Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вимірювальні перетворювачі і датчики для медико-технічних систем» для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 163 – Біомедична інженерія

Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

Розроблено в рамкахпроекту“Erasmus+ (CBHE) BioArt“ Інноваційна мультидисциплінарна освітня програма зі штучних імплантів для біоінженерії для бакалаврів та магістрів”

Developed in the frame of project “Erasmus+ (CBHE) BioArt“Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc / MSc Degrees” (586114-EPP- 1-2017- 1-ES- EPPKA2-CBHE- JP).

Вінниця

ВНТУ
2020

Рекомендовано - кафедрою біомедичної інженерії Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол засідання кафедри БМІ № 2 від 10.09.2019 р., оновлено, розглянуто зі змінами на засіданні кафедри БМІ № 2 від 09.09.2020 р)

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вимірювальні перетворювачі і датчики для медико-технічних систем» для студентів спеціальності 163 - Біомедична інженерія освітня програма Біомедична інженерія / Уклад. Л.Г.Коваль. – Вінниця : ВНТУ, 2020.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт призначений для студентів, які навчаються за І рівнем (бакалаврським) вищої освіти зі спеціальності 163 - Біомедична інженерія, освітня програма - Біомедична інженерія.

Вступ

Сучасна лікарня, клініка, будь-яке інше лікувально-профілактичний заклад своєму розпорядженні велику кількість різноманітних медичних приладів, апаратів, допоміжних пристроїв, в яких в тому чи іншому вигляді використовується електрична енергія. Електромедичне та електробіологічне, яка налічує понад 5000 найменувань, знаходить застосування для діагностики, лікування, обслуговування пацієнта, при лабораторних дослідженнях, зборі та обробці інформації, інакше кажучи, на всіх стадіях лікувального процесу.

Використання електричної енергії супроводжує небезпека ураження електричним струмом. Ця небезпека для сучасної людини є практично всюди: і вдома, і на роботі, і при користуванні засобами транспорту.

Які ж специфічні умови, які вимагають особливих заходів щодо захисту пацієнта і медичного персоналу від ураження електричним струмом?

Перш за все, слід врахувати, що у хворого захисні сили організму підірвані, тому випадкове вплив електричним струмом може мати для хворого, особливо страждає захворюванням серця, більш важкі наслідки, ніж для здорової людини.

Пацієнт в багатьох випадках не може нормально реагувати на дію електричного струму, щоб зменшити виникла небезпека. Він може бути паралізований, перебувати під наркозом, бути без свідомості, нарешті, він може бути прив'язаний до операційного столу або ліжка.

У повсякденному житті, на виробництві - скрізь приймаються всі заходи для того, щоб відокремити людину від можливих джерел електричного струму, від будь-яких електричних ланцюгів. На противагу цьому пацієнта навмисно піддають дії струму, його включають безпосередньо в ланцюг постійного низькочастотного або високочастотного струму.

Шкірний покрив є природним захистом людини від дії електричного струму. У медичному закладі шкіру пацієнта обробляють знежирюючими, дезінфікуючими та іншими розчинами. Зволожена шкіра повністю втрачає свої досить високі ізолюючі властивості. У порожнині тіла вводять різного роду електроди, сенсори, освітлювальні пристрої, під час операції шкірний покрив механічно руйнується, оголюються внутрішні органи. Найбільш небезпечний випадок втручання в організм людини - введення електродів, катетерів безпосередньо в порожнину або м'яз серця.

У процес лікування або обстеження до хворого нерідко підключаються не один, а кілька апаратів. Так, наприклад, на операційному столі до пацієнта можуть бути приєднані електроди високочастотного електрохірургічного апарату, електроди електрокардіографа, наркозний апарат, електровідсмоктувач, сенсори температури, тиску, апарат серце - легені й інша апаратура. Природно, що, перебуваючи в центрі сплетення проводів,

електродів, сенсорів, пацієнт піддається різним небезпекам ураження струмом, передбачити які заздалегідь досить складно.

Чимало можливостей і непрямого впливу електричної енергії на безпеку пацієнта. Різного походження електричні, магнітні та електромагнітні поля надають заважає, чутливої вимірювальної апаратури, ускладнюючи правильне діагностування. Дія перешкод на електрокардіостимулятори, пристрої автоматики апаратів для штучного дихання і іншу апаратуру для заміщення або підтримки функцій органів організму може мати катастрофічні наслідки. Так само надзвичайно небезпечно припинення подачі напруги живлення на заміщуючу апаратуру або на джерело освітлення при відповідальних оперативних втручаннях.

Використовувана в медичних установах апаратура знаходиться в дуже важких умовах експлуатації. Багато апарати постійно пересувають, переносять з палати в палату, при цьому можливі поштовхи, удари їх. Кабелі живлення і кабелі піддаються натягу, закручуючись навколо навколишніх предметів, вони постійно опиняються під ногами пацієнтів і персоналу. Доводиться рахуватися з можливістю впливу на апарати різних рідин (крові, сечі, медикаментів).

Важкі умови експлуатації апаратури призводять до частих порушень її роботи або пошкодження.

Різноманітність і складність обставин, в яких виявляється хворий в медичній установі, призводить до того, що для забезпечення його електробезпеки недостатньо окремих ізольованих заходів захисту в апараті або в електрообладнанні будівлі. Тільки комплекс узгоджених між собою захисних засобів, прийнятих при створенні апарату, а також при обладнанні медичного закладу, може забезпечити необхідний рівень електробезпеки. При цьому обов'язковою умовою є достатня кваліфікація спеціально навченого медичного персоналу, а також технічних працівників, які забезпечують регулярний контроль і ремонт апаратури та електрообладнання будівлі.

Практична 1. Елементи електричної безпеки медичної апаратури.

1.1. Дія електричного струму на організм людини

1.1.1 Поріг відчутного струму

Мінімальна величина струму, подразнюючу дію якого відчувається людиною, називається порогом відчутного струму. Величина його залежить від місця дотику і площі контакту. Найбільшою чутливістю володіє мовою, відчуває поколювання вже при струмі близько 40мкА. Практичне значення має визначення порогу відчутного струму при дотику до що знаходиться під напругою предмету долонею або кінчиками пальців. При змінному струмі низької частоти початкові відчуття в цьому випадку проявляються у вигляді тремтіння, пульсування, поколювання в місці контакту.

У окремих осіб величина порога відчутного струму різниться, підкоряючись нормальному розподілу. На частоті 60Гц середня величина його склала 1,1мА.

Пороги відчутного струму значно розрізняються в осіб різної статі і віку. Для жінок він зменшується в середньому на 30%, для дітей - приблизно на 50%.

При вивченні залежності порога відчутного струму від частоти встановлено, що в діапазоні кількох сотень герц величина порога змінюється мало, збільшуючись в подальшому майже лінійно з частотою.

На частотах 100кГц і вище відчуття струму переходить в чисто теплове. При протіканні постійного струму поріг відчутного струму значно вище (в 4-5 разів), ніж на частоті 50Гц, і відчуття зводяться в основному до паління.

З порогової величиною відчутного струму пов'язана така важлива поняття техніки електробезпеки як допустимий струм витоку апаратури. Величина струму витоку повинна встановлюватися з розрахунку на практично повну безпеку для людини, через тіло якого він може тривати протягом довгого часу. Тим часом при несприятливих обставинах навіть початкову роздратування під дією електричного струму, неприємне само по собі, може викликати в результаті переляку несподіваної реакції вторинні ефекти, що мають небезпечні наслідки.

1.1.2 Допустима величина струму витоку

З точки зору максимальної безпеки при встановленні допустимих величин струму витоку слід було б орієнтуватися на величини, отримані при торканні кінцями пальців, з урахуванням мінімальних величин, отриманих для 0,5% обстежуваних, а також підвищеної чутливості дітей. В результаті такого підходу струм витоку не повинен був би перевищувати 0,1мА. Однак з урахуванням економічної і технічної сторін питання як допустимої величини струму витоку в стандартах більшості країн прийнятий струм 0,5мА.

Граничне відчуття - перша реакція організму на дію електричного струму. Що ж відбувається, якщо струм перевищує цю межу величину?

1.1.3 Дія струму, що перевищує порогову величину

При струмі 3-5мА, частотою 50 Гц, що проходить через електрод, який тримає в руці чоловік, подразнюючу дію відчувається вже пензлем руки, при струмі 8-10мА м'язи всієї руки мимоволі скорочуються, виникає почуття сильного болю. Оскільки згинальні м'язи руки могутніше розгинальних, то рука в суглобах згинається, і людина при подальшому збільшенні струму не може її розтиснути і самостійно звільнитися від затиснутого провідника. Відповідна мінімальна величина струму називається порогом відпускається струму. Цей параметр представляє великий інтерес з точки зору електробезпеки, так як є свого роду межею, з перевищенням якого небезпека важкого результату поразки різко зростає.

Мимовільні скорочення (судоми) можуть виникати не тільки в м'язах руки. При струмі 25-50мА. Частотою 50 Гц, що протікає через тулуб (рука - рука, рука - нога), виникає титанічне скорочення дихальних м'язів грудної клітки, в результаті чого ускладнюється або повністю припиняється дихання. Якщо ланцюг струму в результаті сторонньої допомоги або судомних рухів потерпілого не розривається, то приблизно через 1 хв. він втрачає свідомість, а через 3 -4 хв. можлива смерть від задухи.

Найбільш небезпечно виникнення фібриляції шлуночків серця, при якій окремі м'язові волокна втрачають централізоване управління і починають хаотично скорочуватися (фібрильованої). В результаті порушується строго координована робота різних ділянок серця, що відразу призводить до порушення його насосної функції і припинення кровообігу.

Особлива небезпека фібриляції полягає в тому, що, виникнувши, вона практично ніколи не припиняється без зовнішнього впливу. Залишений без допомоги, уражений струмом гине протягом декількох хвилин в результаті незворотних змін, що відбуваються передусім у позбавленому кисню головному мозку.

Встановлення мінімальних величин струму, що не викликає фібриляцію шлуночків при різних тривалість його дії, має велике практичне значення. Виходячи з цих даних, повинні розраховуватися і проектуватися автоматичні вимикачі, пристрої, що вимикають, що реагують на величину струму витоку, і деякі інші захисні пристрої. Розглянувши наявні експериментальні дані, секція електробезпеки центрального правління Науково-технічного товариства електротехнічної промисловості прийняла струм 65мА в якості допустимої величини при односекундної дії струму частотою 50 Гц. Величини струму при інших тривалостях складають:

- Час впливу, з 0,2 0,5 0,7 1,0 понад 1 до 30.
- Струм, мА 250, 100, 75, 65, 6.
- Наведені величини служать основою для розрахунків різних захисних заходів.

При токах, які значно перевищують пороги фібриляції шлуночків серця, можливі інші смертельно небезпечні порушення в організмі. До них

відносяться зупинка серця, параліч дихального центру, глибокі пошкодження нервової системи, опіки. Зазначені поразки, як правило, відбуваються, при напружених вище 1000В. Стосовно до медичної техніки це означає, що джерелом такого вражаючого струму можуть бути тільки високовольтні вторинні кола апаратури.

При визначенні залежності порога фібрилляціонного струму від частоти в діапазоні 30-350Гц при безпосередньому впливі на серце було показано, що на частотах вище 100 Гц пороги різко зростають. Мінімальні величини, так само як і в разі відчутних або не відпускають струмів, відповідають промислової частоті (50-60 Гц).

1.1.4 Загальний електричний опір тіла

Загальна електричний опір тіла між двома електродами можна представити у вигляді двох частин, що істотно відрізняються за величиною один від одного. Це - опір шкіри під кожним з електродів і опір внутрішніх тканин і органів.

Опір шкіри значно перевершує опір інших тканин. Це пояснюється наявністю на поверхні її зовнішнього шару (епідермісу) ороговілих клітин. Омертвілі, зневоднені клітини рогового шару мають питомий опір 1МОм-10М. Ом. Опір певної ділянки шкіри залежить від товщини рогового шару, яка, наприклад, на долонях становить від 0,1 до 1,5, а на спині не перевищує 0,04 мм. Відповідно опір 1см² шкіри знаходиться в межах від десятків до сотень кіло ом.

Шкіра є природним захистом організму від ураження електричним струмом. Однак опір зовнішнього рогового шару залежить від багатьох причин і часто падає значно, нижчезазначених величин. Особливо сильно позначається на ізолюючих властивості шкіри вологість.

Для одного з найбільш поширених при ураженнях шляхів струму долоню - ступня в результаті численних вимірів на трупах і на добровольцях встановлено, що величина опору внутрішніх тканин незначно відрізняється від 1000Ом. Ця величина і прийнята в більшості випадків для розрахунків.

1.2. Захист частин що знаходяться під напругою від дотику

1.2.1 Основні вимоги до електробезпеки апаратури

1.2.1.1 Недоступність частин що знаходяться під напругою для дотику

Основною вимогою, що пред'являються до електробезпеки апаратури, є недоступність для дотику частин що знаходяться під напругою. Ця вимога універсально, воно пред'являється до всіх видів електричних пристроїв і має виконуватися практично незалежно від величини напруги, під яким знаходиться будь-яка частина апарату.

Для електронних вимірювальних приладів (ГОСТ 9763-67) від дотику повинні бути захищені частини, що знаходяться під напругою вище 36В. Для електромедичної апаратури, згідно з галузевою нормалі на електробезпека, а

також стандарту НДР (TGL 200-1703), гранична величина напруги складає 24В.

Основний спосіб захисту від дотику - застосування корпусів, кришок, щитків та інших конструктивних елементів, що виключають доступ до струмоведучих частин.

1.2.1.2 Ізоляція

Ізоляція, яка відокремлює знаходяться під напругою частини один від одного і від огороджувальних металевих частин, називається основною, або робочої.

До робочої ізоляції пред'являються досить високі вимоги. Її опір після випробувань, на вологостійкість не повинно бути менше 2 МОм.

Найбільш поширеним прикладом повного захисту за допомогою робочої ізоляції є ізольовані проводи, шнури.

1.2.1.3 Випробувальний шарнірний щуп

У медичних апаратах повний захист від дотику, як правило, забезпечити не вдається, тому застосовується захист від випадкового дотику. Такий захист забезпечує корпус з кришками або стінками, які можуть бути зняті тільки за допомогою інструменту, наприклад, гайкового ключа, викрутки.

Спираючись на прилад, при проведенні процедури або пересуваючи його з місця на місце, лікар або медична сестра можуть випадково вставити пальці руки в отвори корпусу апарату. Не виключена така ймовірність і для пацієнта. При такому ненавмисно дії повинна бути забезпечена електробезпека, тобто виключено дотик струмоведучих частин. Перевірка виконання цієї вимоги за допомогою спеціального випробувального шарнірного пальця.

Контроль торкання пальця з частинами, що перебувають під напругою, проводиться за допомогою лампи розжарювання, що живиться від джерела постійного або змінного струму напругою не нижче 40В.

Після того, як з апарату зняті без допомоги інструменту все кришки, щитки, змінні частини, випробувальний щуп вводять в усі отвори в корпусі апарату, в усі зовнішні гнізда. Щуп, який при цьому згинається в різних напрямках, не повинен торкатися відкритих знаходяться під напругою частин, що не мають ізоляції, а також покритих тільки лаком, фарбою, оксидною плівкою і т.п.

При випробуваннях апарат встановлюють у всіх можливих положеннях. Виняток роблять для підлогових апаратів масою понад 40кг, що не перевертаються, а також для настінного і стельового апаратури, яку відчувають, закріпивши на стіні або стелі.

1.2.2 Особливість електромедичної апаратури

Особливістю електромедичної апаратури є наявність у окремих її видів, так званої робочої частини - електродів, випромінювачів, сенсорів і т.п. За

допомогою робочої частини низькочастотних елекролікувальні апаратів здійснюється вплив на пацієнта постійним або низькочастотним струмами. При цьому робоча частина - електроди знаходяться в безпосередньому контакті з тілом пацієнта і природно не можуть бути захищені від дотику, в той же час напруга на них може перевищувати 24В. Безпека пацієнта і медичного персоналу забезпечується в цьому випадку суворим виконанням всіх правил проведення процедури, детально вказаних в інструкції з експлуатації апарату.

При конструюванні робочої частини слід прагнути, щоб крім необхідних для проведення процедури неізольованих електродів, не було інших незахищених знаходяться під напругою частин. Це відноситься, перш за все, до вихідних гнізд апарату і до штепсельних роз'ємів в проводах, що з'єднують електроди з апаратом.

Частина роз'єму, розташована ближче до апарата, тобто до джерела напруги, повинна бути виконана у вигляді гнізд, а частина, що відноситься до електродів, - у вигляді штифтів.

Значну небезпеку можуть представляти знаходяться в апараті заряджені конденсатори. Після відключення апарату від мережі конденсатори. Після відключення апарату від мережі конденсатори зазвичай швидко розряджаються через елементи схеми, що мають активну провідність, - резистори, обмотки трансформатора та ін. В ряді випадків, однак, таких елементів може і не бути і розряд відбувається тільки через ізоляцію самого конденсатора і з'єднаних з ним проводів і деталей. При цьому розряд може тривати досить довго. Так, наприклад, паперовий конденсатор фільтра високовольтного випрямляча ємністю 1 мкФ після відключення від випрямляча навантаження і виключення апарату буде розряджатися через опір витоку конденсатора, що становить не менше 500МОм. Постійна часу розряду при цьому буде дорівнює 500С. Таким чином, якщо напруга на конденсаторі в робочому режимі становило 1 кВ, то через 500С воно зменшиться тільки до 370в і дотик до висновків конденсатора ще дуже небезпечно. Тільки через 31 хв. напруга на конденсаторі впаде до 24В.

У випадках подібних до наведеного, необхідно шунтувати конденсатор резистором, що забезпечує достатню швидкість розряду.

Для перевірки правильності вибору шунтируючого ланцюга повинно проводитися вимір залишкової напруги на конденсаторах. З цією метою, що знаходиться в робочому режимі апарат відключають від мережі і безпосередньо після цього знімають кришки, стінки і інші частини, що захищають від дотику заряджені конденсатори. Напруга на них, виміряний вольтметром з досить великим вхідним опором не повинно перевищувати 24В.

При цих випробуваннях необхідно виконати наступні умови: дверцята, щитки та інші частини, що знімаються без інструменту, слід попередньо зняти або відкрити; вольтметр, якщо його підключення вимагає значного

часу, підключають заздалегідь; інструмент для зняття кришок, стінок повинен бути стандартним, які зазвичай застосовуються для цієї мети.

В апаратах з частинами, що перебувають під напругою понад 1000В, роблять дві попереджувальні написи: одну на корпусі (зазвичай на задній стінці) - «перед зняттям корпусу від'єднайте апарат від мережі», іншу всередині апарату близько знаходяться під високою напругою частин - знак високої напруги.

Одним з відповідальних вузлів електромедичної апаратури є тримач запобіжника, що виконує іноді і функції перемикача напруги живлення.

Щоб виключити можливість випадкового дотику до зазначених частинах, іноді закривають держатель пригвинченої до корпусу апарата кришкою. Застосування інструменту для зміни мережевого запобіжника ускладнює експлуатацію апаратури, особливо переносний.

Для переносних апаратів зі знімним мережевим шнуром виправдала себе конструкція блокувальною шторки, що закриває доступ до держателю запобіжника. Шторку можна зрушити тільки після від'єднання розетки мережевого шнура від приладової вилки на апараті. Після цього природно небезпеки при зміні запобіжника не виникає.

1.3. Струм витоку

1.3.1 ЕРС джерела

Практично неможливо виконати ізоляцію таким чином, щоб вона представляла нескінченно великий опір для змінного струму. Тому при дотику до доступним частинах апаратури через тіло людини пройде невеликий струм, званий струмом витоку.

Величина струму витоку визначається електрорушійної силою (ЕРС) джерела (напруга мережі), його внутрішнім опору опором (повний опір ізоляції мережевий ланцюга), а також опором навантаження Rч (тіло людини). Активна складова струму витоку залежить в основному від опору ізоляції Rут постійному струму, реактивна складова - від величини ємності Сут між струмоведучими частинами і корпусом.

Джерело струму витоку має великий внутрішній опір (одиниці і десятки мегаом), тобто є генератором струму. Навантаження, зазвичай наявні в ланцюзі струму витоку, мало впливають на його величину, оскільки опір тіла людини (одиниці кілоом) багато менше внутрішнього опору джерела. У той же час напруга між корпусом апарату і землею в більшій мірі залежить від величини навантаження. Покажемо це на наступному прикладі. Незаземлений корпус апарату надійно ізольований від мережевої ланцюга і дотик до нього абсолютно безпечний. Однак якщо між корпусом і землею включити вольтметр з досить високоомним входом, то його свідчення будуть значно перевищувати допустиму величину (24В). Так, прийнявши опір витоку між мережевий ланцюгом апарату і корпусом рівним 30МОм, а вхідний опір лампового вольтметра 10МОм.

Це удаване протиріччя пояснюється сумірністю внутрішнього опору джерела і вхідного опору вольтметра, в результаті чого вимірюється

величина, близько до ЕКС джерела, тобто мережевої напруги. Якщо в наведеному вище випадку корпус апарату з'єднати з землею через резистор опором 1000Ом, то напруга на ньому складе 7,3мВ. Це означає, що струм витоку апарату на корпусі дорівнює 7,3мкА, тобто значно менше допустимої величини. Звідси ясно, що небезпека повинна оцінюватися виміром на холостому ходу, а під реальним навантаженням. Як усередненої величини еквівалентного опору тіла людини, через який замикається ланцюг струму витоку, приймається, як уже вказувалося, 1000Ом.

1.3.2 Струм витоку на пацієнта

Струм витоку на пацієнта має місце, якщо ланцюг пацієнта ізольована від корпусу. Величина струму витоку визначається опором ізоляції і ємністю між мережевий ланцюгом і ланцюгом пацієнта. Якщо ланцюг пацієнта з'єднана з корпусом, то виділити струм витоку на пацієнта із загальної величини струму не представляється можливим.

Величина струму витоку в значній мірі визначає рівень безпеки при експлуатації апаратури, тому його нормування і вимір є одним з основних умов, що забезпечують електробезпеку пацієнта і медичного персоналу. При встановленні допустимих величин струму витоку, а також стандартних методів його вимірювання доводиться враховувати багато різних факторів і обставин. Перш за все, має гарантуватися основний принцип забезпечення електробезпеки. Цей принцип полягає в тому, що при відмові одного з засобів захисту від ураження електричним струмом або при якій-небудь іншій першої несправності в апараті не повинна виникати безпосередня небезпека для людини.

1.3.3 Допустимі величини струму витоку на корпус

Допустимі величини струму витоку на корпус і, особливо на пацієнта повинні залежати і від умов застосування апарату, ступеня його зв'язку з пацієнтом. У апаратів, не призначених, для контакту з пацієнтом вони можуть бути більше, ніж у апаратів, безпосередньо з'єднаних з тілом пацієнта. Для того щоб врахувати цю різницю, в проект Рекомендація МЕК запроваджено поділ електромедичної апаратури на три типи: H, B, C. До типу H відноситься апаратура, яка не має робочої частини і під час експлуатації не приходить в зіткнення з хворим. Апаратура типу B має робочу частину і контактує (навмисно або випадково) з тілом пацієнта. Апаратура, що відноситься до типу C, застосовується при внутрішньосерцевих втручаннях, тобто її робоча частина може з'єднуватися безпосередньо з серця пацієнта.

Які допустимі величини струму витоку на корпус? Відповідно до проекту Рекомендації МЕК для апаратів типу H і B при одиничному порушення струм витоку не повинен перевищувати 0,5мА. Для апаратів без захисного заземлення (клас II) в нормальних умовах найбільша величина струму витоку становить 0,25мА для типу H і 0,1мА для типу B.

З огляду на особливу небезпеку струму витоку апаратів типу С, його величина при одиничному порушення не повинна перевищувати 0,1мА. У нормальних умовах (клас II) гранична величина дорівнює 0,01мА.

У стаціонарних апаратів з постійним підключенням до мережі живлення провід захисного заземлення захищений від механічних впливів і має тому, як уже вказувалося, підвищену надійність. У зв'язку з цим для стаціонарних апаратів типу Н, тобто які не мають робочої частини може бути допущений струм витоку на корпус 5мА.

Вимірювання струму витоку на пацієнта можливо і при наявності захисного проводу, тому допустима величина цього струму в нормальних умовах для апаратів всіх класів, а також апаратів з автономним живленням складає 0,1мА для типу В і 0,01мА для типу С. При одиничному порушення (обрив заземлюючого проводу, однополюсне відключення мережі) допустима величина струму витоку на пацієнта збільшується для апаратів типу В до 0,5мА і для апаратів типу С - до 0,05мА.

Якщо частота струму перевищує 50Гц, то гранична величина струму витоку повинна бути змінена відповідно до залежності фізіологічної дії струму від частоти. При частоті більше 1 кГц гранична величина збільшується в стільки разів, скільки кілогерц становить частота чинного струму. При цьому максимальна величина струму не повинна перевищувати 500мА.

Дія на людину струму, що має форму, відмінну від синусоїдальної, вивчена недостатньо. Однак з певним наближенням прийнято в якості вихідного параметра приймати амплітуду струму. При цьому за допустиму береться величина, в 1,5 рази перевищує ефективне значення, прийняте для синусоїдального струму.

1.3.4 Вимірювання струму витоку

Вимірювання струму витоку - одне з найбільш складних випробувань електробезпеки електромедичної апаратури.

Внаслідок несиметричного розташування щодо сердечника початку і кінця мережевий обмотки силового трансформатора, а також різної довжини і розташування в апараті мережевих дротів еквівалентні ємності між цими проводами і корпусом можуть істотно відрізнятися. Тому вимірювання проводяться при підключенні приладу по черзі до кожного з мережевих дротів і за величину струму витоку приймають найбільшу виміряну величину.

Якщо вимірювальний прилад підключений до фазного проводу, то вимірюваний струм:

$$I = I_{ут} + I_{с},$$

причому струм Іут через повне опір витоку Zут і струм через ємність Іс можуть мати величину одного порядку. Похибка вимірювань в цьому випадку велика.

Якщо ж вимірювальний прилад підключений до проводу мережі, що знаходиться під потенціалом землі, то вимірюваний струм:

$$I = Iут - Iс.$$

При цьому похибка вимірювань зникаюче мала, так як струм через ємність корпусу щодо землі Іо значно менше, ніж Іут, оскільки потенціал корпусу, сполученого з землею через малий опір приладу, близький до нуля.

Таким чином, щоб виключити похибку вимірювань, необхідно, щоб вимірювальний прилад завжди був під нульовим потенціалом. Для виявлення можливої різниці між ємностями витоку з кожного з проводів мережевий ланцюга вимірювання повинні проводитися при зміні полярності мережевих дротів апарату щодо полюсів мережевий ланцюга.

Безпека вимірює струм витоку найбільш простим способом може бути забезпечена за допомогою розділового трансформатора із заземленою вторинною обмоткою.

Щоб автоматично компенсувати при вимірах різницю в нормах на складові різних частот, паралельно вимірювального приладу повинен бути підключений конденсатор ємністю 0,15мкФ. Внутрішній опір приладу має становити 1000Ом + 1%. Забезпечити з такою точністю цю величину важко навіть за умови застосування додаткового резистора, тому рекомендується застосовувати мілівольтметр з вхідним опором не менше 100кОм, шунтуватися резистором 1000Ом + 1%

Таким чином, повна схема вимірювання струму витоку на корпус, в основному, відповідає проекту Рекомендацій МЕК.

1.4. Шляхи струму витоку і повітряні проміжки

Практика показує, що забруднення поверхні ізоляції, покриття її пилом, брудом, вологою, що володіють хорошою провідністю, є найбільш частою причиною пробоїв або неприпустимого збільшення струму витоку і повітряних зазорів визначаються в основному прикладеним напругою, матеріалом ізоляції і захистом від забруднення.

Розрахункові величини повітряних зазорів і особливо шляхів струму витоку можуть значно відрізнятися від їх геометричних розмірів. Початкове міркування при цьому полягає в тому, що ділянки, схильні до забруднення (вузькі щілини, канавки, кути близько виступів і т.п.), виключаються з розгляду. Таким чином, забезпечується необхідна гарантія того, що в результаті скупчення пилу, бруду шляху струму витоку не стануть в процесі тривалої експлуатації менше допустимих величин. З цих же причин при підсумовуванні окремих ділянок шляхів струму витоку або повітряних зазорів, розділених не перебувають під напругою металевими частинами, ділянки менше 1 мм до уваги не беруться.

1.5. Виникнення напруги дотику при пробої на незахищений корпус

В процесі експлуатації під впливом процесів старіння, механічних, теплових та інших впливів ізоляційні якості матеріалів, що застосовуються для виконання робочої ізоляції, погіршуються. Неправильна експлуатація апаратури, проникнення в апарат вологи, бруду, дія масла, кисню, озону прискорюють знос ізоляції.

У разі виник замикання між мережевий ланцюгом і корпусом апарату говорять про «пробої на корпусі. При пробої на незахищений корпус на ньому виникає напруга щодо землі, величина якого в мережах з заземленою нейтраллю дорівнює фазному. Людина, що стосується такого корпусу, виявляється включеним в ланцюг замикання. Падіння напруги на опорі тіла людини Uнп, зване напругою дотику, залежить від багатьох причин, головним чином від ізоляції людини від землі з'єднаних з нею предметів. Так, якщо людина стоїть на підлозі з хорошими ізолюючими властивостями або має сухе взуття з гумовою підошвою, то напруга дотику складе тільки малу частину від напруги на корпусі щодо землі. При розрахунку напруги дотику основне значення має опір статі Rп. Опір взуття,

Опір статі як частини електричного кола визначається опором розтікання струму зі ступень людини. Опір розтікання струму залежить від питомої опору статі і площі контакту, рівного площі двох ступень (близько 500кв. См). Розрахункова величина опору статі в колі замикання може бути приблизно оцінена як 1,5 рази, Ом, де р - питомий опір верхнього шару підлоги, Ом м. Як показують вимірювання, величина опору підлог коливається в досить широких межах. При цьому велике значення має стан поверхні підлоги, головним чином його зволоження.

Залежно від способу додаткового захисту від ураження струмом мережі живлення апаратура ділиться на 4 класи: класи OI і I - захисне заземлення (занулення); клас II - захисна ізоляція; клас III - живлення від джерела низької напруги.

Використання в медичних установах апаратури класу О, тобто не має додаткового захисту від ураження електричним струмом, заборонено.

1.6. Апарати класів OI-I

1.6.1 Захисне заземлення

Захисне заземлення - найстаріша міра захисту від напруг, що виникають на доступних металевих частинах апаратури в разі з'єднання з ними мережевий ланцюга. Таке з'єднання може виникнути в результаті порушення робочої ізоляції (пробою на корпус), при будь-яких поломки деталей, обриви проводів і інших аварійних обставинах.

Ідея захисного заземлення надзвичайно проста. В результаті з'єднання з мережевим проводом доступні частини виявляються під напругою щодо землі, з якої джерело напруги з'єднаний безпосередньо або через опір ізоляції і розподілену ємність мережевих дротів. Щоб зменшити напругу, під дією якого може опинитися людина, торкнувшись таких доступних металевих

частин (корпус апарату), вони з'єднуються за допомогою спеціального низькоомного заземлювального пристрою з землею.

Недолік захисного заземлення полягає в тому, що при замиканні на заземлений корпус однієї з фаз в мережі з ізольованою нейтраллю спрацьовування запобіжників або автоматичних вимикачів, як правило, не відбувається. Якщо своєчасно не виявити дефект ізоляції і не усунути його, то небезпека ураження може різко зрости при подвійному пробої, тобто при пробої іншої фази на корпус другого апарату. У цьому випадку між корпусами апаратів буде діяти лінійна напруга мережі.

1.6.2 Захисне занулення

При захисному зануленні корпусу захищаються апаратів з'єднують зануляють провідниками з нульовим проводом мережі. При пробої на захищений корпус в мережі виникає однофазне коротке замикання, струм якого перевищує робочий струм запобіжних пристроїв, що і забезпечує їх швидке спрацьовування.

Захисне занулення, не дивлячись на ряд недоліків, пов'язаних, зокрема, з можливістю обриву нульового проводу, досить надійний спосіб захисту. У медичних установах і в житлових будинках захисне занулення застосовується в переважній більшості випадків.

Один з істотних недоліків загальноприйнятого способу захисного занулення пов'язаний з протіканням по нульовому проводу робочого струму підключених до нього навантажень. Падіння напруги на опорі нульового проводу за рахунок зазначених струмів може перевищувати 10В. Така напруга в багатьох випадках може бути небезпечним для хворого. У зв'язку з цим стандартами ряду країн передбачено застосування п'ятого, захисного, дроти, з'єднаного з нейтраллю трансформатора або з нульовим проводом біля входу в будівлю. За допомогою захисних провідників доступні металеві частини апаратів з'єднуються з цим проводом.

Через захисний провід протікають тільки струми витоку апаратури, що не створюють помітного падіння напруги на його опорі, а падіння напруги на нульовому проводі не позначається на потенціалі захищаються частин. Застосування окремого захисного проводу дозволяє також виключити небезпеку появи напружень на доступних частинах при обриві нульового проводу. Міжнародна електротехнічна комісія в проекті Рекомендації передбачає п'яти дротову систему у всіх приміщеннях медичного закладу.

1.6.3 Відмінність апаратів класів ОІ і І

Апарати, захист від напруг дотику, на доступних металевих частинах яких здійснюється за допомогою захисного заземлення або занулення, відносяться до класу ОІ і І. Різниця між цими двома класами захисту полягає в способі приєднання апаратів, що мають штепсельне з мережею живлення, до системи захисного заземлення або занулення.

Заземлення (занулення) доступних для дотику металевих частин апаратів класу ОІ виробляється незалежно від підключення мережі живлення.

Клема для підключення захисного дроту, що йде від апарату, не пов'язана з мережевої розеткою, і захисний провід повинен бути приєднаний до неї до включення вилки мережевого шнура в розетку.

У апаратів класу I заземлення (занулення) доступних металевих частин здійснюється автоматично при включенні вилки мережевого шнура в розетку.

1.6.4 Недоліки апаратів класу OI і I

На відміну від апаратів класу I безпеку при використанні апаратів класу OI залежить від навченості, уважності, нарешті, сумлінності медичного персоналу. До включення апарату в мережу заземлення повинен бути підключений, однак якщо це з яких-небудь причин не буде зроблено, то ніщо не завадить включити апарат в мережу і провести лікувальну, або діагностичну процедуру. Таким чином, апарат класу OI через недбалість медичного персоналу або через відсутність умов для його заземлення або занулення може виявитися без додаткового захисту і при першому порушенні ізоляції - пробої на корпус - стати причиною ураження електричним струмом.

Зазначений недолік апаратів класу OI настільки серйозний, що в стандартах багатьох промислово розвинених країн їх застосування в медичних установах заборонено.

Всі апарати з постійним приєднанням до мережі відносяться до класу I, оскільки приєднання провадиться один раз при їх монтажі спеціально навченим технічним персоналом. Захисний провід може бути введений в такий апарат разом з фазними проводами, в цьому випадку він приєднується до внутрішнього затиску, що розташовується близько приєднувальних мережевих клем.

У апаратів класу I, що підключаються до мережі за допомогою штепсельних з'єднань, захисний провід проходить в спільній оболонці з струмоведучими проводами в гнучкому мережевому шнурі або кабелі і приєднується до внутрішнього затиску. Штекер має захисний контакт, з'єднаний з проводом. Відповідно захисний контакт розетки живлення з'єднаний з нульовим проводом або шиною захисного заземлення. Якщо шнур живлення або кабель знімний, то приладова вилка також має захисний контакт, з'єднаний з внутрішнім затискачем. Мережевий шнур в цьому випадку закінчується кабельною розеткою з захисним контактом.

Відповідно до міжнародних правил, а також ГОСТ 7399-71 на кабелі живлення, колір ізоляції заземлюючого проводу, що проходить в спільній оболонці з струмоведучими проводами, повинен бути жовто-зеленим (чергуються смуги жовтого і зеленого кольору).

Недоліки апаратів класу OI або I пов'язані в основному з труднощами встановити зв'язок між доступних для дотику частин з контуром заземлення або нульовим проводом. Особливо гостро стоїть ця проблема при використанні апарату поза медичною установою, наприклад на дому у хворого. Відсутність в житлових будинках розеток з заземлюючими

контактами ставить перед медичним персоналом складну задачу заземлення апарату. У цих умовах переваги апаратів класу II або III незаперечні.

Вельми частою причиною ураження струмом при використанні апаратів класу I є неправильний монтаж мережної вилки або розетки, а також їх механічні пошкодження. З'єднання в розетці заземлюючого проводу з струмоведучих надзвичайно небезпечно, так як корпус апарату виявляється при цьому під фазною напругою. До появи фазної напруги на корпусі апарату призводять також обрив заземлюючого проводу в мережевому шнурі і дотик його з струмоведучими проводами. У цьому випадку небезпека ураження струмом ще більше, так як апарат функціонує нормально і порушення відразу не виявляється.

Пошкоджено кабель живлення, вилки і розетки - найбільш часто зустрічаються види несправності.

1.7. Апарати класу II

1.7.1 Захисна ізоляція

Захисна ізоляція є одним з найбільш надійних і перспективних методів захисту від напруги дотику. Сутність цього методу полягає в тому, що додатково до робочої ізоляції в апараті застосовується в тій чи іншій формі захисна ізоляція, що виключає можливість появи напруг дотику на доступних металевих частинах. Захисна ізоляція є додатковою до робочої ізоляції і в разі її порушення захищає доступні для дотику, нормально не перебувають під напругою частини від виникнення на них напруги дотику. Захисна ізоляція повністю виключає можливість появи напруги дотику.

1.7.2 Перевага апаратів класів II

Апарати, які мають захисну ізоляцію, найбільш зручні і прості в експлуатації. З медичного та технічного персоналу знімається відповідальність і будь-яка турбота про захисному заземленні апарату. Штекер апарату класу II може бути вставлена в будь-яку за конструкцією мережеву розетку і апарат готовий до роботи.

Найбільш надійною формою виконання захисної ізоляції є ізолююча оболонка. Така оболонка захищає як від дотику до знаходяться під напруженням частинам, так і від дотику до всіх металевих частин, які можуть опинитися під напругою при порушенні робочої ізоляції. Зазвичай оболонка виконується у вигляді закритого корпусу з ізоляційного матеріалу, всередині якого металевому шасі монтується електрична частина апарату.

Основною умовою правильного функціонування захисної ізоляції у вигляді ізолюючої оболонки є її безперервність. Під безперервністю оболонки слід розуміти, по-перше, неможливість випадкового дотику через отвори в оболонці до металевих як струмоведучих, так і неструмоведучих частин, а по-друге, надійну ізоляцію ручок, кнопок і інших органів управління, що мають проходять через оболонку осі.

1.7.3 Проміжна ізоляція

Іншою формою виконання захисної ізоляції є проміжна ізоляція. Вона відокремлює всі доступні для дотику металеві частини від частин, які можуть опинитися під напругою при порушенні робочої ізоляції.

Завжди слід пам'ятати, що апарат класу II з металевим корпусом не має інших засобів додаткового захисту, крім проміжної ізоляції. Випадковий дотик відірвалася від паяного з'єднання кінця мережевого проводу до якої-небудь деталі, з'єднаної з корпусом, або до самого корпусу призведе до появи на ньому небезпечного для життя напруги дотику.

Електричний опір додаткової ізоляції після випробування на вологостійкість має бути не менше 5мОм.

У багатьох випадках, однак, неможливо так розташувати робочу і захисну ізоляцію, щоб між ними знаходилася якась металева частина або щоб цю металеву частину при проведенні випробувань можна було помістити між робочою і захисної ізоляціями. Сукупність робочого і захисного ізоляцій, не відділених одне від одного, утворює так звану посилену ізоляцію.

1.7.4 Посилена ізоляція

Посилена ізоляція може бути монолітною, тобто виготовляється за один технологічний цикл, наприклад пластмасовий тримач запобіжника. Таку ізоляцію, навіть зруйнувавши, не можна розділити на її складові.

Посилена ізоляція, може складатися з робочої сили та додаткової ізоляцій, що не розділених металевою частиною. Таку конструкцію посиленої ізоляції може мати, наприклад, ізоляція мережевого шнура. Кожна з жив шнура має власну робочу ізоляцію. Загальна оболонка, щільно прилегла до ізоляції жив, є додатковою ізоляцією.

Електричний опір посиленої ізоляції також має дорівнювати сумі опорів робочої і захисної ізоляції, тобто має становити не менше 7МОм.

Однією з областей, де застосування апаратів класу II дає істотні переваги в порівнянні з апаратами, що використовують захисний провід, є комплексне спостереження за хворим в операційній або палаті інтенсивного догляду.

Відсутність додаткових коштів (захисного проводу), що зменшують величину струму витоку в нормальних умовах, обмежує можливість застосування апаратів класу II при проведенні досліджень і терапевтичних (хірургічних) процедур, пов'язаних з безпосереднім контактом з серцем (катетеризація, електрокардіостимуляція серця). Це пояснюється небезпекою використання в цих випадках апаратури зі струмом витоку більш 10мкА.

1.8. Апарати класу III

1.8.1 Живлення від джерела низької

Використання для живленняапаратури низької напруги (не більше 24В постійного або змінного струму) - одне з найбільш ефективних засобів захисту від напруги дотику на доступних металевих частинах. Хоча напруга 24В при обтяжуючих обставинах і може становити небезпеку для організму,

як правило, якщо виключити можливість мікро шоку, його можна умовно вважати «безпечним». Якщо в апараті, який харчується напругою 24В і не має інших ланцюгів з напругою, що перевищує 24В, відбулося, порушення робочої ізоляції і провід живлення виявився з'єднаним з доступними для дотику частинами, то серйозної небезпеки не виникає. Крім величини напруги, велике значення має і те,

Сенс поняття «низька напруга» з точки зору електробезпеки не обмежується величиною напруги між живлять проводами. Якщо, наприклад, за допомогою автотрансформатора, підключеного до мережі, отримати 24В, то це не буде низькою напругою, що забезпечує електробезпека.

Якщо низька напруга виходить шляхом перетворення мережевої напруги, то це повинно здійснюватися за допомогою понижувального трансформатора з розділеними обмотками. Електрична міцність випробовується напругою 4кВ, а опір ізоляції має становити не менше 7МОм. Найбільш надійна конструкція трансформатора з просторовим розділенням обмоток, тобто розміщення їх на двох каркасах або на загальному каркасі з перегородкою. Каркас з перегородкою повинен бути литим або пресованим.

Рознесення первинної і вторинної обмоток викликає збільшення потоків розсіювання і як наслідок велику різницю між напругою вторинної обмотки на холостому ходу і під навантаженням. Якщо ця різниця перевищує допустиму величину, то доводиться застосовувати звичайне розташування обмоток (одна над іншою) на загальному каркасі. Трансформатор повинен бути підданий вакуумній просочення.

Серйозною проблемою при конструюванні понижуючого розділового трансформатора є забезпечення мінімально необхідних шляхів струму витоку і повітряних зазорів. Між первинною та вторинною обмотками шлях струму витоку повинен становити не менше 8 мм.

Втрати корисного об'єму котушки можуть бути значно зменшені, якщо її просочують під вакуумом епоксидним компаундом. В цьому випадку, компаунд заповнює всі повітряні проміжки, міцно скріплюється з проводом і ізоляцією, виключаючи тим самим шляху витоку і повітряні зазори.

1.8.2 Трансформатор для живлення апаратів класу III

Ретельно слід захищати трансформатор від перевантажень, які можуть привести до поступового погіршення його ізоляції. Найбільш надійні трансформатори, у яких перетин проводів і потоки розсіювання обрані так, що при замиканні його вихідних клем струм в обмотках і відповідно температура їх перегріву не перевищують допустимих величин. Для такої аварійної ситуації допустимі величини перегріву зазвичай збільшуються в порівнянні з нормою в 1,7 рази.

Трансформатор для живлення апаратів класу III являє собою самостійний виріб і як таке має відповідати всім вимогам електробезпеки, зокрема, повинен бути виконаний за класами OI, I або II.

Як правило, ці трансформатори мають малу потужність і виконуються у вигляді переносних конструкцій. Тому найбільш доцільно виконувати їх по класу II в корпусі з ізоляційного матеріалу.

Живленняапарату класу III може проводитися не тільки від розділового понижуючого трансформатора, а й іншим способом, наприклад, від зовнішніх акумуляторів або гальванічних елементів. Можливо також використання мотор - генератора або умформера з розділеними обмотками. У всіх випадках вторинна електричний ланцюг повинна бути надійно ізольована від ланцюгів з напругою понад 24В подвійною або посиленою ізоляцією.

1.8.3 Переваги апаратів класу III перед апаратами інших класів

Апарати класу III мають деякі переваги перед апаратами інших класів. Вони не вимагають захисного заземлення, що представляє зручності при експлуатації поза медичною установою.

Електрична міцність ізоляції між усіма ланцюгами повинна витримувати випробування напругою 500В, що значно спрощує конструкцію апаратів.

Екран між обмотками розділового понижуючого трансформатора зменшує вплив високочастотних перешкод, а також дія високочастотних складових напруги мережі, що істотно для вимірювальної діагностичної, а також низькочастотної лікувальної апаратури.

Контрольні питання:

1. Дія електричного струму на організм людини. Поріг відчутного струму. Допустима величина струму витоку. Дія струму, що перевищує порогову величину. Загальна електричний опір тіла.
2. Захист від дотику до знаходяться під напругою частинам. Основні вимоги, що пред'являються до електробезпеки апаратури. Ізоляція.
3. Струм витоку. ЕРС джерела. Вимірювання струму витоку .
4. Шляхи струму витоку і повітряні зазори.
5. Виникнення напруги дотику при пробої на незахищений корпус.
6. Захисне заземлення. Захисне занулення.
7. Захисна ізоляція. Проміжна ізоляція. Посилена ізоляція
8. Живлення від джерела низької напруги. Трансформатор для живлення апаратів.

Практична 2. Різновиди і особливості фізичнихвеличин.

2.1. Фізична величина і її числове значення

Фізичними величинами називають властивості (характеристики) матеріальних об'єктів і процесів (предметів, станів), які можна прямо або побічно виміряти. Закони, що зв'язують між собою ці величини, мають вигляд математичних рівнянь.

Кожна фізична величина G являє собою відношення чисельного значення на одиницю виміру:

Фізична величина = Чисельне значення × Одиниця виміру.

Число, яке при цьому, виходить, називають чисельним значенням фізичної величини.

Таким чином, вираз:

$$t = 5\ c \qquad (2.1.)$$

означає, що виміряний час складає п'ятикратне повторення секунди.

Однак для характеристики фізичної величини тільки одного чисельного значення недостатньо. Тому ніколи не можна опускати відповідну одиницю виміру.

Всі фізичні величини діляться на основні і похідні величини.

Як основні величин використовуються: довжина, час, масса, температура, сила струму, кількість речовини, сила світла.

Похідні величини отримують за допомогою основних величин або використовуючи вирази для законів природи, або шляхом доцільного визначення через множення або ділення основних величин. наприклад,

$$\text{Швидкість} = \text{Шлях} / \text{Час};\ v=S/t \qquad (2.2)$$

$$\text{Заряд} = \text{Сила струму} \times \text{час};\ q= I \cdot t. \qquad (2.3)$$

Для уявлення фізичних величин, особливо в формулах, таблицях або на графіках, використовуються спеціальні символи - позначення величин.

Прийнято набирати позначення фізичних величин курсивом. Курсивом позначаються і індекси, якщо вони являють собою позначення, т. Е. Символи фізичних величин, а не скорочення.

Квадратні дужки [], що містять позначення величини, наприклад, вираз [U] = В читається так: «Одиниця виміру напруги є вольт».

Неправильно укладати в квадратні дужки одиницю вимірювання (наприклад, [В]).

Фігурні дужки {}, що містять позначення величини, наприклад вираз {U} = 220 читається так: «чисельне значення напруги дорівнює 220».

Так як кожне значення величини являє собою відношення чисельного значення на одиницю виміру, для наведеного вище прикладу виходить:

$$U = \{U\} \cdot [U] = 220 \text{ В}. \quad (2.4)$$

Між чисельним значенням і одиницею виміру фізичної величини при написанні необхідно залишати інтервал, наприклад:

$$I = 10\text{А}. \quad (2.5)$$

Винятки становлять позначення одиниць: градусів (^{0}), Хвилин ($'$) І секунд ($''$).

Занадто великі або малі порядки чисельних значень (по відношенню до 10) скорочено виражаються за допомогою введення нових розрядів одиниць, званих так само, як і старі, але з добавленням приставки. Так утворюються нові одиниці, наприклад 1 мм^3 = 1 · 10^{-3}м. Сама фізична величина при цьому не змінюється, тобто при зменшенні одиниці в F раз, її числове значення збільшиться відповідно, в F раз. Така інваріантність фізичної величини має місце не тільки при зміні одиниці десятикратно (в степені n раз), але і при інших змінах цієї одиниці.

В табл. 2.1 наведені офіційно прийняті скорочення на-звань одиниць.

Таблиця 2.1 Приставки до одиниць системи СІ

приставка	**позначення**		**Логарифм ступеня - десяти**	**приставка**	**позначення**		**Логарифм ступеня - десяти**
	латинське	**національне**			**латинське**	**національне**	
Тера	T	Т	12	санти	c	с	-2
Гіга	G	Г	9	мілі	m	м	-3
Мега	M	М	6	мікро	μ	мк	-6
кіло	k	до	3	нано	n	н	-9
гекто	h	г	2	піко	p	п	-12
дека	da	да	1	фемто	f	ф	-15
деци	d	д	-1	атто	a	а	-18

2.2. Розмірність

Розмірністю фізичної величини називається співвідношення, яке показує, як змінюється одиниця вимірювання цієї величини при зміні основних одиниць виміру.

Це символічне (буквене) позначення залежно про-похідних величин від основних величин вимірювання.

Розмірність фізичної величини встановлює її зв'язок з основними величинами. Вона являє собою набір ступенів розмірностей основних величин. Тому формулу розмірності будь-якої фізичної величини можна представити у вигляді:

$$L^{\alpha} \cdot M^{\beta} \cdot T^{\gamma}, \tag{2.6}$$

де показники ступеня α, β, γ це позитивні або негативні раціональні числа, зокрема вони, можуть бути рівними нулю.
Наприклад, якщо якась фізична величина X виражаєтьсячерез довжину L, масу M, час T формулою:

$$X = f(L, M, T), \tag{2.7}$$

при цьому

$$X = L^{\alpha} \cdot M^{\beta} \cdot T^{\gamma}, \tag{2.8}$$

то в такому випадку прийнято говорити, що розмірність (dimension) величини X виражається формулою:

$$\dim X = [X] = [L]^{\alpha} \cdot [M]^{\beta} \cdot [T]^{\gamma} \tag{2.9}$$

З іншого боку всяка величина може бути представлена у вигляді твору її числового значення {X} на одиницю виміру[W] Формулу (2.9) можна записати у вигляді:

$$\{X\}\,[X] = \{L\}^{\alpha} \cdot \{M\}^{\beta} \cdot \{T\}^{\gamma}\,[L]^{\alpha} \cdot \cdot\,[M]^{\beta} \cdot\,[T]^{\gamma}. \tag{2.10}$$

Це рівність розпадається на два: рівність числових значень

$$\{X\} = \{L\}^{\alpha} \cdot \{M\}^{\beta} \cdot \{T\}^{\gamma} \tag{2.11}$$

і рівність одиниць вимірювань

$$[X] = [L]^{\alpha} \cdot [M]^{\beta} \cdot [T]^{\gamma}. \tag{2.12}$$

Зіставляючи формули (2.11) і (2.12) бачимо, що зв'язок величин аналогічна зв'язку одиниць. Так, наприклад, розмірність кінетичної енергії E_k має вигляд:

$$E_k = \dim (mv^2/2) = M \cdot L^2 \cdot T^{-2}. \tag{2.13}$$

Фізична величина і її розмірність - це не одне і те ж. Однакову розмірність можуть мати абсолютно різні за своєю природою фізичні величини, наприклад робота і обертальний момент. Розмірність не містить інформації про те, чи є дана фізична величина скаляром або вектором. Однак розмірність важлива для перевірки правильності співвідношень між фізичними величинами.

З допомогою формул розмірності будуються системи одиниць через виміри фізичних величин. Крім того, вони дозволяють висловити одиниці тільки через основні одиниці виміру. При цьому рівняння, що виражають фізичні закономірності розкладають в ряд, згідно двом умовам:

1. Першими в ряду стоять рівняння, що визначають величини, які виражаються через основні одиниці виміру.
2. Кожне наступне рівняння визначає величину через основні і ті похідні величини, які вже визначені попередніми рівняннями:

ПлощаS = $k \cdot l^2$- [S] = $L^2 \cdot M^0 \cdot T^0 = L^2$;

Об `ємV = $k \cdot l^3$- [V] = $L^3 \cdot M^0 \cdot T^0 = L^3$; Швидкість

v = $k \cdot l / t$ - [v] = $L^1 \cdot M^0 \cdot T^{-1} = L \cdot T^{-1}$;

Прискоренняа = $k \cdot v / t$ - [a] = $L^1 \cdot M^0 \cdot T^{-2} = L \cdot T^2$;

Сила F = $k \cdot m \cdot a$ - [F] = $L^1 \cdot M^1 \cdot T^{-2} = L \cdot M \cdot T^{-2}$;

Густина - [ρ] = $L^1 \cdot M^1 \cdot T^{-1} = L \cdot M \cdot T^{-1}$.

Підставляючи в формулу розмірності значення основних одиниць даної системи, отримаємо розмірності похідних одиниць.

Так як фізичні закони не залежать від вибору одиниць вимірювання, що входять в них фізичних величин, то розмірності обох частин рівнянь цих законів повинні бути однаковими. Це визначення носить назву правила розмірностей.

Правило розмірності використовується для перевірки правильності отриманого результату. При цьому якщо, наприклад, при вирішенні завдань розмірність правої і лівої частин отриманого результату не збігаються, то можна стверджувати, що завдання виконане неправильно. Крім того, правило розмірностей застосовується для встановлення розмірностей фізичних величин. Наприклад, відомо, що в класичній динаміці основним рівнянням руху є вираз виду:

$$F = m \cdot a \text{ або } F = m \cdot a, \qquad (2.14)$$

отже, розмірність сили

$$[F] = H = [m] \cdot [A]. \qquad (2.15)$$

Розмірності $[m] = M^1$; $[A] = L^1 \cdot T^{-2}$, маємо

$$[F] = L \cdot M \cdot T^{-2} = кг \cdot м / с^2 = Н. \qquad (2.16)$$

Іноді це правило використовується для встановлення розмірності коефіцієнтів пропорційності, що мають певний фізичний зміст, що входять в математичне відображення законів. Наприклад, закон всесвітнього тяжіння стверджує: «Сила, з якою дві матеріальні точки притягуються один до одного, пропорційна масам цих точок, обернено пропорційна квадрату відстані між ними і спрямована вздовж прямої зєднуючи ці точки »:

$$F \sim (m_1 m_2)/ r^2. \qquad (2.17)$$

vаємо

$$[F] \neq ([m_1] \cdot [m_2]) / [R]^2. \qquad (2.18)$$

Для заміни знака "~" на знак" = "необхідно ввести розмірний коефіцієнт, який має певний фізичний зміст, розмірність якого визначається з основного закону. У розглянутому випадку таким коефіцієнтом є гравітаційна постійна γ, Розмірність, якій

$$[\gamma] = м^3/ (кг \cdot з^2). \qquad (2.19)$$

2.3. Системи одиниць вимірювання фізичних величин

Система одиниць вимірювання фізичних величин це сукупність основних і похідних одиниць виміру (еталонів).

Еталони фізичних величин повинні задовольнятися вимогам:

1. Легко відтворюватися в будь-якій кількості.
2. Повинні бути зручними при використанні в практичній діяльності.

Еталони поділяються на основні, похідні і додаткові.

Основні еталони це кілька еталонів для деяких величин.

Похідні еталони це еталони всіх інших величин, які отримують, користуючись фізичними законами.

Додаткові зразки вводять в міру необхідності.

Так як вибір еталонів основних величин може бути вільним, то можна побудувати цілий ряд систем одиниць вимірювання фізичних величин, що і було зроблено.

Існує кілька систем одиниць вимірювання фізичних величин, що відрізняються вибором основних одиниць виміру.

Системи одиниць, в основу яких покладені одиниці довжини, маси і часу, називаються абсолютними.

У фізиці застосовується абсолютна система одиниць, яка називається СГС - системою. Основними одиницями в цій системі є сантиметр, грам і секунда.

У техніці широко застосовувалася система МКГСС - звана зазвичай технічної системою одиниць. Основними одиницями цієї системи є метр, одиниця сили - кілограм-сила (кгс) і секунда.

Кілограм-сила визначається як сила, що повідомляє масі в 1 кг прискорення, рівне 9,80655 м / $с^2$. З цього визначення випливає, що 1 кгс = 9,80655 Н.

За одиницю маси в МКГСС приймається маса такого тіла, ко-лось під дією сили в 1 кгс набуває прискорення 1 м / $с^2$.

Прийнятий в 1981 р державний стандарт ГОСТ 8.417-81 (СТ РЕВ 1052-78) вводить як обов'язкову Міжнародну систему одиниць, що позначається символом СІ. Система СІ належить до числа абсолютних систем.

В табл. 2.2 наведені основні і додаткові фізичні величини і їх одиниці вимірювання в системі СІ.

Таблиця 2.2 Величини і одиниці вимірювання в системі СІ

фізична величина	**позначення**	**одиниця вимірювання**	**позначення**
Основні одиниці виміру			
довжина	L	метр	м
маса	M	кілограм	кг
час	T	секунда	з
сила електричного струму	I	ампер	А
температура	T	Кельвін	До
кількість речовин	ν	моль	моль
Сила світла	I_v	Кандела	кд
додаткові одиниці виміру			
плоского кута	φ	Радіан	радий
тілесного кута	θ	стерадіан	стерад

2.3.1. Одиниця довжини

Метр утворено від грецького "metron", тобто. міра. На початку метр визначався через довжину кола земної кулі, потім - через довжину хвилі певного випромінювання: з 1927 р - через довжину хвилі червоної лінії кадмію, а з 1960 р - через випромінювання ізотопу криптону ^{86}Kr в помаранчевій частині видимого спектру. Метр - довжина, рівна 1650763,73 довжини хвилі в вакуумі випромінювання, відповідного переходу між рівнями $2p_{10}$ і $5d_5$ атома криптону-86.

В 1983 р Державним комітетом з мір та ваг прийнято нове визначення метра в зв'язку з тим, що в даний час можна дуже точно виміряти швидкість

світла. Метр дорівнює довжині, яку світло проходить у вакуумі за 1/299792458 частку Секунди.

Це пов'язано з тим, що швидкість світла є однією з фундаментальних констант природи і виміряна з високою точністю з = 29979245 м / с. Еталон довжини відтворюють з відносною помилкою 10^{-9}.

2.3.2. Одиниця маси

Маса займає особливе місце серед основних фізичних величин. Її визначають шляхом порівняння з еталоном, який зберігаєся в міжнародному бюро мір і ваг в Севрі (Франція). Це циліндр (90% Pt + 10% J), діаметром ∅ = 39 мм і висотою h = 39 мм.

До сих пір не вдалося досить точно виразити величину еталона маси через фундаментальні постійні. Неясно, як це можна зробити. Одиницею маси служить кілограм. Він дорівнює масі міжнародного еталона кілограма. В окремих країнах для практичних цілей зберігаються еталони-копії. Вони перевіряються з допомогою ваг з похибкою рівною≈10^{-15} кілограми.

2.3.3. Одиниця часу

Секунда визначається наступним чином: секунда дорівнює 9192631770 періодам випромінювання, відповідного переходу між двома надтонкими рівнями (f = 4 і f = 3) основного стану атома цезію-133 (1967). До 1960 р секунду визначали як інтервал часу, рівний 1/86400 частини сонячних середовищ-них діб. У такому визначенні точність не перевищує 10^{-7}.

Цезієві резонатори випромінювання відтворюють частоту з точністю близько 10^{-10}.

2.3.4. Одиниця сили струму

Визначення еталона сили струму засноване на законі Ампера.
Одиниця сили струму затверджена в 1948 р.

Ампер дорівнює силі постійного електричного струму, який протікаючи по двом прямолінійним паралельним нескінченно довжин-ним провідникам мізерно малого перетину, що знаходяться в вакуумі на відстані 1 м один від одного, викликає на ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії між ними $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Цим же законом визначається чисельне значення іншої фундаментальної постійної фізики магнітної постійної μ_0. так як

$$F = \mu_0 2J_1J_2 / 4\pi b \qquad (2.20)$$

то

$$\mu_0 = F4\pi b / 2J_1J_2 = 4\pi \cdot 10^{-7} Н/А^2. \qquad (2.21)$$

З рівнянь Максвелла випливає, що $c = 1/\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$ швидкість поширення світла у вакуумі, можна з достатнім ступенем точності визначити діелектричну постійну

$\varepsilon_0 = \mu_0/c_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

2.3.5. Одиниця температури

Однією з основних термодинамічних величин є термодинамічна температура. Вона вимірюється в Кельвіна. По-кільки для температури існує значення абсолютного нуля, то для визначення Кельвіна необхідно зафіксувати ще одну точку. Як неї обрано потрійна точка.

Кельвін, одиниця термодинамічної температури, дорівнює 1 / 273,16 частини термодинамічної температури потрійної точки води (1967). Надалі було встановлено рівність $1^oC = 1K$.

Нульова точка шкали Цельсія відрізняється від потрійної точки на 0,01 К, при цьому має місце наступне співвідношення між температурою Кельвіна і Цельсія:

$$t = T - 273{,}15\ ^oC. \qquad (2.22)$$

Практичний вимір температури проводять за допомогою міжнародної практичної температурної шкали (МПТШ-68), яка заснована на цілому ряді добре відтворюваних фіксовану ванних температурних точок.

2.3.6. Одиниця кількості речовини

Кількість речовини було введено в Міжнародну систему одиниць в якості основної величини в 1971 р В результаті виникла можливість описувати кількісні співвідношення в хімії та фізичної хімії за допомогою системи одиниць СІ. Одиниця кількості речовини (моль) визначається наступним чином:

Моль являє кількість речовини в системі, яка містить стільки ж частинок, скільки атомів міститься в 0,012 кілограма ізотопу вуглецю ^{12}C.

В кількості речовини, що дорівнює 1 моль, міститься $6{,}022 \cdot 10^{23}$ структурних елементів, в якості яких можуть виступати атоми, молекули, іони, електрони і інші частинки з точно заданими па-параметра.

2.3.7. Одиниця сили світла

Ця одиниця описує вплив електромагнітного випромінювання на людське око. При цьому використовують фотометричні величини. Основною величиною служить сила світла, яка вимірюється в канделах.

В міжнародній угоді визначена спектральна чутливість ока. Крива такої чутливості дозволяє зв'язати між собою енергетичні фотометричні

величини і світло-технічні величини: потужність випромінювання і світловий потік через фотометричний еквівалент випромінювання. У 1967 р було прийнято ухвалу кандели, засноване на випромінюванні світла вважається чорним тілом при температурі затвердіння платини. Температура затвердіння платини кілька разів уточнювалася, тому доводилося змінювати фотометричний еквівалент виміру. У 1979 р прийняли нове визначення кандели.

Кандела - сила світла джерела, монохроматичне випромінювання якого частотою $540 \cdot 10^{12}$ Гц, що випромінюється в певному направлення в тілесний кут 1 стерадіан, має потужність 1/683 Вт.

Частота $540 \cdot 10^{12}$ Гц відповідає довжині хвилі 555 нм, при якій очі володіють максимальною чутливістю.

2.4. Загальні уявлення про масштаби фізичних величин

Кожна конкретна величина мала або велика лише по відношенню до іншої величини, характерної для даних умов. Довжина хвилі λ світла мала в порівнянні з людиною, тому нею зневажають, вважаючи, що світло поширюється прямолінійно. У порівнянні з окремим атомом λ - велика і вважають, що при взаємодії з атомом амплітуда світлової хвилі однакова у всіх точках атома в будь-який момент.

Температура 2000°С є дуже велика у всіх областях техніки, але в термоядерних дослідженнях плазма з такою температурою вважається низькотемпературної.

Характер фізичних явищ істотно залежить від розміру області простору, в якій відбувалося явище. У таблиці 2.3 приведена шкала масштабів різних величин, досліджуваних з-тимчасової наукою.

Таблиця 2.3. Шкала масштабів різних величин, досліджуваних наукою

	метри	**область**
макросвіт	10^{25}	Розмір видимої частини всесвіту
	10^{24}	Відстань між галактиками
	10^{21}	розміри галактик
	~105	Висота великих гір
	10^{18}	міжзоряні відстані
	10^{15}	Розміри сонячної системи
	10^{12}	Розмір Землі
	1	Розмір (зростання) людини
	10^{-3}	Розмір піщинки
	$_{10}$-6	Межа дозволу мікроскопа

мікросвіт	$_{10}$-10	Розмір атома
	$_{10}$-15	Розміри атомних ядер
	- 18 10	Досліджувана структура елементарних частинок

Однією з основних характеристичних величин є розмір атома 10^{-10}м. Цим розміром все явища поділяються на мікроскопічну і мікроскопічні. Макроявища протікають в областях> 10^{-7} м, а мікроявищем в областях порівнянних з атомним розміром 10^{-10} м і менше.

Зауважимо, що поняття "розмір атома" в геометричному плані не має сенсу, оскільки фізично про лінійних розмірах атома можна судити по взаємодії атомів між собою, яке визначається електромагнітним полем атома, які не мають чітких границь.

Безпосередньо спостережувані тіла є макроскопічними, складаються з великого числа частинок N. Великим є таке число частинок N, для якого виконується умова lnN >> 1.

Особливо важливим є число Авогадро $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}$1 / моль, яке пов'язує мікроскопічний масштаб з макроскопічними, так як моль будь-якої речовини становить тіло звичних для нас розмірів. моль H_2Про це $18 \cdot 10^{-6}$ м^3 води.

Природним масштабом швидкості в природі є поширення світла у вакуумі c = $2{,}998 \cdot 10^8$ м / с.

Постійна Планка також є універсальною константою, якої пов'язано розмежування законів фізики на квантові і класичні ħ = $1{,}05 \cdot 10^{-34}$ м^2/ С.

Контрольні питання:

1. Фізична величина і її числове значення
2. Розмірність
3. Системи одиниць вимірювання фізичних величин. Одиниця довжини. Одиниця маси. Одиниця часу. Одиниця сили струму. Одиниця температури. Одиниця кількості речовини. Одиниця сили світла
4. Загальні уявлення про масштаби фізичних величин.

СЕНСОРИ

Терміни та визначення

сенсор - первинний перетворювач, елемент вимірювального, сигнального, регулюючого або керуючого пристрою системи, що перетворює контрольовану величину (тиск, температуру, частоту, швидкість, переміщення, напруження, електричний струм і т.п.) в сигнал, зручний для вимірювання, передачі, перетворення, зберігання та реєстрації, а також для впливу їм на керовані процеси.

сенсор- це самостійне конструктивно автономне засіб вимірювань, що розміщується в місці відбору інформації, яка виконує функцію первинного перетворювача вимірюваної величини в електричну або електромагнітну величину, що складається з мінімально необхідного числа ланок перетворення вимірюваної величини, що володіє однозначною функцією перетворення і необхідними для даних цілей вимірювань взаємоузгодженими (повинні суперечити одна одній) метрологічними і надійними характеристиками.

сенсор- засіб вимірювань, призначений для вироблення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для передачі, подальшого перетворення, обробки і (або) зберігання, але не піддається безпосередньому сприйняттю спостерігачем (по ГОСТ 16263).

Перетворювач фізичної величини(ПФВ). Пристрій, призначений для сприйняття і перетворення контрольованої фізичної величини в вихідний сигнал.

сенсор- це перетворювач вимірюваної (контрольованої) фізичної величини в величину, зручну для подальшого перетворення або вимірювання.

Для побудови сенсоріввикористовується значна (більше 500) кількість фізичних ефектів (принципів).

Sensus (Лат) - відчуття, почуття, здатність сприймати «роздратування», є, мабуть, одним з найбільш універсальних властивостей систем живої і неживої природи, що виявляється в здатності реагувати на зовнішній вплив.

сенсор, Сенсор (від англ. Sensor).

Класифікація сенсорів

Системи класифікації сенсорівможуть бути дуже різними: від дуже простих до складних. Критерій класифікації завжди вибирається залежно від мети проведення класифікації.

Всі сенсори по виду вихідної величини і необхідності зовнішнього джерела енергії можна розділити на дві категорії:

• *пасивні (параметричні);*

• *активні (генераторні).*

У генераторних сенсорах зовнішнє джерело енергії не потрібен. Наприклад, в п'єзоелектричному сенсору під дією вимірюваного

зусилля на електродах п'єзоелемента виникає електричний заряд (або електрична напруга).

У параметричних сенсорах під дією вимірюваної фізичної величини змінюється будь-якої з параметрів (наприклад, електричний опір в тензорезисторами). Для отримання вихідного електричного сигналу потрібно джерело енергії (струму або напруги).

Таким чином, сенсори можуть мати (або не мати) допоміжне джерело енергії.

За фізичним принципом дії сенсори (перетворювачі) можуть бути:

• фізичними (Електричні, магнітні, теплові, оптичні, Акустичні и т. П);

• хімічними;

• комбінованими (Фізико-хімічні, електрохімічні, біоелектричні та т.п.).

Практична 3. Електромагнітні сенсори

3.1 Призначення. Типи електромагнітних сенсорів

Електромагнітні сенсори призначені для перетворення переміщення в електричний сигнал за рахунок зміни параметрів електромагнітної ланцюга. Ці зміни можуть полягати, наприклад, в збільшенні або зменшенні магнітного опору RM магнітного ланцюга сенсора при переміщенні сердечника. Якщо переміщається НЕ сердечник, а обмотка, то відбувається зміна потокозчеплення обмотки.

Таким чином, Зміни в електромагнітної ланцюга сенсора можуть бути викликані:

- переміщенням елемента магнітного ланцюга (сердечника або якоря);
- переміщенням елемента електричного кола (обмотки).

В результаті таких переміщень змінюється індуктивність обмотки L або її взаімоіндуктівність M з обмоткою збудження. Тому в технічній літературі електромагнітні сенсори часто називають індуктивними.

Електромагнітні сенсори зазвичай розглядають як параметричні, оскільки величини L і M залежать від переміщення x: $L = f(x)$, $M = f(x)$. Але електромагнітні сенсори зі змінною взаімоіндуктівності можна віднести і до генераторного типу, оскільки в результаті змінюється і ЕРС обмотки, тобто $E = f(x)$.

Зміна індуктивності і взаімоіндуктівністі може відбуватися і під впливом механічної напруги в осерді електромагнітного сенсора. Такі напруги призводять до зміни магнітної проникності феромагнітного матеріалу сердечника. Електромагнітні сенсори, засновані на такому фізичному явищі, називаються магнітопружний сенсорами.

Так як ЕРС в вихідний обмотці з'являється за рахунок зміни коефіцієнта взаємоіндукції з обмоткою збудження, то такі електромагнітні сенсори називають трансформаторними. Адже обмотку збудження можна розглядати як первинну обмотку трансформатора, а вихідну обмотку - як вторинну.

До генераторним сенсорів належать і індукційні сенсори, в обмотках яких генерується ЕРС в залежності від швидкості переміщення: E = *f* (dx / dt).

За допомогою електромагнітних сенсорів можна автоматично вимірювати:

- механічні сили;
- тиск;
- температуру;
- властивості магнітних матеріалів;
- визначати внутрішні порожнини і тріщини в деталях (дефектоскопія);
- товщину немагнітних покриттів на сталі;
- витрата рідин і газів в трубопроводах та ін.

Переваги електромагнітних сенсорів:

- простота і дешевизна;
- механічна міцність;
- висока надійність за рахунок можливості знімання вихідного сигналу без ковзних контактів;
- можливість живлення від промислової мережі частотою 50 Гц;
- можливість отримання досить високої потужності вихідного сигналу;
- можливість роботи як в діапазоні малих (частки мм), так і великих (метри) переміщень.

Недоліки електромагнітних сенсорів:

- вплив на вихідний сигнал зовнішніх електромагнітних полів і частоти напруги живлення;
- можливість роботи тільки на змінному струмі (живлення постійним струмом можливо лише для індукційних сенсорів, розглянутих нижче).

3.2 Принцип дії та основи розрахунку індуктивних сенсорів

Найпростіший індуктивний сенсор являє собою дросель зі змінним повітряним зазором в муздрамтеатрі. На риснку3.1 показані дві найбільш поширені конструктивні схеми індуктивних сенсорів на одному сердечнику. Це одинарні індуктивні сенсори.

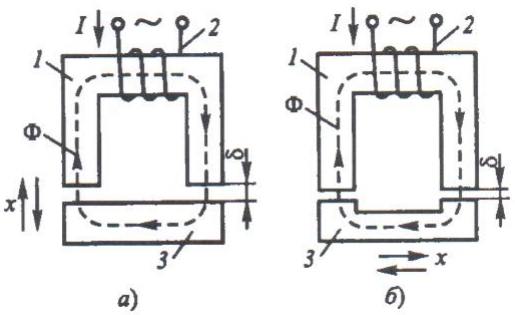


Рисунок3.1 - Схеми індуктивних сенсорів на одному сердечнику

На осерді 1 з електротехнічної сталі розміщена обмотка 2, що підключається до джерела змінної напруги. Магнітний потік в осерді замикається через якір 3, який може переміщатися щодо сердечника 2. Якір 3 механічно пов'язаний з деталлю, переміщення якої необхідно виміряти. Ця деталь на малюнку не показана, але переміщення x її може відбуватися в вертикальному напрямку (Рисунок3.1, а) або в горизонтальному напрямку (Рисунок3.1, б).

Переміщення якоря змінює магнітне опір магнітного кола, що складається з сердечника, якоря і повітряного зазору δ. Отже, зміниться індуктивність обмотки 2. оскільки ця обмотка включена на змінну напругу, струм в обмотці 2 буде визначатися її повним опором, до якого входить і індуктивне опір. Зі збільшенням повітряного зазору магнітний опір збільшується, а індуктивність, індуктивний і повний опір зменшуються (Рисунок3.2, а).

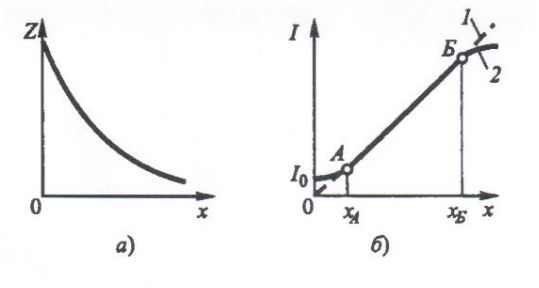


Рисунок3.2 – залежність магнітного опору і струму від повітряного зазору

Отже, струм в обмотці збільшується (Рисунок 2, б). Вважаючи струм I в обмотці за вихідний сигнал, а переміщення x - за вхідний сигнал, маємо вихідну статичну характеристику у вигляді графіка I = *f* (x).

Знайдемо вираз, що визначає залежність струму в обмотці сенсора від переміщення. Аналіз проведемо стосовно конструктивною схемою, показаної на малюнку 1, а. В цьому випадку приріст переміщення x завжди одно збільшенню зазору δ, тому нам необхідно отримати математичну залежність струму I від зазору δ: I = *f* (δ).

Нехай обмотка сенсора включена на напругу живлення: $u = \sqrt{2}U \sin \omega t$, де

U - діюче значення напруги; ω - кутова частота, рад / с. Згідно із законом Ома, діюче значення струму в обмотці $I = \frac{U}{Z}$, Де Z - повний опір обмотки сенсора, Ом, що складається з активного R і індуктивного XL опорів: $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$. Індуктивний опір XL пропорційно індуктивності L і частоті живлення f: $X_L = 2\pi fL = \omega L$. Після підстановки маємо

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}\,.$$

Індуктивність обмотки сенсора з числом витків W

$$L = \frac{W\hat{O}}{I},$$

де Ф - магнітний потік сердечника, Вб. Приймаємо, що весь магнітний потік проходить через повітряний зазор, тобто потоки розсіювання відсутні. Тоді

$$\hat{O} = \frac{IW}{R_M}.$$

Тут: RM - магнітний опір магнітопроводу сенсора, (Гн) -1.

Це опір складається з опору стали сердечника і якоря Rст і опору повітряного зазору Rδ:

$$R_M = R_{\tilde{N}\grave{O}} + R_\delta$$

Опір повітряного зазору пропорційно подвоєною довжині повітряного зазору δ, оскільки магнітний потік проходить через повітряний зазор двічі:

$$R_\delta = 2\delta(\mu_0 S_M)\,,$$

де SM - поперечний переріз повітряного частини муздрамтеатру, рівне активної площі поперечного перерізу сердечника в зоні повітряного зазору, м2; μ0 = 4π · 10-7 Гн / м - магнітна проникність повітря.

Після підстановок отримаємо

$$\hat{O} = \frac{IW}{R_{\tilde{N}\grave{O}} + 2\delta(\mu_0 S_M)}.$$

Вираз для індуктивності

$$L = \frac{W^2}{R_{\tilde{N}\grave{O}} + 2\delta(\mu_0 S_M)}.$$

індуктивний опір

$$X_L = \omega L = \frac{\omega W^2}{R_{\tilde{N}\grave{O}} + 2\delta(\mu_0 S_M)}.$$

Опір обмотки

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 \left[\frac{W^2}{R_{\tilde{N}\grave{O}} + 2\delta(\mu_0 S_M)} \right]^2}.$$

Аналіз останньої формули показує, що зі збільшенням повітряного зазору (а отже, і переміщення) повний опір зменшується, прагнучи в межі до величини активного опору обмотки R.

Залежність повного опору обмотки від величини повітряного зазору показана на малюнку 2, б. Струм в обмотці сенсора

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 \left[\frac{W^2}{R_{\tilde{N}\grave{O}} + 2\delta(\mu_0 S_M)} \right]^2}}.$$

Якщо вхідним сигналом сенсора вважати переміщення якоря x від початкового положення при δ = 0 в бік збільшення зазору, то формула для струму після заміни δ на x являє собою статичну характеристику одинарного індуктивного сенсора, I = f(x).

Одинарні індуктивні сенсори мають ряд суттєвих недоліків:

- на його якір діє сила тяжіння до сердечника. Ця сила вносить похибку в роботу сенсора тим більшу, чим менше перестановочне зусилля деталі, переміщення якої треба виміряти;
- при зміні знака вхідного сигналу не змінюється знак вихідного сигналу (тобто сенсорк не є реверсивним);
- діапазон зміни вхідного сигналу, при якому зберігається лінійність статичної характеристики, невеликий.

Застосування: в якості безконтактних сенсорів положення і кінцевих вимикачів при керуванні механізмами, що мають значні перестановки зусилля.

3.3.3 Диференціальні (реверсивні) електромагнітні сенсори

Диференціальні індуктивні сенсори являють собою сукупність двох одинарних (нереверсивними) сенсорів із загальним якорем. Такий сенсор показаний на малюнку 3.

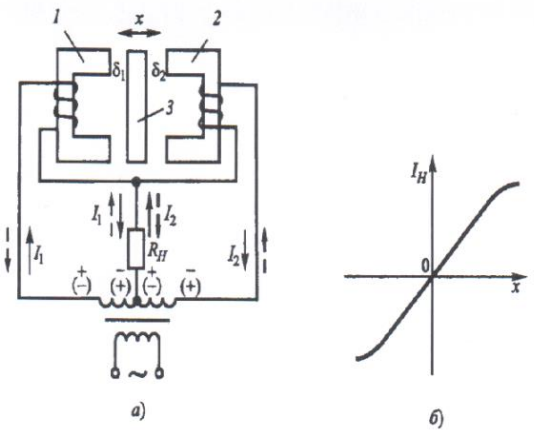


Рисунок3.3 - диференціальний індуктивний сенсор

Призначені диференціальні індуктивні сенсори для отримання реверсивної статичної характеристики і для компенсації електромагнітної сили тяжіння якоря.

Розглянемо роботу диференціального індуктивного сенсора (Рисунок 3.3, а), що складається з двох однакових сердечників 1 і 2 з обмотками і розташованого між сердечниками якоря 3, здатного переміщатися вліво і вправо щодо середнього симетричного положення. Живлення диференціального сенсора здійснюється від трансформатора з висновком від середньої точки вторинної обмотки. Опір навантаження RH включається між цією середньою точкою і загальною точкою обмоток сердечників 1 і 2. Струм в опорі можна уявити як алгебраїчну суму двох струмів: в лівому і правому контурах. Кожен контур складається з половини вторинної обмотки трансформатора, одинарного індуктивного сенсора і опору навантаження RH, загального для обох контурів.

Розглянемо напрямки контурних струмів в момент часу, коли у вторинній обмотці трансформатора індукується умовно позитивний напівперіод напруги: плюс - у лівого затиску; мінус - у правого. Полярність середньої точки щодо лівого затиску буде мінусова, а щодо правого - плюсова. Беручи за позитивний напрямок струму в зовнішньому ланцюзі від плюса до мінуса, визначаємо, що струм лівого контуру I1 спрямований зверху вниз, а струм правого контуру I2 - від низу до верху. Отже, ці струми віднімаються, а через навантаження піде різницевий струм. Наступний напівперіод полярність зміниться на протилежну. Відповідно зміниться напрямок струмів в навантаженні, але знову струм у навантаженні буде дорівнює різниці струмів I1 і I2.

При середньому (симетричному) положенні якоря 3 індуктивності обмоток 1 і 2 однакові. Отже, струми I1 і I2 рівні, різниця їх дорівнює нулю, вихідний сигнал (струм в опорі навантаження) дорівнює нулю: IH = I1 - I2 = 0.

При переміщенні якоря вправо (приймемо його за позитивний вхідний сигнал) індуктивність L2 зростає, оскільки повітряний проміжок в одинарному індуктивномусенсору 2 зменшується, а індуктивність L1 убуває,

оскільки зазор в сенсору 1 збільшується. Отже, I1> I2 і з'являється вихідний сигнал у вигляді струму навантаження певної полярності. При переміщенні якоря вліво (негативний вхідний сигнал) відповідно зменшується L2 і збільшується L1, співвідношення струмів I1 <I2 і полярність струму навантаження змінюється. Оскільки мова йде про змінному синусоїдальному струмі, це означає, що фаза струму змінюється на 180 °. Таким чином, статична характеристика диференціального сенсора (Рисунок3.3, б) буде реверсивної, що залежить від знака вхідного сигналу. А диференціальним сенсор називається тому,

Сили тяжіння якоря до сердечника виникають і в цьому випадку, але спрямовані вони в протилежні сторони і тому майже повністю взаємно компенсуються. Тому для переміщення якоря потрібно незначне зусилля. Дуже важливою особливістю диференціального сенсора є рівність нулю вихідного сигналу при нульовому вхідному сигналі. Нагадаємо, що в одинарному сенсору вихідний сигнал (струм через обмотку) був не дорівнює нулю навіть при нульовому повітряному проміжку.

3.4 Плунжерні сенсори

Для вимірювання великих переміщень застосовують індуктивні сенсори у вигляді котушки з рухомим внутрішнім сердечником. Якщо сердечник повністю введений всередину котушки, на яку намотана обмотка, то її індуктивний опір максимально, а струм в обмотці має мінімальне значення. При виведенні сердечника з котушки індуктивний опір зменшується, а струм відповідно збільшується. Індуктивні сенсори у вигляді котушки з переміщається всередині неї сердечником отримали назву плунжерних сенсорів (Рисунок 4). Їх також називають індуктивними сенсорами з розімкненим магнітопроводом, оскільки навіть при максимальній індуктивності обмотки основний шлях магнітного потоку проходить по повітрю. З цієї точки зору, розглянуті вище сенсори з обмоткою на нерухомому осерді і з переміщається якорем,

У плунжерних сенсорів є одна дуже важлива особливість: вони дозволять отримати інформацію про переміщення з замкнутого, ізольованого простору. Нехай, наприклад, треба виміряти рівень будь-якої дуже шкідливою рідини, пари якої отруйні, та ще знаходяться під великим тиском. Тоді котушку 1 плунжерного сенсора (Рисунок 4) надягають на розділову трубку 3 з нержавіючої немагнітної сталі, всередині якої і переміщається сердечник 2 з феромагнітного матеріалу.

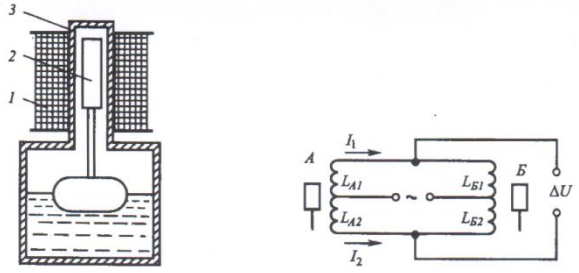


Рисунок3.4 - Плунжерний сенсор

Переміщення сердечника змінює індуктивність котушки, а розділова слухавка не екранує магнітне поле, оскільки матеріал трубки має дуже малу магнітну проникність. Таким чином, обмотка сенсора, всі інші електричні елементи схеми розміщені в звичайних нормальних умовах. У зв'язку з цим про плунжерні сенсори кажуть, що вони дозволяють вивести переміщення з замкнутого обсягу. В цьому основна перевага плунжерних сенсорів перед сенсорами із замкнутим магнітопроводом. А ось по чутливості, потужності вихідного сигналу плунжерні сенсори поступаються індуктивним сенсорам із замкнутим магнітопроводом.

За допомогою плунжерних сенсорів можуть бути реалізовані такі ж диференціальні і мостові схеми.

На малюнку 5 представлена схема індуктивного моста, де використані плунжерні сенсори А і Б. Сенсор А встановлений в передавальному приладі, сенсор Б - в приймальному приладі.

Умовою балансу моста є рівність творів опорів протилежних плечей моста або відповідних індуктивностей:

$$L_{A1}L_{Á2} = L_{A2}L_{Á1}$$

Схема індуктивного моста дозволяє здійснити дистанційну передачу лінійних переміщень. Однак зусилля на приймальній стороні досить невелика.

Для отримання значно більших зусиль схема індуктивного моста використовується спільно з підсилювачем і електродвигуном. Напруга розбалансу моста ΔU знімається з вимірювальної діагоналі моста і подається на вхід підсилювача, який живить електродвигун, що переміщає (через редуктор) сердечник сенсора Б до тих пір, поки не настане баланс моста, тобто ΔU = 0.

3.5 Трансформаторні сенсори

Принцип дії трансформаторних сенсорів заснований на зміні коефіцієнта взаємоіндукції обмоток при переміщенні якоря. Вони відносяться до електромагнітних сенсорів генераторного типу. Магнітні системи трансформаторних сенсорів такі ж, як і у розглянутих індуктивних сенсорах. Відмінність полягає лише в тому, що додається ще обмотка, з якою і знімається вихідний сигнал. Завдяки цьому в трансформаторних сенсорах відсутня безпосередня електрична зв'язок між ланцюгом живлення і вимірювальної ланцюгом. Існує зв'язок лише за рахунок магнітного поля (трансформаторна зв'язок), що дозволяє вибором числа витків вихідний обмотки отримати будь-який рівень вихідної напруги. На рисунку3.6 показаний трансформаторний сенсор з рухомим якорем.

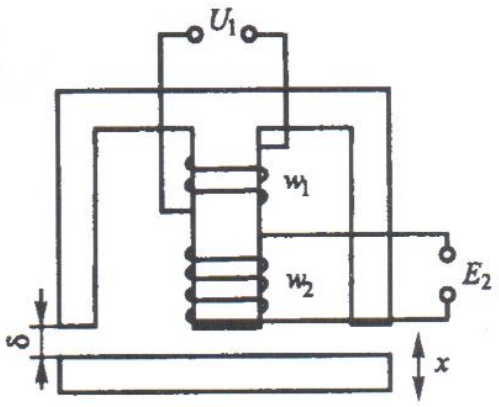


Рисунок3.6 - трансформаторний сенсор з рухомим якорем

обмотка збудження W1 харчується напругою U1, яке створює в муздрамтеатрі змінний магнітний потік Ф. У вторинній обмотці W2 індукується ЕРС Е2, значення якої залежить від величини повітряного зазору δ. Максимальна ЕРС Е2 виходить при δ = 0, оскільки при цьому магнітне опір замкнутого магнітопровода мінімально і по ньому проходить максимальний магнітний потік Ф. Зі збільшенням δ зменшуються магнітний потік і відповідна йому ЕРС Е2. Такий сенсор використовується для вимірювання малих лінійних переміщень, але має серйозний недолік: залежність ЕРС Е2 від переміщення якоря х нелінійна і не проходить через нуль.

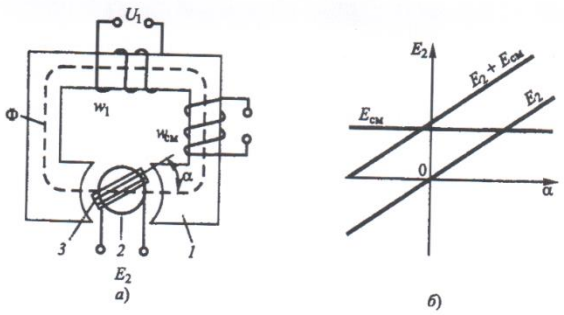


Рисунок3.7 – трансформаторний сенсор з поворотною обмоткою

На рис3.7а показаний трансформаторний сенсор з поворотною обмоткою. Магнітопровод давача нерухомий і складається з ярма 1 і сердечника 2. Обмотка збудження W1 розміщена на ярмі 1, запитана змінною напругою U1 і створює в зазорі між ярмом 1 і сердечником 2 змінний магнітний потік Ф, амплітудне значення якого незмінно. У зазорі з рівномірним розподілом індукції розміщена поворотна рамка 3 з вторинною обмоткою W2, в якій індукується ЕРС Е2, що є вихідним сигналом сенсора. Залежно від кута повороту α Е2 змінюється від нуля (при α = 0 площину рамки розміщена вздовж напрямку магнітного потоку) до максимального значення (при α = 90 ° площину рамки розміщена поперек напрямку магнітного потоку, весь магнітний потік зчеплений з витками вторинної

обмотки W2) . При зміні знака кута повороту α фаза ЕРС Е2 змінюється на 180 °, тобто сенсор є реверсивним. У певному діапазоні вхідного сигналу (кута повороту α) забезпечується лінійна залежність Е2 = f (α). Статична характеристика трансформаторного сенсора з поворотною обмоткою показана на малюнку 7, б. Такі сенсори, під назвою феродинамічні перетворювачів, набули поширення для дистанційної передачі показань різних приладів.

Недоліком феродинамічні перетворювачів є залежність вихідного сигналу від коливань напруги і частоти живлення.

Якщо необхідно вимірювати великі кутові переміщення в одну сторону, то послідовно з вторинною обмоткою включається додаткова обмотка зміщення Wсм, розміщена на ярмі 1. потокозчеплення її незмінно; отже, в ній індукується ЕРС ЄСМ з постійним амплітудним значенням. При послідовному з'єднанні обмоток W2 і Wсм ЕРС Е2 і ЄСМ підсумовуються (з урахуванням фази). Результуюча статична характеристика з обмоткою зміщення показана на малюнку 7, б.

Трансформаторні сенсори з вхідним сигналом у вигляді кутового переміщення часто виконують у вигляді електричних мікромашин, відомих під назвою обертових трансформаторів (ОТ).

3.6 Обертові трансформатори (ОТ)

Конструктивно ОТ виконують так само, як АТ з фазним ротором. На статорі і роторі ОТ розміщені по дві взаємно перпендикулярні обмотки. Ротор повертають за допомогою точного редукторного механізму. Редуктор зі шкалами грубого і точного відліку вбудовують в корпус ОТ або виготовляють окремо і з'єднують з валом ОТ.

У відповідності зі схемою з'єднання обмоток розрізняють:

- *синусно-косинусні* обертові трансформатори (СКОТ);
- *лінійні* обертові трансформатори (ЛОТ).

Схема з'єднання обмоток СКОТ показана на малюнку 8.

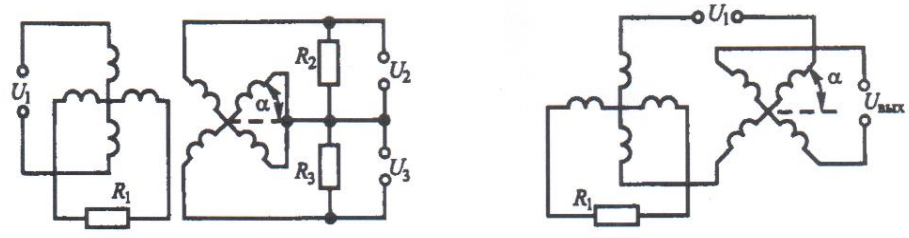


Рисунок3.8 - схеми з'єднання обмоток

Напруга живлення U1 подано на одну обмотку статора. З роторних обмоток знімаються два вихідних сигнали U2 і U3, що змінюються відповідно за законом синуса і косинуса в функції кута повороту ротора. Якщо роторні обмотки підключити до будь-яких вимірювальним ланцюгах, то по обмоткам підуть струми навантаження. Під впливом струмів

навантаження синусна і косинусна залежності спотворюються. Для усунення таких спотворень виконуються так звані операції симетрування ОТ, які полягають в підборі відповідних опорів R1 (первинне симетрування) і R2, R3 (вторинне симетрування).

Вихідні напруги вторинних обмоток СКОТ можуть бути записані у вигляді

$$U_2 = kU_1 \sin\alpha$$
$$U_3 = kU_1 \cos\alpha .$$

Коефіцієнт пропорційності k залежить від співвідношення витків W2 / W1 = W3 / W1 і при виконанні симетрування не залежить від кута повороту α (зазвичай W2 = W3).

Схема з'єднання обмоток ЛОТ показана на малюнку 9. Залежність вихідної напруги U2 від кута повороту ротора має вигляд

$$U_2 = U_1 \frac{k \sin\alpha}{1 + k \cos\alpha}$$

Для малих кутів α можна прийняти $\sin\alpha \approx \alpha$, а $\cos\alpha \approx 1$, І залежність U2 = *f* (α) набирає вигляду

$$U_2 = U_1 \left[\frac{k}{1+k} \right] \alpha ,$$

тобто вихідна напруга має лінійну залежність від кута α. Відносна наведена похибка ЛОТ при відповідному виборі обмотувальних даних в діапазоні кутів α до 50 ° може не перевищувати 0,05%.

застосування ОТ. Обертові (поворотні) трансформатори застосовують в автоматичних пристроях, малопотужних стежать системах, обчислювальній техніці для отримання вихідних напруг пропорційних функцій кута повороту ротора α, наприклад, sinα, cosα або самому кутку α.

ОТ використовують також в якості будови для вирішення геометричних і тригонометричних задач.

В автоматичних пристроях ОТ працюють як в режимі повороту ротора в межах певних обмежень кута, так і при безперервному обертанні.

3.7 Сельсини

Для дистанційних передач кутових переміщень широко застосовуються також електромашинні елементи автоматики - сельсини. Вони мають однофазну обмотку на статорі і трифазну обмотку синхронізації на роторі (можливо і зворотне розташування обмоток). Сельсини можуть працювати:

- в індикаторному режимі;
- в трансформаторному режимі.

На передавальній стороні встановлюється сельсин-сенсор, а на приймальні - сельсин-приймач, який повинен автоматично повторювати кут повороту сельсина-сенсора.

У індикаторної схемою включення сельсинів (Рисунок3.10) обмотки збудження сельсина-сенсора і сельсина-приймача підключаються до мережі змінного струму, а обмотки синхронізації обох сельсинів з'єднуються один з одним проводами лінії зв'язку.

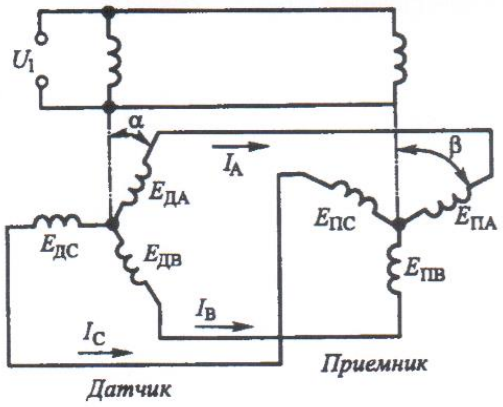


Рисунок3.10 - схема включення сельсинів

ЕРС в кожній з фаз обмотки синхронізації змінюється пропорційно косинусу кута між віссю обмотки збудження і віссю цієї фази. ЕРС фаз синхронізації сенсора, ротор якого повернуть на кут α, будуть визначатися рівняннями

$$E_{ÄÀ} = kU_1 \cos\alpha\ ;$$
$$E_{ÄÂ} = kU_1 \cos(\alpha + 120^\circ)\ ;$$
$$E_{ÄÑ} = kU_1 \cos(\alpha + 240^\circ)\ .$$

ЕРС фаз синхронізації приймача, ротор якого повернуть на кут β, будуть визначатися рівняннями

$$E_{Ï\,À} = kU_1 \cos\beta\ ;$$
$$E_{Ï\,Â} = kU_1 \cos(\beta + 120^\circ)\ ;$$
$$E_{Ï\,Ñ} = kU_1 \cos(\beta + 240^\circ)\ .$$

Під дією різниці цих ЕРС по дротах лінії зв'язку між обмотками синхронізації підуть струми

$$I_A = \frac{E_{ÄÀ} - Å_{Ï\,À}}{Z}\ ;$$

$$I_B = \frac{Å_{ÄÂ} - Å_{Ï Â}}{Z};$$
$$I_C = \frac{Å_{ÄÑ} - Å_{Ï Ñ}}{Z},$$

де Z - опір фаз приймача, сенсора і лінії зв'язку.

У сельсину-приймачі взаємодія цих струмів з магнітним потоком збудження викликає поява крутного моменту.

$$M_{ÂÐ} = k_M (\frac{U_1}{Z})^2 \sin(\alpha - \beta),$$

де Км - постійний коефіцієнт, який визначається обмотувальними і конструктивними даними сельсина.

Момент, що обертає діє і на вал сельсина-сенсора, однак, його кут повороту заданий механізмом або чутливим елементом, кутове переміщення якого підлягає контролю.

Для сельсину індикаторної схеми дуже важливою характеристикою є величина питомої синхронізуючого моменту, тобто моменту на 1 ° неузгодженості.

Для сельсинів, використовуваних в промисловості, ця величина становить
(4 ... 50) · 10-4 Нм.

Для підвищення крутного моменту використовується *трансформаторна* схема включення сельсинів.

У цій схемі обмотка збудження сельсина-приймача не вдалося підключитися до мережі, а з неї знімається напруга, яка пропорційна синусу кута неузгодженості. Ця напруга подається на підсилювач, який живить електродвигун, Що приводить через редуктор сельсин-приймач в узгоджене з сельсином-сенсором положення. Одночасно в необхідне положення встановлюється і навантаження - той виробничий механізм, кутовим переміщенням якого потрібно керувати на відстані.

Такі автоматичні пристрої називаються **стежать** системами.

Поряд з контактними сельсину великого поширення набули безконтактні сельсини.

У контактних сельсину підключення обмоток ротора в зовнішній ланцюг здійснюється за допомогою контактних кілець і щіток.

В безконтактних сельсину обмотки збудження і синхронізації розміщені на статорі, а зміна магнітного зв'язку між ними за синусоїдальним законом забезпечується за допомогою без обмотковим ротора з неоднаковим магнітним опором по взаємно перпендикулярних осях. Надійність безконтактних сельсинів істотно вище, ніж контактних.

3.8 Магнітопружні сенсори

Принцип дії магнітопружні сенсорів заснований на ефекті Магнітопружності - фізичне явище, що проявляється у вигляді зміни магнітної проникності матеріалу в залежності від механічної напруги в ньому.

Магнітопружні сенсори використовуються для вимірювання силових параметрів:

- зусиль;
- тисків;
- крутять і згинальних моментів;
- механічної напруги і т.д.

Конструктивно магнітопружні сенсори представляють муздрамтеатр з однією або декількома обмотками. Магнітний опір сердечника

$$R_M = \frac{l}{\mu S},$$

де l і S - довжина і площа перетину сердечника. Якщо до сердечника докладено механічне зусилля F, то магнітна проникність μ зміниться. Отже, зміняться і магнітне опір сердечника, і індуктивність обмотки на осерді.

Так само як і індуктивні сенсори, магнітопружні сенсори можуть бути використані у вигляді одинарних (Рисунок3.11, а), трансформаторних (Рисунок3.11, б), диференційно-трансформаторних (Рисунок3.11, в).

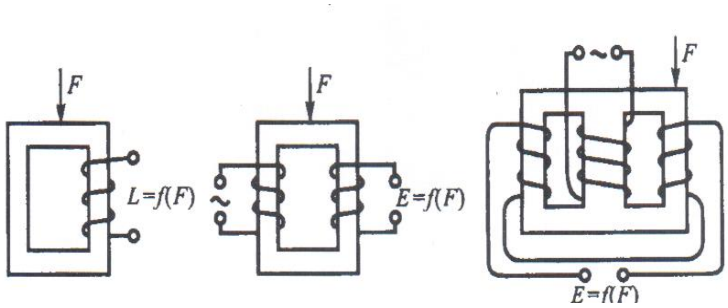


Рисунок 11 – одинарний, трансформаторний, диференційно-трансформаторний тип або вигляд

Залежність магнітної проникності від механічної напруги має Нелініний характер. Пов'язано це як з нелінійністю кривої намагнічування, так і з нелінійної залежністю деформацій від зусилля. Нелінійність Магнітопружний ефекту виражена дуже сильно. Наприклад, в слабких магнітних полях магнітна проникність під дією механічної напруги зростає, а в сильних полях - зменшується. Однак, при певних значеннях напруженості магнітного поля H в осерді можна отримати близьку до лінійної залежність зміни магнітної проникності Δμ сердечника від відносної деформації Δl / l або нормального механічної напруги σ в зоні лінійних деформацій. Найбільш помітний Магнітопружний ефект в пермалоєвих (залізокобальтових і залізонікелевих) сплавах.

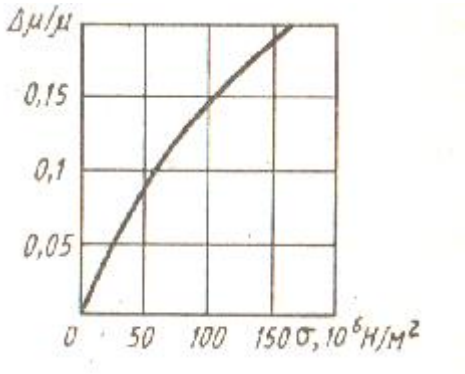


Рисунок3.12 - залежність відносної магнітної проникності від зміни механічної напруги

На рисунку3.12 показана залежність відносної магнітної проникності Δμ/ М від зміни механічної напруги σ. Відносна деформація Δl / l в зоні пружних деформацій пов'язана з механічним напругою σ через модуль пружності Е:

$$\frac{\Delta l}{l} = E\sigma \ .$$

Чутливість Магнітопружний сенсора визначається за формулою

$$S_{\ddot{A}} = \frac{\Delta\mu / \mu}{\Delta l / l};$$

вона може досягати значень 200-300. Залежність індуктивності від механічної напруги σ для Магнітопружного сенсора по рисунку3.11 показана на рисунку 3.13.

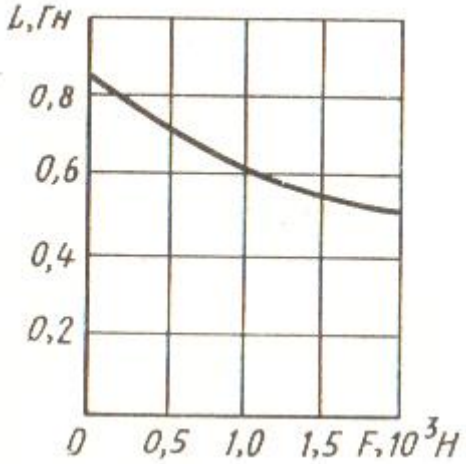


Рисунок3.13 - залежність індуктивності від механічної напруги для магнітопружного сенсора

До переваг магнітоупругих сенсорів слід віднести високу чутливість і можливість вимірювання великих зусиль (до декількох тисяч тонн). У той же час магнітоупружнісенсори мають і такі серйозні недоліки:

- наявність температурної похибки, викликаної впливом температури навколишнього середовища на магнітні властивості сердечника;
- наявність похибки, викликаної впливом гістерезису (як магнітного, так і механічного, пов'язаного із залишковою деформацією);
- наявність похибки, викликаної коливаннями напруги живлення.

Слід зазначити, що в магнітопружнихсенсорах має місце і ще одне фізичне явище - магнітострикційний ефект. Його дія обернена Магнітопружному ефекту: феромагнітна тіло, поміщене в магнітне поле, змінює свої геометричні розміри, тобто в ньому з'являються механічні деформації.

У змінному магнітному полі і деформації будуть змінними. А так як знак деформації не залежить від напрямку магнітного поля, то частота коливань деформації буде в два рази вище частоти змінного струму. На цьому принципі працюють, наприклад, магнітострикційні випромінювачі ультразвукових коливань.

3.9 Індукційні сенсори

Індукційні сенсори призначені для перетворення швидкості лінійних і кутових переміщень в ЕРС. Вони відносяться до сенсорів генераторного типу. Принцип дії індукційних сенсорів заснований на законі електромагнітної індукції. Вихідним сигналом індукційних сенсорів є ЕРС, яка пропорційна швидкості зміни магнітного потоку, що пронизує витки котушки. Ця зміна відбувається за рахунок переміщення котушки в постійному магнітному полі або за рахунок обертання феромагнітного індуктора відносно нерухомої котушки.

Основною відмінністю індукційних сенсорів від індуктивних є те, що в них використовується постійне магнітне поле, а не змінна (живлення індуктивних сенсорів здійснюється від мережі змінного струму). Постійне магнітне поле в індукційних сенсорах створюється двома способами:

- постійними магнітами;
- котушкою, обтічної постійним струмом.

На рисунку3.14а показана схема сенсора з обмоткою W2, розміщеної в повітряному проміжку, в якому постійний магнітний потік Ф створюється котушкою W1, включеної на постійну напругу U.

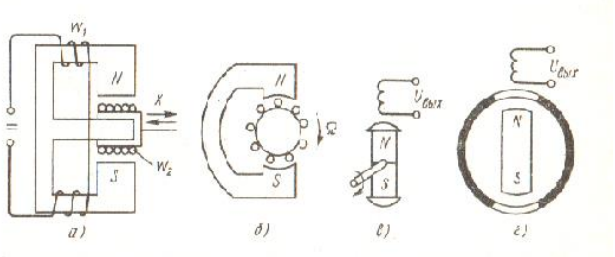


Рисунок3.14 – магнітний потік у сенсорах

При переміщенні котушки в магнітному полі в ній індукується ЕРС, пропорційна швидкості переміщення:

$$E = k\hat{O}\frac{dx}{dt},$$

де k - коефіцієнт пропорційності, що залежить від числа витків W2 і конструктивних параметрів сенсора.

На малюнку 14б показаний сенсор, в якому постійний магнітний потік створюється за допомогою постійного магніту з полюсними наконечниками. ЕРС, індукована в обертовій котушці, пропорційна швидкості обертання Ω:

$$E = k\hat{O}\Omega.$$

В обох цих сенсорах котушки рухливі, тому для відводу від них вихідного сигналу (ЕРС) необхідні гнучкі струмопідведення або контактні кільця зі щітками.

Індукційний сенсор може бути виконаний і інший конструкції: з нерухомою котушкою і обертовим постійним магнітом (Рисунок 14, в). Надійність при цьому підвищується за рахунок відсутності ковзаючого контакту.

Можливий і інший спосіб підвищення надійності сенсора за схемою (Рисунок3.14, б): і котушка, і постійний магніт нерухомі, а в зазорі між ними обертається феромагнітна кільце з вирізами (Рисунок 14, г) або інший елемент, який має істотно різну магнітну провідність по взаємно перпендикулярних осях. При обертанні змінюється потік, що пронизує площину котушки.

У сенсорах (Рисунок3.14, б, в, г) в якості вихідного сигналу можна використовувати частоту ЕРС. Принцип їх дії по суті такий же, як у синхронних генераторів. Для вимірювання частоти обертання використовуються і спеціальні електричні машини малої потужності - тахогенератори.

Тахогенератор постійного струму (Рисунок3.15, а) має обмотку збудження, що створює при харчуванні постійним струмом магнітний потік Ф. При обертанні якоря в ньому створюється ЕРС, пропорційна частоті обертання n:

$E = k\hat{O}n$, Де k - постійна, що визначається конструкцією.

За допомогою колектора і щіток вихідний сигнал подається на навантаження у вигляді випрямленої напруги.

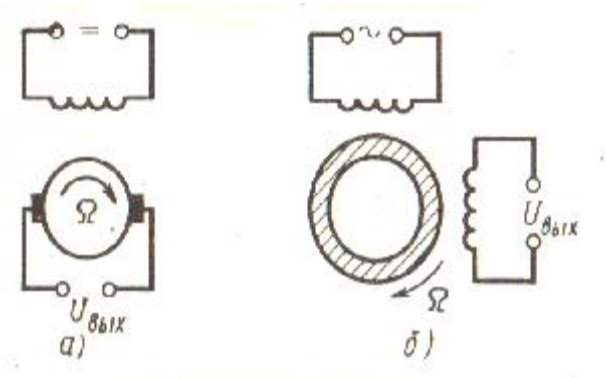


Рисунок3.15 - Тахогенератор

Тахогенератор змінного струму (Рисунок3.15, б) має на статорі дві обмотки, зсунуті одна відносно іншої на 90 електричних градусів. Одна обмотка включається в мережу змінного струму. При обертанні ротора, виконаного у вигляді тонкостінної електропровідного циліндра, в іншій обмотці наводиться змінна ЕРС, яка пропорційна частоті обертання n. Для підвищення температурної стабільності в якості матеріалу полого ротора використовується константан.

Тахогенератори мають високу чутливість і потужністю вихідного сигналу. Загальним недоліком всіх генераторних сенсорів є залежність вихідного сигналу від опору навантаження.

Контрольні питання:

1 Що таке сенсор?
2 Назвіть класифікаційні ознаки сенсорів.
3 Які сенсори відносяться до активних?
4 Що таке пасивний сенсор?
5 Для чого призначені електромагнітні сенсори?
6 Назвіть відміну індуктивних сенсорів від індукційних?

Практична 4. Сенсорна інформація в системікоординації живих організмів

4.1. Загальні принципи організації сенсорних систем

Сенсорна система (аналізатор)- складний комплекс нервових утворень, що здійснює сприйняття і аналіз подразнень із зовнішнього і внутрішнього середовища організму. Поняття «аналізатор» було введено Павловим, який розглядав кожен з них як єдину багаторівневу систему, що включає периферичні і центральні відділи. Павлов виділяв в кожному аналізаторі три відділи: периферичний (рецептор), провідникової (чутливі нерви і ганглії, а також ядра і провідні шляхи в ЦНС) і корковий (ділянка кори великих півкуль, куди швидше за все приходить інформація про подразнення). В даний час з'ясовано, що на кожному з рівнів аналізатора відбувається аналіз і обробка інформації, що надходить.

Для розуміння подальшого матеріалу нагадаємо коротко про основні види електричних потенціалів в клітинах. Детальніше про них можна прочитати в будь-якому підручнику з фізіології ЦНС або в посібнику з фізіології ЦНС, виданому Мелі.

Різниця потенціалів між зовнішньою і внутрішньою середовищем клітини прийнято називати мембранним потенціалом (МП). Практично у всіх клітинах організму внутрішня поверхня цитоплазматичної мембрани заряджена негативно в порівнянні з її зовнішньою поверхнею, тобто МП негативний. У більшості клітин організму МП постійний, він не змінює своєї величини протягом життя.

Однак, в клітинах збудливих тканин (нервової, м'язової, залізистої) МП змінюється при різних впливах на клітину. Тому при відсутності впливів він називається потенціалом спокою (ПП). Про цитоплазматичну мембрану (або про всю клітку) в такому стані прийнято говорити, що вона поляризована. Електричні явища в клітинах пов'язані з наявністю в них іонних каналів - білкових молекул, вбудованих в цитоплазматичну мембрану. При певних впливах в таких молекулах можуть відкриватися канали, які пропускають різні іони, що приводить до зрушення ПП.

При синаптичній передачі на постсинаптичній мембрані в залежності від виду синапсу генеруються (формуються) постсинаптичні потенціали (ПСП) - збудливий (ВПСП) або гальмові (ТПСП). ВПСП являє собою невелике зменшення за абсолютною величиною (деполяризацію), а ТПСП невелике збільшення (гіперполяризацію) потенціалу спокою. Величина постсинаптичних потенціалів залежить від кількості медіатора, виділеного в синаптичну щілину з пресинаптичного закінчення. Такі потенціали локальні, тобто, виникаючи на постсинаптичні мембрані, не поширюються по мембрані нейрона.

Основна одиниця передачі інформації в нервовій системі - нервовий імпульс або потенціал дії (ПД). Для того щоб клітина сформувала ПД, необхідний певний рівень деполяризації (пороговий рівень). Цей рівень

досягається в результаті сумації ВПСП. ПД виникає згідно із законом «все або нічого», тобто при підпороговому рівні деполяризації ПД не генерується (нічого), після досягнення порогового рівня, як і вона була величина деполяризації, амплітуда ПД одна і та ж (все). Після виникнення ПД, він поширюється по мембрані, доходячи до пресинаптичного закінчення, де викликає виділення медіатора в синаптичну щілину і виникнення ПСП на постсинаптичні мембрані

Самий периферичний відділ аналізатора - рецептор переводить енергію подразника в нервовий процес. Рецептори сенсорних систем слід відрізняти від синаптичних, гормональних та інших рецепторів-молекул (тобто мембранних рецепторів). У сенсорних системах рецептор - це чутлива клітина або чутливий відросток клітини. Під впливом подразника відбувається зміна властивостей іонних каналів, вбудованих в мембрану рецептора. Це, як правило, призводить до входу в рецептор позитивно заряджених іонів і деполяризаціїмембрани - зрушення мембранного потенціалу вгору. Виникає рецепторний потенціал, за багатьма параметрами схожий з ВПСП (збудливим постсинаптичним потенціалом). Так само як і ВПСП рецепторний потенціал локальне, тобто не поширюється по мембрані від місця свого виникнення, і поступовий, тобто змінюється за величиною в залежності від сили подразника. Так само як і ВПСП рецепторний потенціал здатний запускати потенціал дії.

Крім рецепторів в периферичної нервової системи розташовані чутливі гангліїї (спинальні і черепні) і нерви, які проводять сенсорну інформацію в ЦНС.

В ЦНС знаходяться провідні шляхи і ядра (сенсорні центри), а також вищий відділ аналізатора - ділянку кори великих півкуль, куди проектується інформація від відповідних рецепторів. В ядрах відбувається не тільки перемикання нервових імпульсів, що йдуть до кори великих півкуль, а й обробка сенсорної інформації.

У кірковому відділі аналізатора (у відповідній проекційної зоні кори) сенсорна інформація оформляється у відчуття. При зруйнованої корі великих півкуль отримане роздратування не сприймається свідомістю, хоча може перероблятися і використовуватися нижчерозташованими областями ЦНС (на неусвідомлюваному рівні).

Навколо деяких рецепторів знаходиться комплекс допоміжних утворень, які, з одного боку, оберігають рецептори від зовнішніх неадекватних дій, а з іншого боку забезпечують оптимальні умови для їх функціонування. У комплексі з рецепторами ці освіти називають органами почуттів. Традиційно у людини виділяють п'ять органів почуттів - зору, слуху, дотику, нюху і смаку. Однак число сприймаються нами подразників помітно більше.

Справа в тому, що термін «орган почуттів» виник в психології відповідно усвідомленими людиною відчуттів. Однак в процесі розвитку фізіології з'ясувалося, що існує ряд подразників, які не сприймаються (або не

завжди сприймаються) людиною в якості відчуття, але вкрай необхідні для нормальної роботи організму.

У зв'язку з цим необхідно ввести поняття «модальність», зазвичай вживається в фізіології стосовно подразників і рецепторів. Модальність - це якісна характеристика подразника, а також відчуття, що виникає при активації певних сенсорної системи. Такими модальностями є зорова, слухова, смакова, нюхова і ряд модальностей, рецептори яких знаходяться в шкірі. Термін модальність можна віднести і до подразників, що викликають в основному неусвідомлювані зміни в організмі. Такими подразниками є вісцеральні (від внутрішніх органів), пропріорецептивні (від м'язових, сухожильних і суглобових рецепторів), вестибулярні.

4.1.1. Рецептори

У зв'язку з великою кількістю сприйманих сигналів і відчуттів рецептори, присутні в організмі людини, дуже різноманітні. Крім того, для ряду модальностей є більше одного виду рецепторів. Існує кілька класифікацій рецепторів, найбільш вживані з яких наведені нижче.

Всі рецептори діляться на дві великі групи - екстерорецептори і інтерорецептори. До перших відносяться рецептори, що сприймають подразнення із зовнішнього середовища (слухові, зорові, дотикові, нюхові, смакові), до других - з внутрішньої. Інтерорецептори, в свою чергу, діляться на пропріоцептори або пропріорецептори (рецептори м'язів, сухожиль і суглобів), передають інформацію про стан опорно-рухової системи, вестибулорецепторів, що інформують про положення тіла в просторі, і Вісцерорецептори, що знаходяться у внутрішніх органах (наприклад, рецептори тиску в кровоносних судинах).

По виду сприймається енергії (яка потім переводиться в енергію нервових імпульсів) виділяють механорецептори, хеморецептори, фоторецептори, терморецептори. До механорецепторів відносяться частина шкірних рецепторів, що сприймають дотик, тиск і вібрацію, слухові і вестибулярні рецептори, пропріоцептори, рецептори розтягування стінок внутрішніх органів. Хеморецептори - це нюхові і смакові рецептори, а також ряд Вісцерорецептори, що знаходяться в судинах, шлунково-кишковому тракті, ЦНС і т.д. Особливий вид хеморецепторів - ноцицептори, специфічні больові рецептори. Фоторецептори - це палички і колбочки сітківки ока. Терморецептори об'єднують рецептори шкіри і внутрішніх органів, а також особливі термонейрони, що знаходяться в ЦНС.

Нарешті, рецептори діляться за способом проведення інформації в ЦНС на первинні і вторинні. Первинні рецептори є частиною нервових (сенсорних) клітин. У цьому випадку частина клітини (дендрит) утворює власне рецептор, який сприймає подразник і генерує рецепторний потенціал. Останній здатний запускати потенціал дії, який проводиться в ЦНС все тим же сенсорним нейроном. Такими рецепторами є шкірні та нюхові.

Більшість інших рецепторів є вторинними. В цьому випадку спеціальна рецепторна клітина генерує рецепторний потенціал, але не може перетворити

його в потенціал дії і передати в ЦНС, оскільки не є нейроном і не має відростків. Однак вона утворює синапс з дендритом чутливої (сенсорної) нервової клітини. При виникненні рецепторного потенціалу рецепторна клітина виділяє медіатор, що збуджує сенсорний нейрон, що викликає в ньому потенціал дії, що передається потім в ЦНС.

Однією з базових функцій живих систем є здатність до адаптації. Адаптація - процес пристосування організму до мінливих умов середовища. Вона може проявлятися на різних рівнях організації. Наприклад, зміна поведінки - це адаптація на рівні цілого організму, посилення окислювальних процесів при інтенсивній м'язовій роботі - адаптація на рівні дихальної системи і т.д.

Багато рецептори також здатні до адаптації. Найчастіше вона проявляється у вигляді звикання до подразника, тобто до зниження чутливості рецепторів. В цьому випадку рецептори активно реагують тільки на початок роздратування, але через короткий час перестають відповідати на нього або відповідають значно слабкіше. Такі рецептори (фізичні або швидко адаптивні) знову генерують потенціал або при припиненні дії подразника, або при зміні його параметрів. Наприклад, тільця Пачіно (тактильні рецептори) можуть повністю припинити генерацію потенціалів через 1 секунду після початку впливу постійного тиску, але реагують відразу після усунення подразника. Завдяки адаптації нові стимули в значно меншій мірі маскуються постійно діючими сигналами, що полегшує роботу систем уваги. Однак, ряд рецепторів (тонічні або повільно адаптивні) продовжує реагувати протягом усього часу дії стимулу. Такими рецепторами є, наприклад, хеморецептори, слухові рецептори. В цьому випадку адаптація також можлива, однак вона є вже функцією ЦНС.

4.1.2. Основні принципи кодування і передачі сенсорної інформації

4.1.2.1. Кодування характеристик сигналу на рівні рецептора

У нервовій системі кодування інформації головним чином здійснюється за допомогою нервових імпульсів (потенціалів дії). Оскільки амплітуда потенціалу дії, що генерується певним нейроном, постійна (закон «все або нічого»), кодування відбувається за рахунок зміни частоти імпульсів, їх кількості, інтервалу між пачками (групами імпульсів, наступних з відносно постійною частотою).

На рівні рецептора, як правило, кодуються сила і деякі якісні характеристики подразника.

Для кожного виду рецепторів існує свій адекватний подразник, тобто подразник, до енергії якого рецептор найбільш чутливий. Адекватний подразник може викликати реакцію рецептора, володіючи навіть дуже невеликою кількістю енергії. Наприклад, всього один фотон світла змінює стан фоторецептора. Мінімальна інтенсивність адекватного подразника, яка призводить до реакції рецептора і генерації потенціалу дії, називається абсолютним порогом чутливості рецептора. Стимули з ще меншою інтенсивністю є підпороговими. Однак рецептор можна порушити і

неадекватним подразником. У цьому випадку гранична сила подразника буде набагато більше. Наприклад, при натисканні на очне яблуко можуть виникнути зорові відчуття.

Отже, у відповідь на дію подразника рецептор генерує рецепторний потенціал. Цей потенціал градуальний, тобто в залежності від сили подразника він може бути більше або менше. Окремі рецепторні потенціали, що виникають в різних частинах рецептора (наприклад, на різних гілках дендрита), можуть підсумовуватися.

Таким чином, сила подразника в першу чергу визначається частотою імпульсів, що поширюються по чутливому нерву. Крім того, при підвищенні інтенсивності сигналу збільшується число сенсорних волокон, які проводять імпульси (за рахунок залучення в реакцію рецепторів з більш високим порогом).

Кодування деяких інших характеристик подразника можлива завдяки існуванню в нервовій системі так званих топічних відносин. У сенсорних системах це полягає в наступному.

Зазвичай рецептори, що належать одній сенсорної системі, займають певну ділянку тіла. Наприклад, сітківка або поверхню шкіри являють собою площині, на які проектуються зовнішні впливи. Зона розташування певних рецепторів називається рецептивної поверхнею. Так, сітківка - рецептивна поверхню зорового аналізатора. Від кожної точки цієї поверхні передається сигнал в певну точку ЦНС, причому сигнали від сусідніх точок рецептивної поверхні проектуються в сусідні точки ЦНС. Таку паралельність в передачі інформації і називають топічними відносинами (грец. Topos - місце) в ЦНС або принципом міченої лінії.

В результаті кожна точка рецептивної поверхні має своє відображення на всіх рівнях ЦНС, де формуються «карти» рецептивної поверхні. Правда, пропорції в цих картах спотворені: площа в ЦНС, на яку проектується певна частина рецептивної поверхні, пропорційна щільності розташування рецепторів на цій ділянці, а не його площі. Завдяки тоаічними відносин кодуються якісні характеристики стимулу. Це відбувається тому, що порушення певних точок рецептивної поверхні призводить до порушення строго визначених ділянок ЦНС.

Користуючись термінологією можна сказати, що місце дії подразника на рецептивну поверхню кодується «номером каналу» - номером нервового волокна у відповідному чутливому нерві. При деяких захворюваннях, передозуванні лікарських препаратів, під дією наркотиків сенсорні канали можуть «плутають». В цьому випадку реально діючі сенсорні сигнали сприймаються людиною спотворено. Більш того, вони можуть сприйматися навіть іншими сенсорними системами, наприклад, смакове вплив викликає зорові відчуття і т.п.

4.1.2.2. Основні принципи передачі сенсорного сигналу в ЦНС

Отже, вже на рівні рецепторів кодуються інтенсивність і якісні характеристики сигналів, що надходять.

Сигнали від рецепторів спрямовуються в ЦНС, де переключаються через ряд сенсорних центрів, переробляються, аналізуються і зіставляються з іншими видами інформації. У кожному центрі інформація проходить через мережу нейронів, що з'єднуються за принципами як дивергенції (розбіжності), так і конвергенції (сходження). Дивергенція сенсорних сигналів в ЦНС призводить до того, що кожен сигнал від рецепторів передається по декількох паралельних каналах, що підвищує надійність передачі і дозволяє швидше переробляти інформацію. В результаті конвергенції сенсорних сигналів виявляється, що для кожного сенсорного нейрона ЦНС існує певне число рецепторів, здатних впливати на його активність. Сукупність цих рецепторів називається рецептивних полем нейрона. Чим «вище», тобто ближче до кори великих півкуль, сенсорний центр, тим складніше рецептивні поля складових його нейронів. При цьому виникають ситуації, коли нейрон реагує на так званий складний сенсорний образ, що формується в результаті конвергенції сигналів від різних сенсорних нейронів. Прикладами таких нейронів можуть бути нервові клітини, що забезпечують «впізнавання» слів або музичних акордів, геометричних фігур і т. П. Більш того, безліч об'єктів зовнішнього світу сприймається одночасно кількома різними сенсорними системами, завдяки тому, що на нейрони асоціативних зон кори конвергують сигнали від сенсорних нейронів цих систем. Наприклад, ми сприймаємо образ людини і за допомогою зорової сенсорної системою (зовнішній вигляд), і слуховий сенсорної системою (голос), і нюхової (запах) і т.д. коли нейрон реагує на так званий складний сенсорний образ, що формується в результаті конвергенції сигналів від різних сенсорних нейронів. Прикладами таких нейронів можуть бути нервові клітини, що забезпечують «впізнавання» слів або музичних акордів, геометричних фігур і т. П. Більш того, безліч об'єктів зовнішнього світу сприймається одночасно кількома різними сенсорними системами, завдяки тому, що на нейрони асоціативних зон кори конвергують сигнали від сенсорних нейронів цих систем. Наприклад, ми сприймаємо образ людини і за допомогою зорової сенсорної системою (зовнішній вигляд), і слуховий сенсорної системою (голос), і нюхової (запах) і т.д. коли нейрон реагує на так званий складний сенсорний образ, що формується в результаті конвергенції сигналів від різних сенсорних нейронів. Прикладами таких нейронів можуть бути нервові клітини, що забезпечують «впізнавання» слів або музичних акордів, геометричних фігур і т. П. Більш того, безліч об'єктів зовнішнього світу сприймається одночасно кількома різними сенсорними системами, завдяки тому, що на нейрони асоціативних зон кори конвергують сигнали від сенсорних нейронів цих систем. Наприклад, ми сприймаємо образ людини і за допомогою зорової сенсорної системою (зовнішній вигляд), і слуховий сенсорної системою (голос), і нюхової (запах) і т.д. забезпечують «впізнавання» слів або музичних акордів, геометричних фігур і т. п. Більш того, безліч об'єктів зовнішнього світу сприймається одночасно кількома різними сенсорними системами, завдяки тому, що на нейрони асоціативних зон кори конвергують сигнали від сенсорних нейронів цих систем.

Наприклад, ми сприймаємо образ людини і за допомогою зорової сенсорної системою (зовнішній вигляд), і слуховий сенсорної системою (голос), і нюхової (запах) і т.д. забезпечують «впізнавання» слів або музичних акордів, геометричних фігур і т. п. Більш того, безліч об'єктів зовнішнього світу сприймається одночасно кількома різними сенсорними системами, завдяки тому, що на нейрони асоціативних зон кори конвергують сигнали від сенсорних нейронів цих систем. Наприклад, ми сприймаємо образ людини і за допомогою зорової сенсорної системою (зовнішній вигляд), і слуховий сенсорної системою (голос), і нюхової (запах) і т.д.

Якщо канали передають інформацію від рецепторів одного типу, їх називають специфічними або мономодальні. Якщо ж в каналі проходить інформація від декількох типів РЦ, то це неспецифічний модальний канал. Крім того, у всіх каналах існують зворотні зв'язки, тобто еферентні (відцентрові) шляху, за допомогою яких центри більш високого рівня впливають на нижні центри. Треба не забувати, що на різних рівнях ЦНС від провідних волокон кожної сенсорної системи відходять колатералі до нейронів ретикулярної формації.

4.1.3. Сприйняття сенсорної інформації

В результаті діяльності сенсорних систем ми отримуємо внутрішньо усвідомлюваний образ стимулу. Процес формування внутрішнього образу називається сприйняттям (перцепції). Для кожного стимулу існує свій поріг сприйняття (відчуття). Такі пороги завжди вище абсолютного порога чутливості рецептора, і для того щоб стимул був сприйнятий, повинна додаватися реакція кількох рецепторів. Наприклад, для сприйняття зорового стимулу має одночасно прореагувати не менше семи зорових рецепторів. Чим вище в ЦНС (ближче до кори великих півкуль) розташований обробляє інформацію центр, тим вище його пороги чутливості. Поріг усвідомлення (сприйняття) найбільш високий.

При певній інтенсивності сигналу він може сприйматися підкірковими і корковими сенсорними зонами, але не «привертати уваги» центрів свідомості. У такому випадку говорять про неусвідомлено діючих стимулах. У людини можливе вироблення субсенсорного умовного рефлексу.

Корковий аналіз сенсорної інформації починається у відповідних проекційних зонах кори великих півкуль. Потім вона надходить в асоціативні зони кори, де зіставляється з образами, що зберігаються в пам'яті. В результаті відбувається її впізнавання. Процеси сприйняття і усвідомлення залежать від безлічі факторів (увага, емоції і т.п.).

Сенсорні нейронні мережі настільки складні, що зазвичай існують клітини, вибірково пов'язані не тільки з певною якістю або ознакою, а й з певним чином. Кожен образ викликає тільки йому притаманний Рисунок (патерн) активації нейронних мереж. У разі різних образів патерни можуть перекриватися, але все ж залишаються досить індивідуальними для дуже складних актів розрізнення - наприклад, впізнавання знайомого обличчя в натовпі.

Сприйняття подразника тісно пов'язане з його фізичними характеристиками. Закономірності цих зв'язків вивчаються головним чином психофізичними методами. Дослідження законів сприйняття представляє досить велику складність, тому що в більшості випадків засноване на суб'єктивних звітах випробуваних, сприйняття якими різних подразників може суттєво відрізнятися. Крім того, значні труднощі представляє зіставлення сприйняття різних сенсорних модальностей.

Одні з основних понять психофізики - поняття абсолютного і диференціального порогів. Абсолютний поріг сприйняття подразника - це найменша інтенсивність стимулу, що викликає відчуття. Треба мати на увазі, що абсолютний поріг може змінюватися в залежності від фізичних характеристик подразника. Наприклад, слухові пороги залежать від частоти звуку. Диференціальний поріг - поріг розрізнення за амплітудою або за якістю, тобто це мінімальна величина, на яку повинні відрізнятися два подразника, щоб вони сприймалися як різні.

4.2. Зорова сенсорна система

Зір - це фізіологічний процес отримання тваринами організмами інформації про зовнішній світ в результаті уловлювання електромагнітних випромінювань в діапазоні хвиль 300-800 нм, близькому до діапазону видимого світла. Зір властиво більшості безхребетних і хребетних тварин і є одним з основних способів орієнтації в просторі. Різні види сприймають світло в різних діапазонах. У людини це 400-750 нм, у бджоли - 300-650 нм (бачить ультрафіолетові промені, але не сприймає червоний колір), у мешканців водного середовища - лише 500-600 нм (через фільтрацію випромінювання товщею води).

Здатністю реагувати на зміну інтенсивності світла мають вже одноклітинні організми, які можуть віддалятися і наближатися до джерела світла. У багатоклітинних тварин в ході еволюції формується особлива сенсорна зорова система (зоровий аналізатор), що складається з органів зору, які проводять нервів і відділів центральної нервової системи, які забезпечують обробку одержуваної інформації.

4.3. Слухова сенсорна система

Слух - це здатність організму людини і тварин сприймати звукові роздратування. Звук, в свою чергу, можна визначити як коливальний рух частинок пружного середовища (газ, рідина, тверде тіло), що розповсюджується у вигляді поздовжньої хвилі. Звукові коливання характеризуються частотою (інфразвук - до 15-20 Гц; власне звук, тобто звук, чутний людиною, - від 16 Гц до 20 кГц; ультразвук - вище 20 кГц), швидкістю поширення (залежить від властивостей середовища): в повітрі - приблизно 340 м / с, в морській воді - 1550 м / с) і інтенсивністю (силою). На практиці застосовують порівняльну величину для вимірювання інтенсивності звуку - рівень звукового тиску, який вимірюється щодо порога чутності

людини в децибелах (дБ). Звуки, що містять коливання тільки однієї частоти (чисті тони), зустрічаються рідко.

Ваша здатність чути оцінюється за абсолютним порогу чутності - мінімальної вловлюється інтенсивності звуку. Чим менше величина порогу чутності, тим вище здатність чути. Абсолютний поріг чутності, в свою чергу, залежить від частоти тону. Для людини найбільш низький поріг чутності реєструється при 1-4 кГц. При дії звуків дуже високої інтенсивності виникає болюче відчуття.

Слухова система, як і інші сенсорні системи, здатна до адаптації. У цьому процесі беруть участь як периферичний відділ, так і нейрони ЦНС. Адаптація проявляється в тимчасовому підвищенні слухового порога.

Як вже говорилося, людина сприймає звуки з частотою від 16 до 20000 Гц. Цей діапазон з віком зменшується за рахунок скорочення його високочастотної частини. Після 40 років верхня межа частоти чутних звуків щороку стає менше приблизно на 160 Гц.

Діапазон частот, що сприймаються різними тваринами, відрізняється від людського. Так, у рептилій він простягається від 50 до 10000 Гц, а у птахів від 30 до 30000 Гц. Ряд тварин (дельфіни, кажани) здатні визначати положення об'єкта в просторі завдяки особливому виду слуху ехолокації - сприйняття звукових сигналів, які випускаються самим тваринам і відбиваються від об'єкта.

4.4. Вестибулярна сенсорна система

Вестибулярна система аналізує зміни положення тіла в просторі, а також дію на організм прискорень і змін сили тяжіння. Це обумовлює виникнення рефлексів, що призводять до координованих скорочень скелетної мускулатури, за допомогою яких зберігається рівновага. Виділяють статичні і статокінетичні вестибулярні рефлекси. Статичні рефлекси забезпечують адекватне взаємне розташування кінцівок і стійку орієнтацію тіла в просторі, тобто це пізні рефлекси. Прикладом може служити компенсаторне обертання очного яблука при повороті голови, завдяки чому зіниці зберігають положення, близьке до вертикального. Статокінетичні рефлекси виникають у відповідь на самі руху. Це, наприклад, рухи людини, відновлюють рівновагу після того, як він спіткнувся.

Периферичний відділ вестибулярного аналізатора знаходиться у внутрішньому вусі. Вестибулярний апарат (орган рівноваги) - це переддень і півкруглі канали з розташованими в них волосовими чутливими клітинами, здатними сприймати зміна положення тіла в просторі. Півкруглі канали являють собою вузькі ходи, розташовані в трьох взаємно перпендикулярних площинах. Один кінець кожного каналу утворює ампулу - колбоподібне розширення. Перетинчастийлабіринт всередині каналів повторює форму кісткового. Всередині кісткового передодня перетинчастийлабіринт утворює два мішечки - круглий (sacculus) лежить ближче до равлику і овальний (utriculus) - ближче до півкруглим каналах. Як вже говорилося,

перетинчастийлабіринт заповнений ендолімфою, а між кістковим і перетинчастим лабіринтами знаходиться перилімфа.

*вестибулярний рецептор*дуже схожий на слуховий. У верхній його частині розташована довга справжня вія (кіноцілій) і відходить від неї «шеренга» відбувають по довжині волосків, заповнених цитоплазмою (стереоціліями; їх кілька десятків). Так само як і у слухових рецепторів вершини волосків пов'язані найтоншими білковими нитками, з'єднаними з іонними каналами. Якщо відбувається деформація волосків у напрямку від стереоцилій до кіноцилій - білкові нитки натягуються, відкриваючи іонні канали. В результаті виникає вхідний струм катіонів, розвивається деполяризація і рецепторний потенціал. Волоскові рецептори вторичночутливі, і для передачі сигналу в ЦНС вони формують синапс з дендритами біполярних проводять нейронів вестибулярного ганглія скарпа (медіатор -глутамінова кислота). Чим більше деформація волосків, тим більше рецепторний потенціал і кількість виробленого медіатора. Таким чином, так само як і слухові, вестибулярні рецептори відносяться до механорецепторів.

У кожному з мішечків передодня є ділянка, в якому зібрані рецепторні волоскові клітини. Він називається макули (пляма). У кожній ампулі рецептори також згруповані і утворюють Крісті (гребінець). Над рецепторами лежить плаваюча в ендолімфі залізоподібна маса, в яку занурені кінчики волосків рецепторних клітин. У півколових каналах цю масу називають купуле. У мішечках залізоподібнамаса містить кристали карбонату кальцію (отоліти) і називається отолітовою мембраною.

Адекватним подразником для волоскових клітин вестибулярного апарату є зрушення желеподібної маси всередині порожнини, заповненої ендолімфою. Зрушення цей відбувається під дією сил інерції тоді, коли наше тіло переміщається з прискоренням. Подібним чином зсуваються пасажири в автобусі, який гальмує, розганяється або повертає. В результаті такого зміщення відбувається нахил пучка волосків вестибулярних рецепторів, що і призводить до генерації рецепторного потенціалу.

У зв'язку з особливостями будови вестибулярного апарату функції волоскових клітин в ампулах і в мішечках відрізняються. Рецептори в макули - це гравітаційні рецептори, тобто рецептори сили тяжіння. Вони реагують на різні нахили голови. Макули в круглому і овальному мішечках розташовані майже перпендикулярно один одному, тому при будь-якої орієнтації голови якась частина рецепторів збуджена. Ці ж рецептори реагують на появу лінійного прискорення (тобто на зміщення тіла вперед-назад, вгору-вниз і т.п.). Рецептори в кристах збуджуються при кутовому (обертальному) прискоренні, тобто при поворотах голови. Ще раз підкреслимо, що вестибулярні рецептори генерують рецепторний потенціал саме при прискоренні, при досягненні постійної швидкості зсуву голови вони «замовкають». Таким чином, для даної системи значення має тільки зміна швидкості.

Чутливість вестибулярної системи дуже велика як до лінійних прискорень (абсолютний поріг - 2 см / с2), так і до кутових обертанням (2-3 ° / с2). Диференціальний поріг нахилу голови вперед-назад становить близько 2 °, а вліво-вправо - 1 °.

вестибулярний нерв(Вестибулярна частина VIII пари черепних нервів) утворений аксонами клітин вестибулярного ганглія. Більшість волокон цього нерва закінчуються на чотирьох вестибулярних ядрах, розташованих з кожного боку на кордоні довгастого мозку і моста. Це верхнє ядро (Бехтерева), латеральне (Дейтерса), нижня (Роллера) і медіальне (Швальбе).

Вестибулярні ядра посилають свої волокна до численних структур ЦНС, тісно пов'язаним з регуляцією рухів. Основні з них представлені на схемі.

По-перше, це спинний мозок, через який здійснюється регуляція роботи м'язів нашого тіла за принципом вроджених рефлекторних реакцій (швидке розпрямлення кінцівок при втраті рівноваги, установка положення голови і т.п.). По-друге, це мозочок, який здійснює тонку координацію і регуляцію рухів, використовуючи для цього м'язову і вестибулярну чутливість. Обробкою вестибулярної інформації займається найбільш древня частина мозочка - Клочкова-вузликова частка; її пошкодження ведуть до порушення відчуття рівноваги - людина не може ходити, а при великих травмах - навіть сидіти.

По-третє, це окорухові ядра (ядра III, IV і VI пар черепних нервів). Зв'язок з ними необхідна для корекції рухів очей при зміні положення голови і тіла в просторі і, таким чином, для утримання зображення на сітківці. Одним з найважливіших статокинетичних рефлексів, здійснюваних за допомогою цих зв'язків є очної ністагм - ритмічний рух очей в сторону, протилежну обертанню, яке змінюється стрибком очей назад. Цей рефлекс є важливим показником стану вестибулярної системи; його характеристики широко використовуються в медичних дослідженнях.

Нарешті, це зв'язку з вегетативними центрами - парасимпатичними ядрами стовбура і гіпоталамусом, які забезпечують вегетативні компоненти вестибулярних реакцій. Сильні роздратування вестибулярних рецепторів можуть викликати неприємні відчуття - запаморочення, блювоту, тахікардію (почастішання ритму серцевих скорочень) і т.п. Такі симптоми називають кінетозом (хитанням, морською хворобою).

Волокна від вестибулярних ядер йдуть до кори великих півкуль, як і у інших сенсорних систем, через таламус (через рухові проекційні ядра). Завдяки цьому здійснюється свідома орієнтування в просторі. Вестибулярні зони в корі знаходяться в задній частині постцентральної звивини і нижньої частини прецентральної звивини.

Надходять від вестибулярних рецепторів імпульси не забезпечують ЦНС повною інформацією про положення тіла в просторі, тому що положення голови далеко не завжди відповідає положенню тулуба. Тому орієнтація в просторі здійснюється при комплексному участю ряду сенсорних систем, в першу чергу м'язово-суглобової і зорової.

Роботи з вестибулярної системою дуже активізувалися після початку польотів в космос, тому що в невагомості вестибулярний апарат значною мірою вимкнений. Однак, за звітами космонавтів, звикання до цього стану йде швидко, протягом всього декількох днів. Мабуть, в даному випадку робота вестибулярного аналізатора починає виконуватися іншими органами почуттів, що говорить про пластичності (гнучкості) нервової системи.

4.5. Соматична чутливість

До неї відносяться ті види чутливості, які пов'язані з тілом (грец. Soma - тіло), тобто шкірна рецепція і пропріорецепція.

Особливостями цих видів рецепції є відсутність спеціалізованих органів почуттів - рецептори розташовані по всьому організму; крім того у цих видів чутливості немає окремих нервів - аферентні волокна входять до складу спинномозкових і змішаних черепних нервів. Такими ж особливостями володіє і вісцерорецепція, яка буде розглянута в розділі хеморецепторів.

4.5.1. Шкірна сенсорна система

Діяльність шкірного аналізатора пов'язана з дотиком - здатністю організму сприймати больові, термічні і механічні (тактильні) впливу середовища за допомогою спеціалізованих рецепторів. Крім шкіри такі рецептори є в слизових оболонках внутрішніх порожнин організму. Однак в останньому випадку точність локалізації відчуття знижена, тому що щільність нервових закінчень у слизовій набагато менше.

У формуванні шкірної чутливості беруть участь подразники кількох модальностей. Виділяють тактильну рецепцію, що включає відчуття дотику, тиску, вібрації; температурну рецепцію, поділяючись на теплову і холодову; ноціцептивну (больову) рецепцію - відчуття подразників, які сигналізують про пошкодження (або можливості пошкодження) тканин і органів. У повсякденному житті дотиком, як правило, називають тактильну рецепцію.

Всі відчутні рецептори –первично чутливі і являють собою закінчення дендритів псевдоуніполярних нейронів. Тіла цих нейронів розташовані в сенсорних гангліях (спинномозкових або черепних нервів).

Органом дотику є шкіра. Вона складається з двох основних шарів - епідермісу (істинний зовнішній шар - похідне ектодерми) і дерми або власне шкіри (похідне мезодерми). Похідними епідермісу є такі спеціалізовані структури, як волосся, нігті, шкірні залози. Функції шкіри дуже численні: захисна, видільна, дихальна та ін. Нас буде цікавити сенсорна функція шкіри.

Рецепторна поверхню шкірного аналізатора в порівнянні з іншими аналізаторами дуже велика - до 2,0 м2. Шкірні рецептори розташовані головним чином в дермі, а також в самих нижніх шарах епідермісу. Виділяють три основні типи шкірних рецепторів: 1) вільні нервові закінчення - розгалуження нервового волокна в шкірі; 2) сплетення вільних нервових закінчень в волосяний сумці; 3) інкапсульовані нервові закінчення - закінчення нервових волокон, укладені в сполучнотканинні капсули.

Останній з названих типів дуже різноманітний, наприклад, тільця Пачіно, тільця Мейснера, колби Краузе, циліндри Руффини і ін.

Довгий час фізіологи вивчають питання, чи є зв'язок між видом шкірних рецепторів і модальністю сприйманого ними подразника. Останнім часом дослідники приходять до висновку, що якщо більшості інкапсульованих нервових закінчень властива краща чутливість до певних модальностям подразника, вільні нервові закінчення є полімодальний, тобто реагують на подразники декількох типів (ноцицептивні, температурні, тактильні).

При сприйнятті тактильних подразників велике значення мають просторові і тимчасові характеристики стимулу.

Просторові характеристики залежать від диференціальних порогів. У разі шкірних рецепторів - це їх здатність розрізняти дві різні точки дотику. Якщо взяти циркуль, ніжки якого розсунуті на 4 см, приставити його до спини людини і запитати, скільки точок дратують, то швидше за все він відповість, що одну. І тільки якщо ніжки будуть розсунуті більше ніж на 5-6 см, обидві дратує точки будуть сприйматися окремо. Найменша відстань між двома точками шкіри, при подразненні яких виникає відчуття двох дотиків, називають порогом просторового дозволу (диференційний поріг). Ці пороги відрізняються на різних ділянках шкіри: мінімальні - на кінчику язика (1-2 мм), вказівному пальці (2-3 мм), губах (приблизно 5 мм); максимальні - на стегнах, спині (5-6 см). очевидно, що мінімальні пороги спостерігаються в тих частинах тіла, інформація від яких особливо важлива для організму. Розрізнення пов'язано з розміром рецептивного поля як конкретного сенсорного нейрона (тобто на якій ділянці поверхні галузиться його відросток), так і нейронів кори. При пошкодженнях кори (наприклад, при інсульті) просторове розрізнення різко погіршується.

Тимчасові характеристики пов'язані зі здатністю рецепторів до адаптації. Дуже швидко адаптуються рецептори (тільця Пачіно) реагують тільки на зміну швидкості механічної стимуляції, тобто на прискорення. Це рецептори вібрації. Повільно адаптивні рецептори (диски Меркеля, циліндри Руффини) служать рецепторами інтенсивності і тривалості тиску. Тільця Мейснера і нервові закінчення в волосяних сумках по здатності до адаптації лежать між дуже швидко і повільно адаптивними рецепторами. Вони реагують тільки на рух шкіри і волосся. Частота їх імпульсації збільшується зі швидкістю руху, тому їх називають рецепторами швидкості.

Температурна чутливість відіграє дуже велику роль в роботі організму, тому що з нею пов'язана терморегуляція. Сприйняття організмом тепла і холоду залежить, в першу чергу, від температури поверхні шкіри, а також від процесів адаптації. Якщо ми опустимо праву руку в гарячу воду, а ліву - в холодну, потримаємо їх там приблизно хвилину, а потім опустимо обидві руки в теплу воду, то права рука відчує холод, а ліва - тепло. У вузькому нейтральному діапазоні, відповідному постійній температурі тіла (у людини приблизно від 30°до 40°С), активність терморецепторів мінімальна, вони адаптовані до цієї температурі, і ні тепло, ні холод не сприймаються. За

межами такої зони стійкі температурні відчуття виникають навіть при постійній температурі, наприклад, почуття замерзлих ніг може зберігатися годинами. Температурні відчуття можуть викликатися і неадекватними подразниками, наприклад, ментол викликає відчуття холоду.

больова рецепція(Ноціцепція) має особливе значення в житті організму, тому що вона сигналізує про небезпеку при дії будь-яких надмірно сильних або шкідливих подразників. Подразники ці, пошкоджуючи тканини тіла, викликають викид постраждалими клітинами в міжклітинну середу особливих речовин, що сигналізують про травму. Такі речовини (простагландини, серотонін, іони кальцію) впливають на больові рецептори і збуджують їх. Ключове значення серед них мають простагландини - речовини, які утворюються з ліпідів пошкоджених мембран за допомогою ферменту простагландинсинтетази.

Як вже було сказано, існують спеціальні рецептори для сприйняття болю (вільні нервові закінчення), в той же час і надмірне подразнення тактильних і терморецепторів може викликати біль. Адаптація до больових подразників можлива лише в невеликому ступені. Наприклад, якщо ввести в шкіру голку і не рухати її, відчуття болю поступово проходить. Однак для зняття сильного болю потрібне застосування спеціальних препаратів - анальгетиків. Найбільш поширені з них - анальгін, парацетамол, аспірин (тобто ненаркотичні анальгетики) - блокатори простагландинсинтетази.

У важких випадках використовуються морфін і подібні до них сполуки (наркотичні анальгетики). При оперативних втручань для знеболювання невеликих ділянок тіла використовують анестезію і, вводячи новокаїн, лідокаїн і т.п., блокують проведення імпульсів по нервових волокнах. При порожнинних операціях зазвичай застосовують наркоз, що характеризується оборотною втратою свідомості і больової чутливості, розслабленням скелетних м'язів.

Перетворену рецепторами інформацію сенсорні волокна передають в спинний мозок і в стовбур головного мозку. Там вона використовується двояким чином: по-перше, бере участь у запуску і протягом рефлексів, наприклад, в згинальних рефлексах на больовий подразник; по-друге, надходить до висхідних шляхах, що йде в кору великих півкуль. При цьому в спинному мозку відбувається перегрупування аферентних волокон таким чином, що тактильна, температурна і больова рецепція не змішуються.

Перемикання і переробка больової чутливості відбуваються в найбільш периферичної частини заднього рогу сірої речовини спинного мозку. Тут розташовані не тільки релейні нейрони, які проводять інформацію в головний мозок, а й інтернейрони, що впливають на роботу релейних клітин. Призначення інтернейронів полягає в реалізації пре- і постсинаптичного гальмування передачі болю. Нагадаємо, що пресинаптичного гальмування реалізується за допомогою пептиддергічних нейронів (медіатори - опіоїдні пептиди).

Управління роботою постсинаптичних гальмівних інтернейронів здійснюється на двох рівнях: за рахунок команд з головного мозку (від

блакитного плями, центральної сірої речовини) і за рахунок тактильних сигналів від тієї ж точки шкіри, де розташований больовий рецептор. Остання система характеризується як «ворітної контроль проведення болю». Саме цей механізм ми інтуїтивно активуємо, масажуючи хворе місце, дуючи на нього і т.п. Блокада болю за рахунок самонавіювання, гіпнозу, рефлексотерапії, мабуть, реалізується завдяки гальмівним сигналам з головного мозку.

Подальша передача больової чутливості відбувається в основному за спинно-таламічний тракт в медіальну (внутрішню) область таламуса, а звідти - в кору великих півкуль. При цьому виділяють два типи проекцій - дифузні та локальні. Перші поширюються на всю кору і покликані привернути увагу до болю, допомогти змінити поведінку і запустити оборонні реакції. Другі йдуть в постцентральну звивину і сприяють точної локалізації та аналізу больових відчуттів. Частина больових сигналів передається в гіпоталамус, запускаючи роботу систем негативного підкріплення.

Переробка шкірної і температурної чутливості здійснюється в середній зоні заднього рогу сірої речовини. Однак основна її маса передається в головний мозок без перемикання в спинному. Для цього частину нейронів спинномозкових гангліїв «збирає» свої аксони разом і формує дорзальні канатики білої речовини (дорзальні або задні стовпи). Дорзальні стовпи діляться на ніжний (тонкий) і клиновидний пучки. Перші несуть інформацію від ніг і нижньої частини тулуба, другі - від рук і верхньої частини тулуба. Далі сигнали переключаються в тонкому і клиновидних ядрах довгастого мозку. Після перехрещення аксони клітин цих горбків і приєдналися до них аксони клітин сенсорних ядер V (трійчастого) нерва (чутливість голови) направляються в вентральну (нижню) задню частину таламуса. волокна, несучі шкірну чутливість в таламус прийнято називати медіальний лемніском (медіальної петлею). І, нарешті, нейрони таламуса передають шкірну і температурну чутливість в соматосенсорну кору в постцентральній звивині.

У цій області великих півкуль представлена соматотопічнакарта шкірної поверхні. Вона була вивчена в ході нейрохірургічних операцій, коли при стимуляції струмом хворі давали звіт про свої відчуття. Пропорції соматотопічні карти значною мірою спотворені. Це пов'язано з відмінностями в щільності рецепторів на різних ділянках шкіри, що, відповідно, впливає на пороги просторового дозволу. Проекції від лівої половини тіла розташовуються в правій половині мозку, а від правої половини тіла - в лівій. Цікаво, що коркові представництва різних частин тіла можуть дещо змінюватися у людей в залежності від роду їх діяльності. Наприклад, ділянка кори, в який проектується інформація від шкірних рецепторів лівої руки у музикантів, що грають на струнних інструментах більше, ніж у інших людей.

4.5.2. М'язова сенсорна система

Необхідною умовою нормальної м'язової діяльності є отримання інформації про положення тіла в просторі і про ступінь скорочення кожної з

м'язів. Ця інформація надходить в ЦНС від різних рецепторів, наприклад, вестибулярного апарату, очей. Однак найважливішим її компонентом є сигнали від м'язово-суглобових рецепторів - пропріоцепторів (або пропріорецепторів).

Основні пропріоцептори - це м'язові веретена і сухожильні тільця Гольджі. Існують також рецептори в суглобах (тільця Пачіно). Все пропріоцептори -механорецептори.

*м'язові веретена*являють собою веретеноподібні структури, розташовані в м'язах. Кожне м'язове веретено складається з декількох сильно зменшених видозмінених (інтрафузальних) м'язових волокон, вкритих єдиної капсулою. М'язові веретена розташовані паралельно звичайним м'язовим (екстрафузальних) волокнам і кріпляться до них або до сухожиль .

До м'язовим веретеном підходять аферентні (чутливі) волокна, які є периферійними відростками (дендритами) псевдоуніполярних нейронів сенсорних спинномозкових гангліїв. Ці відростки входять всередину веретена і обплітають інтрафузальні м'язові волокна таким чином, що розтягнення останніх викликає активацію нервового відростка, генерацію рецепторного потенціалу і потенціалів дії. Сигнали проводяться до тіла псевдоуніполярного нейрона і далі через задні корінці входять в спинний мозок. Таким чином, м'язові веретена забезпечують ЦНС відомостями про стан м'язів, їх фактичної довжині і швидкості її зміни. Принципово важливо, що окрім аферентних волокон до м'язових веретен підходять ще і еферентні (рухові) волокна від мотонейронів спинного мозку.

Розглянемо більш детально систему зв'язків між мотонейронами передніх рогів спинного мозку і екстра-та інтрафузальними волокнами, тобто волокнами м'язів і м'язових веретен. Звичайні м'язові волокна іннервуються альфа-мотонейронами, а інтрафузальних - більш дрібними гамма-мотонейронами. Імпульси від порушених веретен надходять на альфа-мотонейрони, що іннервують м'язові волокна, до яких прикріплені відповідні веретена. Таким чином, при порушенні м'язових веретен скорочення м'язи посилюється.

Через мотонейрони і на звичайні, і на інтрафузальні волокна надходить однакова інформація про те, на скільки при кожному конкретному русі м'яз повинна («з точки зору» верхніх відділів ЦНС) скоротитися. Але альфа-мотонейрони проводять потенціали дії з набагато більшою швидкістю, ніж гамма-мотонейрони. Тому збудливі сигнали досягають звичайних м'язових волокон раніше, ніж інтрафузальних. М'яз скорочується і усуває таким чином будь-яке розтягнення інтрафузальних волокон. Внаслідок цього активність в чутливих нервових волокнах припиняється. Однак потім в м'яз доходять потенціали дії і від гамма-мотонейронів, і інтрафузальні волокна також скорочуються. Якщо імпульсація в гамма-волокнах вимагає більшого скорочення інтрафузальних волокон, ніж досягнуто оточуючими звичайними м'язовими волокнами, то інтрафузальні в безуспішній спробі скоротитися (тому що вони прикріплені своїми кінцями до звичайних м'язових волокон) відчувають напругу. Воно збуджує чутливі аферентні закінчення, які

передають збуджуючі імпульси до відповідних альфа-мотонейронів. В результаті м'яз посилює свій скорочення (петля позитивного зворотного зв'язку). В цьому випадку м'язові веретена працюють як пристрій порівняння між ідеальним і реальним скороченням, здійснюючи корекцію м'язового скорочення.

*Сухожильні тільця Гольджі*знаходяться в зоні з'єднання м'язових волокон з сухожиллям послідовно по відношенню до м'язових волокон. Вони складаються з сухожильних ниток, укладених в сполучно тканинну капсулу. Також як і до м'язових веретен до них підходять аферентні волокна від спинномозкових гангліїв. Адекватним подразником для рецепторів Гольджі також є розтягнення, але через свого розташування вони слабо реагують на розтягнення м'яза, а порушуються головним чином при її сильних скороченнях. Поріг спрацьовування рецепторів Гольджі помітно більше, ніж у м'язових веретен. Таким чином сухожильні рецептори реєструють в основному напруга м'язи.

*суглобові рецептори*розташовані в стінках суглобових сумок і здатні з великою точністю оцінювати кут згинання суглоба і його руху. За будовою вони відносяться до інкапсульованим нервовим закінченням. Раніше вважалося, що вони грають провідну роль в пропріорецепції. Проте було встановлено, що хворі з штучними суглобами розрізняють їх становище майже так само добре, як здорові люди за рахунок інформації від м'язових веретен.

Як і в разі системи шкірної чутливості, інформація від пропріоцепторів не тільки запускає рефлекси спинного мозку, але і надходить у головний мозок по висхідним трактах. Найбільш швидкий шлях передачі збігається з описаним для тактильної інформації: через тонкий і клиновидний пучки до вентральному заднього ядра таламуса і далі в кору. Коркова зона м'язово чутливості знайдена в глибині центральної борозни, де вона розташовується паралельно соматосенсорної області.

М'язову чутливість передають також спино можечкові тракти. Вони сформовані аксонами нейронів сірої речовини спинного мозку. Тіла цих нейронів розташовані в підставі задніх рогів (зона обробки м'язово чутливості). Особливо важливий зв'язок з мозочком для швидкої корекції добре відпрацьованих (автоматизованих) рухів. Частина волокон, що несуть інформацію від пропріоцепторів, закінчується на вестибулярних ядрах (звідки починається вестибуло-спинальний тракт) стовбура мозку.

У звичайних умовах людина не усвідомлює, в якому стані знаходяться його м'язи. Але оскільки проекції від пропріоцепторів доходять до кори великих півкуль, де інформація від органів почуттів набуває форму відчуття, то свідома оцінка ступеня скорочення м'язів, звичайно, можлива. Людина може довільно розслабити або скоротити певні м'язи, тобто регулювати свої дії завдяки наявності м'язового почуття - відчуття, що виникає в результаті спрацьовування системи м'язової чутливості.

З усіх сенсорних систем м'язова має найбільше значення для управління здійснюються рухами, а також для рухового навчання і

формування різних навичок (в тому числі мовних, трудових і т.д.). При цьому під контролем свідомості здійснюються (із залученням м'язового почуття) лише найбільш тонкі і нестандартні руху - наприклад, втягання нитки в голку. Однак паралельно ми зазвичай здійснюємо масу інших рухів - підтримання пози, переміщення в просторі, вимовляння слів. За цими рухами стежать спинний мозок, вестибулярні ядра, мозочок - структури, куди направляється основна частина сигналів від м'язових веретен, рецепторів Гольджі, суглобових рецепторів. Подібне розділення функцій прискорює роботу рухових систем, робить її більш точною, а скорочення окремих м'язів більш узгодженими.

4.6. Сенсорні системи з рецепторами хімічної чутливості (хеморецепторами)

Хеморецепція називається сприйняття організмом сигналів у вигляді різних хімічних речовин. Еволюційно це найдавніший вид рецепції. Чутливість до хімічних речовин і виборче реагування на деякі з них (наближення до їжі і уникнення ушкоджують впливів) спостерігаються вже у бактерій і одноклітинних. У багатоклітинних тварин розрізняють інтерохеморецепцію, що забезпечує аналіз внутрішніх середовищ організму (в т.ч. детекцію гормонів, медіаторів, токсинів), і екстерохеморецепцію, за допомогою якої сприймаються зовнішні хімічні подразники. Серед типів хімічної чутливості, що реагують на зовнішні стимули, можна, в свою чергу, виділити смак і нюх. Хеморецепція грає найважливішу роль при пошуку їжі, уникнення ворогів і шкідливих факторів, знаходженні статевого партнера, виявлення особин свого виду і т.д.

Хеморецептори - це спеціалізовані клітини або їх відростки, завдяки яким організм сприймає важливі для його життєдіяльності хімічні сигнали, наприклад, коливання кислотності і іонного складу водного середовища, газового складу повітря, присутність живильних, їдких, отруйних речовин і т.д. В основі функціонування хеморецепторів лежить діяльність мембранних рецепторних білків. Останні при зв'язуванні з певними хімічними речовинами запускають ланцюг внутрішньоклітинних реакцій, що приводить до виникнення рецепторного потенціалу.

4.6.1. Нюхова сенсорна система

Нюх - це здатність сприймати і розрізняти запахи. За розвитком здатності до нюху всіх тварин поділяють на макросматіків, у яких нюховий аналізатор є провідним (хижаки, гризуни, копитні і т.п.), мікросматіків, для яких головне значення мають зоровий і слуховий аналізатори (примати, птахи) і аносматіків, у яких нюх відсутній (китоподібні). Нюхові рецептори розташовані у верхній частині носової порожнини. У мікросматіків людини площа несе їх нюхового епітелію 10 см2, а загальне число нюхових рецепторів досягає 10 мільйонів. А ось у макросматікі німецької вівчарки поверхню нюхового епітелію 200 см2, а загальне число нюхових клітин - понад 200 мільйонів.

Вивчення роботи нюху ускладнене тим, що до цих пір не існує загальновизнаної класифікації запахів. В першу чергу це пов'язано з крайньою суб'єктивністю сприйняття величезної кількості нюхових подразників. Найбільш популярна класифікація, що виділяє сім основних запахів - квітковий, мускусний, м'ятний, камфорний, ефірний, гострий і гнильний. Змішування цих запахів в певних пропорціях дозволяє отримати будь-який інший аромат. Показано, що молекули речовин, що викликають певні запахи, мають схожу форму. Так, ефірний запах викликається речовинами з молекулами в формі палички, а камфорний запах - у формі кулі. Однак гострий і гнильний запахи пов'язані з електричним зарядом молекул.

*нюховий епітелій*містить опорні клітини, рецепторні клітини і базальні клітини. Останні в ході свого поділу і росту можуть перетворюватися в нові рецепторні клітини. Таким чином, базальні клітини заповнюють постійну спад нюхових рецепторів, що відбувається внаслідок їх загибелі (термін життя рецептора приблизно 60 днів).

Нюхові рецептори –первино сенсорні і є частиною нервової клітини. Це біполярні нейрони, короткий розгалужений дендрит яких виходить на поверхню слизової носа і несе пучок з 10-12 рухливих вій. Аксони рецепторних клітин направляються в центральну нервову систему і несуть нюхову інформацію. У слизовій оболонці носової порожнини є спеціальні залози, які виділяють слиз, яка зволожує поверхню рецепторних клітин. Є у слизу і інша функція. У слизу молекули пахучих речовин на короткий час зв'язуються зі спеціальними білками. Завдяки цьому гідрофобні пахучі речовини концентруються в цьому насиченому водою шарі, що полегшує їх сприйняття. При нежиті набухання слизових оболонок перешкоджає проникненню пахучих молекул до рецепторних клітин, тому поріг роздратування різко підвищується і нюх тимчасово зникає.

Щоб пахнути, тобто порушувати нюхові рецептори, молекули речовин повинні бути летких і хоча б злегка розчинні у воді. Чутливість рецепторів дуже велика - можливе порушення нюхової клітини навіть однією молекулою. Принесені повітрям пахучі речовини взаємодіють з білковими рецепторами на мембрані вій, викликаючи деполяризацію (рецепторний потенціал). Вона поширюється по мембрані рецепторної клітини і призводить до виникнення потенціалу дії, «тікає» по аксону в головний мозок.

Частота потенціалів дії залежить від виду та інтенсивності запаху, але в цілому одна сенсорна клітина може реагувати на цілий спектр запахів. Зазвичай деякі з них краще, тобто поріг реакції на такі запахи нижче. Таким чином, кожне пахуче речовина збуджує багато клітин, але кожну з них по-різному. Найімовірніше, що кожен нюховий рецептор налаштований на свій чистий запах і передає інформацію про його модальності, закодовану «номером каналу» (показано, що рецептор кожного конкретного запахового речовини локалізована в певній галузі нюхового епітелію). Інтенсивність запаху кодується частотою потенціалів дії в нюхових волокнах. Створення ж цілісного нюхового відчуття є функцією ЦНС.

Аксони нюхових клітин збираються приблизно в 20-40 нюхових ниток. Власне вони і є нюховими нервами. Особливість проводить відділу нюхової системи в тому, що її аферентні волокна не здійснюють перехрещення і не мають перемикання в таламусі. Нюхові нерви входять в порожнину черепа через отвори в кістки і закінчуються на нейронах нюхових цибулин. Нюхові цибулини розташовані на нижній поверхні лобових часток кінцевого мозку. Вони є частиною палеокортекс (древньої кори) і, як і всі коркові структури, мають шарувату будову. Тобто в ході еволюції кінцевий мозок (в тому числі великі півкулі) виникає насамперед для того, щоб забезпечувати нюхові функції. І лише в подальшому він збільшується в розмірі і починає брати участь в процесах запам'ятовування (стара кора; рептилії), а потім в забезпеченні рухових і різноманітних сенсорних функцій (нова кора, птахи та ссавці). Нюхові цибулини це єдиний відділ мозку, двостороннє видалення якого завжди призводить до повної втрати нюху.

Найбільш помітний шар в нюхової цибулини - це мітральні клітини. На них приходить інформація від рецепторів, а аксони мітральних клітин утворюють нюховий тракт, що йде до інших нюхових центрів. У нюховому тракті проходять і еферентні (відцентрові) волокна від інших нюхових центрів. Вони закінчуються на нейронах нюхової цибулини. Розгалужені закінчення волокон нюхових нервів і розгалужені дендрити мітральних клітин, сплітаючись і утворюючи один з одним синапси, формують характерні утворення - гломерули (клубочки). У них входять відростки і інших клітин нюхової цибулини. Вважають, що в клубочках відбувається сумація збуджень, яка контролюється еферентноюімпульсацією. Дослідження показують, що різні нейрони нюхових цибулин по-різному реагують на пахучі речовини різного виду,

Нюховий аналізатор характеризується швидкою адаптацією до запахів - зазвичай через 1-2 хвилини від початку дії певної речовини. Розвиток цієї адаптації (звикання) є функцією нюхової цибулини, вірніше, розташованих в ній гальмівних інтернейронів.

Отже, аксони мітральних клітин формують нюховий тракт. Його волокна йдуть до різних утворень переднього мозку (переднього нюхової ядру, мигдалині, ядер перегородки, ядер гіпоталамуса, гіпокампу, преперіферійної кори і ін.). Права і ліва нюхові області контактують за допомогою передньої комісури.

Більшість зон, які отримують інформацію від нюхового тракту, розглядаються як асоціативні центри. Вони забезпечують зв'язок нюхової системи з іншими аналізаторами і організацію на цій основі багатьох складних форм поведінки - харчового, оборонного, статевого і т.д. Особливо важливі в цьому сенсі зв'язку з гіпоталамусом і мигдальної, за якими нюхові сигнали досягають центрів, які запускають різні типи безумовних (інстинктивних) реакцій.

Добре відомо, що нюхові стимули здатні пробуджувати емоції і витягувати спогади. Це пов'язано з тим, що практично всі нюхові центри

входять в лімбічну систему, тісно пов'язану з формуванням і протіканням емоцій і пам'яті.

Оскільки діяльність нюхової цибулини може модифікуватися завдяки сигналам, що йдуть до неї від інших коркових структур, стан цибулини (і, отже, реакція на запахи) змінюється в залежності від загального рівня активації мозку, мотивацій, потреб. Це дуже важливо при реалізації поведінкових програм, пов'язаних, наприклад, з пошуком їжі, розмноженням, територіальним поведінкою.

Довгий час до додаткових органам нюху відносили вомероназальний або Якобсоном орган (ЗНО). Вважалося, що у приматів, в тому числі і у людини, ЗНО у дорослих скорочений. Однак дослідження останніх років показали, що ЗНО є самостійною сенсорною системою, яка має ряд відмінностей від нюхової.

Рецептори ЗНО розташовані в нижньо медіальній стінці носової області і відрізняються за будовою від нюхових рецепторів. Адекватним подразником для цих рецепторів є феромони - біологічно активні летючі речовини, які виділяються тваринами в навколишнє середовище і специфічно діють на поведінку особин свого виду. Принциповою відмінністю цієї сенсорної системи є те, що її подразники усвідомлюються. Знайдено тільки підкірковіцентри, зокрема гіпоталамус, куди проектуються сигнали від ЗНО, коркові ж центри не виявлені. У ряду тварин описані феромони страху, агресії, статеві феромони і т.п.

У людини феромони виділяються особливими потовими залозами. Для людей поки що описані лише статеві феромони (чоловічі та жіночі). І тепер стає ясно, що статеві переваги людини формуються не тільки на підставі соціокультурних чинників, але і в результаті неусвідомлюваних впливів.

4.6.2. Смакова сенсорна система

Смак - відчуття, що виникає при дії певної речовини на смакові рецептори язика і слизової оболонки рота. В процесі еволюції смак формувався як сенсорний механізм, який сприяє вибору «хорошою» їжі, з чого випливає, що смакові відчуття впливають на наші харчові переваги. Крім того, роздратування смакових рецепторів призводить до виникнення численних вроджених (безумовних) рефлексів, які керують діяльністю органів травлення. При цьому в залежності від властивостей їжі секрет, що виділяється травними залозами, може істотно змінювати свій склад.

смакові рецептори- клітини, роздратування яких викликає смакові відчуття. Велика частина їх розташовується на мові. Крім того, смакові рецептори розташовані на задній стінці глотки, м'якому і надгортаннику. Рецепторні клітини об'єднані під смакові нирки (цибулини), а вони зібрані в три види сосочків - грибоподібні, желобовидних і листоподібні.

Різні ділянки язика по-різному чутливі до смакових модальностям. Підстава мови, де переважають желобовидні сосочки, найбільш чутливі до гіркого, кінчик язика (на ньому в основному грибоподібні сосочки) - до

солодкого, бічні частини мови (листоподібні сосочки) - до кислого і солоного.

смакова брунька лежить в товщі багатошарового епітелію. Вона має форму цибулини і складається з опорних, рецепторних і базальних клітин. У кожній нирці кілька десятків клітин. Нирки не досягають поверхні слизової оболонки і пов'язані з нею через невеликі канали - смакові пори. При цьому рецепторні клітини утворюють на своїй вершині мікроворсинки, що знаходяться в загальній камері безпосередньо під часом. Смакові рецептори - самі короткоживучі сенсорні клітини організму. Тривалість життя кожної з них близько 10 днів, після чого так само, як і в разі нюхової системи, з базальної клітини формується новий рецептор. У дорослої людини 9-10 тисяч смакових нирок. З віком частина їх атрофується.

Смакові рецептори –вторично сенсорні. Сенсорні нейрони, які проводять смакову інформацію в ЦНС, - це псевдоуніполярні нейрони, що входять до складу гангліїв лицьового (VII пара), язикоглоткового (IX пара) і блукаючого (X пара) черепних нервів. Периферичні відростки цих нейронів підходять до смаковим рецепторам, і при досить сильному збудженні рецепторів в ЦНС проводяться нервові імпульси. Смакові волокна закінчуються на чутливому ядрі, розташованому в довгастому мозку (ядро одиночного шляху). Через це ядро підтримується зв'язок з безумовно рефлекторними центрами, які здійснюють найпростіші рефлекси, наприклад, слиновиділення, жування, ковтання. Гіркий смак є сигналом для запуску ряду оборонних реакцій (випльовування, блювота і т.п.).

Велика частина аксонів ядра одиночного шляху перехрещується, піднімається вгору до таламуса (де закінчується на нейронах заднього вентрального ядра) і далі - до кори великих півкуль. В даний час з'ясовано, що смакові центри знаходяться в островковій частці кори, а також у нижнього кінця центральної борозни (поле 43). Деяка кількість аксонів, що йдуть з довгастого мозку, закінчується в гіпоталамусі. Вони вносять свій вклад в управління рівнем харчової та оборонної мотивацій, генерацію позитивних і негативних емоцій, а також визначають неусвідомлені харчові переваги.

Виділяють п'ять основних смакових модальностей: солодку, солону, кислу, гірку і умами. Остання модальність позначається японським словом, що позначає смак глутамату натрію (добре виражений м'ясний смак). При вивченні їх особливостей застосовують розчини різних речовин, які крапельно наносяться на різні ділянки язика. Як еталонне солодка речовина застосовують глюкозу, кисле - соляну кислоту, солоне - хлористий натрій (кухонна сіль, NaCl), гірке - хінін. Кожна рецепторна клітина найбільш чутлива до певної смакової модальності, але відповідає і на інші види смакової стимуляції (зазвичай значно слабкіше, тобто з більш високим порогом реакції).

«Солодкі», «гіркі» і «умами» молекули взаємодіють з мембранними рецепторами, що в кінцевому підсумку призводить до викиду медіатора в синапсах між рецепторними клітинами і волокнами сенсорних клітин і

проведення нервових імпульсів в ЦНС. Механізм генерації рецепторного потенціалу при сприйнятті солоного і кислого смаку відрізняється від звичайного принципу роботи хеморецепторів. У «солоних» рецепторних клітинах присутні відкриті натрієві канали. Солона їжа містить велику кількість іонів Na +, тому він дифундує (входить) всередину смакових клітин, викликаючи деполяризацію. Вона в свою чергу призводить до викиду медіатора. Кислий смак викликається великою концентрацією іонів водню (H +) в кислих продуктах. Входячи в рецепторну клітину, вони також викликають деполяризацію.

Крім смакових, в ротовій порожнині знаходяться також шкірні рецептори. У нормальних умовах цілісне смакове сприйняття формується за їх участю (визначення консистенції їжі, її температури і т.п.). Більш того, через тактильні рецептори опосередковуються такі, на перший погляд, смакові відчуття, як ментолове і пекуче (гостре). У формування смакового сприйняття вносить свій внесок і нюховий аналізатор. При порушенні нюху (наприклад, під час нежиті) смакові відчуття значно знижені.

Пороги чутливості смакових рецепторів дуже індивідуальні для різних людей (частина відмінностей генетично задана) і можуть змінюватися в залежності від багатьох умов. Наприклад, поріг до хлористому натрію (кухонна сіль) зменшується при його видаленні з їжі і збільшується при вагітності. Смакове відчуття залежить також від концентрації речовини. Так, максимально солодкий 20% розчин цукру, максимально солоний 10% розчин хлористого натрію, максимально кислий 0,2% розчин соляної кислоти, максимально гіркий 0,1% розчин хініну. При подальшому підвищенні концентрацій смакові відчуття зменшуються. Залежать смакові відчуття і від температури: «солодкі» рецептори найбільш чутливі при температурі їжі близько 37°З, «солоні» - приблизно при 10°С, при 0°З смакові відчуття зникають.

Як і всі інші сенсорні системи, смакова здатна адаптуватися до постійно діючого стимулу, і при тривалому порушенні рецепторів їх поріг збільшується. Адаптація до одного з смакових відчуттів часто знижує пороги для інших. Це явище називається смаковим контрастом. Наприклад, після ополіскування рота слабо підсоленим розчином чутливість до інших смаковим модальностям збільшується.

4.6.3. Внутрішня рецепція (вісцерорецепція).

Вісцерорецептори- це частина інтерорецепторів, які знаходяться у внутрішніх органах і кровоносних судинах. Завдяки їм організм отримує безліч інформації, необхідної для підтримки гомеостазу, тобто сталості внутрішнього середовища. Так, в результаті діяльності Вісцерорецептори здійснюється регуляція дихання, підтримання постійного кров'яного тиску, виділення травних соків і т.д. Серед Вісцерорецептори зустрічаються не тільки хеморецептори, що реагують на зміну складу внутрішнього середовища організму, але і барорецептори (рецептори тиску, наприклад, на стінки судин), і терморецептори.

Незважаючи на широке поширення таких рецепторів в організмі, це найбільш прихована від нас сенсорна система. Справа в тому, що в більшості випадків подразники, що діють на Вісцерорецептори, усвідомлюються, хоча наше самопочуття в значній мірі визначається інформацією, одержуваної через цю сенсорну систему.

Проте роздратування деяких Вісцерорецептори може призводити до цілком усвідомленими відчуттям. Наприклад, почуття голоду і спраги виникає при зміні хімічного складу плазми крові (рецептори в гіпоталамусі); поява токсинів в крові може запустити блювотний рефлекс (рецептори в довгастому мозку); при підвищенні тиску на стінки сечового міхура виникають позиви до сечовипускання і т.д.

Система внутрішньої чутливості - одна з найдавніших сенсорних систем нашого організму. Вона бере участь в забезпеченні всіх життєво важливих функцій. Тому не дивно, що сигнали від цієї системи запускають велике число вроджених реакцій, що замикаються на рівнях спинного, довгастого, проміжного мозку.

Як приклад роботи системи внутрішньої чутливості розглянемо регуляцію частоти дихання. Між внутрішньою і зовнішньою сонними артеріями, постачальними кров'ю голову, розташоване так зване каротидне тільце. У його склад входять волокна IX язикоглоткового нерва і особливі гломусні клітини. Відростки нейронів і гломусні клітини утворюють синапси один на одному. Зниження концентрації кисню в крові (або підвищення концентрації вуглекислого газу) деполяризує нервові закінчення-рецептори і викликає збільшення частоти розрядів у волокнах IX нерва. Одночасно активуються гломусні клітини. Вони не мають відростків, але мають всі властивості нейронів. Через спеціальний синапс гломусні клітини частково гальмують активність нервового волокна. Сенс цього гальмування полягає в тому, щоб не дати частоті дихальних рухів піднятися вище певного рівня. Як відомо, в спокої її величина становить близько 16 вдихів в хвилину. Управляється цей процес дихальним центром в довгастому мозку. Саме до цього центру і підходять аксони, що несуть інформацію від каротидного тільця. При порушенні рецепторів (сигнал про нестачу кисню) дихальний центр також порушується і частота дихання починає рости - до 20-30 і навіть 40 разів на хвилину. Однак ритміка дихальних рухів має свою межу, і подальше підвищення частоти небажано. У цьому випадку глибина дихання (тобто кількість вдихуваного і видихуваного за один раз повітря) починає падати. В результаті буде «переганяти» не так повітря, що знаходиться в легенях і зовнішньому середовищі, скільки заповнює повітроносні шляхи (трахею, бронхи і ін.). Це знижує загальну ефективність дихання. Для запобігання даного явища і служать гломусні клітини, що обмежують збудження дихального центру.

Контрольні питання:

1. Загальні принципи організації сенсорних систем. Рецептори. Основні принципи кодування і передачі сенсорної інформації.

2. Зорова сенсорна система

3. Слухова сенсорна система

4. Вестибулярна сенсорна система

5. Соматична чутливість. Шкірна сенсорна система. М'язова сенсорна система

6. Сенсорні системи з рецепторами хімічної чутливості (хеморецепторами). Нюхова сенсорна система. Смакова сенсорна система. Внутрішня рецепція (вісцерорецепція).

Практична 5. Одномірні багатоступінчасті датчики

У техніці вимірювань широко застосовуються багатоступінчасті сенсори, т. Е. Сенсори, принцип дії яких заснований на використанні декількох фізичних ефектів. Однією з причин створення таких сенсорів є відсутність фізичних ефектів, що перетворюють вхідну величину безпосередньо в електричний вимірювальний сигнал. Широке поширення отримали двоступеневі сенсори механічних величин. Тиск, наприклад, можна сприйняти мембраною (перший ступінь перетворення), деформація якої перетворюється в електричну величину тензоперетворювач (другий ступінь перетворення).

Нижче наводяться ілюстрації використання декількох фізичних ефектів в сенсорах. На рис. 5.1 показаний фрагмент конструкції високочутливого ємнісного сенсора тиску, призначеного для роботи в області низьких температур. Принцип дії сенсора наступний. Вимірюється тиск через капіляр / подається в підмембрану порожнину 10. Корпус 4 і мембрана 3 виготовлені з берилієвої бронзи. До виступу мембрани через ізолюючу прокладку прикріплена рухома пластина 8 ємнісного перетворювача. Нерухома пластина 7 вганяють у підставу 5 у вигляді конусної пробки, оберненої ізолюючої плівкою 6. Таким чином, обидві пластини ємнісного перетворювача ізольовані від корпусу.

Сполучають площині корпусу і підстави обробляються спільно з електродами ємнісного перетворювача після закріплення електродів на корпусі і в підставі. Завдяки такій обробці і ізолюючої прокладки 9 встановлюється зазор між електродами ємнісного перетворювача близько 15…20 мкм. Ємність виготовленого перетворювача дорівнює 30 пФ. Поріг чутливості склав 10-14м.

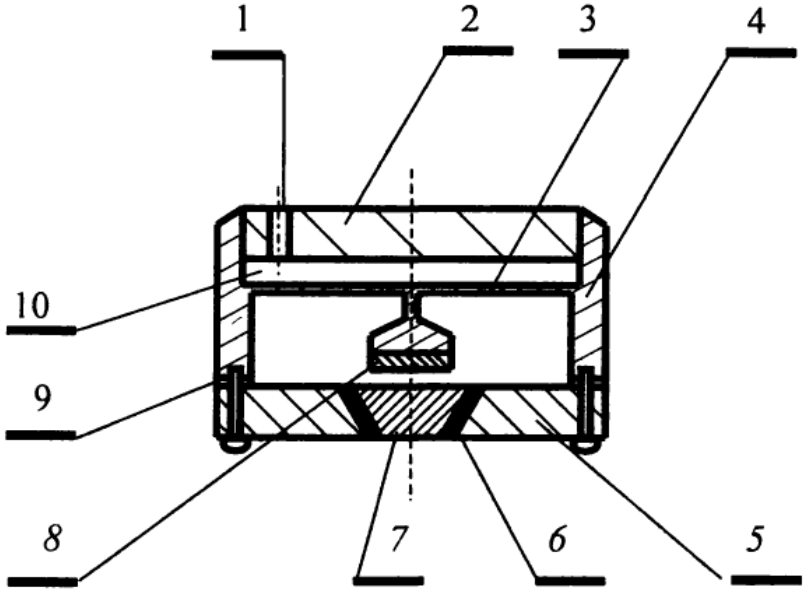


Рисунок5.1 - Двоступеневий ємнісний сенсор тиску: / - капіляр в пробці 2,3 - мембрана корпусу 4,5 - підстава, 6 - ізолююча плівка; 7 - конус

(обкладка конденсатора); «V - пластина (обкладка конденсатора); 9 - прокладка; 10 - підмембрана камера

Іншою причиною використання багатоступеневих сенсорів є розширення функціональних можливостей традиційних і добре себе зарекомендували в вимірювальної практиці одноступінчатих сенсорів. Наприклад, ртутні скляні термометри розширення до сих пір широко використовуються, зокрема, в хімічній промисловості. Простота їх реалізації, широкий діапазон виміру температур (-55 ... + 700 ° С), відсутність зовнішнього джерела живлення, рівномірність шкали вимірювання, хімічна інертність скляного корпусу - всі ці переваги забезпечують «надійність» термометрів розширення. До одного з недоліків таких термометрів слід віднести відсутність вихідного електричного сигналу і як наслідок неможливість дистанційної передачі показань. На рис 5.2 наведена конструкція двоступеневого термометра розширення, позбавленого зазначеного вище недоліку.

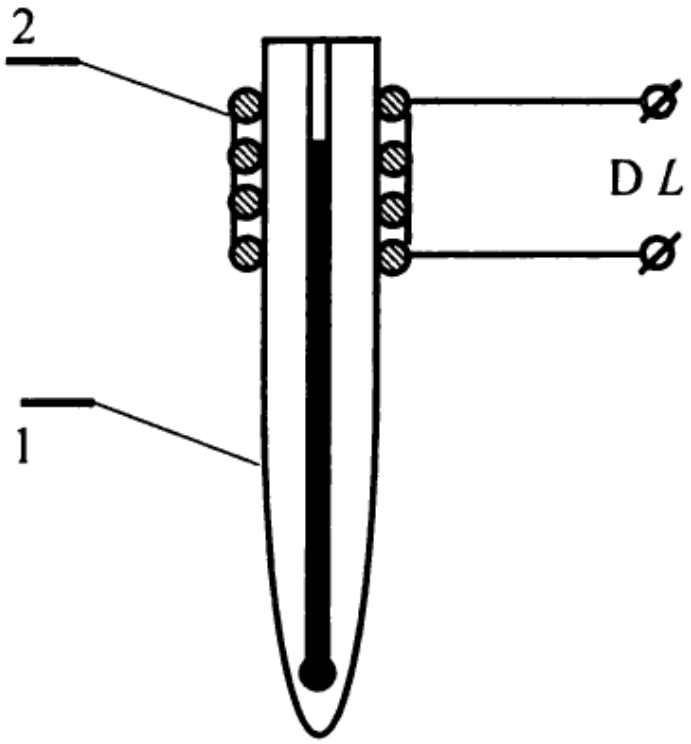


Рисунок5.2 - Двоступеневий сенсор температури: / - скляний ртутний термометр, 2 - обмотка індуктивності

Принцип дії такого сенсора дуже простий. При переміщенні ртуті по капіляри (перша ступінь) змінюється індуктивність AL обмотки 2 (другий ступінь), до якої підключено джерело змінної напруги (індуктивний перетворювач). Третьою причиною використання багатоступеневих сенсорів є можливість мінімальних змін сенсора певної величини з метою його застосування при вимірюванні інший вихідний величини. При вимірі оптичного випромінювання використовуються термоелементи, одна з конструкцій яких показана на рис. 5.3. Принцип дії таких багатоступеневих

сенсорів заснований на перетворенні енергії оптичного випромінювання в теплову енергію. Диск покритий шаром черні, що поглинає оптичне випромінювання. Коефіцієнт поглинання чорнені поверхні приблизно дорівнює одиниці, якщо шар черні має товщину, більшу максимальної довжини хвилі випромінювання. Для ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання товщина черні 30 ... 40 мкм. Диск нагрівається, і вихідний сигнал термопари (ЕРС) несе інформацію про інтегральної потужності падаючого випромінювання. Ця ЕРС не залежить від спектрального складу випромінювання. Для зменшення конвективних втрат елементи сенсора поміщають в скляний балон, в якому створюють вакуум (на рис. 2.3 не показаний). Балон має спеціальні вікна з кварцового скла, яке прозоро для ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювання. Четверта причина збільшення кількості використовуваних фізичних явищ в сенсорах - це підвищення вимог до умов їх експлуатації.

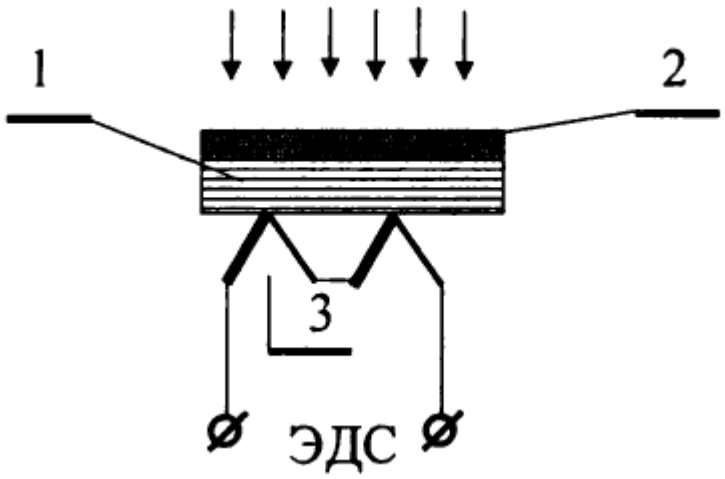


Рисунок5.3 - Двоступеневий сенсор оптичного випромінювання: / - металевий диск; 2 - шар черні; 3 - диференціальна термопара

При вимірюванні вологості газів широко використовуються алюмінієво оксидні перетворювачі (ємнісні сенсори). Сенсор складається з алюмінієвої підкладки / (рис. 5.4), на якій електрохімічним окисленням сформована окис алюмінію (А120}). На цю окис вакуумним напиленням нанесені «прозорі» для молекул води тонкі шари золота і срібла 3. В даному сенсору, незважаючи на уявну простоту його конструкції, використовуються два фізичних явища (сорбція і електропровідність), т. Е. Він є двоступінчастим.

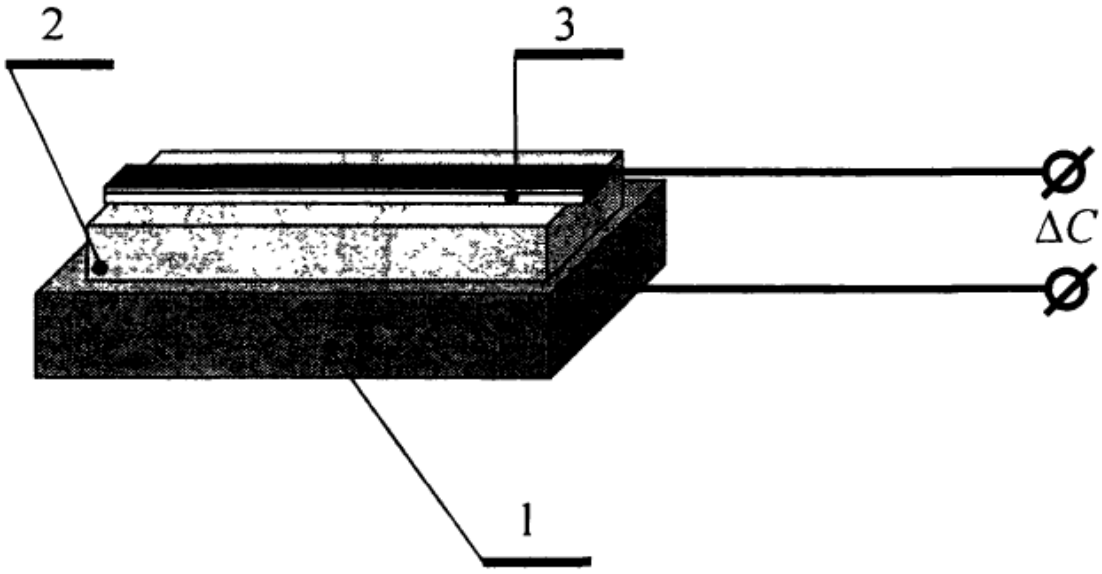


Рисунок5.4 - Двоступеневий ємнісний сенсор вологості газів: / - підкладка, 2 - окис алюмінію; 3 - електрод

Такий сенсор, що випускається фірмою Testoterm (Німеччина), дозволяє вимірювати вологість повітря в діапазоні від 2 до 90%, має похибку 2% і постійне час реакції близько 1 с. Метрологічні характеристики сенсора досить високі, якщо врахувати, що вітчизняний еталонний генератор вологості повітря «Родник-2» має основну похибку перетворення, рівну 1%. Цей сенсор призначений для використання при температурах від 0 до 40 ° С. На рис 2.5 наведена конструкція чотириступінчасту електролітичного сенсора вологості, придатного для експлуатації при температурі навколишнього середовища від -50 до + 100 ° С. Сенсор складається з ізоляційної трубки - корпуса /, який обгорнутий тканиною 3, просоченої хлористим літієм. На корпус також намотана обмотка нагрівача 4. Всередину корпусу поміщений сенсор температури - термометр опору 2. В даному випадку використовуються два властивості хлористого літію. По-перше, він є гігроскопічним речовиною, що поглинає з повітря молекули води (явище сорбції). По-друге, виникає при цьому водний розчин хлористого літію є електроліт, здатний проводити електричний струм (явище електропровідності рідких середовищ). При підключенні нагрівача 4 до джерела змінного струму 5 виникає струм, що веде до нагрівання всього сенсора (ефект Джоуля). Провідність обмотки збільшується і волога випаровується. В результаті встановлюється рівноважний стан між фазою водяної пари і рідкої фазою. Температура, яка встановлює автоматично в цьому рівноважному стані, є мірою концентрації водяної пари в навколишньому середовищі.

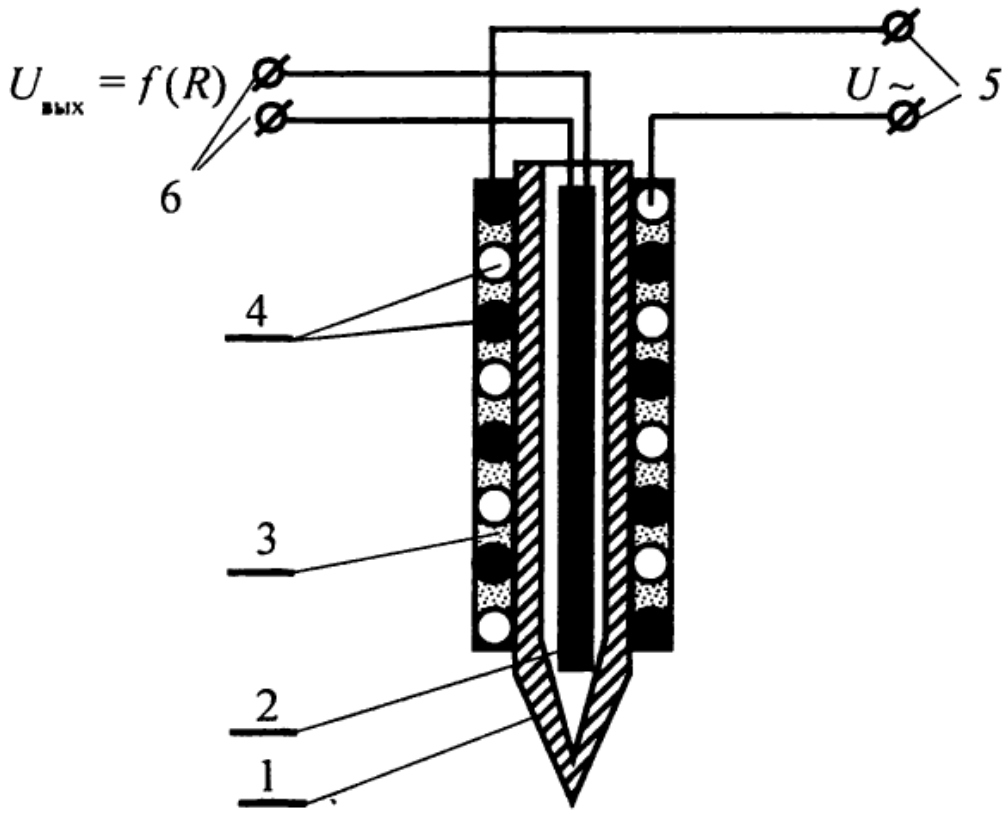


Рисунок5.5 - Чотириступінчастий сенсор вологості повітря: / - корпус з діелектрика; 2 - платиновий термометр, 3 - скловолокно, просочене хлористим літієм; 4 - нагрівач; 5 - висновки джерела змінного струму; 6 - висновки термометра опору

Багатоступінчасті сенсори використовуються при проведенні спеціальних вимірювань, наприклад при вимірі енергії мікрочастинок, де потрібна висока чутливість. На рис. 5.6 показана спрощена конструкція сцинтилляторного детектора ядерного випромінювання (у-частинок). Чутливим елементом такого сенсора є речовина /, яке дозволяє перетворити енергію потрапляє активної частки в кванти світла (явище флуоресценції).

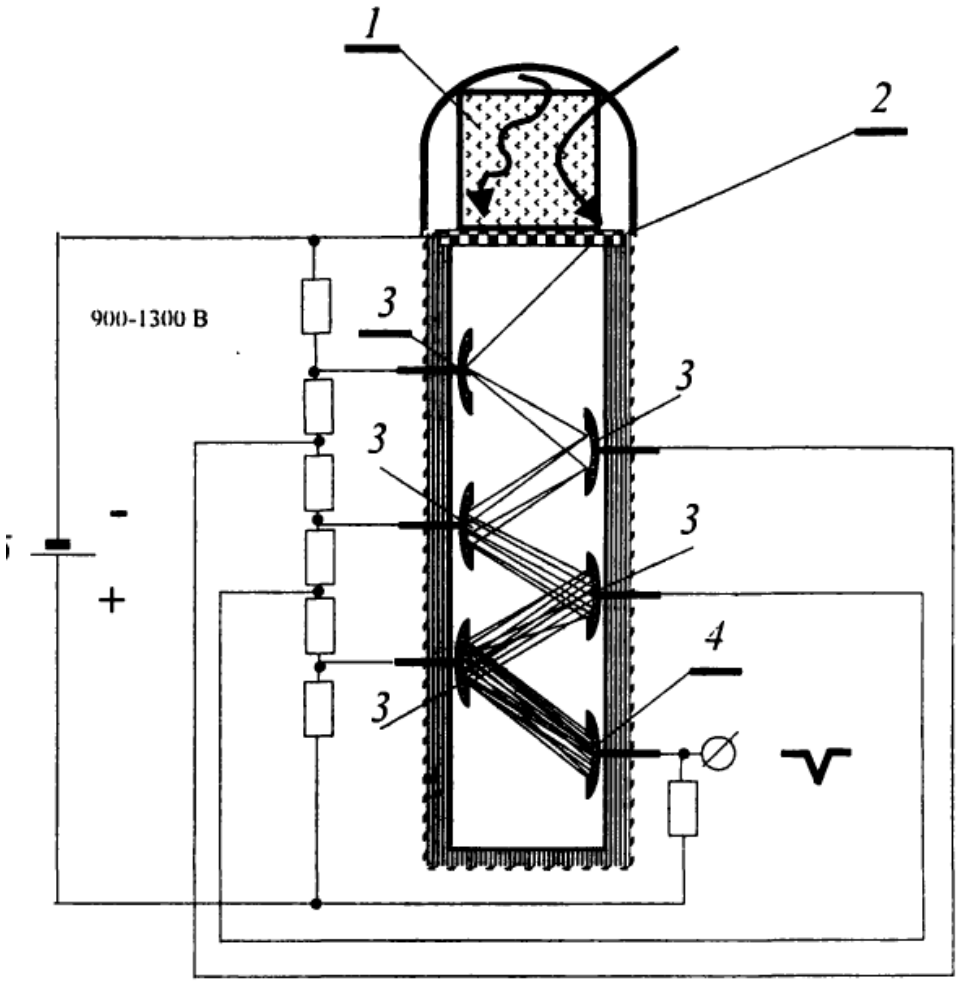


Рисунок5.6 - Чотириступінчастий сенсор радіації: / - сцинтилятор (NaJ); 2 - фотокатод, 3 - динод; 4 - анод. 5 - джерело постійної напруги

Гамма-частинки детектуються фотопомножувачем за ефектом сцинтиляції, які викликаються електронами. У фотопомножувачем для посилення первинного фотоструму крім фотокатода 2 і анода 4 використовуються вторинні катоди (діноди 3) і система фокусування електронного пучка. Високоенергетичних електрони, бомбардуючи поверхню фотокатода, вибивають електрони з його поверхні (явище вторинної електронної емісії). Ці електрони фокусуються електростатичним полем на перший з послідовно розташованих електродів - дінодів, покритих матеріалом, для яких вторинна електронна емісія значна (ефект Комптона). Потенціали до послідовно розташованим дінодами підводяться від резистивного моста (підключеного до джерела постійної напруги 5) і безперервно зростають від динода до дінодамі таким чином, що вторинні електрони, що вилетіли з до-го динода, фокусуються на до + \ дінодами. При цьому кожен з електронів вибиває кілька вторинних електронів і здійснюється процес їх «множення». Амплітуда вихідного сигналу пропорційна втрачається енергії частки і залежить від її природи. Багатоступінчасті сенсори застосовуються тоді, коли за умовами вимірювальної завдання потрібно здійснити безконтактний метод

вимірювання. Наприклад, теплової сенсор масової витрати рідини (рис. 5.7) складається з тонкостінної трубки /, на поверхню якої намотана обмотка 2 нагрівача. При підключенні обмотки до джерела струму U відбувається її нагрів (ефект Джоуля). З протилежних від нагрівача двох сторін симетрично встановлені два чутливих елемента температури 3, 4, сприймають відповідно температуру Г, вище по потоку і температуру Т2 нижче по потоку нагрівача. Коли витрата рідини дорівнює нулю, нагрів симетричний і Т = Т2. При наявності витрат температура Г, зменшується, а температура Т2 збільшується. Різниця цих температур пропорційна масовій витраті. У багатоступеневих сенсорах є можливість введення в конструкцію елементів компенсації (корекції) його похибки. На рис. 2.8 показана конструкція триступінчатого сенсора тиску, в якому компенсація його додаткових похибок проводиться за допомогою процедури порівняння вхідної величини з мірою. Сенсор працює наступним чином. Вимірюється тиск через мембрану / і передавальний елемент 8 викликає деформацію чутливого елемента, а отже, опору тензорезистивного моста 2.

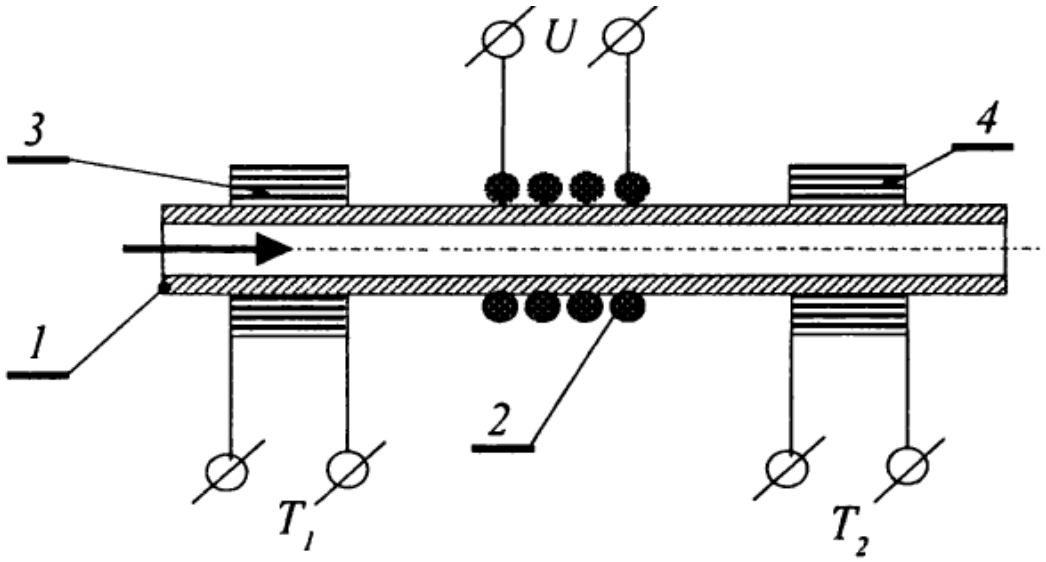


Рисунок5.7 - Двоступеневий сенсор масової витрати рідини: / - трубка; 2 - обмотка нагрівача; 3,4 - чутливі елементи температури, наприклад, термометри опору

З іншого боку, на електроди 4 вузли примусових еталонних деформацій б, що складається з п'єзоелемента 7, поміщеного всередину чутливого елемента 3, подається відоме еталонне електрична напруга Ц, тал-> викликає деформацію.

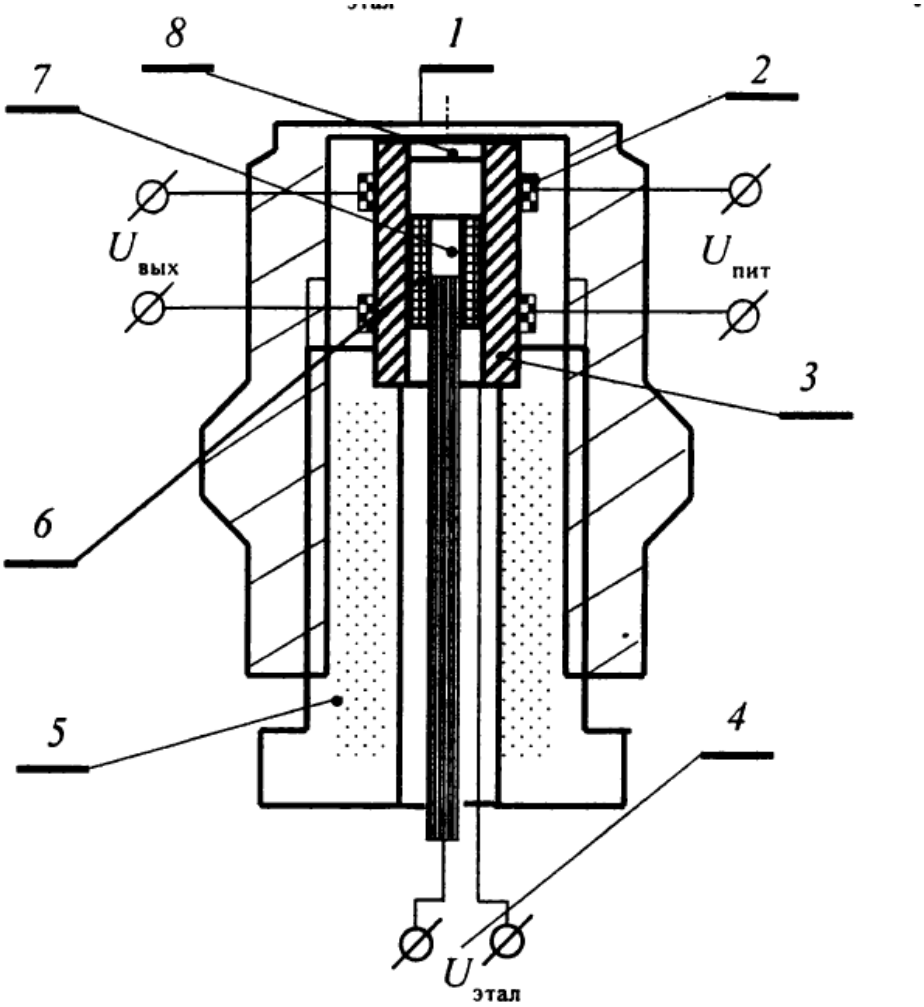


Рисунок5.8 - Триступеневий сенсор тиску: / - мембрана; 2 - тензорезистивного міст, 3 - пружний чутливий циліндричний елемент; 4 - електроди; 5 - вузол підтискання, 6 - вузол створення примусових еталонних деформацій; 7 - п'єзоелемент; 8 - передавальний елемент чутливого елемента 3 (зворотний п'єзоефект).

Так як п'єзоелемент жорстко пов'язаний з пружним чутливим елементом 5, ця деформація викликає відповідну деформацію чутливого елемента і зміна опорів тензорезистивного моста 2. Розмір деформації вузла 6 є еталонною величиною («заходом»). Таким чином, здійснюється компенсація додаткових похибок сенсора тиску, наприклад, від впливу температури навколишнього середовища. Вузол еталонних деформацій може бути виконаний у вигляді магнітострикціонного перетворювача, термодеформаційного перетворювача і ін. Розмір еталонних деформацій, створюваний вузлом 6, може здаватися дискретно або безперервно, в залежності від застосовуваного методу вимірювань. У разі застосування нульового методу вимірювань відбувається процес постійного порівняння вимірюваної величини з «заходом». Компенсація впливу впливають величин виявляється більш повною.

Багатоступінчасті сенсори в більшості випадків не поступаються за своїми метрологічними характеристиками одноступінчастим сенсорам. На

якісні характеристики сенсора як засобу вимірювань впливають ефективність і обґрунтованість вибору фізичного явища при реалізації сенсора конкретної величин, а також ступінь чистоти матеріалу чутливого елемента і наявність у нього необхідних властивостей. Наприклад, уявімо, що за умовами вимірювальної завдання необхідно виміряти температуру в області низьких температур від 70 до 273 К з максимально можливою точністю. При використанні одноступінчастого сенсора - термопари (ефект Зеєбека) в заданому діапазоні забезпечується похибка близько 0,5 ... 1%. Це пов'язано з низькою чутливістю термопар, з необхідністю забезпечення стабілізації або компенсації температури холодних спаїв термопари і іншими причинами. У разі вибору термоперетворювача, заснованого на ядерному квадрупольному резонансі (ЖР), досягається більш висока точність в заданому діапазоні вимірювання. Принцип дії цієї вимірювальної установки заснований на двох фізичних явищах: прецесії атомних ядер, що володіють квадрупільним моментом, і явище резонансного поглинання випромінювання речовиною. При цьому використовується залежність частоти поглинання високочастотних коливань в деяких речовинах від температури (див. Рис. 2.9). Наприклад, частота поглинання хлората калію (КСЮ3) при 0 ° С становить 28 213 421 ± 2 Гц. Сенсор температури складається з циліндра /, в якому розміщена котушка індуктивності 2 генератора високочастотних коливань, оточена термочутливою сіллю 3. Порожнина сенсора вакуумують і заповнюється інертним газом (гелієм). За допомогою вимірювальної установки котушка індуктивності підключається до високочастотного LC-генератора і проводиться автоматичний пошук і налаштування на частоту ЯКР. Установки, в яких використовується ЯКР одних і тих же ядер в зразках ідентичного складу, мають

однакову і стабільну залежність частоти ЯКР від температури. Сенсор з чутливим елементом з хлората калію забезпечує вимір температури в діапазоні від 77 до 303 К з абсолютною похибкою ± 0,005 ... 0,015 К. Ідентичність і стабільність градуювальних характеристик ЯКР-сенсорів в поєднанні з частотним виходом дозволяє використовувати їх при дистанційних вимірах температури в метеорології , океанографії та інших областях. Крім того, ЯКР-сенсори застосовуються при створення еталонів температури, наприклад при відтворенні практичної температурної шкали. Слід врахувати, що в багатоступеневих сенсорах фізичні ефекти не обов'язково утворюють тільки послідовний ланцюг при перетворенні вимірювальних сигналів. Вони можуть бути використані паралельно і сприяти підвищенню якісних характеристик сенсора. Наприклад, при вимірюванні вологості газів поширені конденсаційні сенсори (сенсори точки «роси»). Принцип дії такого багатоступінчастого сенсора заснований на наступному (рис. 5.9). При рівномірному охолодженні деякого об'єму газу парціальний тиск складових газового складу і водяної пари залишається постійним до моменту насичення (конденсація пара). При цьому існує залежність тиску насиченої пари над плоскою поверхнею води від

температури (принцип Реньо). Визначення парціального тиску (вологості газу) зводиться до вимірювання температури насичення.

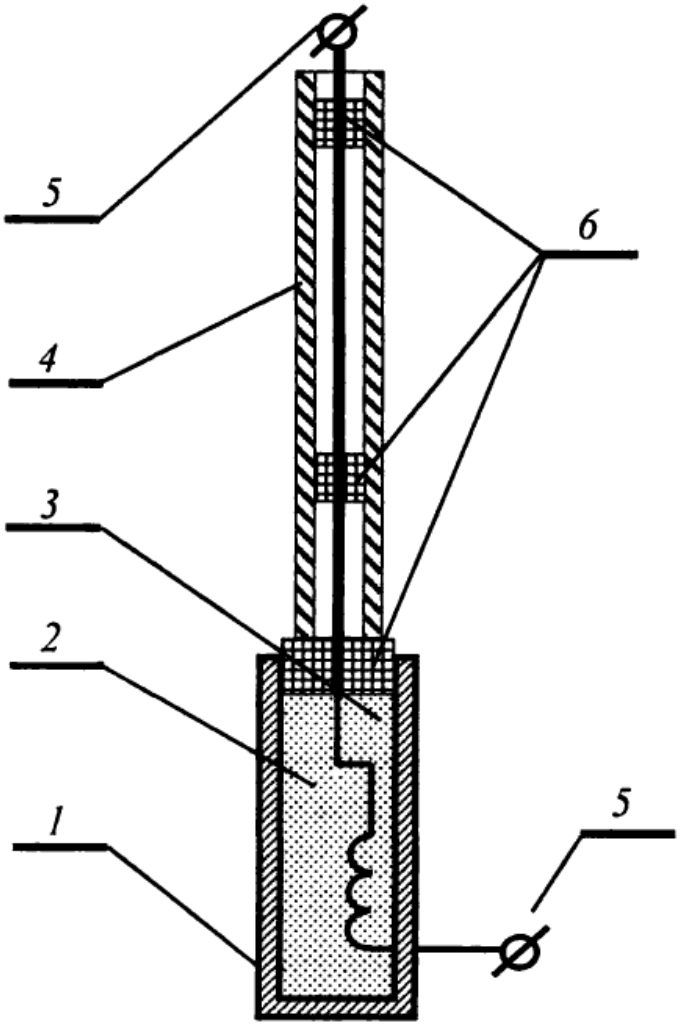


Рисунок 5.9. - Двоступеневий сенсор температури: / - циліндр; 2 - котушка індуктивності, 3 - сіль (КСЮ,); 4 - трубка; 5 - електричний висновок котушки 2; 6 - ізоляційні втулки

Контрольні питання:

1. Двохступеневий ємнісний сенсор тиску.
2. Двохступеневий ємнісний сенсор вологості газів.
3. Двохступеневий сенсор масової витрати рідини.
4. Двохступеневий сенсор температури.
5. Двохступеневий сенсор оптичного випромінювання.
6. Триступінчатий сенсор тиску.
7. Чотириступінчастий сенсор вологості повітря.
8. Чотириступінчастий сенсор радіації.

Будь-яка несподівана вплив струмом, яке б незначне воно не було, будь-який випадок порушення в апаратурі слід ретельно розслідувати, знайти і усунути причину, його викликала.

Одним з істотних елементів всього комплексу заходів щодо забезпечення електробезпеки в медичному закладі є правильна експлуатація апаратури, тобто виконання медичним персоналом усіх вимог і вказівок інструкції по експлуатації, що додається до апарату, а також інших інструктивних документів, правил і норм. Для осмисленого застосування цих документів, а також для правильної оцінки складних ситуацій, що виникають при одночасному використанні декількох апаратів і в інших випадках, необхідна дієва система навчання персоналу.

Отже, ми розглянули роботу різних сенсорних систем організму людини. Кожна з них поставляє ЦНС свій особливий тип інформації, що описує як наше власне стан, так і стан зовнішнього середовища. В ЦНС ця інформація аналізується, з її потоку виділяються найбільш істотні компоненти.

Об'єднання (синтез) сигналів від різних аналізаторів і формування цілісного сенсорного образу зовнішнього світу. Це вже функція не сенсорний, а асоціативних зон кори великих півкуль. Саме в такому «синтезованому» вигляді інформація від органів почуттів використовується для планування і реалізації дій - тобто для організації адекватної поведінки у відповідь на власні потреби і зміни, що відбуваються в навколишньому світі.

Практична 6 Наносенсори

Наносенсори - сенсори, при використанні яких використовуються досягнення нанотехнології, зокрема наноматеріали, мають компоненти розміром менше 100 нм і позвовляющіе маніпулювати цими компонентами з метою створення систем більшого масштабу, що володіють новими унікальними властивостями [1]. Історія наносенсорів нерозривно пов'язана з історією нанотехнології. Прийнято вважати, що вона починається зі знаменитої лекції з назвою «Внизу повнісінько місця» нобелівського лауреата з фізики Річарда Фейнмана в 1959 році [1]. Він вказав на блискучі перспективи, які відкриваються завдяки розробці матеріалів та пристроїв на атомному і молекулярному рівні, а також на необхідність створення апаратури для вимірювання та ра боти з нанорозмірними об'єктами. У 1981 році Ерік Дрекслер висунув ідею створення молекулярних машин, а в 1974 році Норіо Танігуччі запропонував термін «нанотехнологія» [2,3]. Істотний прогрес в області нанотехнології став можливий після створення методів, що дозволяють проводити формування наноструктур і спостереження за ними (скануюча тунельна мікроскопія в 1981 році і атомно-силова мікроскопія в 1986 році).

Передумовою до розробки наносенсорів стало не тільки створення нових наноматеріалів, а й розвиток нанотехнології мікросхем і наноелектромеханічні систем з електричним вихідним сигналом. Широке використання наноматеріалів для виробництва сенсорів почалося після публікацій по квантовим точкам (1980-ті), після синтезу вуглецевих нанотрубок (1991) і робіт з оптичними властивостями наночастинок металів і напівпровідників (1990-ті). Істотну роль у вивченні наносенсорів зіграли досягнення хімії поверхні твердого тіла, що забезпечують широкий набір методів функціоналізації наночастинок, а також дослідження в області іоніки твердого тіла. Різноманітність наноматеріалів і типів сенсорів, що відрізняються за принципами дії і призначенням, істотно ускладнює систематизацію опублікованих даних і створення всеосяжної класифікації.

У практичній буде розглянуто основні типи наноматеріалів, та методи роботи з ними.

6.1 Сенсори, засновані на використанні вуглецевих наноматеріалів

Вуглецеві нанотрубки представляють собою протяжні структури, що складаються з згорнутих в одношарову (ОСНТ) або багатошарову (МСНТ) трубку графітових шарів. діаметри нанотрубок можуть варіювати від 0,714 нм (найменший відомий діаметр одношарових нанотрубок) до десятків нанометрів. В даний час довжина деяких синтезованих нанотрубок перевищує 10 см.

Ідеальні одношарові і особливо двошарові вуглецеві нанотрубки відрізняються винятковими механічними і транспортними властивостями.

Завдяки унікальним механічним, фізичним і хімічними властивостями вуглецеві нанотрубки знаходять все більше застосування в нових матеріалах, що володіють високою міцністю (це наповнювачі в полімерах, що поліпшують електро- і теплопровідні властивості, емітери в електронних пристроях, в мікроелектроніці, паливних елементах, сорбційних матеріалах, каталізаторах, суперконденсаторах, сенсорах).

Встановлено, що наносенсори з вуглецевими нанотрубками, функціоналізованих аміногрупами, мають високу чутливість до сірководню в природному газі.

На основі композиту, що містить багатошарові вуглецеві нанотрубки і оксид рутенію, був розроблений неферментний сенсор глюкози. При цьому не спостерігалося істотних перешкод через наявність аскорбінової і сечової кислот. Флуоресцентний сенсор для визначення гіпохлориту. Сенсор заснований на комплексі європия, який ковалентно пов'язаний з ОСНТ.

Багатошарові вуглецеві нанотрубки з успіхом застосовуються для аналізу адреналіну. Як важливий нейромедіатор він прискорює дію різних систем організму і відіграє значну роль під час стресів. За допомогою сенсорів на основі вуглецевих нанотрубок встановлено тісний зв'язок між вивільненням адреналіну і курінням. Для кількісного визначення адреналіну в рідинах організму курців і некурців використовується електрод з піролітичного графіту, модифікований багатошаровими вуглецевими нанотрубками. Такі нанотрубки, що містять флуоресцеїн, можуть бути успішно використані для вимірювання внутрішньоклітинного pH.

В експериментах застосовували трубки, модифіковані карбоксильними групами. Для створення реакційноздатних центрів, необхідних для ковалентного зв'язування похідних флуоресцеїну, ці трубки активували тіонілхлоридом.

Дослідження проводили в діапазоні pH = 4 ... 9.Зміну pH фіксували за допомогою аналізатора спектра флуоресценції. Високочутливі газові сенсори для сірководню були синтезовані шляхом електроосадження наночастинок золота на одностінних нанотрубках. Регулювання умов електроосадження забезпечувала управління розміром і кількістю наночастинок золота. Кращий сенсор створював дискретний розподіл золота на поверхні нанотрубок. Завдяки оборотним газовим сенсорам мала місце висока чутливість до сірководню в повітрі при кімнатній температурі.

Вуглецеві нанотрубки можуть бути використані і для аналізу інших газів, наприклад водню. Сенсори для визначення водню були виготовлені на основі двошарових вуглецевих нанотрубок. Ці трубки модифікували шарами наночастинок паладію товщиною від 1 до 6 нм.

В експериментах з воднем фіксували зміну електричного опору наносенсорів. Було встановлено, що за ефективністю ці сенсори можна порівняти з сенсорами на основі одношарових вуглецевих нанотрубок, але з потенційно кращою механічною і термічною стійкістю, обумовлену двошаровою структурою.

Для визначення етанолу можуть бути використані гібридні матеріали, що містять одношарові вуглецеві нанотрубки і перехідні метали Ti, Mn, Co, Ni, Pd, Pt. Датчики виготовляють шляхом нанесення гібридного матеріалу на кварцовий електрод і досліджували методом імпедансної спектроскопії. Сенсори на основі чистих вуглецевих нанотрубок не давали помітного відгуку при низьких концентраціях етанолу. Навпаки, всі гібридні металовмісні сенсори показали високу чутливість до етанолу. Одношарові вуглецеві нанотрубки застосовуються в системі «електронний ніс». Датчики, що складалися з нанодротів B2O3, нанопроволок SnO2, нанопроволок ZnO і одношарових вуглецевих нанотрубок, успішно використовували для аналізу таких важливих промислових газів, як водень, етанол і діоксид азоту, в різних концентраціях і при різних температурах.

В даний час вуглецеві нанотрубки інтенсивно досліджуються в цілях підвищення чутливості електрохімічних біосенсорів. Аналіз публікацій по наносенсорах, отриманих з використанням вуглецевих нанотрубок, дозволяє виявити такі тенденції:

- постійне розширення спектру застосування вуглецевих нанотрубок;
- використання гібридних матеріалів на основі вуглецевих нанотрубок;
- застосування функціоналізованих вуглецевих нанотрубок.

Графен - двомірна аллотропна модифікація вуглецю, вперше отримана в 2004 році. Завдяки високій рухливості носіїв заряду графен є перспективним матеріалом для використання в наноелектроніці і відкриває широкі можливості для його застосування в якості матеріалу для наносенсорів. В даний час використовуються гнучкі біосенсори на основі графену для визначення молочної кислоти, яка має важливе значення в клінічній практиці, спортивній медицині і харчовій промисловості. Гнучкі біосенсори можуть бути виготовлені на різних пластикових підкладках. Датчики на основі графену здатні виявити лактат з чутливістю від 0,08 до 20,0 мкМ протягом приблизно 20 с. Для визначення глюкози був розроблений високочувливий електрохімічний сенсор на основі оксиду графену. Межа виявлення глюкози складає 0,34 мкМ. Для аналізу хінідину було запропоновано датчик на основі нанографена і багатошарових вуглецевих трубок. Сенсор з композитної плівкою з цих компонентів продемонстрував високу стабільність і більш сильну каталітичну активність щодо окислення хінідину в порівнянні зі скловуглецевим електродом. Відновлений оксид графену, модифікований оксидом цинку, може бути використаний для отримання датчика ультрафіолетового (УФ) випромінювання, який за своїми характеристиками істотно перевершує датчик на основі оксиду цинку і відрізняється низькою вартістю.

Впровадження наносенсорів в біоматеріал може впливати на здоров'я людей і якість моніторингу, а графен здатний забезпечувати високочутливе виявлення аналізу біоматеріалів, включаючи зубну емаль. Перенесення графена на біоматеріал пропонується здійснити з використанням водорозчинного шовку. За допомогою самозборки

антимікробних пептидів на графені показана можливість біоселективного виявлення бактерій на одноклітинному рівні. Пропонується використовувати графен і для виявлення етанолу.

Встановлено, що сенсори на основі графену з двошаровою структурою мають високу чутливість до парів Uм етанолу в атмосфері азоту.

Обговорюється можливість застосування графена для створення польового транзистора, призначеного для виявлення мікрохвильового і тарагерцового випромінювання. Унікальні властивості графена і розробка нових методів його отримання дають підставу розглядати цей матеріал як один з найперспективніших для створення наносенсорів.

Фулерени відносяться до найважливіших продуктів вуглецевих нанотехнологій. Їх відкриття (1985) і синтез в грамових кількостях (1990) ознаменували початок епохи вуглецевих нанотехнологій. Фулерени представляють собою стабільну замкнуту поверхневу структуру вуглецю, в якій його атоми розташовуються у вершинах правильних шестикутників (Гексагон) або п'ятикутників (Пентагону), регулярним чином покривають поверхню сфери або сфероїда, причому Пентагони ізольовані один від одного, не мають спільних точок дотику ні на ребрах , ні в вершинах. У молекулі фулерену не менш 60 атомів вуглецю.

Фулерени поділяють на дві групи: до легким фуллеренам відносять З 60 і С 70, до важких (вищим) фуллеренам належать інші фулерени, у яких число атомів більше 70. У поєднанні з іншими речовинами фулерени дозволяють отримувати матеріали з принципово новими властивостями. Легування фулеренів атомами різних елементів дає можливість створювати речовини з різними властивостями: від діелектриків до надпровідників і від діамагнетіков до феромагнетиків.

До теперішнього часу показані антиоксидантні, антипроліферативні і антиатерогенні ефекти фулеренів, а також розглядається можливість застосування фулеренів в якості фотосенсибілізаторів при проведенні фотодинамічної терапії пухлин. Вважається, що фулерени можуть стати основою електронних приладів нового покоління. В даний час використання фулеренів, як і інших продуктів вуглецевих нанотехнологій, в якості основи наносенсорів є досить перспективним.

Нафіон має фторуглеродного основу і функціональні сульфогрупи, які утворюють двофазну структуру (рис. 6.1). Гідрофобна фаза складається з фторвуглецевих і ефірних мереж, розташованих таким чином, що функціональні сульфогрупи групуються всередині сферичних порожнин діаметром близько 40 Å. Система пов'язаних вузькими каналами порожнин, що містять гідратовані катіони, являє собою другу, гідрофільну, фазу, яка забезпечує високу іонну провідність. Залежність іонної провідності від сорбції води і хороша хімічна стабільність фторполімерних основ роблять нафіон особливо підходящим матеріалом для створення датчиків вологості. Як показано на рис. 6.1, нафіон є наноструктурованим полімером. Можна очікувати, що різні допанти, включаючи фулерени і їх похідні, будуть істотно впливати на його провідність і сенсорні властивості. Введення

фулерену і фулеренолу в нафіон підвищує протонну провідність при низькій вологості.

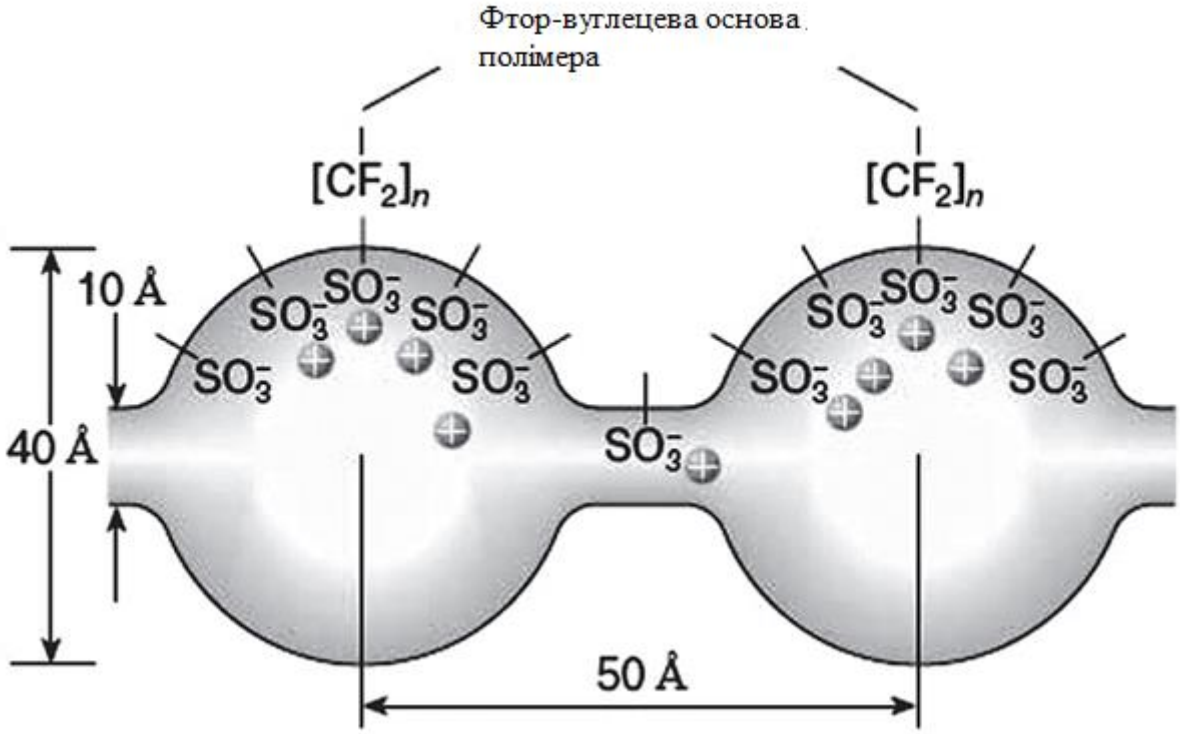


Рисунок 9.1 - Внутрішня структура нафіона

6.2 Сенсори вологості на основі кремнезему, модифікованого методом радикальної полімеризації

Полімеризація на поверхні твердого тіла може бути використана для синтезу сорбентів, іонообмінних матеріалів, сенсорів. Вона забезпечує максимальну взаємодію полімеру і наповнювача, рівномірний розподіл твердих частинок в полімері, що створює можливість отримання абсолютно нових матеріалів з унікальними властивостями. Одним з перспективних напрямків хімічної модифікації наповнювачів є іммобілізація ініціаторів радикальної полімеризації на їх поверхні.

Подальша полімеризація мономерів на такому наповнювачі, що містить активні центри, забезпечує утворення полімеру, хімічно пов'язаного з поверхнею.

Синтез щеплених ініціаторів полімеризації здійснювали методом хімічної збірки. На першій стадії проводили хемосорбцію 3-амінопропілтріетоксісілана на зразках кремнезему за стандартною методикою. Потім зразки гідролізували парами води для видалення алкоксигрупи і проводили приєднання ініціатора радикальної полімеризації 4-азо-біс-4-ціанпентановой кислоти карбодіімідним методом.

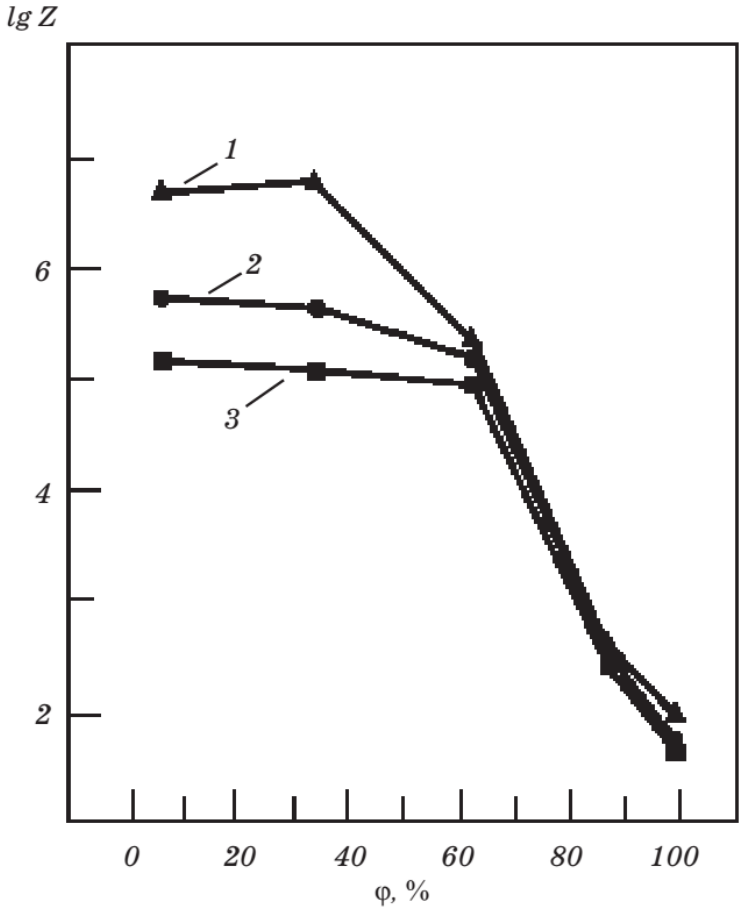


Рисунок 6.2 - Залежність повного опору Z, Ом, органокремнезема від відносної вологості φ: 1 - 10 кГц; 2 - 100 кГц; 3 - 500 кГц

У резистивних датчиках вологості на основі полімерних електролітів часто використовують зшиті полімери. Такі полімери не переходять в розчин при випаданні конденсату. Однак зі збільшенням ступеня зшивання зростають діелектричні властивості. У зв'язку з цим становить інтерес застосування лінійних полімерів, хімічно закріплений них на поверхні твердого тіла, для сенсорів вологості. Одним із способів створення таких матеріалів є радикальна полімеризація на поверхні неорганічного носія, що містить щеплені ініціатори полімеризації.

З використанням методики, описаної вище, на основі аеросілогеля і азросіла з иммобилизованной 4-азо-біс-4-ціанпентановой кислотою був синтезований матеріал з прищепленої полиакриловой кислотою. Вимірювання опору проводили при змінному струмі методом імпедансної спектроскопії. Експериментальні дані (рис. 9.2) показують, що повне опір матеріалу значно змінюється в досить широкому інтервалі відносної вологості. Це визначило можливість практичного застосування синтезованого вологочутливість матеріалу. Сенсори на основі органокремнеземов з прищепленої полиакриловой кислотою були використані

6.3 Сенсори на основі оксидів металів

Сенсори, засновані на оксидних трубках, містять Co_3O_4, Fe_2O_3, TiO_2, SnO_2. Нанотрубки Co_3O_4 мають високу чутливість до водню. Ефективний сенсор для етанолу було отримано на основі SnO_2.

Серед сенсорів з наностержня слід зазначити сенсори, які використовують оксиди цинку і молібдену.

Сенсор на основі наностержня ZnO проявив виключно високу чутливість до етанолу і сірководню.

Сенсор для визначення водню був розроблений на основі одного наностержня оксиду цинку. Наносенсор мав високу селективність до H_2 при низькій чутливості до O_2, CH_4, CO і етанолу. Запропонована технологія, що дозволяє легко переносити наностержні на інші речовини і розподіляти їх по поверхні. Наностержні оксиду цинку синтезували з водного розчину гідротермальним методом. Запропонований метод синтезу наностержней ZnO дозволяє легко переносити зразок і створювати нові наносенсори для визначення газу і УФ-випромінювання. Що стосується сенсорів, що включають в себе наноленти, найбільшу увагу дослідників привертають оксиди цинку, олова і ванадію.

В даний час досить широко використовуються сенсори на основі нанодротів з оксидів металів. Нанодріт з In_2O_3 може служити хімічним сенсором для визначення NO_2 і NH_3 при кімнатній температурі. Для визначення NO_2 і NH_3 також успішно використовується і нанодріт з ZnO.

Сенсор на основі нанопроволоки з SnO_2, призначений для визначення O_2 і CO. При визначенні вологості сенсори на основі нанопроволоки з ZnO показали високу чутливість, хорошу стабільність і малий час відгуку. Серед наносенсорів, що містять оксидні нанопроволоки, слід зазначити наносенсори на основі оксиду галію. Сенсор, що містить кристалічну нанопроволоку Ga_2O_3, виявляв високу чутливість до етанолу при 100°C, час відгуку склав 2,5с.

6.4 Наносенсори на основі металів

Металовмісні наносенсори використовуються для визначення газів. паладієві нанопроволоки застосовуються в газових сенсорах для визначення водню. В роботі продемонстровані можливості срібною нанопроволоки при визначенні 2,4-динитротолуола - найбільш поширеного нітроароматіческого з'єднання, аналіз якого використовується при пошуку протипіхотних мін. Для створення наносенсорів беруть також золото. Зокрема, нанокластери, що складаються з золота і срібла, застосовуються для визначення спор бактерій.

6.5 Оптичні наносенсори

Протягом багатьох років нові методи хімічного та біологічного зондування впроваджувалися в медичну практику. Одним з останніх перспективних технологічних досягнень в цій області стали оптичні наносенсори, які є високотехнологічними нанорозмірними датчиками. Оптичні наносенсори, як і сенсори в загальноприйнятому сенсі, як правило, можуть бути розділені на дві категорії - хімічні або біологічні, в залежності від використовуваного зонда.

Датчики обох типів придатні для методів точного визначення різних хімічних речовин в мікроскопічних середовищах і навіть для дослідження різних частин однієї клітини. Подальший поділ на групи оптичних наносенсорів пов'язано з матеріалами ядра і оболонки, а також з методами їх виготовлення (метали, мезопористий кремній і кремнезем, вуглецеві покриття, сульфіди, наносфери літографії і т. д.).

Оптичні наносенсори дозволяють досягти значного поліпшення сучасних методів аналізу, що задіюють флуоресцентні індикатори, зважаючи на відсутність схильності до дифузії і швидкому розмивання в тканинах.

Значна частина оптичних біосенсорів заснована на явищі поверхневого плазмонного резонансу (localized surface plasmon resonance, LSPR).

Такі сенсори використовують властивості золота та інших матеріалів: тонкий шар золота, нанесений на скляну поверхню, що має високий коефіцієнт заломлення, може абсорбувати лазерне світло, створюючи електронні хвилі (поверхневі плазмони) на золотій поверхні. Для цього потрібні певний кут падіння і довжина хвилі падаючого світла, явище в такій мірі залежить від поверхні золотого шару, що приєднання аналіту до біологічного рецептора на поверхні цього шару помітно змінює сигнал (рис. 6.3). Застосовуються також різні напилені матеріали і підкладки, а також специфічні властивості поверхні самих матеріалів для досягнення ефекту.

LSPR-генерація теоретично можлива в будь-якому металі, сплаві або напівпровіднику з сильно негативною дійсною частиною діелектричної проникності і малої уявною частиною.

Незважаючи на те що алюміній і мідь потенційно можна використовувати в оптичних LSPR-сенсорах, переважна більшість експериментів в цій області проводяться з застосуємо наночастинок золота і срібла. У випадку з міддю лімітуючим фактором є утворення шару оксиду, який сприяє загасання оптичного сигналу і розмивання спектральної лінії. Оксидний шар потрібно видаляти за допомогою крижаної оцтової кислоти.

Саме тому частіше використовують золото, яке стійке до поверхневого окислення. Срібло має більш вузьку спектральну лінію у видимому діапазоні випромінювання, його використання більш ефективно в цій області не дивлячись на схильність до поверхневого окислення.

LSPR-датчики використовуються для вимірювання концентрації молекул, кінетики зв'язування, візуалізації спектру поглинання і конформаційних змін. Однак перетворення таких датчиків в надійні, практичні інструменти, призначені для більш широкого застосування, вимагає стабільності фізичних і хімічних властивостей наночастинок, які є основою сенсорів. Наведемо кілька прикладів вирішення цього завдання.

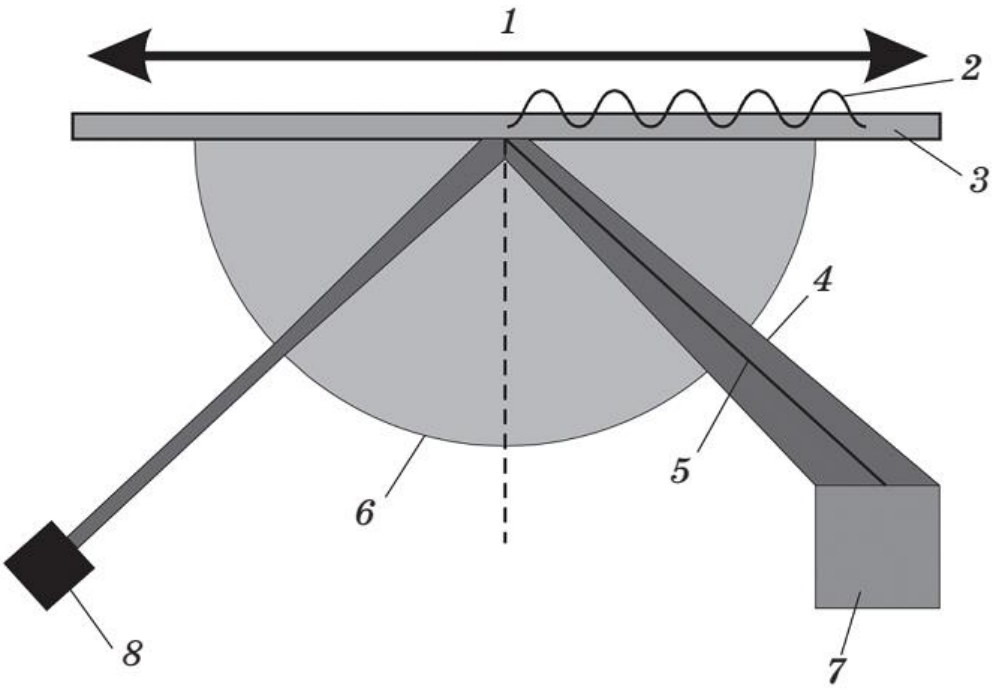


Рисунок 6.3 - Явище поверхневого плазмонного резонансу:

1 - рух аналіту; 2 - хвиля резонансу; 3 - металева плівка; 4 - відбите випромінювання; 5 -

резонансне випромінювання; 6 - призма; 7 - детектор;

8 - джерело монохромного випромінювання

Оскільки за конструкцією датчики на основі LSPR-технології дуже чутливі до таких змін характеристик наночастинок, як однорідність розміру, форма і склад, для практичного використання необхідні їх істотні доопрацювання. Рівномірність розподілу наночастинок за розмірами може бути досягнута з використанням різних методів, наприклад отримання наносфер літографії, електронно-променевої літографії і застосування хімічного синтезу. Методи поділу, наприклад електрофорез, також можуть бути використані для фракціонування полідисперсної суспензії у фракції монодисперсних. Можна виділити датчики, які стійкі до дії розчинників, фототермічної обробки і високої інтенсивності лазерного випромінювання.

Для вирішення цих завдань пропонується попередньо обробити частки: вони можуть бути захищені за допомогою нанесення поверхневого шару інертних матеріалів (оксиду кремнію або алюмінію). Також для цих цілей можуть використовуватися біополімери, наприклад альбумін.

Ще один тип оптичних наносенсорів - наносфери літографії (рис.6 4). Вони є універсальним і потужним інструментом для проектування нанорозмірних матеріалів з різними фізичними і залежними від них оптичними властивостями. Як правило, виготовлення таких матеріалів проводиться в два етапи. Спочатку здійснюється синтез маски з сферичних наночастинок, потім формується металева плівка на поверхні маски. Залежно від необхідної форми частинок змінюється товщина нанесеної плівки. Для отримання трикутних наночастинок маску видаляють.

Зміна розміру наносфер, що містяться в масці, або властивостей металевого напилення помітно позначається на оптичні властивості матеріалу.

Такі матеріали можуть бути використані в системах зондування на основі LSPR або раманівського розсіювання, посиленого поверхнею.

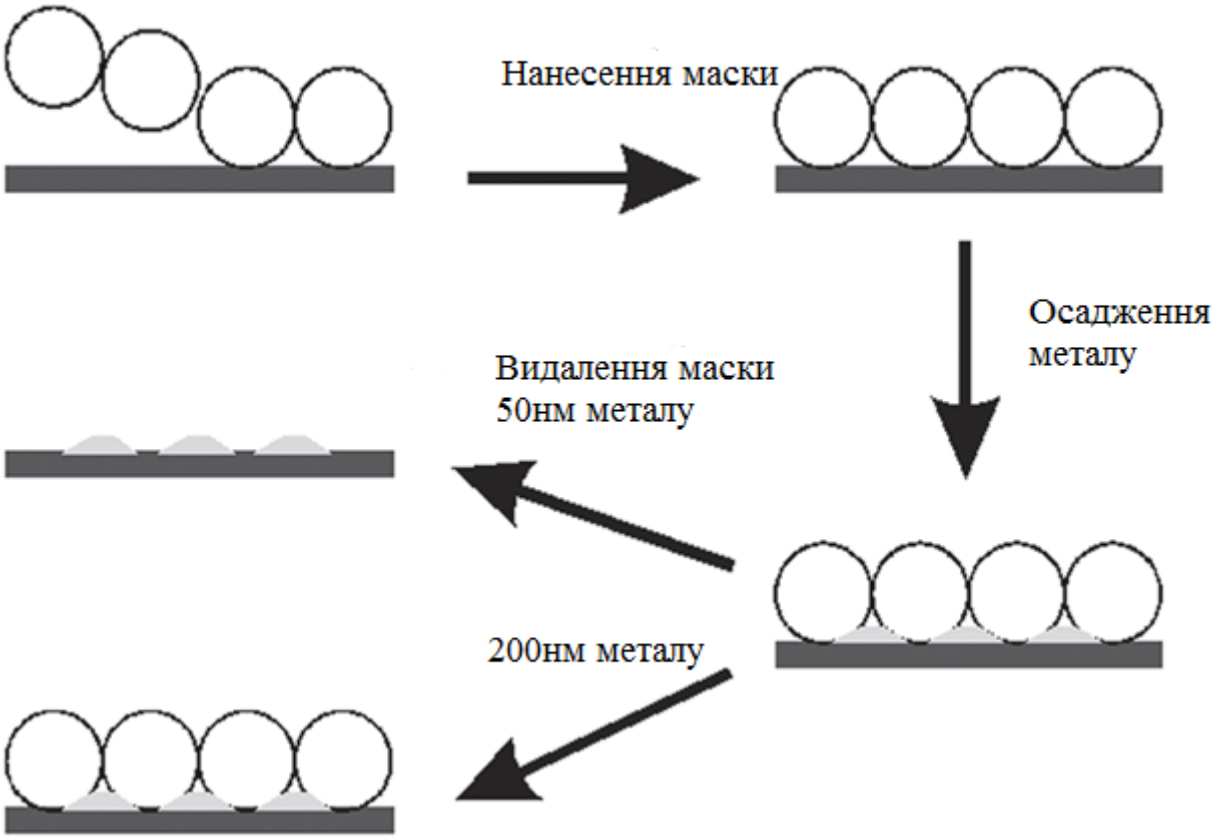


Рисунок 6.4 - Формування наносфер літографії

В даний час досліджено матеріали, що представляють собою ядро наночастинки золота, покрите оболонкою мезопористого кремнезему. Така конструкція забезпечує виникнення явища LSPR, яке може бути використане для пристроїв молекулярного зондування. Мезопориста оболонка кремнезему не тільки допускає прямий контакт ядра наночастинки золота з навколишнім середовищем, а й стабілізує дисперсію частинок в різних водноорганіческіх сумішах і чистих органічних розчинниках. Такі наночастинки можливо використовувати в системах молекулярного зондування, а також для функціоналізації кремнеземної оболонки лигандами різного призначення, в тому числі і для реалізації спрямованої доставки лікарських препаратів (з'являється можливість візуального контролю доставки препаратів).

У дослідженнях нанопроволоки, що складається з ядра і оболонки ZnS/SiO2, використаних для виготовлення нанопристроїв з польових транзисторів, продемонстрована відтворюваність характеристик провідності такої нанопроволоки, в якій металевий електрод і розчин електроліту використовуються в якості затвора. Вона може бути використана для

високочутливого і селективного виявлення хімічних і біологічних зразків в режимі реального часу.

9.5 біологічні наносенсори

Нанобіодатчікі представляють собою нанорозмірні датчики для якісного і кількісного визначення хімічних речовин і конкретних типів клітин в біологічному матеріалі. Нанобіодатчики володіють виключно високою чутливістю в порівнянні з датчиками інших типів.

Один з варіантів біологічних наносенсорів - нанопроволоки. Оскільки поверхня нанопроволоки легко піддається хімічній модифікації, освоєні методи нанесення на неї розпізнають елементів для різних молекул.

Приєднання молекули-мішені до поверхні нанопроволоки викликає негайну зміну її електропровідності, яке можна враховувати кількісними методами. Легована бором кремнієва нанодріт використовувалася для створення високочутливих кількісних датчиків біологічного призначення. Модифікований біотин кремнієвий нанодріт застосовується для детекції стрептавідину в пікомолярних концентраціях. Завдяки малому розміру, високої чутливості та можливості детекції в режимі реального часу нанопроволоки стали перспективним матеріалом для чиповой діагностики і пріжізенной діагностики.

Існують також нанодатчікі, що використовують технологію перемикання іонних каналів. Датчик являє собою синтетичну самозбірних мембрану, яка функціонує за принципом біологічного переривника. Електричний імпульс від датчика генерується при контакті з шуканої біологічної молекулою.

Діагностична система Biodetect (Integrated NanoTechnologies, США) функціонує за рахунок електронного розпізнавання зв'язування шуканої молекули ДНК з чутливим елементом мікрочіпа. Молекула ДНК формує місток між двома струнами нанопроволоки. Освіта ДНК-містків, наявність яких контролюється за допомогою методів флуоресцентної візуалізації, легко розпізнається шляхом вимірювання опору або інших електричних властивостей нанодатчіка.

Деякі нанодатчики використовують вірусні частинки. Так, вірус герпесу і аденовірус застосовувалися для запуску самозборки магнітних нанозерен, що забезпечують детекцию інших вірусів в біологічних середовищах. Нанозерна складалися з магнітного ядра, представленого оксидом заліза, і декстрановій оболонки. Далі до поверхні нанозерен приєднувалися антитіла проти вірусу герпесу. Опромінення діагностичної системи магнітним полем забезпечувало надзвичайно чутливу детекцию вірусних частинок, наприклад п'яти вірусних частинок в 10 мл сироватки. Описана діагностична система має набагато більш високу чутливість, ніж традиційний імуноферментний аналіз. Крім того, вона відрізняється більшою швидкістю виконання, меншою вартістю і встречаемостью артефактів, ніж полімеразна ланцюгова реакція.

Датчики, інкапсульовані в біологічно локалізований матеріал (ДІБЛМ), складаються з сенсорних молекул, занурених в хімічно інертний матрикс шляхом мікроемульсійний полімеризації, що забезпечує утворення сферичних нанодатчіков діаметром від 20 до 200 нм. Ці датчики

забезпечують внутрішньо-і міжклітинну детекцію різних іонів і молекул в режимі реального часу, причому формується сигнал не береться інтерференції з боку білкових молекул. ДІБЛМ також демонструє хорошу стійкість до видужування і фотовицветанію. У плазмі крові людини ДІБЛМ забезпечує високочутливу детекцію напруги кисню, на яку не впливають ефекти світлорозсіювання і аутофлуоресценції.

Нанокронштейни призначені для трансформації молекулярної взаємодії в механічне зміщення наноплатформи (близько 10 нм), яке може бути виміряне безпосередньо за ступенем відхилення світлового пучка від поверхні кронштейна. У майбутньому використання нанокронштейнов може стати альтернативою полімеразної ланцюгової реакції і доповнити існуючі методи ДНК-і білкових мікрочіпів, оскільки в даному випадку відпадає необхідність мітити або копіювати молекули-мішені. Переваги нанокронштейнов полягають у тому, що вони дають можливість швидкого розпізнавання немічених специфічних послідовностей ДНК для ідентифікації генних поліморфізмів, онкогенов і мутацій. Нанокронштейни можуть бути корисні для розробки нових типів нанодатчіков для детекції вірусів, бактерій та інших патогенних мікроорганізмів.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication / communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsibility for any use which may be made of the information contained therein.