-метри

## Входен блок

- обхват 1000mV, двуполярно;
- високо входно съпротивление  $> 10^{12}\Omega$ ;
- коефициент на предаване 1-3 пъти;
- защита по напрежение и филтри поради високото входно съпротивление;

## Настройки

- на наклона на предавателната характеристика;
- отместване на предавателната характеристика;

# Електронни рН-метри

## Температурна корекция

- вход за термосензор;
- ръчно задаване на температурата;

## Измервателен блок

- обхват на измерване съгласуван с входния блок и АЦП;
- двуполярен АЦП с повече от 40000 нива (15-16 разряден);
- време за преобразуване  $< 100\text{ms}$ , няма изисквания за бързодействие;
- синхронизиране на измерването с честотата на мрежата 230V и филтри, дори и при батерийно захранване;

# Електронни рН-метри

## Блок управление, индикация и клавиатура

- управлява работата на АЦП, обработва резултатите и ги извежда на индикацията. Изпълнява команди от клавиатурата;
- индикацията е 5 разрядна (от -2.000 до 16.000). С промяна на мястото на запетайката може да е 4 разрядна. За прости, преносими уреди може да се ползват и по-малко разряди, а дори и стрелкови системи. Когато уредът е контролен са достатъчни няколко светодиода;
- клавиатурата може да включва няколко бутона или да бъде цифрова клавиатура. Това зависи от начина по който е направено управлението;

# Електронни рН-метри

## Блок захранване

- от входното напрежение изработва необходимите напрежения (еднополярни или двуполярни) за останалите блокове. Ако е необходимо се прави галванично развързване;
- добра изолация от мрежата (когато е с мрежово захранване) и мерки срещу смущаване на високоомния вход на уреда;

## Блок интерфейс

Този блок винаги присъства при уреди с контролер. Типът интерфейс не е стандартизиран, обикновено е сериен и е галванически развързан;



## Електронни рН-метри

При някои уреди се използва и аналогов интерфейс – много популярен при индустриални приложения. Като правило това е токова връзка 4-20mA (0-5mA) заради нейната шумоустойчивост. Използва се и при уреди без микроконтролери (токовата връзка е от по-рано).

**Блоковата схема** в много голяма степен зависи от елементната база и избраните принципи на работа. Съвременен уред за измерване на рН, най-вероятно ще включва микроконтролер. Това не е задължително условие, но анализът показва, че предимствата са безспорни.

## Електронни рН-метри

При семпли уреди, с ограничени възможности, може да се „мине“ и без микроконтролери, като се използват специализирани интегрални схеми. Така уреди за експресен контрол (по пазарите), без изисквания за голяма точност, на ниска цена, може да се направят с интегрална схема волтметър ICL7106. Схемата управлява  $3\frac{1}{2}$  индикация ( $\pm 1999$ ), т.е ще показва 0,01 рН. Входният ток е по-малък от 1рА и удовлетворява изискванията за измерване на рН.

Ако започнат да се добавят модули с цел разширяване и подобряване на параметрите, се стига до труден за производство и по-скъп проект.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

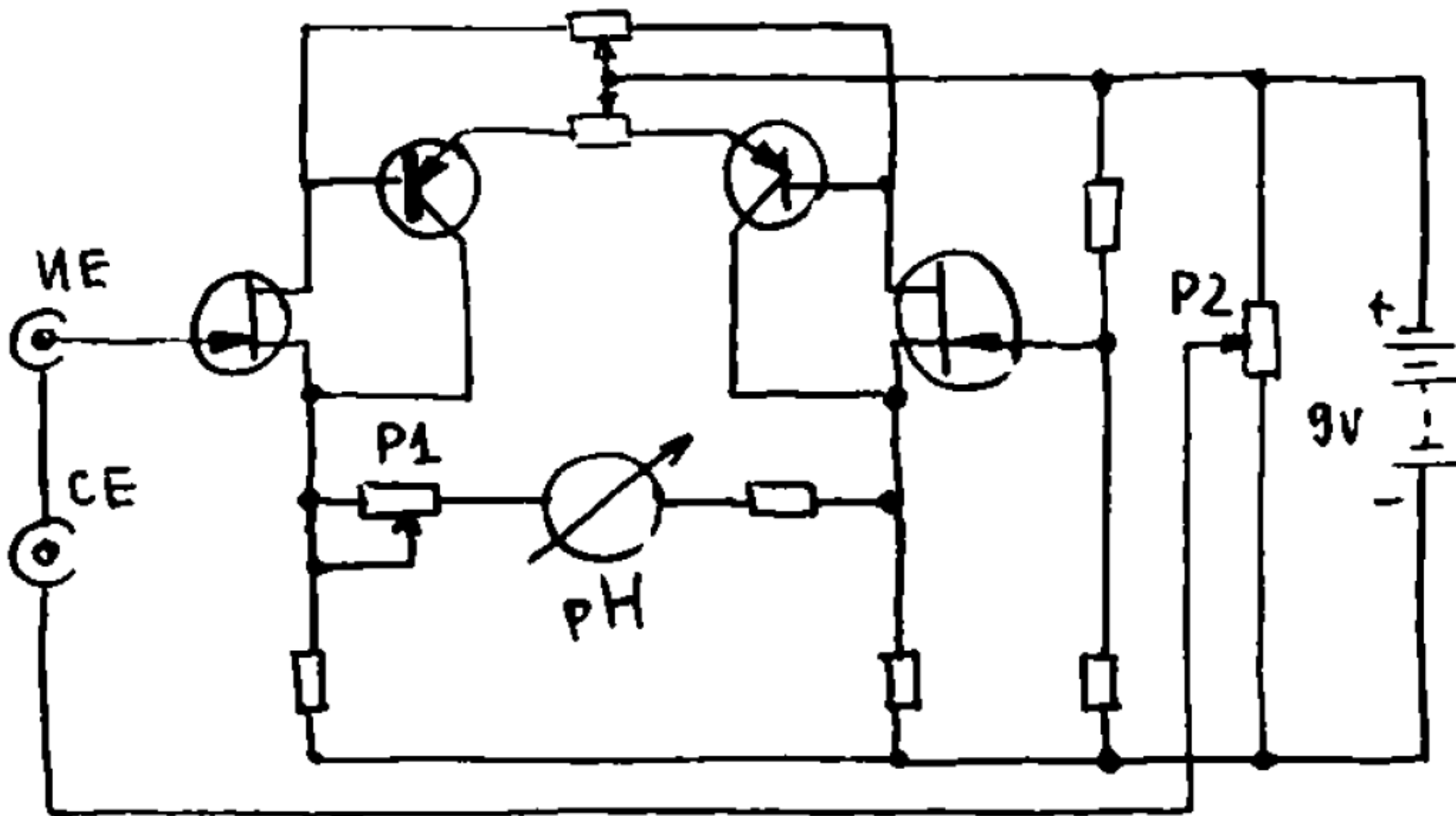
Следващата схема е пример за най-просто решение. Тя е на много евтин, преносим уред с батерийно хранване. Той е предназначен за предварителни, експресни, контролни измервания.

Електродите, измервателен (ИЕ) и сравнителен (СЕ) са свързани последователно. Може да се ползва и един комбиниран електрод – и в двата случая към уреда се свързват два проводника.

Високото входно съпротивление се получава с два полеви (JFET) и два биполярни транзистора, които са свързани по схема на съставен повторител.

# Електронни рН-метри

Принципни схеми на рН-метри



# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Двата потенциометъра в горния край на схемата (към емитери и сорсове) са за баланс на схемата при производството. Наклонът на характеристиката се настройва с потенциометър Р1, а на нулевата точка (при рН=7) – с Р2.

В схемата не е предвидена температурна корекция. Когато е необходимо, непосредствено преди измерването се прави настройка, при което се прави компенсация и на температурата. Това обаче не е необходимо защото уредът измерва с точност 0,1рН.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

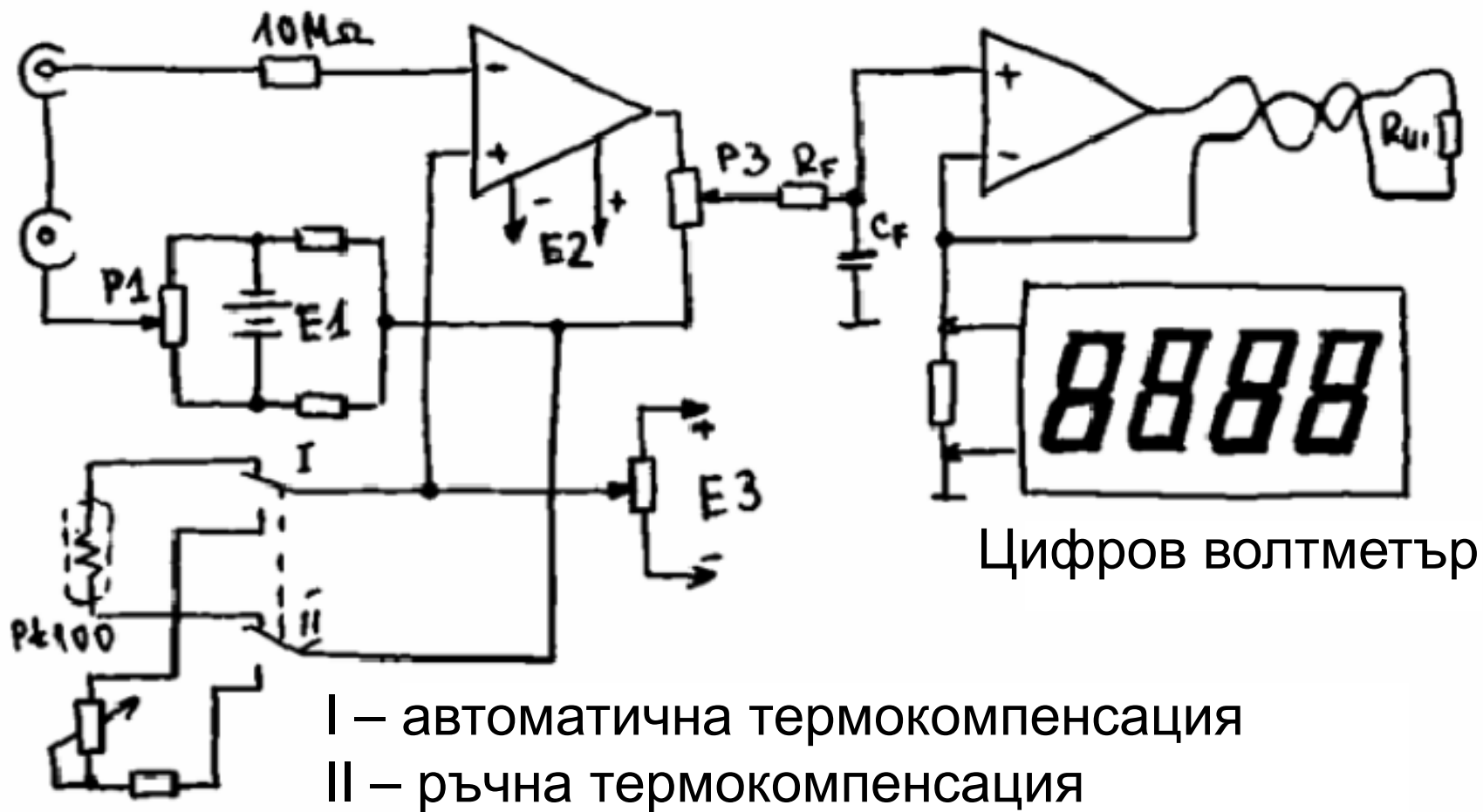
Следващата схема е на по-сложен уред, който отговаря на повечето от описаните по-рано изисквания.

Схемата е типичен пример на уред без използването на микроконтролер. Описаният рН-метър е за промишлено приложение и по тази причина е с токов интерфейс.

Не е дадена пълната схема, а само тази част която показва как са реализирани специфичните изисквания за входно съпротивление, температурна компенсация и настройки (по електрода).

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри



# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

За повишаване на входното съпротивление напрежението от електрода се подава между входа и изхода на усилвателя. Така входното съпротивление на ОУ се умножава по коефициента на усилване.

Настройката на нулата се извършва във входната верига, като към напрежението на електрода се подава подходящо компенсиращо напрежение с потенциометъра Р1. Този подход изисква отделен източник на напрежение Е1, който да е галванично развързан от останалата част на схемата. Консумацията от този източник е малка и може да се ползва батерия.



# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Температурната компенсация се осъществява като се променя коефициентът на усилване на стъпалото с един от резисторите на обратната връзка, който е температурно зависим (Pt100). Коефициентът на усилване се определя от отношението на резисторите R3 и Pt100. Стойността на потенциометъра R3 е подбрана така, че заедно със стойността и температурния коефициент на сензора Pt100 да се получи исканият температурен коефициент на усилването – 0,1984.

Температурната компенсация може да е автоматична с термосензор Pt100 или ръчна с потенциометър – на схемата положения I и II.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

В ръчен режим стойността на потенциометъра (по скала) се настройва така, че да съответства на стойността на термосензора Pt100 за температурата при която се извършва измерването.

Настройката на наклона на характеристиката става с потенциометъра РЗ, като с него се променя коефициентът на предаване към волтметъра и преобразувателя напрежение-ток.

Като изход на рН-метъра е избран токов интерфейс поради добрата му шумоустойчивост. Изходният сигнал се ползва за допълнителна индикация и управление на производството.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Волтметърът е интегриращ с четири разрядна индикация.

Потенциометърът към източника ЕЗ е за постояннотоково нулиране на останалата част от уреда - на преобразувателя на напрежение в ток и на волтметъра. Това става при производството или при сервизно обслужване на рН-метъра.

От голямо значение за качествата на уреда са захранващият модул и мрежовият трансформатор. Върху много голямото входно съпротивление и електрода може да се индуцира значително по стойност напрежение.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Например при само 1-2 pF проходен капацитет между първичната и вторичната намотка на трансформатора върху входното съпротивление на усилвателя и електрода ще се индуцират около 20V от мрежовото напрежение. Това напрежение, естествено, ще насити усилвателите и дори измерването да е синхронизирано с мрежата, резултатите ще са грешни. Затова, с филтри, индуцираното напрежение трябва да се намали до работните обхвати на стъпалата.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

За да се получи съвременен уред с описаните вече възможности, трябва да се използва микроконтролер. В този случай задачите на блоковете за настройки и температурна корекция се поемат от програмното осигуряване. От блока за температурна корекция остава частта за измерване на температура и тя може да се сведе до един съпротивителен делител със защитни вериги или включването на интегрален температурен сензор с нормирана предавателна характеристика. Защитните вериги са задължителни при всички входове и изходи на устройствата.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Основен въпрос при проектирането в подробности на един електронен уред е захранването. Напоследък все повече се използват схеми с еднополярно захранване, а поради навлизане на микроконтролерите и със сравнително ниско напрежение – 3 до 5V.

В случая, изходният сигнал от електродите за измерване на рН е двуполярен.

Решенията са две – проектиране на захранващ блок с различни по стойност и полярност напрежения или проектиране на входната част за работа с еднополярно захранващо напрежение.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Традиционното е със захранващ блок с едно напрежение за цифровата част (микроконтролер и индикация – 3 или 5V) и две напрежения  $\pm(5-15)V$  за захранване на аналоговата част (входния блок и АЦП, ако е с двуполярно захранване).

Това малко усложнява захранващия модул, а и е икономически неефективно, защото тези двуполярни напрежения са с много малка консумация – няколко mA, а дори и по-малко, но трябва да имат всички елементи за един стабилизиран изправител.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Второто решение е да се използва само едно захранване, АЦП да е еднополярен, входното стъпало също. За да се измерват двуполярни входни сигнали се прави изкуствена нула. Това става като захранващото напрежение (напр. 5V) се раздели на две (с резистори). Средната точка е „нулата“ и спрямо нея има две напрежения ( $\pm 2,5V$ ).

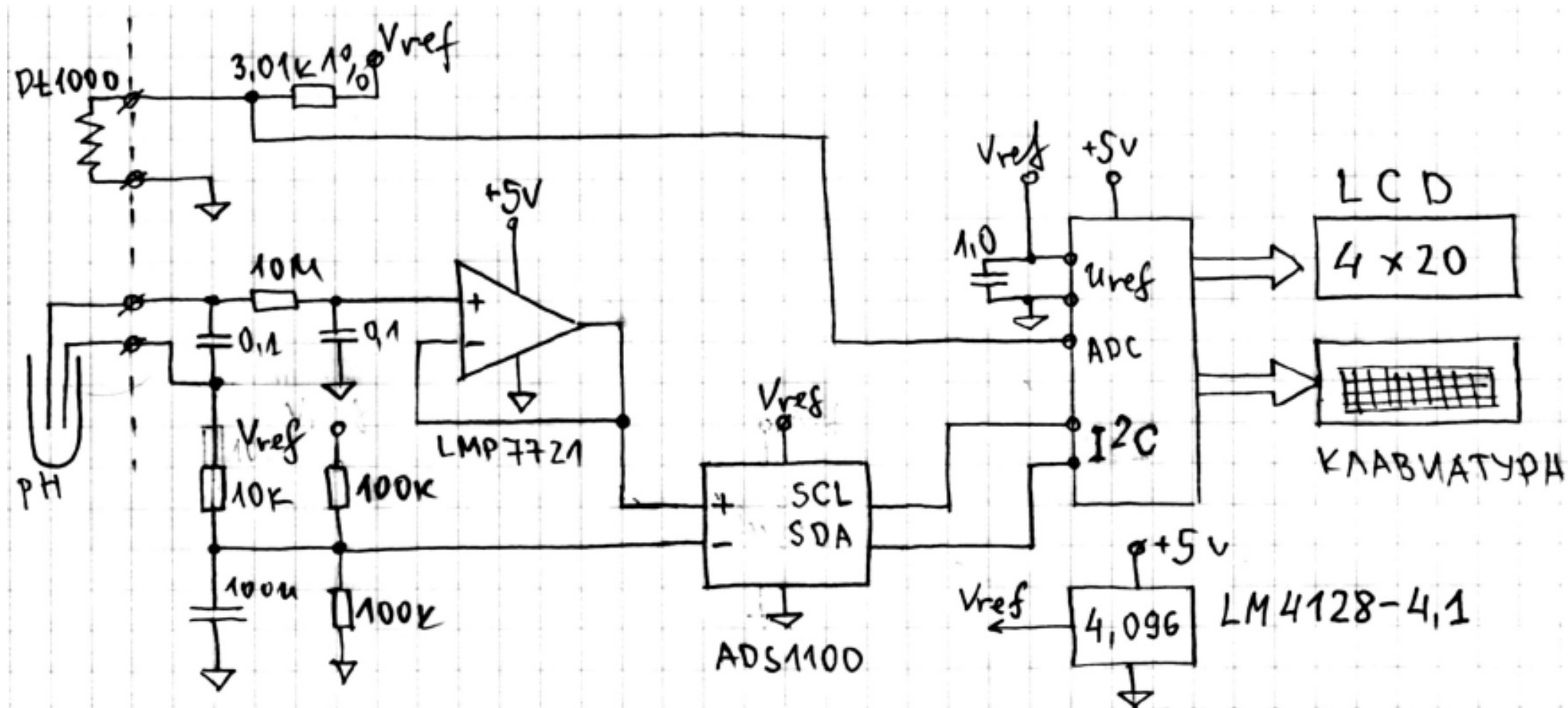
При този подход трябва да се внимава, тъй като изходното съпротивление на „нулата“ не е около  $0\Omega$ , а доста по-високо.

В случая с рН-метъра изходното съпротивление на електродите е такова, че изкуствената нула може да е дори и с високоомни резистори.



# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри



# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

На схемата не са показани какви конкретно са контролерът и индикацията (освен че е LCD). Детайлизирана е само частта от схемата, която определя основните параметри на уреда. Използван е операционен усилвател LMP7721 с високо входно съпротивление, АЦП тип ADS1100 – 16 разряден, опорен източник LM4128 – 4096mV и за измерване на температурата – Pt1000. Тя се определя като се измерва напрежението на делител, образуван от еталонния резистор (3,01k) и сензора (Pt1000). Напрежението се измерва директно от АЦП на контролера. Повечето микроконтролери имат вградени 10-разрядни АЦП.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

При опорно напрежение  $4,096\text{ V}$  и при десет-разряден АЦП тежестта на най-младшия разряд се получава  $4\text{mV}$ . Така, по отношение на температурата, се получава разрешаваща способност около  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Ако е необходима по-голяма разрешаваща способност може да се използва микроконтролер с 12-разряден АЦП, двуканален външен АЦП (ADS1100 е само с един вход) или мултиплексор, с който да се превключват каналите за рН и температура.

Използван е еднополярен хранващ източник  $5\text{V}$ . С него се хранват микроконтролерът, опорният източник и индикацията.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

За да се измерва двуполярният сигнал от рН електрода, е направено отместване с делител  $100k/100k$  и филтър  $100nF$ . Напрежението от делителя се подава на рН електрода и на единия вход (-) на АЦП (ADS1100 е с диференциален вход). Напрежението от рН електрода се филтрира ( $10M\Omega$ ,  $100nF$ ), буферира се с LMP7721 (усилването е 1) и се подава на другия (+) вход на ADS1100.

Връзката между АЦП и контролерът е по I<sup>2</sup>C интерфейс. Ако контролерът няма вграден I<sup>2</sup>C, той се реализира програмно. През този интерфейс се четат измерените стойности и се управлява АЦП.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

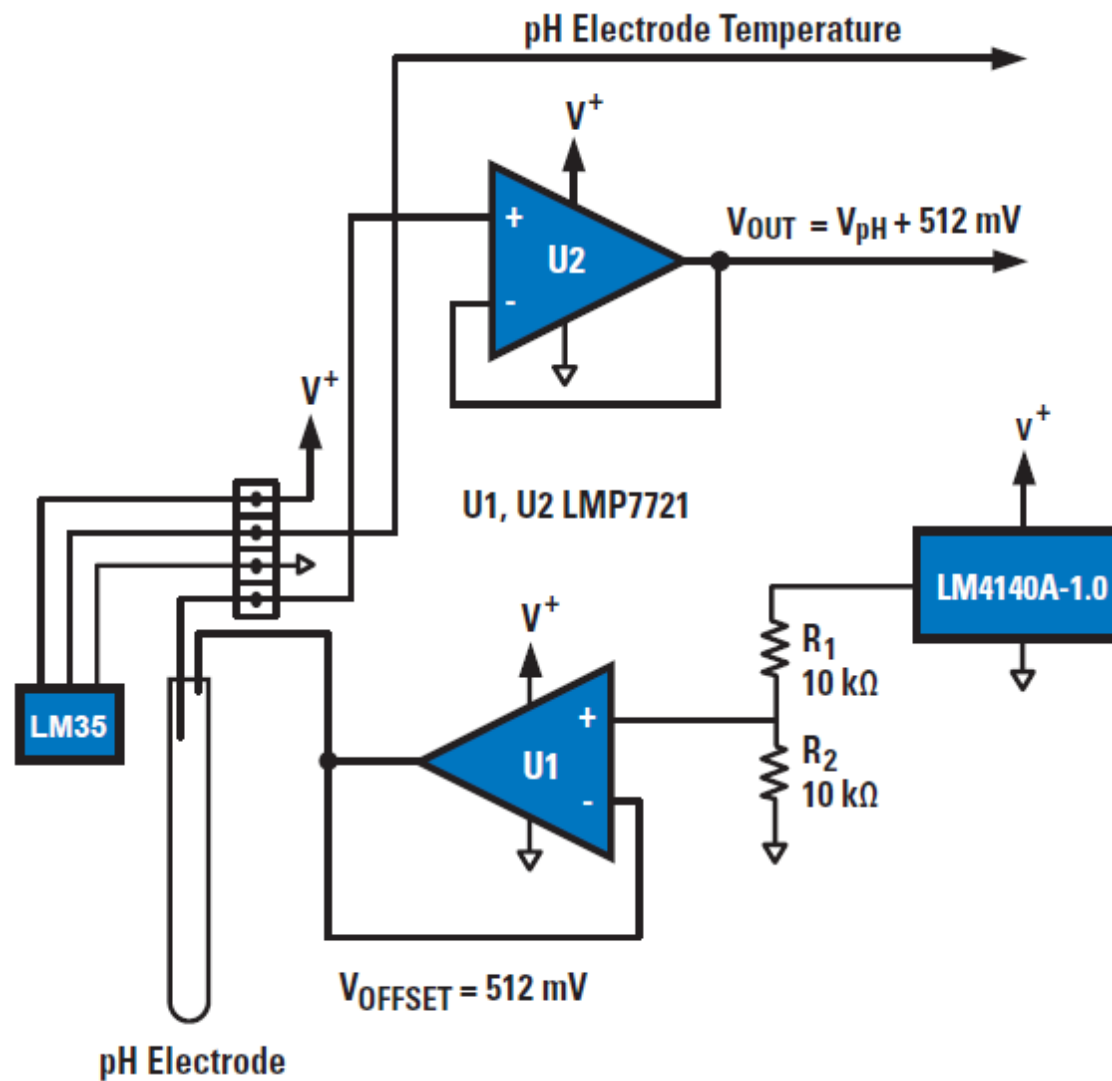
Опорното напрежение  $4,096V$  се подава на схемите, от които зависи точността на измерване – АЦП, входа за опорното напрежение на ADS1100 и делителя за измерване на температурата.

Блокът за захранване не е показан. Може да се реализира с батерии (4 x  $1,5V$ ) или с изправител и стабилизатор за  $5V$ .

Индикацията е удобно да бъде готов модул, който се управлява по сериен или паралелен интерфейс. Възможен е вариант и с директно управление от контролера – някои микроконтролери имат модули за управление на LCD индикация.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри



# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Друга схема на аналоговата входна част включва измерването на температура и буферизирането на рН електрода. Усилвателят U1 отмества изходното напрежение на рН електрода с 512 mV. Това се постига чрез използване на прецизния микромощен източник на напрежение LM4140A-1.0 със стойност 1,024V. Това напрежение се разделя на половина до 512 mV с резисторен делител 10k/10k.

Изходното напрежение на рН електрода ще се сумира със стойността 512 mV и предавателната функция се променя на  $V_{OUT} = V_{pH} + 512 \text{ mV}$ .

# Електронни рН-метри

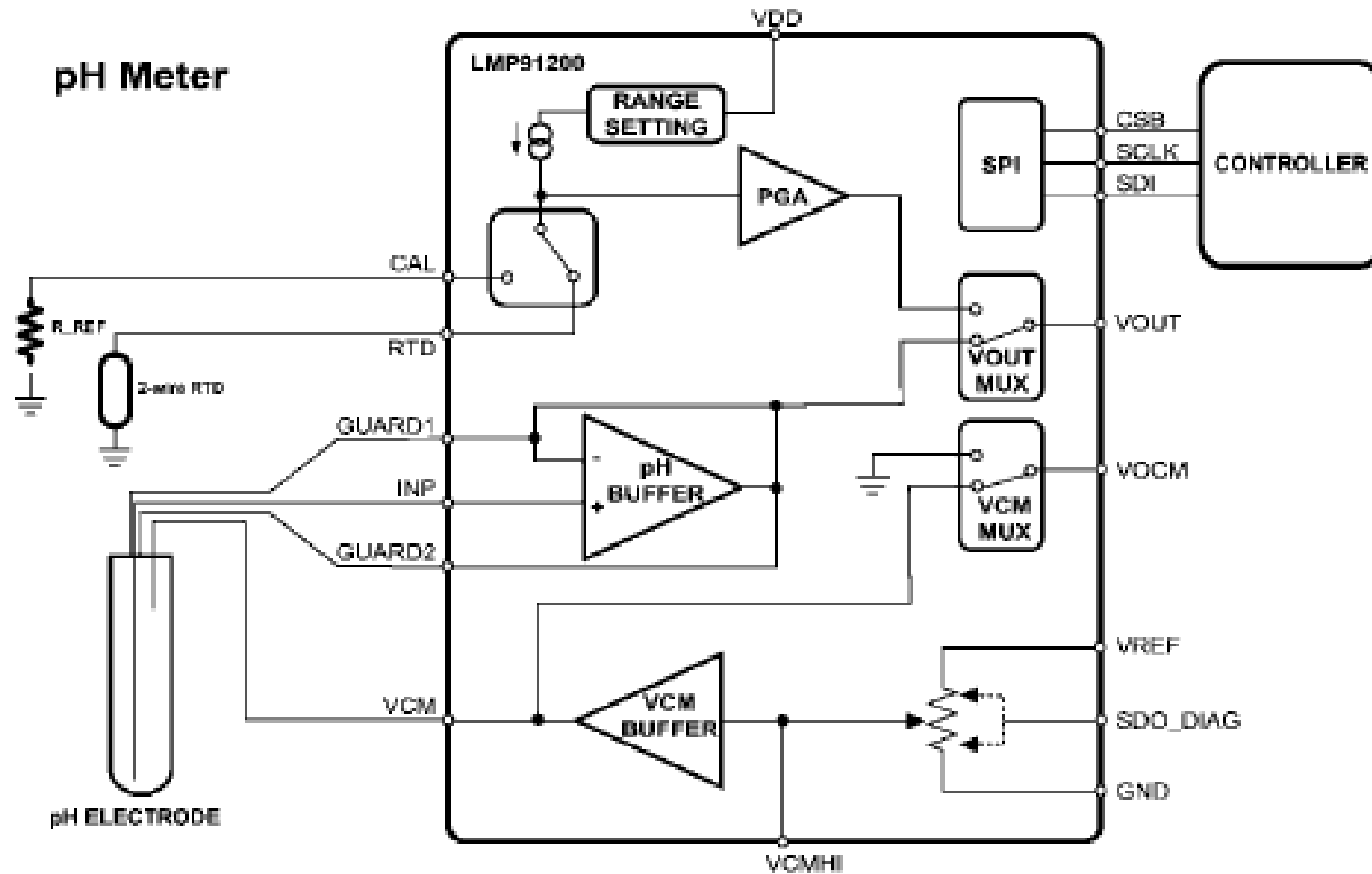
## Принципни схеми на рН-метри

Съществуват и интегрални схеми, които изпълняват функциите на аналоговия входен блок (AFE – Analog Front End). Пример за такава е LMP91200. Тя е предназначен за работа с 2 електрода. Оптимизирана е за работа със захранващо напрежение от 1,8V до 5,5V. С изключително ниския си входен ток, тя е подходяща за използване с рН сензори. Също така при липса на захранващо напрежение много ниският входен ток на поляризация намалява влошаването на рН електрода, който е свързан към LMP91200. Предвидени са възможности за включване на външен Pt1000, Pt100 или подобен температурен сензор.



# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри



# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Configuration Register

Bit	Name	Description
D15	MEAS_MODE	0 pH measurement (default) 1 Temp measurement
D14	I_MUX	0 RTD (default) 1 CAL
[D13:D12]	I_VALUE	00 100µA (default) 01 200 µA 10 1 mA 11 2 mA
D11	PGA	0 5 V/V (default) 1 10 V/V
[D10 :D8]	VCM	011 7/8Vref 010 3/4Vref 001 5/8Vref 000 1/2Vref (default) 100 1/2Vref 101 3/8Vref 110 1/4Vref 111 1/8 Vref
D7	VOCM	0 VOCM (default) 1 GND
D6	DIAG_EN	0 DIAG pin disabled (default) 1 DIAG pin enabled
[D5 :D0]	RESERVED	RESERVED

Всички функции на LMP91200 (режим на работа, PGA Gain, Reference Voltage, Diagnostic) се задават с данни, съхранявани в регистър за програмиране. Те се зареждат в LMP91200 чрез серийния интерфейс.

Серийният интерфейс използва 16-битов преместващ регистър. Данните са заредени през серийния вход за данни, SDI, и могат да се извеждат през серийния изход за данни, SDO\_DIAG.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Много голямото входно съпротивление на електронните рН-метри определя изискванията при проектиране на конструкцията и печатната платка.

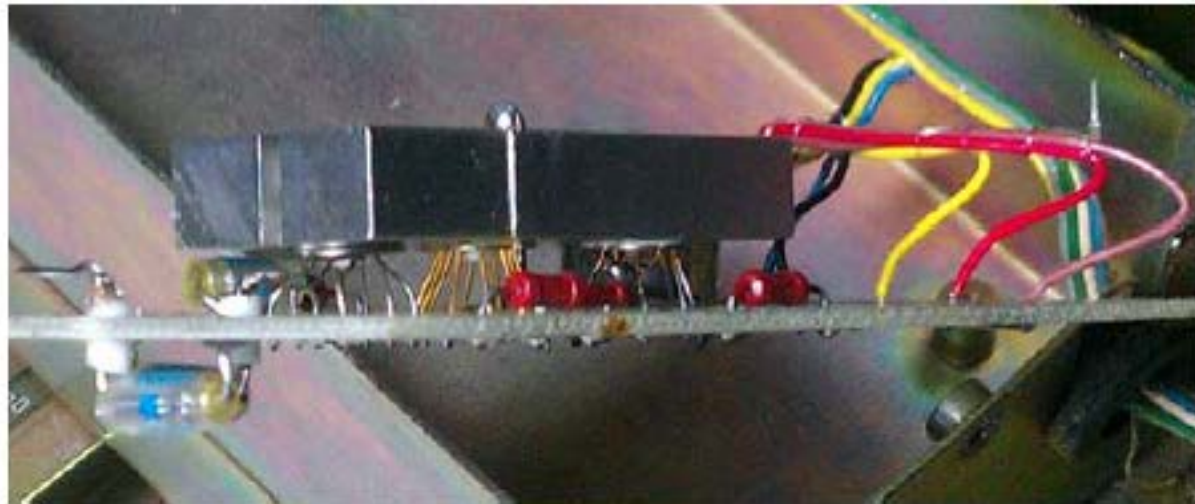
Всички връзки към измервателните електроди трябва да са с куплунги с голямо изолационно съпротивление (с тефлонова изолация). Входовете на операционните усилватели (или транзистори) трябва да са по схеми, гарантиращи минимални утечни токове.

Единият подход е високоомната верига да се отдели и да не се запоява на платката – въздушен монтаж, а вторият - чрез екраниране.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

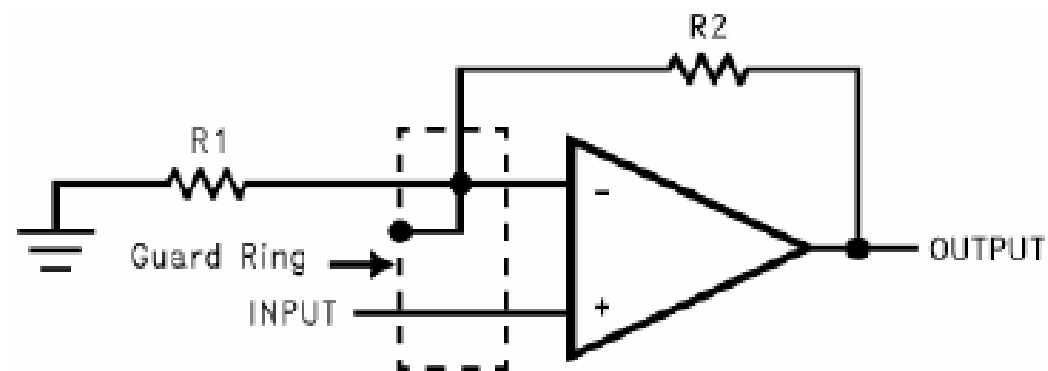
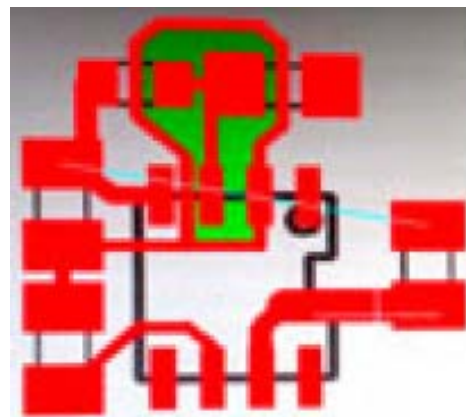
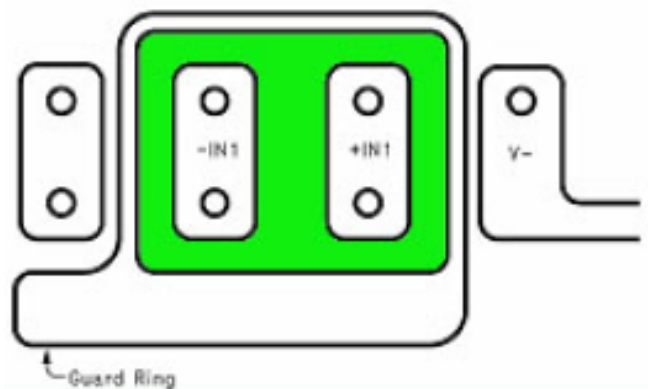
Високоомният вход на операционния усилвател се запоява директно на специална високоомна опора, преминава от другата страна на платката и през защитен резистор и филтриращ кондензатор отива директно към входния куплунг. Вижда се и термостата за входното стъпало.



# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Другият подход за запазване на високото входно съпротивление е със специални заграждащи екрани. Те се реализират както на печатната платка, така и на входните куплунги. Идеята се състои в следното – да се поддържа еднакъв потенциал между високоомния вход и околната платка (куплунг).



# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Зелената повърхност е екипотенциална – заграждащият пръстен е с потенциал като на входовете. Дори да има замърсяване по повърхността, ток няма да тече, защото напрежението е нула (ток нула = безкрайно съпротивление). При реализиране на екипотенциална повърхност на печатната платка не се ползва буферен усилвател – заграждащият пръстен се свързва директно както е показано с пунктир на принципната схема. Използването на буфер е препоръчително, когато до някаква точка от схемата има възможност за външен достъп – куплунгът е изведен на панела.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

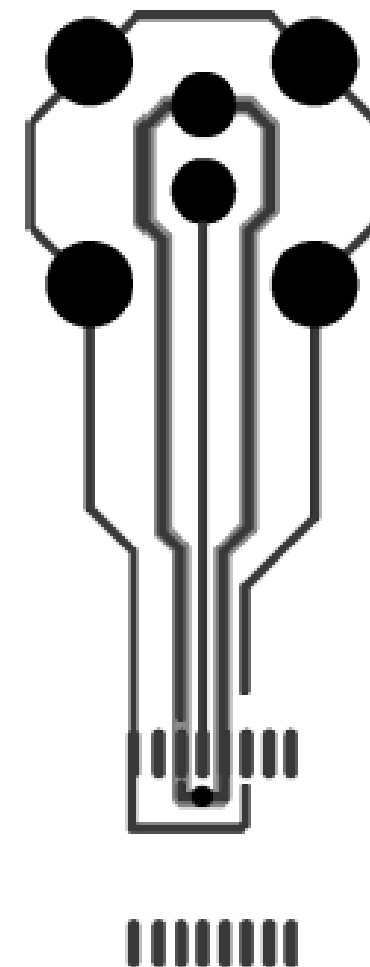
Екранът е проводник с нисък на импеданс, който обгражда входната линия и неговия потенциал се повишава до напрежението на входа. Входният извод трябва да бъде напълно защитен. Екраниращият пръстен трябва напълно да огражда входните връзки. В допълнение, трябва да има екран и от двете страни на платката, и да бъдат свързани заедно. При LMP91200 екраниращият пръстен се реализира лесно без други външни усилватели. Той трябва да бъде свързан към защитните изводи (GUARD1 и GUARD2), които са със същия потенциал като INP извода. Солдер маската не трябва да покрива входа и защитената зона.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Показана е типична защитна верига, когато LMP912000 е свързан с рН електрода чрез трижилен (триаксиален) кабел/конектор, обикновено известен като "TRIAX". Сигналният проводник и защитният трябва да имат еднакъв потенциал и следователно токът на утечка между тях е практически нулев.

Тъй като "триаксът" има допълнителен слой изолация и втора провеждаща обвивка, той предлага по-голямо потискане на смущения от коаксиален кабел/конектор.

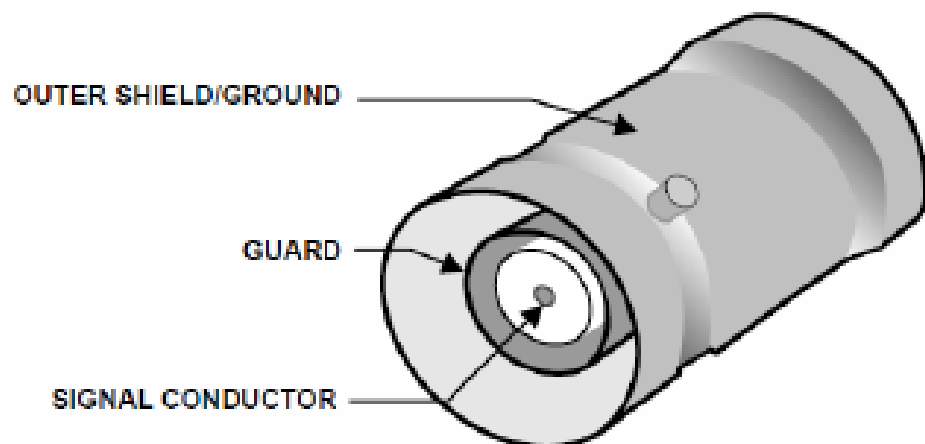




# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

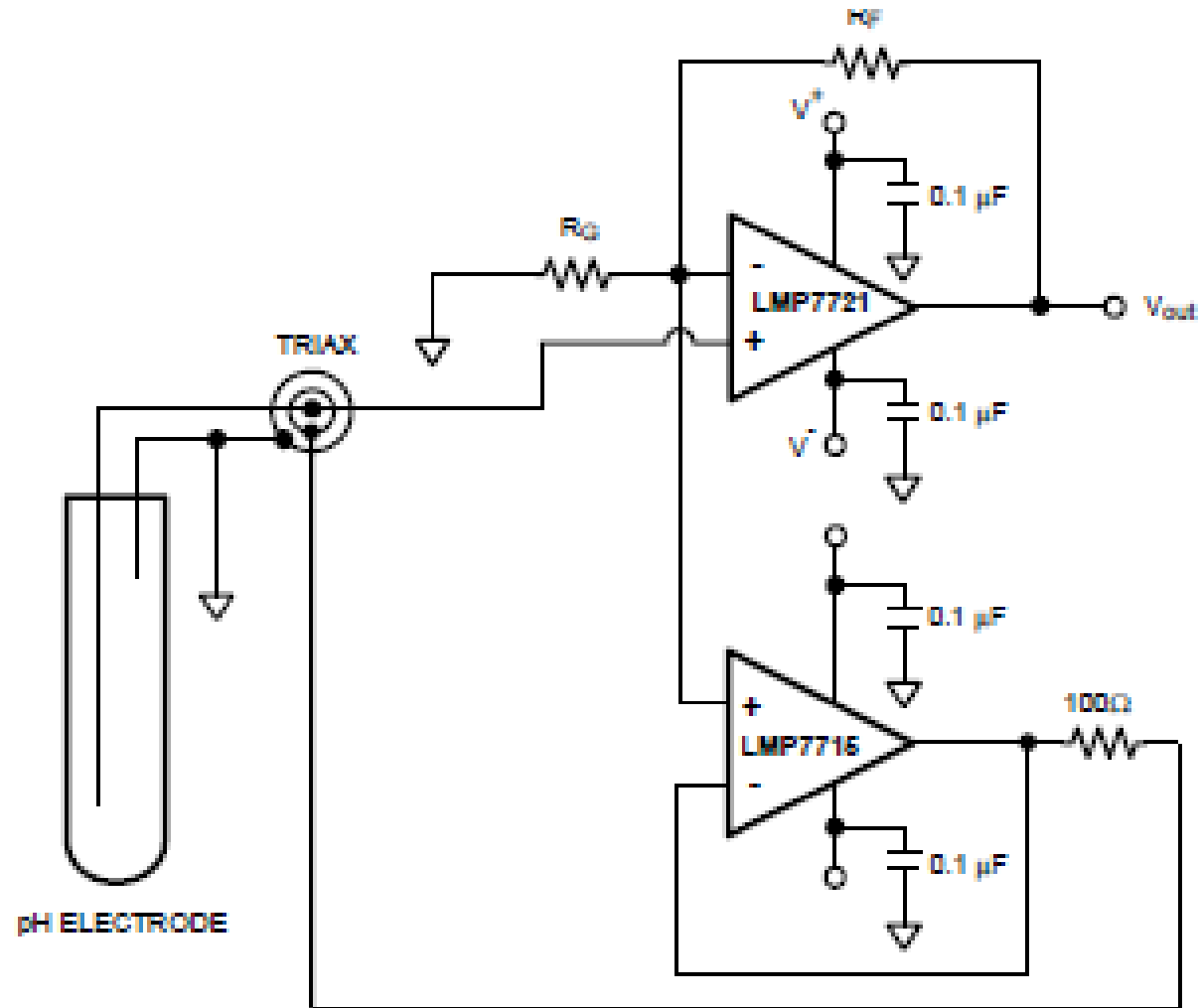
На схемата е показано стандартно как се поддържа потенциалът на заграждащия пръстен. Операционният усилвател с високо входно (LMP7721) е свързан като неинвертиращ усилвател.



В активен режим напрежението между двата входа е нула. Така напрежението от неинвертиращия вход през буферен ОУ (LMP7715) се подава на допълнителния електрод и така се гарантира високото входно съпротивление на куплунга.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри



# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

На снимката по-долу е показан рН-метър. Виждат се входните куплунги с тефлонова изолация, потенциометърът за ръчно задаване на температурата и входът за термометър.



Превключването между ръчното и автоматично задаване на температурата става чрез куплунга за термометъра (jack) и е механично. Вижда се, че входното стъпало е в метална кутия – при голямо входно съпротивление се изисква добро екраниране от външните смущения.

# Електронни рН-метри

## Принципни схеми на рН-метри

Когато в електронните уреди се използва микроконтролер, трябва да се проектира и програмно осигуряване.

При тях блокът за настройки е решен програмно. Когато се извършва настройка в по-широк обхват се предпочита калибровката да се прави в три и повече точки. Програмата изчислява стойността на рН като използва коефициенти в зависимост от това в кой обхват попада напрежението от електрода.

Температурната корекция се изчислява след измерване на температурата. Стойността ѝ може и да се въвежда от клавиатурата.