

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Кафедра електроенергетики і автоматизації

Методичні вказівки
для виконання практичних робіт з дисципліни
«Технічні засоби автоматизації»
для здобувачів освітнього ступеню «Бакалавр»
спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

2017-2018 рік

Методичні вказівки для виконання практичних робіт з дисципліни «технічні засоби автоматизації» для студентів зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» ОС «Бакалавр» «Бакалавр» / А. О. Кашкар'юв. – Мелітополь, ТДАТУ. – 53 с.

Розробник: к.т.н., доцент кафедри електроенергетики і автоматизації
Кашкар'юв Антон Олександрович

Рецензент: к.т.н., доцент кафедри електроенергетики і автоматизації
Кашкар'юв Антон Олександрович

Методичні вказівки розглянуті і рекомендовані до друку на засіданні кафедри «Електроенергетика і автоматизація»

Протокол № _ від «__» _____ 201_ р.

Завідувач кафедри ЕіА

професор _____ В. Т. Діордієв

Методичні вказівки затверджені на засіданні методичної комісії енергетичного факультету ТДАТУ

Протокол № _____ від « __» _____ 201 _ р.

© Кашкар'юв А. О. 2017 рік

ЗМІСТ

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1 РОЗРАХУНОК ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИХ ДАВАЧІВ	5
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2 ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ	29
ПРАКТИЧНА РОБОТА №3 РОБОТА ІЗ ПСИХРОМЕТРИЧНИМИ ТАБЛИЦЯМИ	32
ПРАКТИЧНА РОБОТА №4 РОЗРАХУНОК БЕЗКОНТАКТНИХ ДАТЧИКІВ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ	43
ПРАКТИЧНА РОБОТА №5 РОЗРАХУНОК МАЛОПОТУЖНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ	49

ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Електротехнічна лабораторія належить до категорії приміщень із підвищеною небезпекою: можливе одночасне торкання металевих конструкцій будівель, технологічних апаратів та механізмів, які з'єднані із землею та металевих корпусів і струмоведучих частин обладнання. Тому до роботи у лабораторії допускаються тільки ті студенти, які пройшли інструктаж із техніки безпеки.

1. Перед початком лабораторних робіт прослухати інструктаж викладача про правила техніки безпеки на робочому місці й розписатися в спеціальному журналі.

2. Приєднання установок до мережі напругою 220 В виконується спеціалізованими штекерами. Кожний стенд має світлову сигналізацію й на кожному стенді встановлений індивідуальний автоматичний вимикач з комбінованим захистом.

4. Перед тим як приступити до збирання електричної схеми на стенді, необхідно переконатись, що він не знаходиться під напругою, перевірити, чи вимкнений автоматичний вимикач живлення. Для цього потрібно опустити важіль автоматичного вимикача у нижнє положення, при цьому також не повинні горіти сигнальні лампочки чи світлодіоди, які розміщені поруч із вимикачем.

5. Зібрану схему перевіряють усі члени бригади, а потім викладач чи лаборант.

6. Щоб уникнути нещасних випадків категорично забороняється: знімати кришку й розбирати автоматичний вимикач, трифазну й однофазну розетки; приєднувати прилади, установки та інше до мережі за допомогою тимчасових з'єднань або оголених проводів; застосовувати дроти з ушкодженою ізоляцією; підключати прилади до мережі без зняття напруги; працювати на несправних установках; залишати без спостереження включені установки; розташовувати зошити при записі показань на вимірювальних приладах і установках; захаращувати робочі столи сторонніми предметами; торкатися руками або якими-небудь предметами обертових частин електричних машин або робити їхнє гальмування.

7. При спрацьовуванні автоматичного вимикача студенти за допомогою викладача усувають причину виникнення перевантаження або короткого замикання й знову включають установку під спостереженням викладача.

8. При нещасному випадку негайно надати першу допомогу потерпілому. Аптечки швидкої допомоги перебувають у лабораторії та на кафедрі (ауд. 1.312). Якщо буде потреба, викликати швидку допомогу по телефону 103. У випадку пожежі негайно виключити автомат і рубильник. Вжити заходів до ліквідації загоряння. Якщо є потреба викликати пожежну команду 101.

9. Виклики швидкої допомоги й пожежної команди робити через чергового 1-го навчального корпусу корпусу або секретаря кафедри.

10. Після закінчення експерименту ручки керування й перемикачі поставити у вихідне положення, тумблером "мережа" виключити установку. Виключити автоматичний вимикач. Робоче місце повинне бути приведенне в порядок.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1 РОЗРАХУНОК ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИХ ДАВАЧІВ

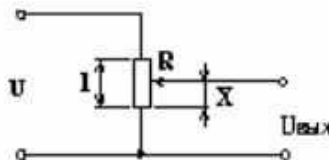
Програма роботи

- Загальні відомості
- Статична характеристика потенціометричних давачів
- Динамічна характеристика потенціометричних давачів
- Власні шуми потенціометричного датчика
- Функційні потенціометричні здавачі
- Багатообертові потенціометри

Загальні відомості

Потенціометричний датчик являє собою змінний резистор, до якого прикладена живляча напруга, його вхідною величиною є лінійне або кутове переміщення контакту, а вихідною величиною - напруга, що знімається із цього контакту, що змінюється по величині при зміні його положення.

Потенціометричні датчики призначені для перетворення лінійних або кутових переміщень в електричний сигнал, а також для відтворення найпростіших функціональних залежностей в автоматичних і автоматичних пристроях безперервного типу. Тому що в переміщення можуть бути перетворено багато неелектричних величин (тиск, витрата, рівень і ін.), те реостатні перетворювачі дуже часто використовують у якості проміжних перетворювачів неелектричних величин в електричні.



Електрична схема потенціометричного датчика

По способу виконання опору **потенціометричні датчики** діляться на

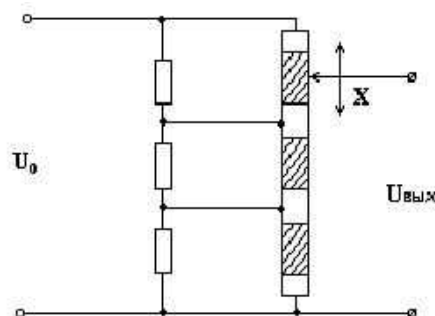
- ламельні з постійними опорами;
- дрові з безперервним намотуванням;
- с резистивним шаром.

Ламельні потенціометричні датчики використовувалися для проведення щодо грубих вимірів у силу певних конструктивних недоліків.

У таких датчиках постійні резистори, підібрані по номіналу спеціальним образом, припаюються до ламелям.



Ламельный потенциометрический датчик



Ламель являє собою конструкцію з непровідними елементами, що чергуються провідними й, по якій сковзає токосъемный контакт. При русі струмознімача від одного провідного елемента до іншого сумарний опір підключених до нього резисторів міняється на величину відповідну до номіналу одного опору. Зміна опорів може відбуватися в широких межах. Погрішність вимірів визначається розмірами контактних майданчиків.

Дротові потенціометричні датчики призначені для більш точних вимірів. Як правило їх конструкції являють собою каркас із гетинаксу, текстоліту або кераміки, на який в один шар, виток до витка намотаний тонкий дріт, по зачищеній поверхні якої сковзає струмознімач.

Діаметр дроту визначає клас точності потенціометричного датчика (високий-0,03-0,1 мм, низький 0,1-0,4 мм). Матеріали проведення: манганін, фехраль, сплави на основі благородних металів. Струмознімач виконаний з більш м'якого матеріалу, щоб виключити перетирання проведення.

Залежно від конструктивного виконання розрізняють реостатні перетворювачі з поступальним і обертальним переміщенням рухливого контакту. Останні, крім того, діляться на одне - і багатооборотні.

Конструктивно реостатні перетворювачі (мал.5.2, а, б) складаються з каркаса 1, обмотки з ізолюваного проведення 2 і рухомого контакту 3 у вигляді щітки або движка, що сковзає по витках проведення, очищеного від ізоляції.

Каркас виконується з ізоляційного матеріалу й може мати форму стрижня, кільця, вигнутої пластини. Матеріал каркаса повинен зберігати свої розміри в широкому температурному діапазоні, умовах підвищеної вологості й хімічному забрудненню атмосфери. Крім того, каркаси повинні мати високу теплопровідність, що дозволяє збільшувати потужність, що розсіюється в перетворювачі. У якості ізоляційного матеріалу використовують гетинакс, текстоліт, кераміку або метал, покритий непровідним шаром оксиду.

Обмотку виконують ізолюваним проведенням виток до витка або із заданим кроком $L_{ш}$. Матеріал обмотки повинен відповідати наступним вимогам: високий питомий електричний опір, висока корозійна стійкість, стабільність характеристик у часі, малий температурний коефіцієнт опору, більша міцність на розрив і стирання. У якості обмотувального проведення застосовують константан і манганін, а при роботі в умовах підвищених температур - залізо - і нікельхромові сплави. В особливо відповідальних або специфічних умовах роботи застосовують сплави із благородних металів: платини з іридієм, платини з паладієм і ін. Діаметр проведення залежить від точності й опору перетворювача: 0,01...0,1 мм для датчиків високого класу; 0,1-0,4 мм - для датчиків низького класу. Обмотувальне проведення покривають шаром емалі або шаром оксидів.

Рухливий контакт (щітка, движок) виконують у вигляді двох-трьох паралельних дротиків діаметром 0,1-0,2 мм, що трохи відрізняються по довжині (для прецизійних реостатних перетворювачів), або зі спеціально профільованої пластини з розрізами. Ширина контактної поверхні щітки повинна бути рівна двом-трьом діаметрам дроту чутливого елемента.

Виготовляють щітку або із чистих металів (платини, срібла), або зі сплавів (платини з іридієм або берилієм, фосфористої бронзи й ін.). Матеріал щітки повинен

бути трохи м'якше матеріалу дроту, щоб дріт не перетирався. Щітка притискається до обмотки із зусиллям $(0,5.15,0)$ 10-2 Н.

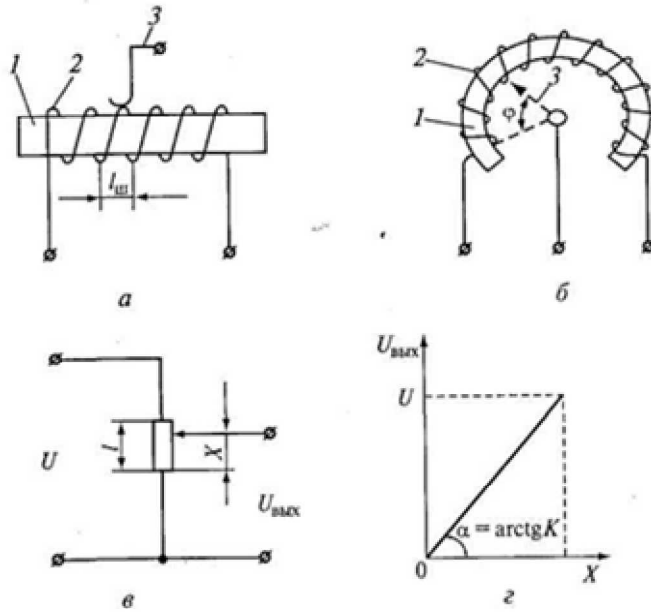


Рис. 5.2. Потенциометрические датчики:
 а — линейный; б — угловой; в — схема включения; г — статическая характеристика; 1 — каркас; 2 — провод; 3 — токосъемный контакт

Припустима щільність струму в обмотці залежить від матеріалу проведення й умов його охолодження. При використанні манганіну або константану робоча температура перетворювача може досягати 40.50°C при щільності струму в обмотці близько 10 А/мм^2 для каркаса із пластикових матеріалів або 25.30 А/мм^2 для металевого каркаса. Використання обмотувального проведення зі шляхетних матеріалів допускає робочу температуру в межах 70.80°C і щільність струму 40.50 А/мм^2 при металевому каркасі.

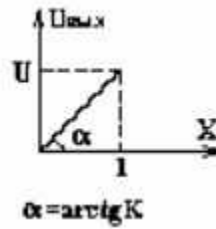
Переваги потенціометричних датчиків:

- простота конструкції;
- малі габарити й вага;
- високий ступінь лінійності статичних характеристик;
- стабільність характеристик;
- можливість роботи на змінному й постійному струмі.

Недоліки потенціометричних датчиків:

- наявність ковзного контакту, який може стати причиною відмов через окиснення контактної доріжки, перетирання витків або відгинання повзунка;
- погрішність у роботі за рахунок навантаження;
- порівняно невеликий коефіцієнт перетворення;
- високий поріг чутливості;
- наявність шумів;
- схильність електроерозії під дією імпульсних розрядів.

Статична характеристика потенціометричних датчиків



Статична характеристика нереверсивного потенціометричного датчика

Розглянемо на прикладі потенціометричного датчика з безперервним намотуванням. До затискачів потенціометра прикладається змінне або постійна напруга U . Вхідною величиною є переміщення X , вихідний – напруга $U_{\text{вих}}$. Для режиму холостого ходу статична характеристика датчика лінійна тому що слушне співвідношення:

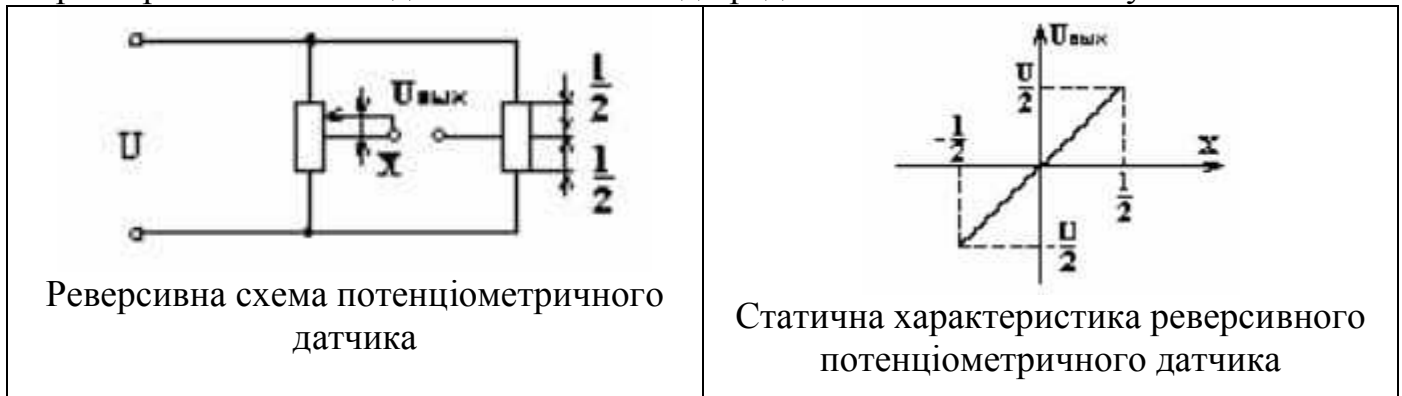
$$U_{\text{вих}} = (U/R) r,$$

де R - опір обмотки; r - опір частини обмотки.

Враховуючи, що $r/R = x/l$, де l - загальна довжина намотування, одержимо $U_{\text{вих}} = (U/l) x = Kx$ [В/м],

де K - коефіцієнт перетворення (передачі) датчика.

Очевидно, що такий датчик не буде реагувати на зміну знака вхідного сигналу (датчик нереверсивний). Існують схеми чутливі до зміни знаку. Статична характеристика такого датчика має вигляд представлений на малюнку.



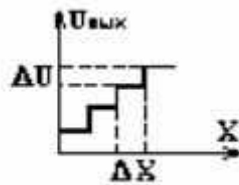
Отримані ідеальні характеристики можуть суттєво вирізнятися від реальних за рахунок наявності різного роду погрешностей:

1. Зона нечутливості.

Вихідна напруга міняється дискретно від витка до витка, тобто виникає ця зона, коли при малому вхідна величина $U_{\text{вих}}$ не міняється.

Величина стрибка напруги визначається по формулі: $D_U = U/W$, де W - число витків.

Поріг чутливості визначається діаметром намотувального провідення: $D_x = 1/W$.



Зона нечутливості потенціометричного датчика

2. Нерівномірність статичної характеристики через мінливість діаметра проведення, питомого опору й кроку намотування.

3. Погрішність від люфту, що виникає між віссю обертання движка й напрямною втулкою (для зменшення використовують підтискні пружини).

4. Погрішність від тертя.

При малих потужностях елемента, що приводить у рух щітку потенціометричного датчика може виникати за рахунок тертя зона застою.

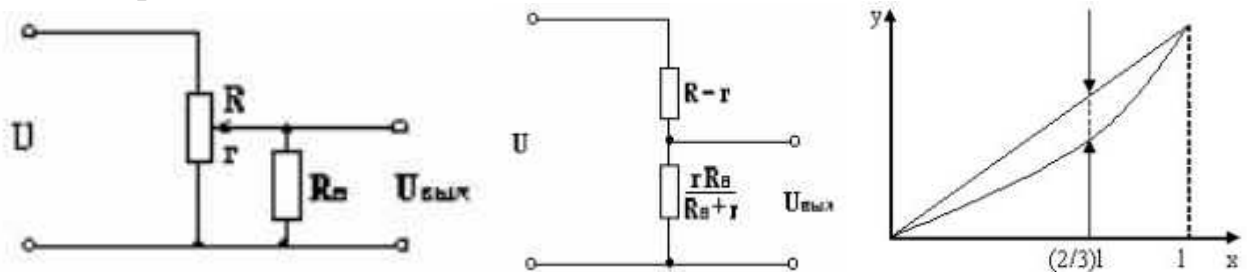
Необхідно ретельно регулювати натиск щітки.

5. Погрішність від впливу навантаження.

Залежно від характеру навантаження виникає погрішність, як у статичному, так і в динамічному режимах. При активнім навантаженні змінюється статична характеристика. Величина вихідної напруги буде визначатися відповідно до вираження: $U_{\text{вих}} = (U_r r_n) / (R r_n + R_r - r_2)$

Т.е. $U_{\text{вих}} = f(r)$ залежить від R_n . При $R_n \gg R$ можна показати, що $U_{\text{вих}} = (U/R) r$;

при R_n приблизно рівному R залежність нелінійна, і максимальна погрішність датчика буде при відхиленні движка на $(2/3)l$. Звичайно вибирають $R_n/R = 10 \dots 100$. Величина помилки при $x = (2/3)l$ може бути визначена з вираження: $E = 4/27\eta$, де $\eta = R_n/R$ - коефіцієнт навантаження.



а - Еквівалентна схема потенціометричного датчика з навантаженням,

б - Вплив навантаження на статичну характеристику потенціометричного датчика.

Потенціометричний датчик під навантаженням

Динамічні характеристики потенціометричних датчиків

Передатна функція

Для виводу передатної функції зручніше за вихідну величину обрати струм навантаження, його можна визначити користуючись теоремою про еквівалентний генератор. $I_n = U_{\text{вих}0} / (R_{\text{вн}} + Z_n)$

Розглянемо два випадки:

1. Навантаження чисто активне

$Z_n = R_n$ тому що $U_{\text{вих}0} = K_{1x} I_n = K_{1x} / (R_{\text{вн}} + R_n)$

де K_1 – коефіцієнт передачі датчика на холостому ходу.

Застосовуючи перетворення Лапласа, одержимо передатну функцію

$$W(p) = I_H(p) / X(p) = K_1 / (R_{BH} + R_H) = K$$

Таким чином, ми одержали безінерційну ланку, а значить датчик має всі, відповідні до цієї ланки частотні й тимчасові характеристики.

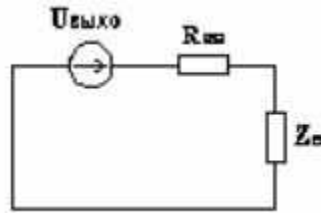


Схема заміщення

2. Навантаження індуктивне з наявністю активної складової.

$$U = R_{BH} i_H + L (di_H/dt) + R_H i_H$$

Застосовуючи перетворення Лапласа одержимо $U_{вых}(p) = I_H(p) [(R_{BH} + pL) + R_H]$

Шляхом перетворень можна прийти до передатної функції виду $W(p) = K / (Tp + 1)$ - аперіодична ланка 1го порядку,

$$\text{де } K = K_1 / (R_{BH} + R_H)$$

$$T = L / (R_{BH} + R_H);$$

Власні шуми потенціометричного датчика

Як було показано, при русі щітки від витка до витка напруга на виході міняється стрибком. Погрішність, створювана ступінчастістю має вигляд пилкоподібної напруги, накладеного на вихідну напругу передатної функції, тобто являє собою шум. При наявності вібрації щітки при русі також створюється шум (перешкода). Частотний спектр вібраційного шуму лежить в області звукових частот.

Для усунення вібрації струмознімачі виконують із декількох дротиків різної довжини складених разом. Тоді власна частота кожного дротика буде різна, це перешкоджає появі технічного резонансу. Рівень теплових шумів - низок, їх ураховують в особливо чутливих системах.

Функціональні потенціометричні датчики

Необхідно відзначити, що в автоматичі часто для одержання нелінійних залежностей використовуються функціональні передатної функції. Їхня побудова проводиться трьома способами:

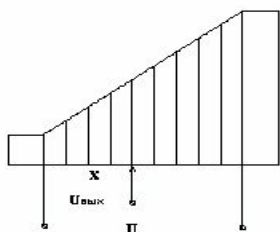
зміною діаметра дроту уздовж намотування;

зміною кроку намотування;

застосуванням каркаса певної конфігурації;

шунтуванням ділянок лінійних потенціометрів опорами різної величини.

Наприклад, щоб одержати квадратичну залежність по Змму способом, потрібно щоб ширина каркаса змінювалася за лінійним законом, як це показане на малюнку.



Функціональний потенціометричний датчик

Багатооборотний потенціометр

Звичайні потенціометричні датчики мають обмежений діапазон роботи. Його величина задана геометричними розмірами каркаса й числом витків обмотки. Їх збільшувати безмежно не можна. Тому знайшли застосування багатооборотні потенціометричні датчики, у яких резистивний елемент свит по гвинтовій лінії з декількома витками, їх вісь повинна повернутися кілька раз, щоб движок перемістився з одного кінця обмотки на інший, тобто електричний діапазон таких датчиків кратний 360°.

Основною гідністю багатооборотних потенціометрів є висока розв'язна здатність і точність, що досягається завдяки великій довжині резистивного елемента при малих загальних габаритах.

Контрольні завдання

1. Визначити загальний опір циліндричного потенціометричного перетворювача, якщо його виконано з ніхромової проволочки ($\rho=11 \cdot 10^{-7}$ Ом·м) діаметром 1 мм, діаметр каркасу складає 15 мм, а довжина намотки – 100 мм.
2. Визначити довжину каркасу циліндричного потенціометричного перетворювача, який має діаметр каркасу 15 см, з мідного проводу ($\rho=0,17 \cdot 10^{-7}$ Ом·м) діаметром 0,05 мм без ізоляції та 0,06 з ізоляцією загальним опором 50 Ом.
3. Яка довжина проводу потрібна для того щоб намотати циліндричний потенціометричний перетворювач загальним опором 200 Ом. При цьому використовується ніхромово проволочка ($\rho=11 \cdot 10^{-7}$ Ом·м) діаметром 0,2 мм та каркас діаметром 25 мм.
4. Визначити загальний опір циліндричного потенціометричного перетворювача, якщо його виконано з залізною проволочкою ($\rho=1,6 \cdot 10^{-7}$ Ом·м) діаметром 2 мм без ізоляції та 3 мм з ізоляцією, діаметр каркасу складає 40 мм, а довжина намотки – 300 мм.
5. Яку кількість витків необхідно намотати для отримання циліндричного потенціометричного перетворювача загальним опором 200 Ом. При цьому використовується ніхромово проволочка ($\rho=11 \cdot 10^{-7}$ Ом·м) діаметром 0,2 мм та каркас діаметром 25 мм.
6. Який діаметр вольфрамового проводу ($\rho=0,55 \cdot 10^{-7}$ Ом·м) можна взяти для того, щоб зробити потенціометричний перетворювач опором 1000 Ом на каркасі діаметром 40 мм та довжиною намотки 250 мм (підказка: порівняти дві формули визначення кількості витків).

7. Для потенціометричного перетворювача використано залізну проволочку ($\rho=1,6 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 1 мм, в результаті чого загальний опір перетворювача склав 30 Ом. Який найменший діаметр каркасу може бути, якщо довжина намотки повинна складати 250 мм (товщиною ізоляції можна знехтувати).
8. Яка довжина проводу потрібна для того щоб намотати циліндричний потенціометричний перетворювач загальним опором 300 Ом. При цьому використовується ніхромова проволочка ($\rho=11 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 0,8 мм та каркас діаметром 75 мм.
9. Яку кількість витків необхідно намотати для отримання циліндричного потенціометричного перетворювача загальним опором 150 Ом. При цьому використовується залізна проволочка ($\rho=1,6 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 0,3 мм та каркас діаметром 40 мм.
10. Для потенціометричного перетворювача використано ніхромову проволочку ($\rho=11 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 1,5 мм, в результаті чого загальний опір перетворювача склав 30 Ом. Який діаметр каркасу необхідно взяти для отримання довжини намотки 150 мм.
11. Яка довжина проводу потрібна для того щоб намотати циліндричний потенціометричний перетворювач загальним опором 350 Ом. При цьому використовується ніхромову проволочку ($\rho=11 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 0,15 мм та каркас діаметром 50 мм.
12. Визначити загальний опір циліндричного потенціометричного перетворювача, якщо його виконано з залізною проволочкою ($\rho=1,6 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 1,5 мм без ізоляції та 1,7 мм з ізоляцією, діаметр каркасу складає 40 мм, а довжина намотки – 300 мм.
13. Для потенціометричного перетворювача використано залізну проволочку ($\rho=1,6 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 1,5 мм, в результаті чого загальний опір перетворювача склав 45 Ом. Який найменший діаметр каркасу може бути, якщо довжина намотки повинна складати 240 мм (товщиною ізоляції можна знехтувати).
14. Для потенціометричного перетворювача використано ніхромову проволочку ($\rho=11 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 2,5 мм, в результаті чого загальний опір перетворювача склав 20 Ом. Який діаметр каркасу необхідно взяти для отримання довжини намотки 100 мм.
15. Визначити довжину каркасу циліндричного потенціометричного перетворювача, який має діаметр каркасу 17 см, з мідного проводу ($\rho=0,17 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 0,08 мм без ізоляції та 0,09 з ізоляцією загальним опором 50 Ом.
16. Яка довжина проводу потрібна для того щоб намотати циліндричний потенціометричний перетворювач загальним опором 500 Ом. При цьому використовується ніхромову проволочку ($\rho=11 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 1,2 мм та каркас діаметром 170 мм.
17. Який діаметр ніхромової проволочки ($\rho=11 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) можна взяти для того, щоб зробити потенціометричний перетворювач опором 1500 Ом на каркасі діаметром 50 мм та довжиною намотки 400 мм (підказка: порівняти дві формули визначення кількості витків).
18. Яку кількість витків необхідно намотати для отримання циліндричного потенціометричного перетворювача загальним опором 200 Ом. При цьому

використовується залізна проволока ($\rho=1,6 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 0,2 мм та каркас діаметром 25 мм.

19. Визначити загальний опір циліндричного потенціометричного перетворювача, якщо його виконано з вольфрамового проводу ($\rho=0,55 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 0,5 мм, діаметр каркасу складає 15 мм, а довжина намотки – 100 мм.

20. Яку кількість витків необхідно намотати для отримання циліндричного потенціометричного перетворювача загальним опором 50 Ом. При цьому використовується залізна проволока ($\rho=1,6 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) діаметром 0,2 мм та каркас діаметром 40 мм.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2.
ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗА УМОВАМИ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Мета: отримання знань і навичок вибору і застосування технологічних датчиків, вторинних приладів і виконавчих пристроїв.

Програма роботи

1. Загальні відомості.
2. Вибір датчиків.
3. Приклади оформлення вибору ТЗА
4. Умови технологічного процесу
5. Завдання для самостійної роботи

Хід роботи

Загальні відомості

Під час проектування схем автоматизації необхідно правильно вибрати технічні засоби автоматизації, що випускаються серійно, й розробляти нові. У країнах СНД існувала Державна система приладів (ДСП), на базі якої практично цілком будувалися системи АСКТП. У 90-х роках минулого століття ця система практично перестала існувати. Власної системи ДСП Україна не має. У теперішній час основний постачальник комплексів АСКТП – західні країни: Німеччина, Англія, США та ін. (наприклад, фірми Шнайдер, Сіменс та ін.) або спільні підприємства.

Останнім часом намітилася тенденція розробки систем або підсистем АСКТП вітчизняними підприємствами й організаціями. Їх проектування засновано на використанні, в основному, закордонної електронної бази й комп'ютерної техніки, а також промислових і офісних мережних технологій. У той самий час проєктанти намагаються використовувати датчики, підсилювачі, перетворювачі, керуючі регулятори, регульовальні та інші пристрої автоматики вітчизняного виробництва або розробляють їх самі. При проектуванні таких пристроїв використовують нормативні документи й методики вибору пристроїв, що існують в країнах СНД. У зв'язку з цим у даному розділі розглянуті в основному питання вибору саме цієї елементної бази АСКТП. Під час проектування АСКТП вирішальне значення має раціональний вибір чутливих елементів датчиків безперервного або перервного контролю параметрів (наприклад, надлишкового, вакууметричного й абсолютного тиску, витрати, рівня, температури, механічних величин) або раціональне перетворення в сигнали, що можуть бути використані в технічних засобах і системах керування.

Датчики використовують у комплекті з вторинними приладами, регуляторами й іншими пристроями автоматики, машинами централізованого контролю й системами керування. У залежності від конкретних умов застосування датчиків до них існують різноманітні вимоги. Точність датчика в основному визначає точність роботи системи, тому необхідно враховувати в першу чергу метрологічні й динамічні характеристики, спрямованість дії, що характеризує ступінь впливу навантаження на виході датчика на режим вхідного кола, а також зручність монтажу й обслуговування. Крім датчиків, важливе значення має вибір або розробка інших

пристроїв автоматики, у тому числі відлікових і дозувальних пристроїв (мірна тара, баки, автоматичні ваги й т.п.), стандартних пристроїв з ручним вводом сигналу (тумблери, клавішні вимикачі, кнопки тощо), а також зі змішаним (ручним і автоматичним) вводом сигналу.

Вибір датчиків

При виборі датчиків технологічних параметрів і інших засобів виділення інформації варто враховувати наступні основні фактори:

- припустима для АСКТП похибка, що визначає клас точності датчика;
- інерційність датчика, що характеризується його постійною часу;
- межі виміру з гарантованою точністю; вплив фізичних параметрів контрольованого й навколишнього середовища (температури, тиску, щільності, вологості) на нормальну роботу датчика;
- вплив на датчик контрольованого й навколишнього середовища внаслідок його абразивних властивостей, хімічних параметрів тощо;
- наявність у місці установки датчика неприпустимих для його нормального функціонування вібрацій, магнітних і електричних полів, радіоактивних випромінювань та ін.;
- можливість застосування датчика з погляду вимог пожежо- і вибухобезпечності; відстань, на яку може бути передана інформація, що виділяється датчиком; граничні значення вимірюваної величини й інших параметрів середовища.

Датчики вибирають, як правило, у два етапи. На першому задається різновид датчика (наприклад, при вимірі температури – манометричний термометр, термометр опору, термопара). На другому етапі визначається типорозмір обраного датчика (наприклад, термометр опору мідний, градировки 23, типу ТСМ-5071, голівка водозахисна).

Вибір датчиків рівня, концентрації, складу і вологості газу, щільності, кута повороту, переміщення, наявності сили, швидкості обертання і прискорення в основному зводиться до обліку і підбора згаданих вище факторів і характеристик.

При використанні датчиків, що реагують на радіоактивність, необхідно постійно контролювати вплив проникаючої радіації і дотримуватись спеціальних санітарно-технічних правил і техніки безпеки.

Для деяких типів датчиків, таких як кондуктометричні, ємнісні й інші, варто враховувати вплив температури і передбачати компенсуючі пристрої.

Багато датчиків концентрації, складу газу є спеціалізованими і можуть застосовуватися тільки в дуже вузькій галузі. Наприклад, розглянемо методику вибору найбільш поширених датчиків технологічних параметрів.

Вибір датчиків температури

Необхідно враховувати граничні значення температур, у діапазоні яких можна застосовувати різні датчики, а також вид вихідного сигналу. Ці дві характеристики є основними, які в значній мірі визначають вибір того чи іншого датчика. При виборі датчиків варто враховувати середовище, у якому вони повинні працювати.

Термометри опору і термопари забезпечують вимір з точністю 0,5 %, а контактні, і манометричні термометри – не більш 1,5 – 2,5 %.

У діапазоні температур від 50 до +500 °С, як правило, віддається перевага термометрам опору, що менше зазнають дії електричних і магнітних полів.

Причому при вимірах у діапазоні температур від –50 до +150 °С варто застосовувати мідні, а не платинові термометри опору, бо вони більш дешеві і краще переносять вібрацію.

Застосування термопар особливо зручне під час виміру температури у важкодоступному чи обмеженому розмірами місці. Цей прилад дозволяє визначити «місцеву» температуру, у той час як термометр опору й манометричний термометр вимірюють середню температуру тіла.

При необхідності одержання пневматичного сигналу можливе застосування як манометричних термометрів із пневмовихідом, так і термопар з наступним перетворенням термо-ЕДС у пневмосигнал.

Вибір датчиків тиску

Розрізняють прилади для виміру тиску (атмосферного надлишкового й абсолютного) у межах від 0 до 16·10⁷ Па, напору – до 5000 Па (500 мм вод. ст.), розрідження – до 5000 Па (500 мм вод. ст.) і вакууму – до 0,1 МПа (760 мм рт. ст.), а також різниці (перепаду) тиску – до 0,13 МПа (1000 мм рт. ст.).

Під час вибору датчиків тиску, крім основних характеристик, що були перераховані вище, варто враховувати:

1) характер зміни тиску в часі, якщо він не змінюється або змінюється плавно; датчик (особливо приладового типу) треба підібрати так, щоб показання вимірюваного тиску знаходилося в межах від 1/3 до 2/3 шкали, при змінному тиску – у межах від 1/3 до 1/2 шкали датчика;

2) вплив контрольованого середовища; для повітря, азоту і вуглекислого газу може бути застосований будь-який датчик тиску; для ацетилену, аміаку, сірчистого газу неприпустиме застосування датчиків з деталями з мідних сплавів і інших кольорових металів; для кисневого середовища необхідно прийняти міри, щоб запобігати попаданню олії; для агресивної рідини і газів повинні бути передбачені розділові судини й інша захисна арматура.

Вибір датчиків витрати

Витрати рідини і газу на сучасних промислових підприємствах вимірюють різними способами, однак переважна більшість промислових установок оснащено для цієї мети дросельними витратомірами.

Їх основними елементами є звужуючий пристрій, що забезпечує перепад тиску на ділянці трубопроводу, диференціальний манометр, сполучні лінії, а також керуюча, розділова і захисна апаратура.

Найбільш трудомісткою є операція вибору звужуючого пристрою, оскільки в кожному окремому випадку необхідно виконання достатньо громіздкого розрахунку. Стандартизовані звужуючі пристрої є трьох видів; діафрагма (камерна і безкамерна), сопло і сопло Вентурі. Вибір того чи іншого звужуючого пристрою визначається звичайно наступними ознаками: діафрагма значно простіша у виготовленні, ніж сопло, однак сопло дозволяє вимірювати більшу витрату й у ряді випадків забезпечує більш високу точність, ніж діафрагма, при тих самих значеннях перепаду тиску і модуля $2 \frac{2}{m d D}$, де D і d – внутрішні діаметри трубопроводу і

звужуючого пристрою відповідно. Крім того, для установки сопла вимагаються більш короткі прямі ділянки трубопроводу.

Зміна чи забруднення вхідного профілю звужуючого пристрою в процесі експлуатації при використанні діафрагми впливає на точність виміру витрат більше, ніж при застосуванні сопла.

В установках з невеликим статичним тиском, де обмеження втрати тиску на звужуючому пристрої має вирішальне значення, перевагу віддається соплу Вентурі. Стандартні звужуючі пристрої можна використовувати, якщо діаметр трубопроводу не менш 50 мм, статичний тиск не перевищує $2 \cdot 10^7$ Па, а модуль знаходиться в межах від 0,05 до 0,7 для діафрагми і від 0,05 до 0,6 для сопла Вентурі.

Вибір дифманометра, що працює в комплекті зі звужуючим пристроєм, в основному зводиться до визначення номінального перепаду тиску відповідно до стандартної шкали перепадів. Якщо втрата тиску у звужуючому пристрої не має значення, перепад вибирають таким, щоб модуль дорівнював 0,2, оскільки більше зменшення модуля (а отже, підвищення перепаду тиску), як правило, недоцільно. Якщо ж задана припустима втрата тиску у звужуючому пристрої, то приймають таке найбільше значення номінального перепаду тиску дифманометра, при якому втрата тиску ще залишається менше припустимої.

Вихідними даними для розрахунку звужуючих пристроїв є: внутрішній діаметр трубопроводу; статичний тиск середовища; температура; максимальне, середнє і мінімальне значення витрати речовин; припустима втрата тиску на звужуючому пристрої; матеріал звужуючого пристрою; обраний тип дифманометра.

Звужуючий пристрій і дифманометр (чи розділові посудини) повинні бути обрані з урахуванням контрольованого середовища.

Крім дросельних витратомірів, у промислових установках знаходять застосування ротаметри (витратоміри постійного перепаду), індукційні витратоміри й ін. Ротаметри дозволяють вимірювати малі витрати рідини і газу при діаметрі трубопроводу, меншому 50 мм, коли дросельні витратоміри не можна застосовувати. Вони забезпечують значний діапазон виміру (відношення максимальної витрати до мінімальної витрати може досягати 10), мають рівномірну шкалу, втрати тиску незначні, дозволяють вимірювати витрату агресивних і стерильних речовин.

Індукційні витратоміри відрізняються малими втратами тиску внаслідок відсутності звуження потоку і виступаючих частин, можливістю виміру агресивних середовищ і речовин, що характеризуються абразивними властивостями. Недоліком індукційних витратомірів є важко переборне явище поляризації (при постійному магнітному полі) і дрейф нуля (при змінному полі).

Приклади оформлення вибору ТЗА

При виборі технічних засобів автоматизації (ТЗА) необхідно дотримуватись Державної системи приладів (ДСП), яка дозволяє утворювати необхідну структуру та забезпечити незалежну заміну окремих вузлів.

У відповідності із розробленою схемою автоматизації функціональною і згідно номінальних значеннях вхідних і вихідних сигналів її ланок, необхідно вибрати відповідні технічні засоби автоматизації (ТЗА) і навести їхній перелік у вигляді специфікації (таблиця 2.1).

Для системи автоматичного керування, яка проектується, при виборі технічних засобів, перевагу необхідно віддавати тим засобам автоматизації які входять у зазначену вище систему або приладам параметри вхідних та вихідних сигналів узгоджені з нею.

Таблиця 2.1 - Специфікація технічних засобів автоматизації

Позиційне позначення	Найменування	Кількість	Примітка

До електричних датчиків незалежно від типу й пристрою пред'являються наступні основні вимоги:

- надійність у роботі;
- достатня чутливість, що дозволяє суттєво спростити схему системи. У цьому випадку відпадає необхідність у посиленні сигналу, точність системи підвищується;
- безперервна залежність його вихідної величини у від вхідний x ;
- мінімальні габаритні розміри й вага;
- необхідний діапазон зміни параметрів;
- відсутність зворотного впливу датчика на вимірюваний процес;
- мінімальна інерційність;
- відповідність умовам навколишнього середовища.

На роботу електричних датчиків впливають наступні фактори: періодичність і максимальна частота процесу, змінність знаку кривої зміни процесу й наявність у ній постійної складовій, температурні умови місця виміру, атмосферні умови, наявність вібрації, прискорень або струсів в установці й ін. Датчики є невід'ємною частиною систем збору даних, які, у свою чергу, можуть входити до складу більших вимірювальних комплексів з безліччю зворотних зв'язків.

Поширений перелік виробників та дистриб'ютерів технічних засобів автоматизації в Україні:

1. ВАТ "Амітрон-ЕК" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.amitron-ek.ru>
2. ВАТ «Електросвіт». Компоненти автоматики та телемеханіки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.es.ua/ua/>
3. ВАТ "Промфактор" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.promfactor.ua
4. Компанія «ОВЕН». Обладнання для автоматизації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.owen.ru>.
5. Номенклатурний перелік «АСКО-УКРЕМ» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.asco.ua
6. Об'єднання «СВ Альтера». Електроніка та автоматизація. Продукція [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.svaltera.ua/catalog/>
7. Офіційна сторінка компанії АКОН [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.akon.com.ua>
8. Представництво Danfoss [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://danfoss.net.ua/products>

При виконанні КП вказується найменування, технічні характеристики та призначення вибраних технічних засобах автоматизації.

Приклад

Приклад 1

Для вимірювання рівня сипкої сировини в бункерах основних компонентів та бункері добавок, приймаємо:

Тип IQ 40.01

Принцип перетворення	індуктивний
Діапазон вимірювань	10...20 мм
Макс. частота спрацювання	300 Гц
Тип вихідного сигналу	дискретний PNP замикаючий
Напруга живлення	10-30 В
Струм навантаження	250 мА
Ступінь захисту	IP66

Приклад 2

Технічні параметри датчика рівня сипких матеріалів

Тип	Напруга, В	Чутливий елемент	Вихідний сигнал	Мікроперемикач	Рівень спрацювання, мм	Зусилля спрацювання,	Струмове навантаження,	Виконання
СУ М-1	~22 0 В	Мембрана	Конт акт	М И-3	100- 150	40 -50	2	IP 65

Приклад 3

Технічна характеристика тахометра ТХА01

Напруга живлення, В	~90 ÷ 264
Кількість дискретних входів	2
Тип датчиків	«Сухий контакт», безконтактний NPN
Використаний датчик принцип дії відстань спрацювання, мм принцип спрацювання	ВБ1.18М ємність, безконтактний 10 дія діелектрика
Кількість лічильних розрядів	6
Діапазон значень вимірюваної частоти, Гц	0,5 ÷ 2500
Рівень сигналу логічної «1», В	12 ÷ 30
Рівень сигналу логічного «0», В	0 ÷ 4
Кліматичне виконання (зі сторони панелі оператора)	IP54
Габаритні розміри, мм	96×48×100

Умови технологічного процесу

Категорії приміщень за умовами навколишнього середовища

Категорія приміщення	Характеристика приміщень
1. Сухі	Приміщення, в яких відносна вологість не перевищує 60%.
2. Вологі	Приміщення, в яких пара або волога, що конденсується виділяється лише короткочасно у невеликих кількостях, а відносна вологість повітря перебуває в межах від 60% до 75% включно.
3. Сирі	Приміщення, в яких відносна вологість повітря тривало перевищує 75%.
4. Особливо сирі	Приміщення, в яких відносна вологість повітря близька до 100% (стеля, стіни, підлога і предмети, що знаходяться у приміщенні, покриті вологою).
5. Жаркі	Приміщення, в яких під дією різних теплових випромінювань температура перевищує постійно або періодично (понад 1 добу) $+35^{\circ}\text{C}$ (наприклад приміщення із сушарками, сушильними та опалювальними печами, котельні тощо)
6. Запилені	Приміщення, в яких за умовами виробництва виділяється технологічний пил у такій кількості, що вона може осідати на проводах, проникати всередину машин, апаратів тощо. Розділяються на приміщення із струмопровідним пилом та приміщення із неструмопровідним пилом
7. Із хімічно-активним або органічним середовищем	Приміщення, в яких постійно або протягом тривалого часу містяться агресивна пара, гази, рідини, виникають відкладення чи пліснява. Що руйнують ізоляцію і струмоведучі частини електрообладнання.

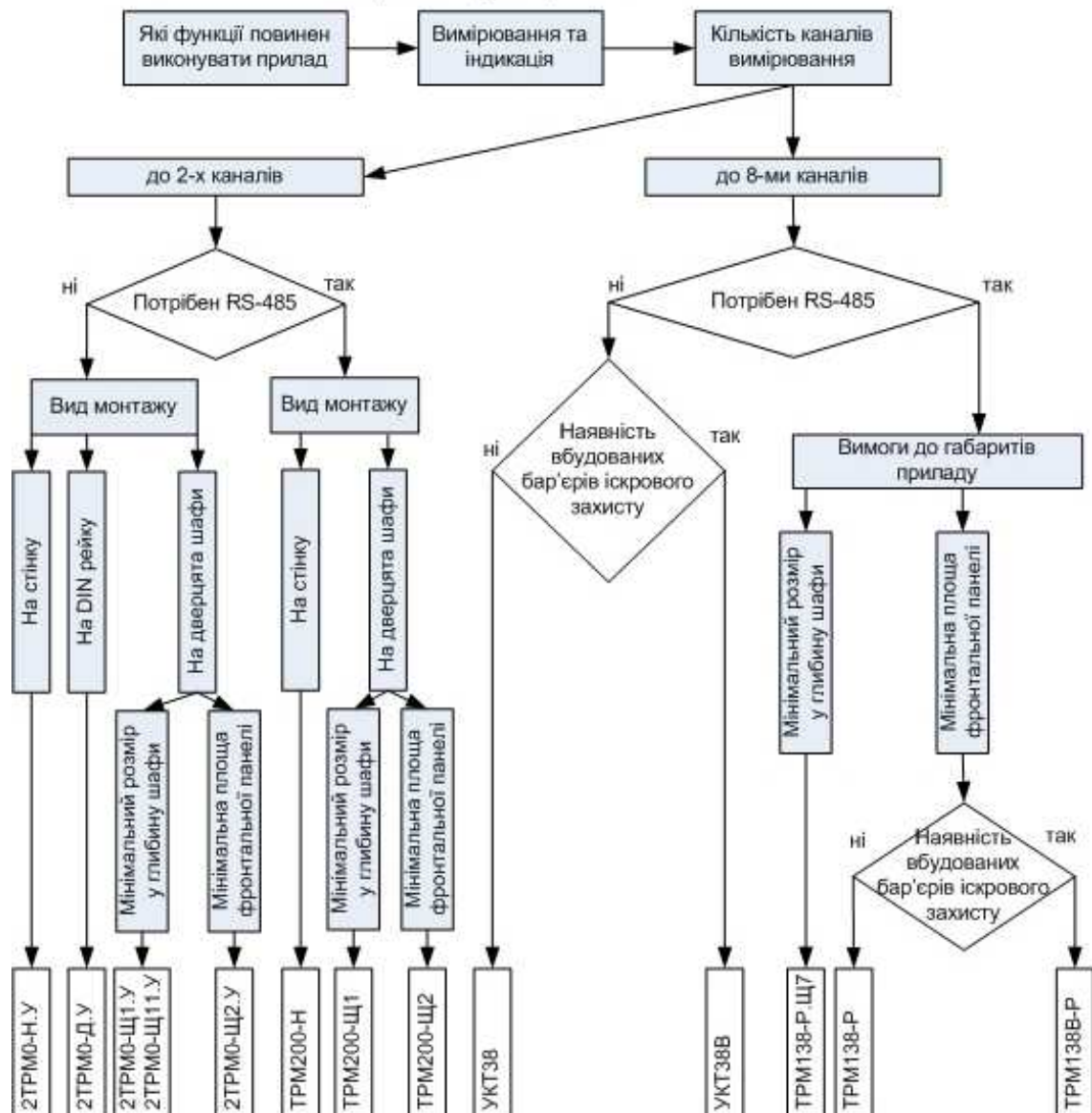
Категорії приміщень стосовно безпеки ураження людей електричним струмом

Категорія приміщення	Характеристика приміщень
1. Без підвищеної небезпеки.	Приміщення, в яких відсутні умови, що створюють підвищену чи особливу небезпеку.
2. З підвищеною небезпекою.	Приміщення, в яких є у наявності одна або кілька умов, що створюють підвищену небезпеку: <ul style="list-style-type: none"> – сирість або струмопровідний пил (сирі та запилені із струмопровідним пилом приміщення); – струмопровідна підлога (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо); – висока температура (жаркі приміщення); – можливість одночасного доторкування людини до з'єднаних із землею металоконструкцій споруд, технологічних апаратів, механізмів тощо з одного боку і до металевих корпусів електрообладнання з іншого боку.
3. Особливо	Приміщення, які характеризуються наявністю однієї з умов,

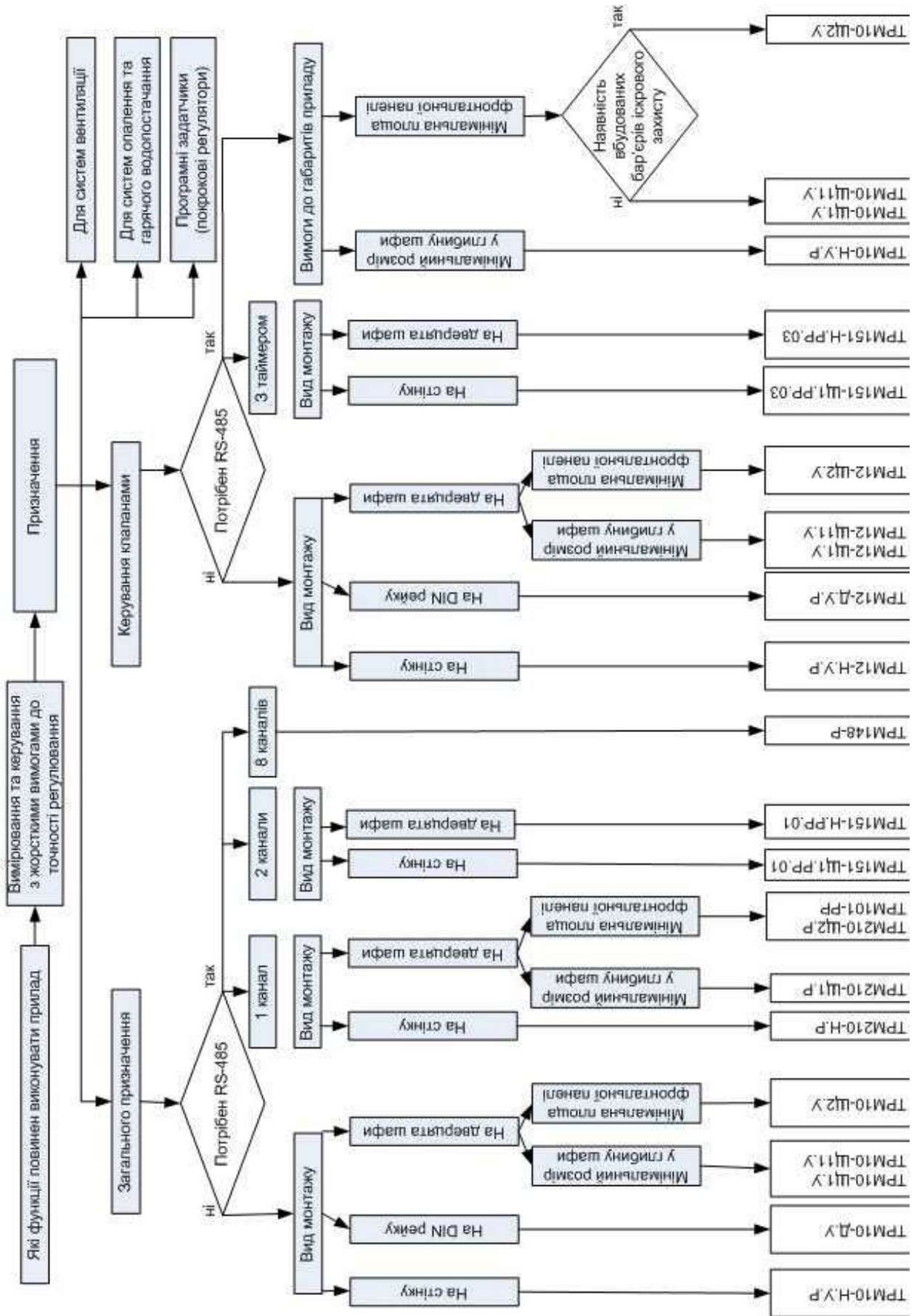
небезпечні приміщення.	що створюють особливу небезпеку: – особлива сирість (сирі приміщення); – хімічно-активне або органічне середовище; – одночасно дві або більше умов підвищеної небезпеки.
4. Територія розміщених зовнішніх електроустановок.	Стосовно небезпеки ураження людей електричним струмом прирівнюються до особливо небезпечних приміщень.

Категорії приміщень за вибухопожежною небезпекою

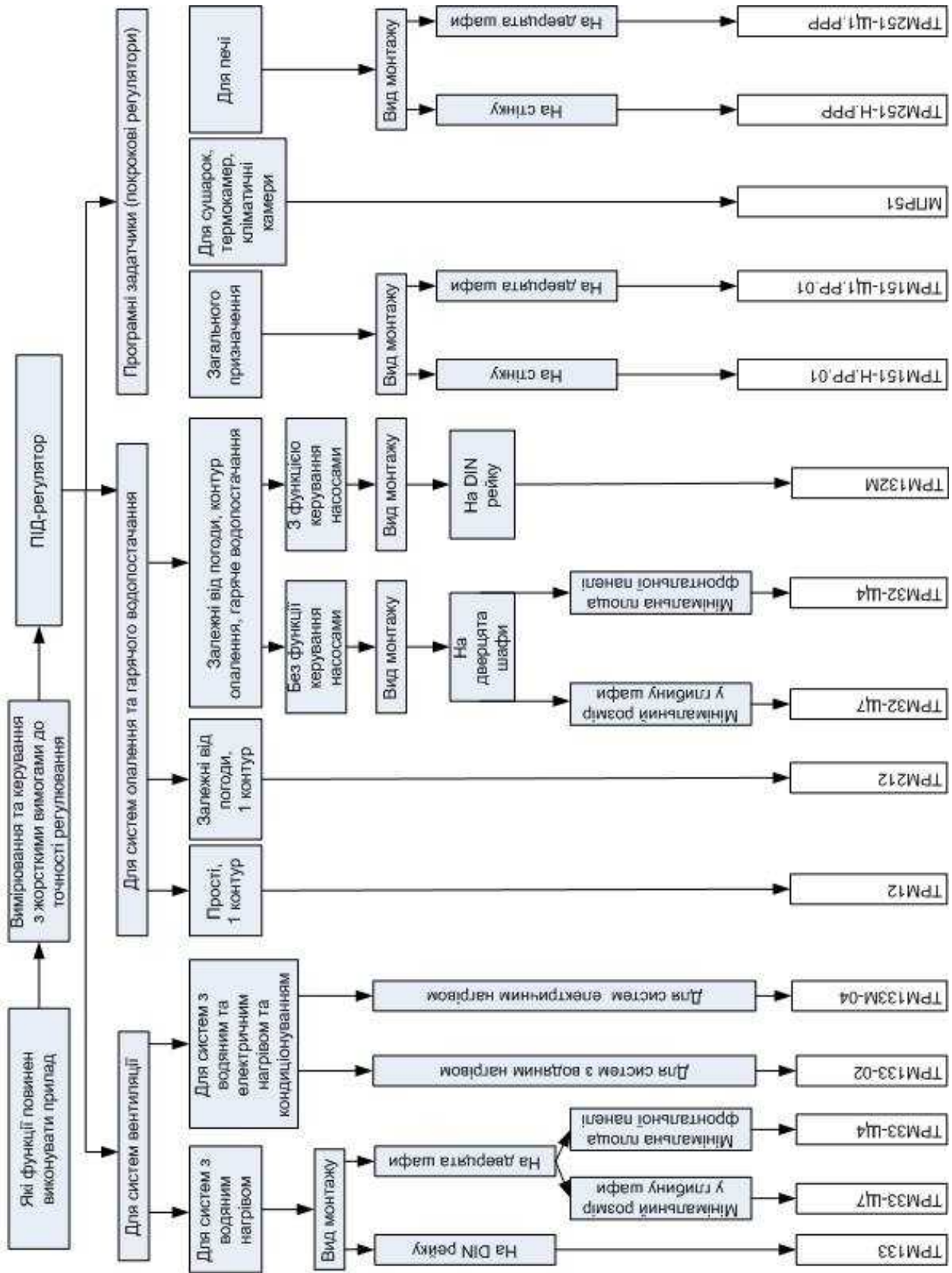
Категорії приміщень	Характеристика речовин і матеріалів, які знаходяться (обертаються) в приміщенні
А вибухопожежно-небезпечні	Горючі гази. Легкозаймисті рідини з температурою спалаху не вище 28°C в такій кількості, що можуть утворювати пилоповітряні суміші, при займанні яких розвивається розрахунковий надмірний тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа.
Б вибухопожежно-небезпечні	Горючий пил або волокна, з температурою спалаху понад 28°C, горючі рідини в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні або пароповітряні суміші, при займанні яких розвивається розрахунковий надмірний тиск вибуху в приміщенні 5 кПа.
В пожежонебезпечні	Горючі і важкогорючі рідини, тверді горючі і важкогорючі речовини та матеріали (зокрема пил та волокна), речовини і матеріали здатні горіти тільки при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним, за умов, що приміщення, в яких вони є, не відносяться до категорії А або Б.
Г	Негорючі речовини або матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробітку яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і полум'я; горючі гази, рідини і тверді горючі речовини, які спалюються або утилізуються у вигляді палива.
Д	Негорючі речовини і матеріали в холодному стані.
Додаток	Допускається відносити до категорії Д приміщення, в яких знаходяться горючі рідини в системах змащування, охолодження і гідроприводу обладнання при тиску не менше 0,2МПа, кабельні електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів на робочих місцях.



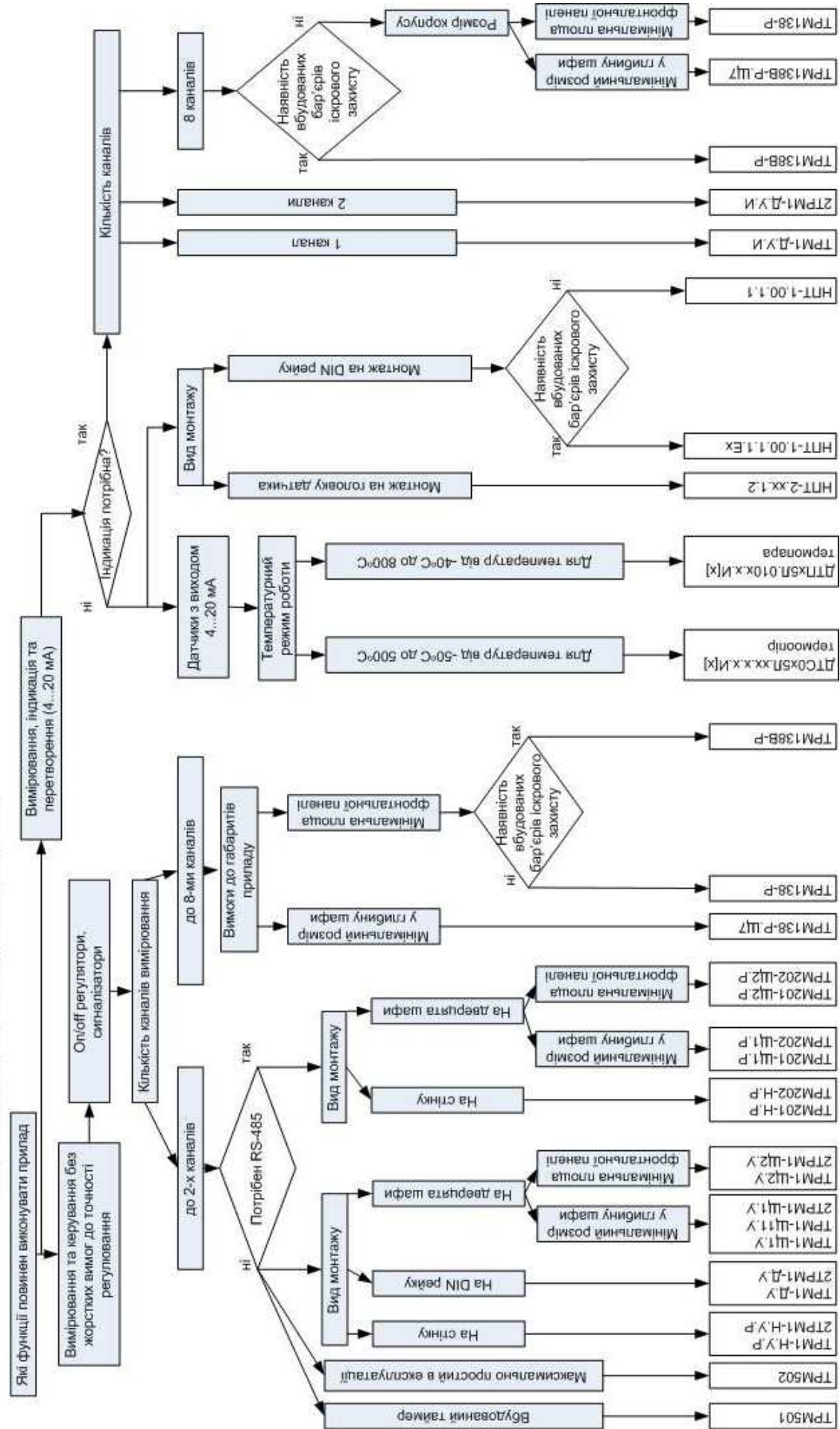
Алгоритм вибору вимірювачів



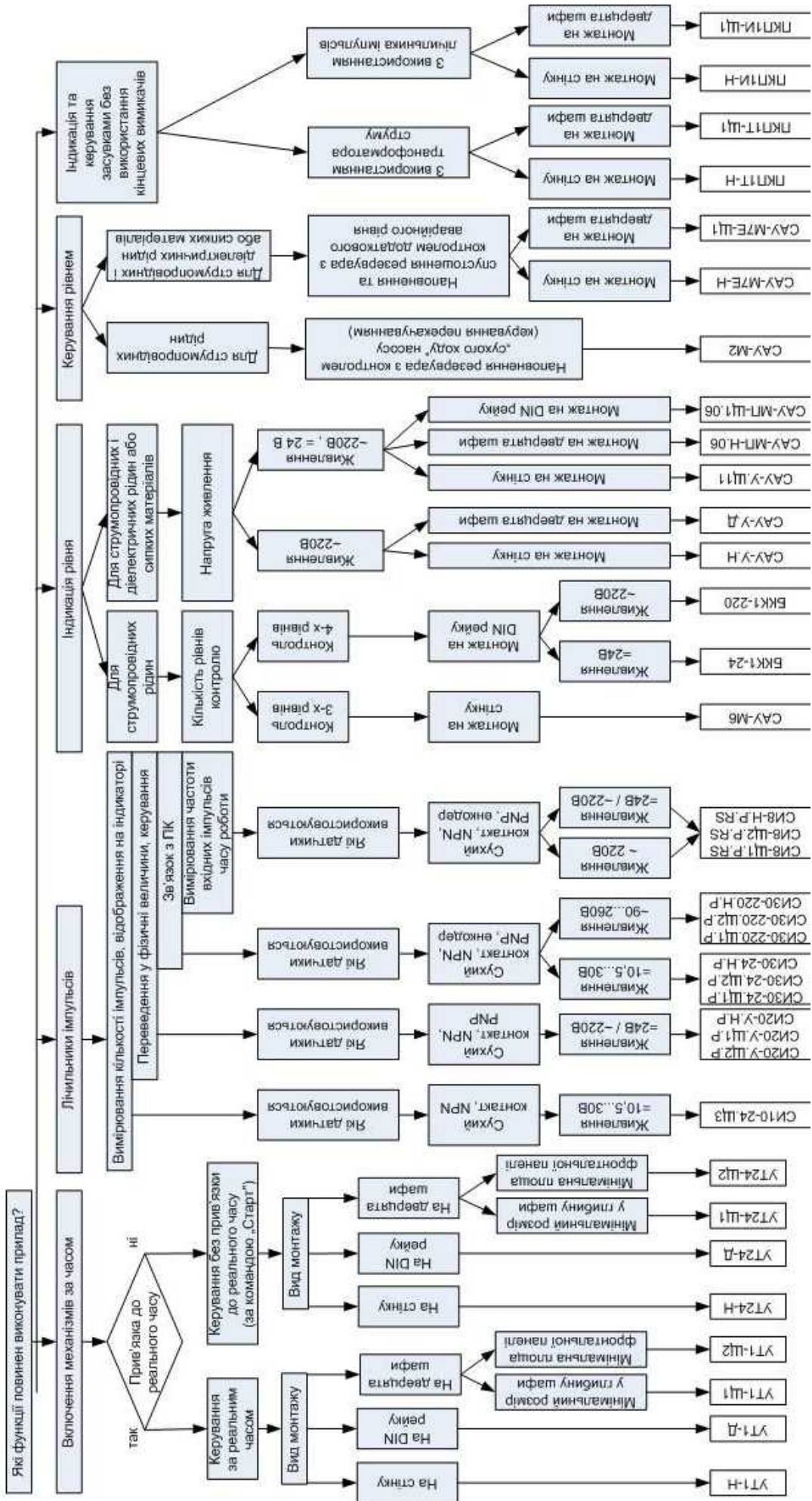
Алгоритм вибору регуляторів



Алгоритм вибору регуляторів для опалення, гарячого водопостачання та вентиляції



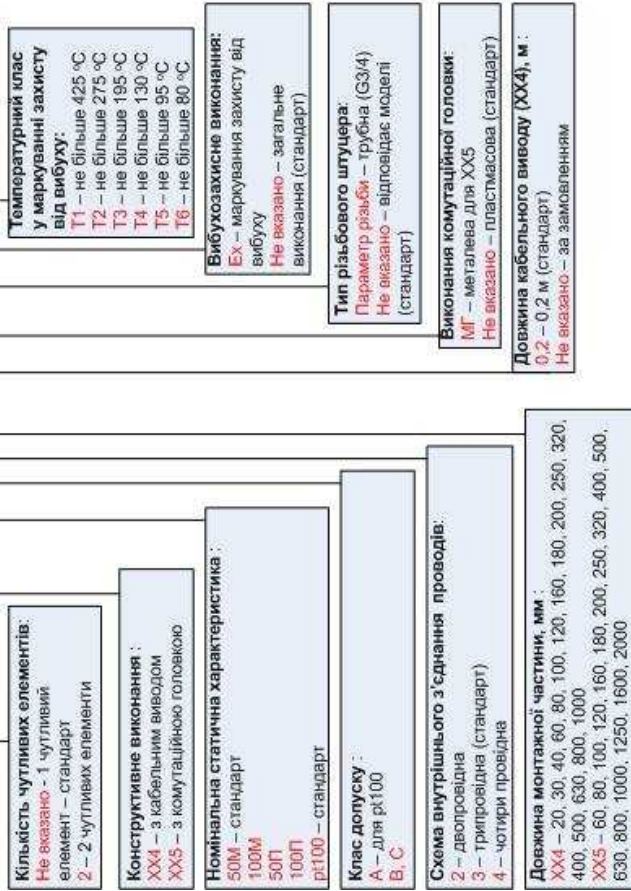
Алгоритм вибору регуляторів та нормуючих перетворювачів



Алгоритм вибору приладів контролю та керування

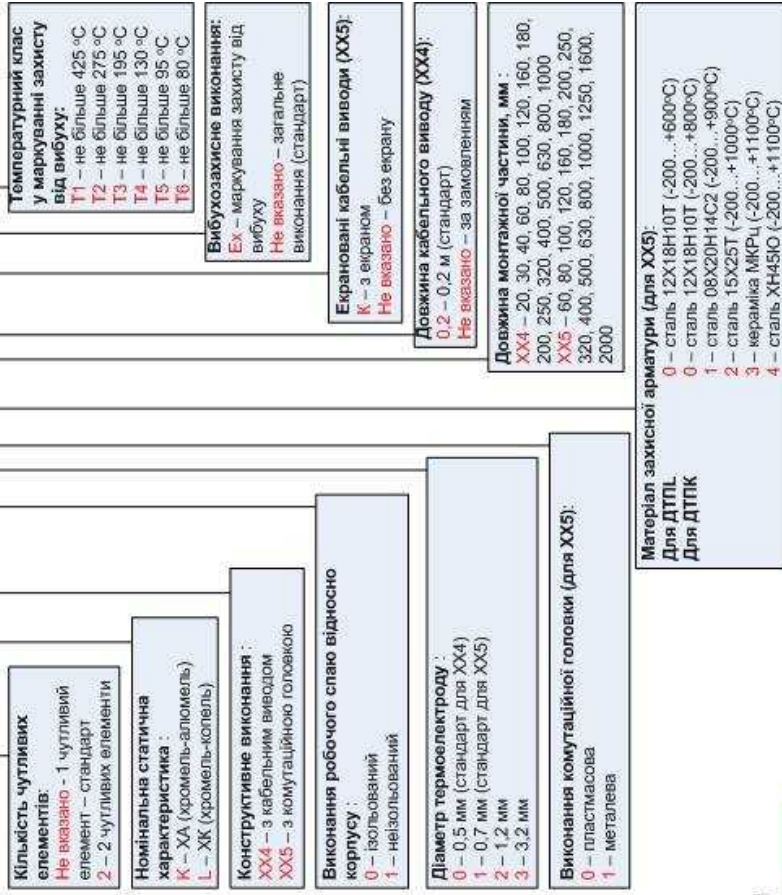
Позначення термометрів опору

X ДТС XXX – X.XX.X / X.XX.X.Ex-X



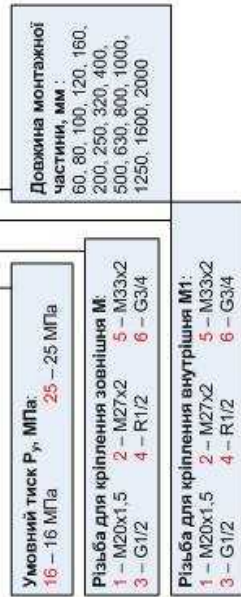
Позначення термометрів

X ДТП XXX – X.XX.X / X.XX.X.Ex-X



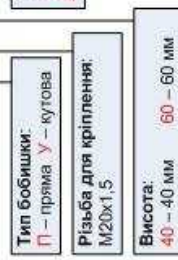
Захисні гільзи для термоперетворювачів

ГЗ.X.X.X.L



Бобишки

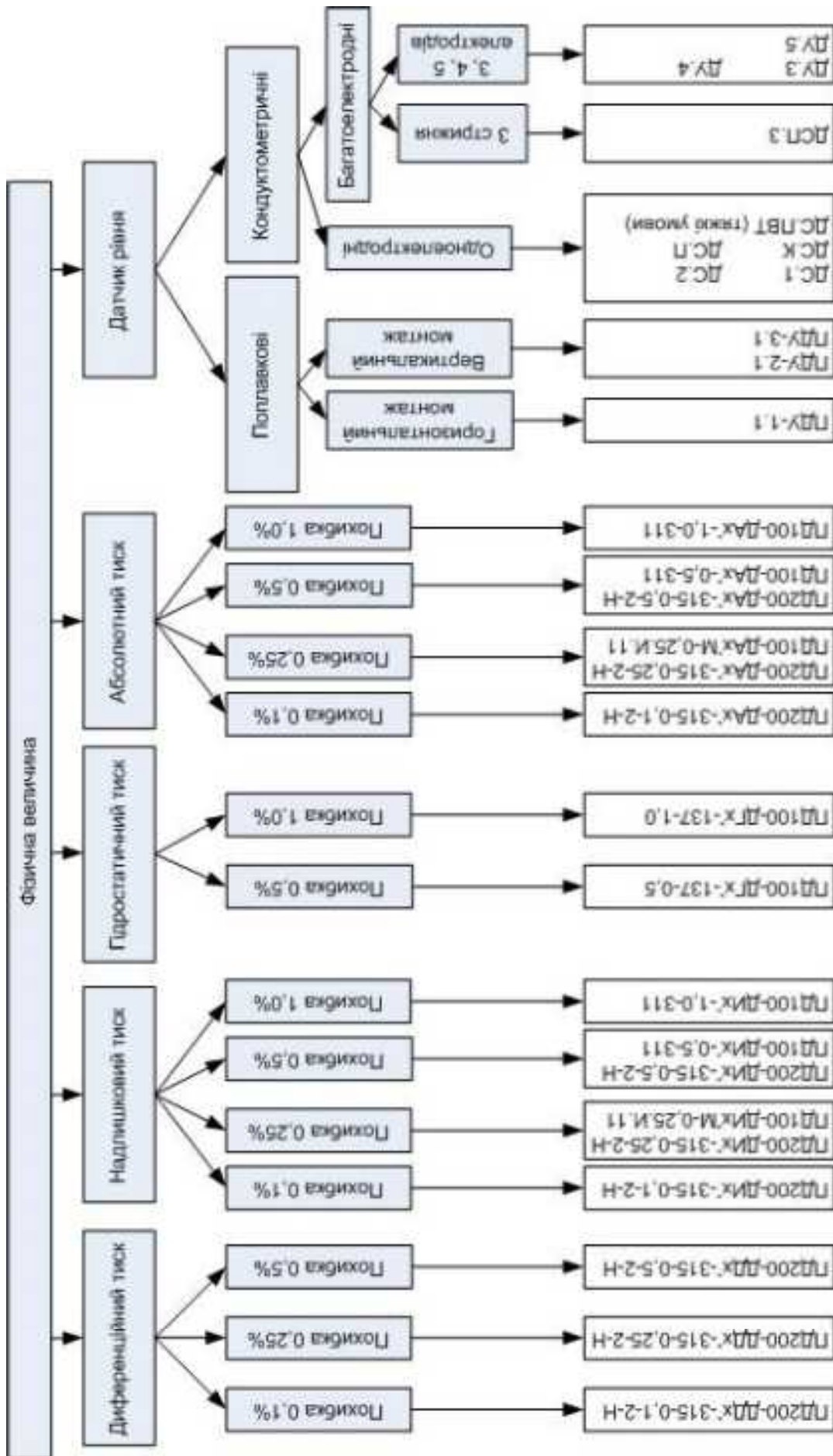
Б.X.X.L.X



Позначення давачів температури загального виконання

ШМ X.X





Позначення давачів тиску

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ

Мета роботи: Ознайомлення методами застосування оптичних датчиків.

ПРОГРАМА РОБОТИ

Загальні відомості

Методи розрахунку

НДРС. Пояснити явища насиченості. Навести приклади використання оптичних вимірвальних перетворювачів в АПК.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Оптикою називається розділ фізики, в якому вивчається явища та закономірності, пов'язані з виникненням, розповсюдженням та взаємодією з речовинами світлових електромагнітних хвиль.

Напрямок розподілу світлових хвиль вказує світловий луч, який в однорідному середовищі перпендикулярний хвильовій поверхні. Швидкість світла у вакуумі приблизно дорівнює $3 \cdot 10^7$ м/с.

У техніці використовують два головних положення.

Геометрична оптика. В однорідному середовищі світло розповсюджується прямолінійно. З чого витікає два положення:

- кут падіння дорівнює куту відбиття;
- промінь, який падає, який відбивається (переломлений) та перпендикуляр, проведений від точки його падіння на поверхні, знаходяться в одній площині (рис. 1).

Квантова оптика. Фотоелектричні ефекти – явища взаємодії світла з матеріалом, в результаті яких енергія фотонів передається електронам матеріалу:

- зовнішній прояв – поглинання фотонів супроводжується збільшенням провідності повітряного простору між електродом та катодом;
- внутрішній прояв – електрони, які відокремлюються від атомів, молекул або іонів, залишаються у матеріалі, але збільшується енергія електронів, що призводить зменшення його внутрішнього опору.

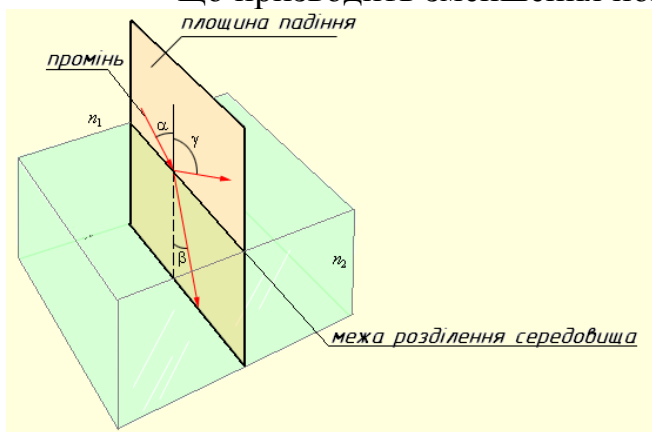


Рисунок 1. $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_1}{V_2}$

На практиці використовуються комбінація даних методів.

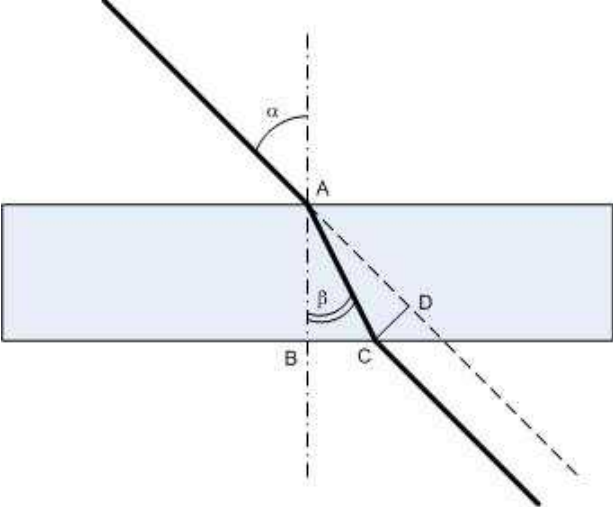
При вивченні роботи первинних оптичних перетворювачів орієнтуються на паспортні данні фотоелементів, а технічна реалізація процесу вимірювання залишається на розгляд інженерів.

Стандартні задачі, які вирішуються за допомогою оптичних елементів та оптичними явищами, полягають у визначенні положення променя, який відбивається від поверхні, ступеню прозорості або товщини прозорого матеріалу, час та місце переривання світлового потоку. Пропоновані задачі є актуальними у металургії та хімічній промисловості, але оптичні показники можуть корелювати з певними технічними та технологічними особливостями технологічних процесів виробництва та переробки продукції сільського господарства.

Хід роботи

У даній роботі пропонується розглянути задачу визначення товщини прозорого матеріалу, яка є актуальною у промисловості, але її можна перенести і на технологічні процеси сільського господарства (рівень рідини у резервуарі).

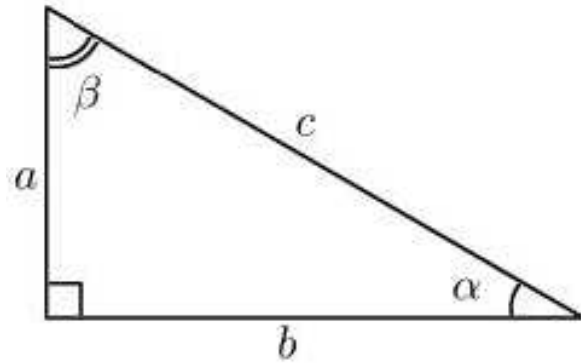
Промінь падає на плоску скляну пластину під кутом $\alpha=30^\circ$. Промінь, який виходить з пластини паралельний тому, що падає. Показник переломлення скла $n_2=1,5$. Яка товщина пластини d , якщо відстань між променем, який проходить без пластини, та тим який виходить з неї $CD=l=3,88$ см.

	$\angle BAD = \alpha, \angle CAD = \alpha - \beta$ $AC = CD / \sin(\alpha - \beta) = l / \sin(\alpha - \beta)$ $AB = d = AC \cdot \cos \beta \Rightarrow d = \frac{l \cdot \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)}$ $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{1}$ $\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n_2} = 0,3 \Rightarrow \beta = 20^\circ$ $d = \frac{3,88 \cdot \cos 20}{\sin(30 - 20)} = 23,6 \text{ см}$ <p>Рис. 2. Схема проходження променя</p>
---	--

Оптичні первинні перетворювачі застосовуються як елементи автоматики, що реагують на появу або зникнення світлового променя або кількість світлових імпульсів. У сільському господарстві оптичні ПП використовуються в пристроях автоматичного відключення та включення вуличного освітлення (у залежності від зміни дня і ночі); у регуляторах освітлення, інтенсивності та опромінення в теплицях, у тваринництві і птахівництві, у вимірювачах димності повітря і каламутності води, газоаналізаторах, в устроях контролю полум'я в топках, що працюють на рідинному паливі, у різноманітних захисних устроях та ін.

В якості елементів, що сприймають оптичне випромінювання поряд із електровакуумними фотоелементами використовуються - фотодіоди, фототріоди, фототиристри і фоторезистори.

Для довідки



$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{b}{a} \quad \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

Контрольні завдання

1. Промінь падає на плоску скляну (коефіцієнт переломлення 1,5) пластину під кутом $\alpha=30^\circ$. Та виходить на відстані 2 см від точки входу. Яка товщина скла?
2. Промінь падає на плоску скляну (коефіцієнт переломлення 1,5) пластину під кутом $\alpha=45^\circ$. Та виходить на відстані 3 см від точки входу. Яка товщина скла?
3. Лазер попадає у ємність з водою (коефіцієнт переломлення 1,33) під кутом 30° . Його точка на дні віддалена від точки входу на 75 мм. Який рівень води у ємності?
4. Лазер попадає у ємність з водою (коефіцієнт переломлення 1,33) під кутом 45° . Його точка на дні віддалена від точки входу на 55 мм. Який рівень води у ємності?
5. Промінь падає на плоску скляну (коефіцієнт переломлення 1,5) пластину під кутом $\alpha=30^\circ$. Та виходить на відстані 1,5 см від точки входу. Яка товщина скла?

НАУКОВО-ДОСЛІДНА РОБОТА СТУДЕНТІВ.

Запропонувати приклади використання оптичних датчиків в АПК.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бородин И.Ф. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов / И.Ф. Бородин, Н.И. Кирилин. - М.: Колос, 1977. - с.107-112.
- Бородин И.Ф. Технические средства автоматики / И.Ф. Бородин. - М.: Колос, 1982. - с. 75-82.
- Жеребцов И.П. Основы электроники. - 5-е изд., перераб. и доп. / И.П. Жеребцов. - Л.: Энергоатомиздат. Леннигр. Отд-ние, 1989. - 352 с: іл.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4 **РОБОТА ІЗ ПСИХРОМЕТРИЧНИМИ ТАБЛИЦЯМИ**

Загальні поняття про вологість

Вода входить до складу навколишнього повітря і є необхідним компонентом для всіх живих істот: людей і тварин. Комфортність навколишніх умов визначається, в основному, двома факторами: відносною вологістю й температурою. Ви можете себе почувати цілком комфортно при температурі -30°C у Сибіру, де взимку повітря звичайно дуже сухе, але Вам буде зовсім незатишно при температурі 0°C у Клівленде, розташованому на березі озера, де дуже волого (ураховуються тільки кліматичні фактори й не розглядаються економічні, культурні й політичні). Робота багатьох пристроїв (високоімпедансних електронних схем, електростатичних чутливих елементів, високовольтних приладів і т.д.) також сильно залежить від рівня вологості. Як правило, усі характеристики приладів визначаються при відносній вологості 50% і температурі $20-25^{\circ}\text{C}$. Рекомендується підтримувати такі ж умови й у робочих приміщеннях (наприклад, у виробничих кімнатах Класу А вологість повинна бути 38%, а в лікарняних операційних - 60%). Волога входить до складу більшості виробів, що випускаються, і матеріалів. Можна сказати, що більшу частину валового національного продукту будь-якої країни становить вода [1].

Для виміру вологості використовуються прилади, названі *гігрометрами*. Перший гігrometer був створений Джоном Лесли (1760-1832). Чутливий елемент гігromетра повинен вибірково реагувати на зміну концентрації води. Його реакцією може бути зміна внутрішніх властивостей. Датчики для виміру вологості й температури крапки роси бувають ємнісними, електропровідними, вібраційними й оптичними. Оптичні газові датчики визначають крапку роси, у той час як оптичний гігromетри вимірюють зміст води в органічних розчинах по поглинанню випромінювання близького ІК діапазону в інтервалі $1,9...2,7$ мкм.

Для кількісного визначення вологості й змісту води застосовуються різні одиниці. Вологість газів у системі СИ іноді виражається як кількість пар води в одному кубічному метрі ($\text{г}/\text{м}^3$). Зміст води в рідинах і твердих тілах звичайно задається у відсотках від загальної маси. Зміст води в рідинах, що погано змішуються, визначається як кількість частин води на мільйон частин ваги (ppm).

Приведемо кілька корисних визначень:

Волога - ця кількість води, що втримується в рідині або твердому тілі, яке може бути вилучене без зміни хімічних властивостей речовини.

Питома вологість r - це маса пар води на одиницю маси сухого газу.

Абсолютна вологість (масова концентрація або щільність пар води) - це маса пар води m на одиниці об'єму вологого газу v : $dw=m/v$. Інакше кажучи, абсолютна вологість — це щільність водяних пар. Для її визначення відома кількість газу, наприклад, повітря, пропускається через вологовбирний матеріал (такий як силікагель), який зважується до й послуг цієї процедури. Абсолютна вологість виражається в $\text{г}/\text{м}^3$. Оскільки на результати таких вимірів впливає атмосферний тиск, вони рідко використовуються в інженерній практиці

Відносна вологість HnH — це відношення тиску пар води в повітрі Pw , обмірюване при деякій температурі (парціальний тиск), до максимального тиску

насиченого пари P при тій же температурі. Відносна вологість (RH) завжди визначається у відсотках:

$$H = 100 \frac{P_w}{P_s}, \quad (1)$$

Величина H виражає зміст пари у вигляді відсотка від концентрації водяних пар, при якій відбувається його насичення (тобто утвір крапель води (роси) при заданій температурі). Існує ще одне визначення RH: відносна вологість - це відношення мольної частки пар води в заданому обсязі до мольної частки насичених водяних пар у тому ж обсязі. Сума парціальних тисків вологого P_w і сухого повітря P_a дорівнює тиску в замкненому обсязі або атмосферному тиску $P_{атм}$, якщо цей обсяг незамкнутий:

$$P_w + P_a = P_{атм}. \quad (2)$$

При температурі вище крапки кипіння пари води витісняють усі інші гази із заданого обсягу. Тоді вся атмосфера полягає тільки з перегрітого пари. У цьому випадку, $P_w = P_{атм}$. При температурах, більших 100°C , P завжди вище $P_{атм}$, і максимальна відносна вологість ніколи не може досягтися 100%. При нормальному атмосферному тиску й температурі 100°C , максимальна відносна вологість рівна 100%, у той час як при температурі 200°C вона становить тільки 6%. При температурі вище 374°C тиск насичених пар термодинамічно не визначене.

Крапка роси — це температура, при якій парціальний тиск водяних пар стає максимальним, що відповідає стану насичення пари, при якій пара й рідка фаза води перебувають у рівновазі. Крапка роси - це температура, при якій відносна вологість повітря рівна 100%. Інакше кажучи, крапка роси визначає температуру повітря, при якій він має максимальну вологість. При охолодженні повітря до крапки роси, він стає насиченим, що може привести до появи туману, роси або інею.

Крапку замерзання можна визначити як температуру, при якій при ізобаричнім охолодженні суміші газу й водяних пар (при постійному тиску) утворюється іній або лід (минаючи стадію конденсації).

Ємнісні датчики

Конденсатори з повітряним зазором можуть використовуватися як датчики відносної вологості, оскільки від кількості водяних пар в атмосфері залежить діелектрична проникність повітря:

$$k = 1 + \frac{211}{T} \left(P + \frac{48P_s}{T} H \right) 10^{-6}, \quad (3)$$

де T — абсолютна температура (у Кельвінах), P — тиск вологого повітря (у мм рт.ст.), P_s — тиск насичених водяних пар при температурі T (у мм рт.ст.), H — відносна вологість (в %). З рівняння (13.5) видно, що діелектрична проникність вологого повітря, а значить і його ємність, пропорційні відносній вологості.

Простір між пластинами конденсатора може бути заповнене не повітрям, а відповідним діелектричним матеріалом, проникність якого сильно залежить від вологості навколишнього середовища. Наприклад, існують ємнісні датчики, сформовані на основі гігроскопічної полімерної плівки з нанесеними із двох сторін металевими електродами. У роботі [6] наведений опис такого датчика, реалізованого

на основі гідрофільної полімерної плівки товщиною 8...12 мкм, виготовленої з ацетобутирата целюлози й диметилфталата, використуваного в якості пластифікатору. Розміри плівкового датчика становлять 12×12 мм. Методом осадження у вакуумній камері на полімер наносяться електроди з пористого золота (товщиною 200А) у формі диска діаметром 8 мм. Плівка підвішується на спеціальних тримачах, а електроди з'єднуються з виводами. Ємність такого датчика майже пропорційна відносній вологості H

$$C_h \approx C_0(1 + \alpha_h H), \quad (4)$$

де C_0 - ємність при $t=0$.

Такі датчики дозволяють вимірювати відносну вологість повітря в діапазоні 5...90% з точністю 2%, а на мал. 13.2 наведені передатні характеристики датчика й інтерфейсної схеми.

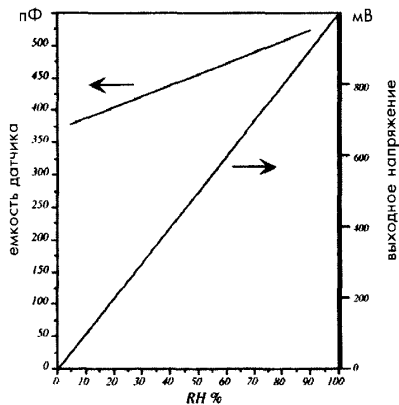


Рис. 13.2. Передаточная функция емкостного датчика и системы

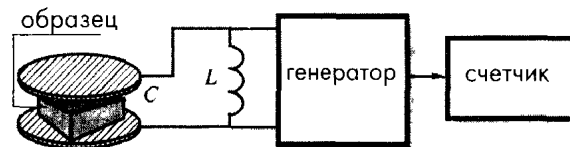


Рис. 13.3. Емкостная система измерения влажности

Такий же підхід може бути використаний для визначення змісту вологи в зразках різних матеріалів. На мал. 13.3 показана схема ємнісної системи вимірів, де зміна діелектричної проникності зразка приводить до зміни частоти генератора. Цей метод виміру вологості широко застосовується в системах контролю фармацевтичної продукції. Зразок досліджуваного матеріалу міститься між двома пластинами, що формують конденсатор, приєднаний до L co Коливальному контуру. Лічильник вимірює частоту, по якій визначається величина вологості. Для зменшення впливу таких параметрів навколишнього середовища, як температура й атмосферна вологість, рекомендується використовувати диференціальні датчики. У цьому випадку визначається різниця частот в $df=f_0-f_1$, де f_0 - частота, обмірювана при порожньому контейнері, а f_1 — частота, обмірювана з контейнером, заповненим досліджуваним матеріалом. Цей метод має ряд обмежень: він досить неточний при вологості нижче 0.5%; зразок повинен бути очищений від сторонніх часток з відносно високою діелектричною проникністю (наприклад, від металу й пластику), а також геометрія зразка не повинна мінятися під час проведення експерименту.

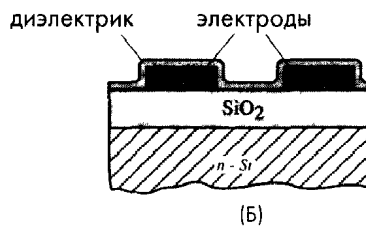
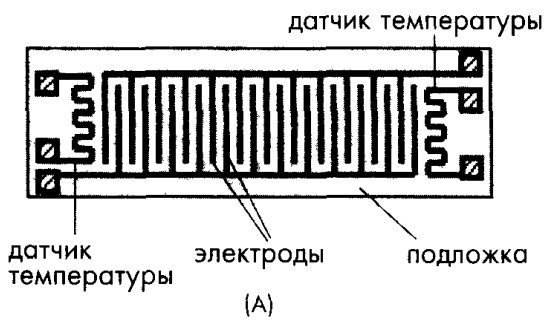


Рис. 13.4. Емкостной тонкопленочный датчик влажности: А – гребенчатые электроды, формирующие пластины конденсатора, Б – поперечное сечение датчика

Ємнісний датчик з тонкої плівки вологості може бути виготовлений на кремнієвій підложці. Для цього на кремнієвій підложці n-p-типу вирощується шар SiO_2 товщиною 3000Å (мал. 13.4Б), а на нього наносяться два електроди з алюмінію, хрому або легovanого фосфором полікремнію, для чого застосовується метод осадження з газової фази, проведений при низькому тиску (LPCVD). Товщина електродів, що мають гребенчасту форму (мал.13.4А), лежить у межах 2000...5000 Å. Для забезпечення додаткової компенсації зміни навколишньої температури на тій же самій підложці формуються два термочувливих резистора. На верхню частину датчика наноситься діелектричний шар товщиною 300...4000Å, для одержання якого можуть використовуватися різні матеріали, наприклад, хімічно обложені з газової фази SiO_2 або фосфорне силікатне скло.

Резистивні датчики вологості

Опір багатьох неметалічних провідників, в основному, залежить від змісту в них води. На цьому принципі реалізуються резистивні датчики вологості або гігристи. На мал. 13.6 показана схема гігристи. У ньому використовується матеріал, що володіє порівняно низьким питомим опором, який сильно залежить від вологості навколишнього середовища. Шар такого матеріалу досить великої площі наноситься зверху двох гребенчатих електродів. Коли він поглинає молекули води, опір між електродами міняється, що реєструється за допомогою електронної схеми. Перший датчик такого типу був реалізований Ф.В. Данмором в 1935 році; його гігроскопічна плівка складалася з 2...5% водяного розчину LiCl [10]. У якості плівки для гігристів іноді застосовують полістирол, оброблений сірчаною кислотою для одержання необхідних значень поверхневого питомого опору.



Рис. 13.6. Схема гигристира

Рис. 13.7. А – структура тонко плівкового датчика вологості на основі тонких плівок з Al_2O_3 , Б – спрощена еквівалентна схема датчика вологості; R_1 і C_1 – змінні компоненти, що реагують на зміни вологості; R_2 і C_2 – опір і ємність шару оксид алюмінію, розташованого між порами, на які вода не

	виявляє ніякого впливу; R_3 і C_3 – ділянки оксиду нижче пор, також вологонепроникні.
--	---

На мал. 13.7А показаний твердотельний датчик вологості, реалізований на кремнієвій підложке, що володіє високою електропровідністю, щоб пропускати через себе струм від алюмінієвого електрода, нанесеного на її поверхні методом вакуумного осадження металів. На електрод наноситься шар з оксиду алюмінію, зверху якого формується другий електрод з пористого золота, що не заважає проходженню газів, але електричний контакт, що забезпечує гарний. Шар алюмінію зазнає спеціальній обробці для одержання пористої оксидної поверхні. Середній поперечний переріз пор повинний бути достатнім для проходження молекул води. Електричні виводи формуються в кремнієвій підложке й шарі золота. Оксид алюмінію, як і багато інші матеріали, при контакті із сумішшю газів, що містить водяні пари, поглинає воду. Кількість поглинутих молекул води пропорційно парціальному тиску водяних пар і назад пропорційно абсолютній температурі. Оксид алюмінію є діелектричним матеріалом. Його діелектрична проникність і поверхневий питомий опір залежать від кількості адсорбованої води. Із цієї причини цей матеріал може застосовуватися для виготовлення чутливих елементів датчиків вологості.

На мал. 13.7Б показана еквівалентна електрична схема такого датчика [13]. Значення R_1 і Z_1 , визначаються середніми розмірами пор в оксиді алюмінію і його щільністю. Вони залежать про кількості молекул, що пройшли через пори й осілих на поверхні. R_2 і Z_2 - це опір і ємність оксиду, розташованого між пор, характеристики якого не залежать від рівня вологи. Z_3 — еквівалентна послідовна ємність, обумовлена при вимірі повного опору компонентів в умовах сухої атмосфери на дуже високих частотах. При наближенні частоти до нуля опір датчика стає дуже високим (більш 108 Ом). Тому при вимірі вологості необхідно враховувати й імпеданс датчика. Усі інші резистивні і ємнісні елементи, що існують у датчику, що не реагують на зміни вологості, шунтують R_1 і Z_1 що приводить до зменшення чутливості перетворювача, а це, у свою чергу, викликає зниження точності при низьких значеннях вимірюваної величини. Оскільки показання вологості сильно залежать від температури, до складу датчика звичайно входять: сенсор вологості, термістор і еталонний конденсатор, захищений від впливу вологи, що й володіє низьким температурним коефіцієнтом.

Термисторные датчики вологості

Датчики, реалізовані на основі термісторів, вимірюють вологість по зміні теплопровідності газів (мал. 13.8А). Такі датчики складаються із двох малюсінських термісторів R_1 і R_2 , закріплених за допомогою дуже тонких проводів для зниження теплових втрат за рахунок теплопровідності через корпус. Досліджуваний газ через невеликі вентиляційні отвори впливає на лівий термістор, при цьому правий термістор розміщується в герметичній камері із сухим повітрям. Обидва термістора включені в мостову схему, на яку подається напруга +Е. При проходженні через термістори струму їх температура підвищується до 170°C щодо температури навколишнього середовища. Балансування моста проводиться в умовах сухого повітря, в урівноваженому стані вихідна напруга повинна бути дорівнює нулю. При

відхиленні абсолютної вологості повітря від нульового значення відбувається поступове підвищення вихідної напруги. Однак при концентрації пар 150 г/м^3 воно починає падати, а при концентрації 345 г/м^3 - навіть міняє свою полярність (мал. 13.8Б).

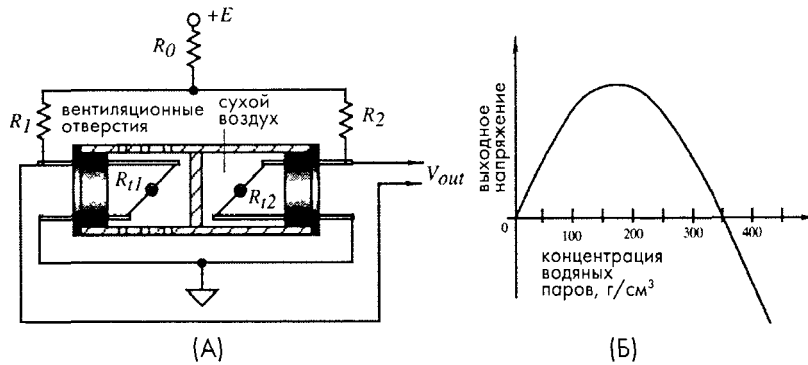


Рис. 13.8. Датчик абсолютної вологості с саморозогревающимися термисторами: А – схема и электрические соединения. Б – зависимость выходного напряжения от влажности

Оптический гигрометр

Більшість датчиків вологості мають не дуже гарну відтворюваність. Наприклад, величина їх гістерезису становить від 0.5... 1% RH. Тому за допомогою їх не можна проводити прецизійні виміри. Для цих цілей потрібне застосування непрямих методів визначення вологості. Найефективнішим з них є обчислення абсолютної й відносної вологості але температурі крапки роси. Як було зазначено раніше, крапка роси визначається по температурі, при якій рідка й газова фази води (у цьому випадку будь-якої речовини) перебувають у рівновазі. Температура, при якій пара й тверда фаза води перебувають у термодинамічному стані рівноваги, називається крапкою замерзання. Кожній температурі крапки роси відповідає тільки одне значення тиску насиченого пари. Тому, вимірюючи температуру крапки роси при відомім значенні тиску, завжди можна знайти абсолютну вологість. Оптичний спосіб визначення вологості є оптимальним методом, якому відповідає мінімальний гістерезис. Вартість оптичного гігрометра набагато вище, чим у попередніх датчиків, але він дозволяє відслідковувати низькі рівні змісту води в продукції, що приводить до підвищення її якості, робить цю ціну цілком виправданою. Основним елементом оптичного гігрометра є дзеркало, температура поверхні якого точно регулюється за допомогою термоелектричного насоса. Гранична температура дзеркала настроюється на температуру крапки роси. Досліджуване повітря за допомогою насоса прогоняється над поверхнею дзеркала. Якщо температура дзеркала перетинає крапку роси, на його поверхні конденсуються краплі води. При цьому властивості, що відбивають, дзеркала змінюються, оскільки краплі води розсіюють промені світла, що детектується відповідним фотодетектором. На мал. 13.9 показана спрощена схема гігрометра з охолоджуваним дзеркалом. Він складається з термоелектричного насоса, що працює на ефекті Пельтьє. Цей насос відводить тепло від поверхні тонкого дзеркала, усередину якого вбудований детектор температури, що входить до складу цифрового термометра, що відображає температуру дзеркала. Даний датчик є диференціальним пристроєм, у якому верхня оптопара - світлоізлучающий діод (СІД) і фотодетектор - використовується для компенсації дрейфу, а друга (нижня)- для виміру коефіцієнта відбиття дзеркала.

Симетричність датчика регулюється за допомогою клиноподібного оптичного балансира, розміщеного на шляху променів світла верхньої оптопары. Нижня оптопара нахилена під кутом 45° до дзеркала. При температурі вище крапки роси, поверхня дзеркала є сухий, а його здатність, що відбиває, — максимальної. Під управлінням контролера насос знижує температуру дзеркала. З появою крапель води здатність, що відбиває, дзеркала різко падає, що викликає зменшення струму фотодетектора. Сигнал фотодетектора надходить на контролер, який тепер повинен подавати на насос такий струм, щоб температура дзеркала залишалася рівній крапці роси, при якій не відбувається ні додаткової конденсації вологи, ні її випарювання з поверхні. У дійсності, при цій температурі молекули води те прилипають до дзеркала, то відриваються від нього, але середня кількість конденсату залишається незмінним, тобто встановлюється рівновага.

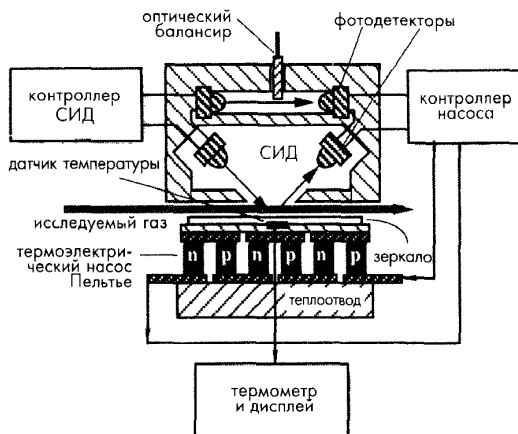


Рис. 13.9. Датчик точки роси с охлаждаемым зеркалом

Оскільки отримана температура дзеркальної поверхні точно визначає дійсну крапку роси, цей метод вважається найбільш прецизійним способом виміру вологості. У розглянутому датчику відсутній гістерезис, а його чутливість становить 0.03°З від температури крапки роси. При відомому тиску по крапці роси можна визначити всі характеристики вологості: %RH, тиск пари і т.д.

Цей метод має ряд недоліків: порівняно високу вартість, можливість забруднення дзеркальної поверхні й достатньо високе споживання електроенергії тепловим насосом. Проблема, пов'язана із забрудненням, вирішується за допомогою фільтрів і спеціальної техніки охолодження дзеркала, при якій температура спочатку знижується нижче крапки роси, щоб виступило багато конденсату, а потім різко нагрівається. Це дозволяє змити забруднення й залишити поверхню чистою.

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ ПСИХРОМЕТРОМ АВГУСТА

Психрометрический метод обчислення вологості заснований на різниці температур сухого й змоченого термометрів, яка залежить від вологості повітря.

Погрішність обчислення вологості складається із двох складових: погрішності виміру температури й погрішності обчислення вологості за результатами виміру температури.

Якщо подивитися на будь-яку психрометричну таблицю, у якій температури зазначені з точністю до $0,1^\circ\text{С}$, то можна побачити, що при вологості близько 70% погрішність виміру різниці температур сухого й мокрого термометрів $0,2^\circ\text{С}$

приводить до помилки обчислення вологості 2%. При більших значеннях вологості вплив погрішності термометрів зменшується, при менших збільшується.

Тому при вимірі вологості психрометричним способом слід звертати особлива увага на точність виміру температури.

Основна психрометрическая формула виглядає в такий спосіб:

$$F = [E' \cdot A (t - t') P] / e,$$

де e - максимальна пружність водяної пари при температурі сухого термометра;
 E' - максимальна пружність водяної пари при температурі мокрого термометра;

A - постійна психрометра, залежить від швидкості потоку;

P - атмосферний тиск, ухвалюється рівним $1000 \text{ гПа} = 100000 \text{ Па}$;

$(t - t')$ - різниця показань сухого й мокрого термометрів.

Ця формула дозволяє одержати точне значення відносної вологості. Як видно з формули, на результат обчислення, крім температур впливають тиск і коефіцієнт, що залежить від швидкості потоку повітря.

Психрометр Августа є зручним і точним приладом для визначення вологості повітря. Він складається із двох термометрів, один з яких сухий, інший – вологий. Вологим термометр стає від того, що його кінець обернуть марль, опущеної у воду.

Визначення вологості засноване на порівнянні показань сухого t_1 і змоченого t_2 термометрів. Тому що з поверхні резервуара змоченого термометра відбувається випар води, те його температура буде нижче, чим сухого. Причому різниця між показаннями термометрів буде тим більше, чим менше вологість повітря, тому що при малій вологості випар відбувається більш інтенсивно й показання вологого термометра будуть меншими. Зниження температури змоченого термометра триває доти, поки не настане рівновага, при якій на випар буде йти стільки тепла, скільки буде приходити з навколишнього середовища.

Для невеликих різниць температур кількість тепла, отримане резервуаром змоченого термометра, пропорційно поверхні резервуара S , різниці температур t_{1-2} і часу t , протягом якого відбувається одержання тепла, тобто:

$$Q_1 = k \cdot S \cdot (t_1 - t_2) \cdot \tau$$

Показання су- хого термомет- ра, °С	Різниця в показаннях сухого і смоченого термометрів									
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	
-3	100	95	90	86	81	76	72	67	62	
-2	100	95	91	87	82	78	73	69	65	
-1,8	100	96	91	87	82	78	74	69	65	
-1,6	100	96	91	87	83	78	74	70	65	
-1,4	100	96	91	87	83	78	74	70	66	
-1,2	100	96	91	87	83	79	74	70	66	
-1,0	100	96	91	87	83	79	74	70	66	
-0,8	100	96	91	87	83	79	75	71	67	
-0,6	100	96	92	87	83	79	75	71	67	
-0,4	100	96	92	88	83	79	75	72	67	
-0,2	100	96	92	88	84	80	76	72	68	
0	100	96	92	88	84	80	76	72	68	
0,2	100	96	92	88	84	80	76	72	68	
0,4	100	96	92	88	84	80	76	72	68	
0,6	100	96	92	88	84	81	77	73	69	
0,8	100	96	92	88	84	81	77	73	69	
1,0	100	96	92	88	84	81	77	73	69	
1,2	100	96	92	88	85	81	77	73	70	
1,4	100	96	93	88	85	81	77	74	70	
1,6	100	96	93	89	85	81	78	74	70	
1,8	100	96	93	89	85	81	78	74	71	
2,0	100	96	93	89	85	82	78	75	71	
2,2	100	96	93	89	85	82	78	75	71	
2,4	100	96	93	89	85	82	78	75	72	
2,6	100	96	93	89	86	82	79	75	72	
2,8	100	96	93	89	86	82	79	76	72	
3,0	100	96	93	89	86	83	79	76	72	
3,2	100	96	93	89	86	83	79	76	72	
3,4	100	97	93	90	86	83	79	76	73	
3,6	100	97	93	90	86	83	80	76	73	
3,8	100	97	93	90	86	83	80	77	73	
4,0	100	97	93	90	87	83	80	77	74	
5,0	100	97	94	90	87	84	81	78	75	
6,0	100	97	94	91	88	85	82	79	76	
7,0	100	97	94	91	88	85	83	80	77	
8,0	100	97	94	92	89	86	83	80	78	
9,0	100	97	95	92	89	86	84	81	79	
1,00	100	97	95	92	90	87	84	82	79	

Кількість тепла Q_2 , що віддається змоченим термометром, пропорційно швидкості випару v і часу t , отже, швидкість випару залежить від дефіциту вологості навколишнього повітря і його динамічного стану. Швидкість випару визначається:

$$v = \frac{C_1 \cdot S}{H} (E_2 - e)$$

де S – поверхня випару, H – атмосферний тиск, E_2 – тиск насичених пар при температурі паркої рідини, e – парціальний тиск пар, що перебувають у повітрі, C_1 – коефіцієнт пропорційності, що залежить від динамічного стану повітря.

ВИЗНАЧЕННЯ КРАПКИ РОСИ

За отриманим даними визначають крапку роси.

Т, °С	Вологість, в.о.														
	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	
-10	-23,2	-21,8	-20,4	-19	-17,8	-16,7	-15,8	-14,9	-14,1	-13,3	-12,6	-11,9	-10,6	-10	
-5	-18,9	-17,2	-15,8	-14,5	-13,3	-11,9	-10,9	-10,2	-9,3	-8,8	-8,1	-7,7	-6,5	-5,8	
0	-14,5	-12,8	-11,3	-9,9	-8,7	-7,5	-6,2	-5,3	-4,4	-3,5	-2,8	-2	-1,3	-0,7	
+2	-12,8	-11	-9,5	-8,1	-6,8	-5,8	-4,7	-3,6	-2,6	-1,7	-1	-0,2	-0,6	1,3	
+4	-11,3	-9,5	-7,9	-6,5	-4,9	-4	-3	-1,9	-1	0	0,8	1,6	2,4	3,2	
+5	-10,5	-8,7	-7,3	-5,7	-4,3	-3,3	-2,2	-1,1	-0,1	0,7	1,6	2,5	3,3	4,1	
+6	-9,5	-7,7	-6	-4,5	-3,3	-2,3	-1,1	-0,1	0,8	1,8	2,7	3,6	4,5	5,3	
+7	-9	-7,2	-5,5	-4	-2,8	-1,5	-0,5	0,7	1,6	2,5	3,4	4,3	5,2	6,1	
+8	-8,2	-6,3	-4,7	-3,3	-2,1	-0,9	0,3	1,3	2,3	3,4	4,5	5,4	6,2	7,1	
+9	-7,5	-5,5	-3,9	-2,5	-1,2	0	1,2	2,4	3,4	4,5	5,5	6,4	7,3	8,2	
+10	-6,7	-5,2	-3,2	-1,7	-0,3	0,8	2,2	3,2	4,4	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1	
+11	-6	-4	-2,4	-0,9	0,5	1,8	3	4,2	5,3	6,3	7,4	8,3	9,2	10,1	
+12	-4,9	-3,3	-1,6	-0,1	1,6	2,8	4,1	5,2	6,3	7,5	8,6	9,5	10,4	11,7	

+13	-4,3	-2,5	-0,7	0,7	2,2	3,6	5,2	6,4	7,5	8,4	9,5	10,5	11,5	12,3
+14	-3,7	-1,7	0	1,5	3	4,5	5,8	7	8,2	9,3	10,3	11,2	12,1	13,1
+15	-2,9	-1	0,8	2,4	4	5,5	6,7	8	9,2	10,2	11,2	12,2	13,1	14,1
+16	-2,1	-0,1	1,5	3,2	5	6,3	7,6	9	10,2	11,3	12,2	13,2	14,2	15,1
+17	-1,3	0,6	2,5	4,3	5,9	7,2	8,8	10	11,2	12,2	13,5	14,3	15,2	16,6
+18	-0,5	1,5	3,2	5,3	6,8	8,2	9,6	11	12,2	13,2	14,2	15,3	16,2	17,1
+19	0,3	2,2	4,2	6	7,7	9,2	10,5	11,7	13	14,2	15,2	16,3	17,2	18,1
+20	1	3,1	5,2	7	8,7	10,2	11,5	12,8	14	15,2	16,2	17,2	18,1	19,1
+21	1,8	4	6	7,9	9,5	11,1	12,4	13,5	15	16,2	17,2	18,1	19,1	20
+22	2,5	5	6,9	8,8	10,5	11,9	13,5	14,8	16	17	18	19	20	21
+23	3,5	5,7	7,8	9,8	11,5	12,9	14,3	15,7	16,9	18,1	19,1	20	21	22
+24	4,3	6,7	8,8	10,8	12,3	13,8	15,3	16,5	17,8	19	20,1	21,1	22	23
+25	5,2	7,5	9,7	11,5	13,1	14,7	16,2	17,5	18,8	20	21,1	22,1	23	24
+26	6	8,5	10,6	12,4	14,2	15,8	17,2	18,5	19,8	21	22,2	23,1	24,1	25,1
+27	6,9	9,5	11,4	13,3	15,2	16,5	18,1	19,5	20,7	21,9	23,1	24,1	25	26,1
+28	7,7	10,2	12,2	14,2	16	17,5	19	20,5	21,7	22,8	24	25,1	26,1	27
+29	8,7	11,1	13,1	15,1	16,8	18,5	19,9	21,3	22,5	22,8	25	26	27	28
+30	9,5	11,8	13,9	16	17,7	19,7	21,3	22,5	23,8	25	26,1	27,1	28,1	29
+32	11,2	13,8	16	17,9	19,7	21,4	22,8	24,3	25,6	26,7	28	29,2	30,2	31,1
+34	12,5	15,2	17,2	19,2	21,4	22,8	24,2	25,7	27	28,3	29,4	31,1	31,9	33
+36	14,6	17,1	19,4	21,5	23,2	25	26,3	28	29,3	30,7	31,8	32,8	34	35,1
+38	16,3	18,8	21,3	23,4	25,1	26,7	28,3	29,9	31,2	32,3	33,5	34,6	35,7	36,9
+40	17,9	20,6	22,6	25	26,9	28,7	30,3	31,7	33	34,3	35,6	36,8	38	39

$$k \cdot S \cdot (t_1 - t_2) \cdot \tau = k \frac{C_1}{H} \cdot (E_2 - e) \tau$$

При рівновазі $Q_1 = Q_2$ одержуємо:

де k - коефіцієнт пропорційності.

Відношення $1/C_1$, позначене A , називається постійної психрометра й має значення $A = 6,620 \cdot 10^{-4}$ град $^{-1}$. Підставимо значення A у рівняння, визначимо абсолютну вологість:

$$e = E_2 - A \cdot (t_1 - t_2) \cdot H$$

$$r = \frac{e}{E_1} \cdot 100\%$$

Тоді відносна вологість визначиться по формулі:

де E_1 – тиск насичених пар при даній температурі.

Контрольні завдання

1. Визначити вологість повітря, якщо показання сухого термометра $+8^\circ\text{C}$, а вологого - $+9,2^\circ\text{C}$.
2. Визначити показання вологого термометра, якщо вологість повітря рівна 81%, а показання сухого термометра - $+9^\circ\text{C}$.
3. Визначити крапку роси повітря температурою $+15^\circ\text{C}$ и вологістю 60%.
4. Визначити температуру повітря, якщо при його охолодженні роса випала при температурі $+10^\circ\text{C}$ (початкова вологість була 65%).
5. Визначити температуру повітря, якщо при його охолодженні роса випала при температурі $+27^\circ\text{C}$ (початкова вологість була 70%).

6. На скільки необхідно охолодити повітря вологістю 75% і температурою 20°C, щоб знизити його вологість до 40%.
7. На скільки необхідно охолодити повітря вологістю 90% і температурою 25°C, щоб знизити його вологість до 50%.
8. На скільки необхідно охолодити повітря вологістю 85% і температурою 30°C, щоб знизити його вологість до 60%.
9. На скільки необхідно нагріти повітря вологістю 75% і температурою 15°C, щоб знизити його вологість до 40%.
10. До якої температури потрібно нагріти повітря, щоб знизити його вологість із 85% до 40%, якщо початкова температура повітря +10°C.
11. До якої температури потрібно нагріти повітря, щоб знизити його вологість із 90% до 70%, якщо початкова температура повітря +15°C.
12. До якої температури потрібно охолодити повітря, щоб підвищити його вологість із 40% до 70%, якщо початкова температура повітря +25°C.
13. До якої температури потрібно охолодити повітря, щоб підвищити його вологість із 50% до 70%, якщо початкова температура повітря +35°C.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5
РОЗРАХУНОК БЕЗКОНТАКТНИХ ДАТЧИКІВ ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Однотактний індуктивний датчик

Однотактні індуктивні датчики призначені для виміру порівняно малих кутових або лінійних механічних переміщень (від частки мікрометра до 5 мм) і для перетворення їх в електричні сигнали змінного струму.

На мал. 2.7а представлена схема включення однотактного індуктивного датчика із плоскопаралельним повітряним зазором: сердечник 1 і ярмір 3 виконаний із шихтованого магнітот'яжкого матеріалу; 2 – мідна обмотка. Частота змінного струму 50 Гц (до декількох кГц).

Принцип дії датчика - при зміні повітряного зазору δ змінюється індуктивність дроселя й повний опір робочому ланцюгу, отже, змінюється спадання навантаженні $U_{\text{ВИХ}}$ і струм ланцюги.

Статична характеристика індуктивного датчика при індуктивній навантаженні визначається вираженням

$$I_{\text{ВИХ}} = \frac{U_{\text{ВИХ}}}{\sqrt{(R_H + r_{\text{дп}})^2 + \omega^2 \left(\frac{W^2 S_B \mu_0}{2\delta} \right)^2}}, \quad (10)$$

де $U_{\text{ВИХ}}$ – спадання напруги на навантаженні, В;

R_H – опір навантаження, Ом;

$r_{\text{дп}}$ – опір обмотки датчика, Ом;

ω – кругова частота напруги мережі, з^{-1} ;

W – число витків обмотки;

S_B – площа перетину повітряного зазору, м^2 ;

μ_0 – магнітна постійна, $4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м;

δ – величина повітряного зазору, м.

Графічно статична характеристика індуктивного датчика передствалена на рис. 2.7б.

Ідеальна статична характеристика однотактного індуктивного датчика має місце при прийнятті двох допущень:

- активний опір ланцюга R багато менше індуктивного зппротивлення X_L , тому їм зневажають;
- магнітний опір сталевих частин $R_{\text{М ст}}$ багато менше магнітного опору повітряного зазору $R_{\text{М в}}$, тому їм теж прегнебрегают.

На мал. 2.7 представлені схеми однотактних індуктивних датчиків.

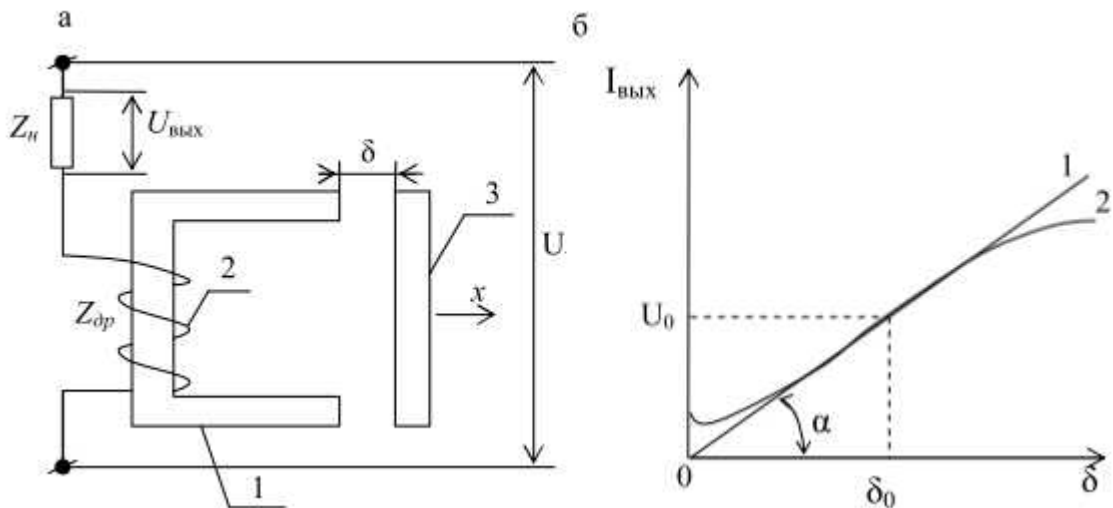


Рис. 2.7. Схема включення (а) і статичні характеристики (б) однокотного індуктивного датчика із плоскопаралельним повітряним зазором: 1 – ідеальна (холостий хід); 2 – реальна (навантажувальна)

На мал. 2.8 представлені конструктивні схеми найбільше распроастраних індуктивних перетворювачів.

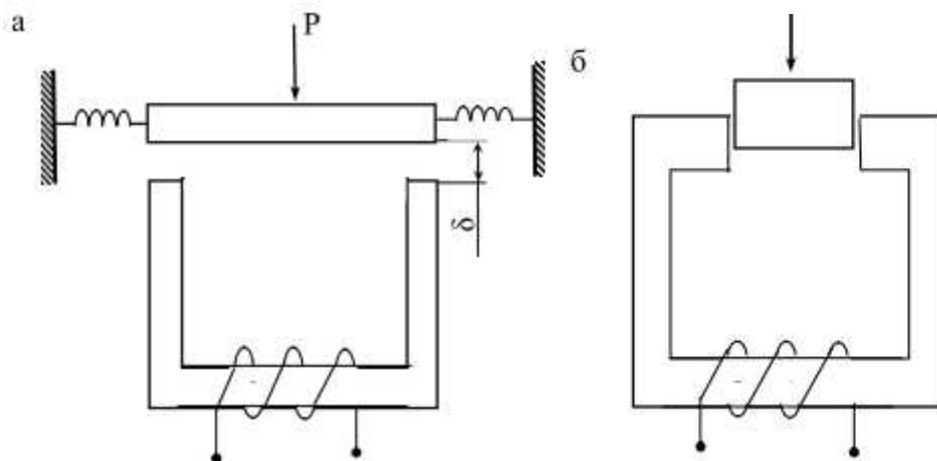


Рис. 2.8. Конструктивні схеми індуктивних перетворювачів:

- а) з малим повітряним зазором, що змінюються під дією механічної величини (зосередженої сили, тиску, лінійного переміщення);
- б) з мінливою площею повітряного зазору

Кут нахилу статичної характеристики до горизонтальної осі

$$\alpha = \arctg(k),$$

де k – чутливість датчика, обумовлена /

Відхилення реальної статичної характеристики від ідеальної при малих величинах повітряного зазору δ пояснюється тим, що умова $R_{m\text{ ст}} \ll R_{m\text{ у}}$ вносить погрішність, тому що ці величини порівнянні при малих δ . При більших значеннях δ допущення $R \ll X_L$ також вносить погрішність, тому що активний опір ланцюга $R_H + r_{dp}$ порівнянне з індуктивним $\omega(L_H + L_{dp})$.

Недоліки однотактних індуктивних датчиків:

- фаза виходу сигналу не залежить від напрямку переміщення якооря; наявність струму холостого ходу;
- велике значення вхідних зусиль, що врівноважують тягове зусилля електромагніту.

Збільшення напруги живлення датчика веде до збільшення чутливості, але вимагає збільшення габаритів і маси датчика.

Величина напруги живлення індуктивного датчика, обумовлена по формулі $U = 4,44 B_m S_{cm} W f$, обмежується двома факторами:

- припустимою температурою перегріву датчика, обумовленої з рівняння теплового балансу: /
- припустимою величиною магнітної індукції B_m у сталевих частинах магнітопроводу ($B_m = 0,4 \div 1,0$ Тл).

Двотактні індуктивні датчики

Існують 2 основні схеми включення двотактних індуктивних датчиків: диференціальна й мостова (мал. 2.9, 2.10).

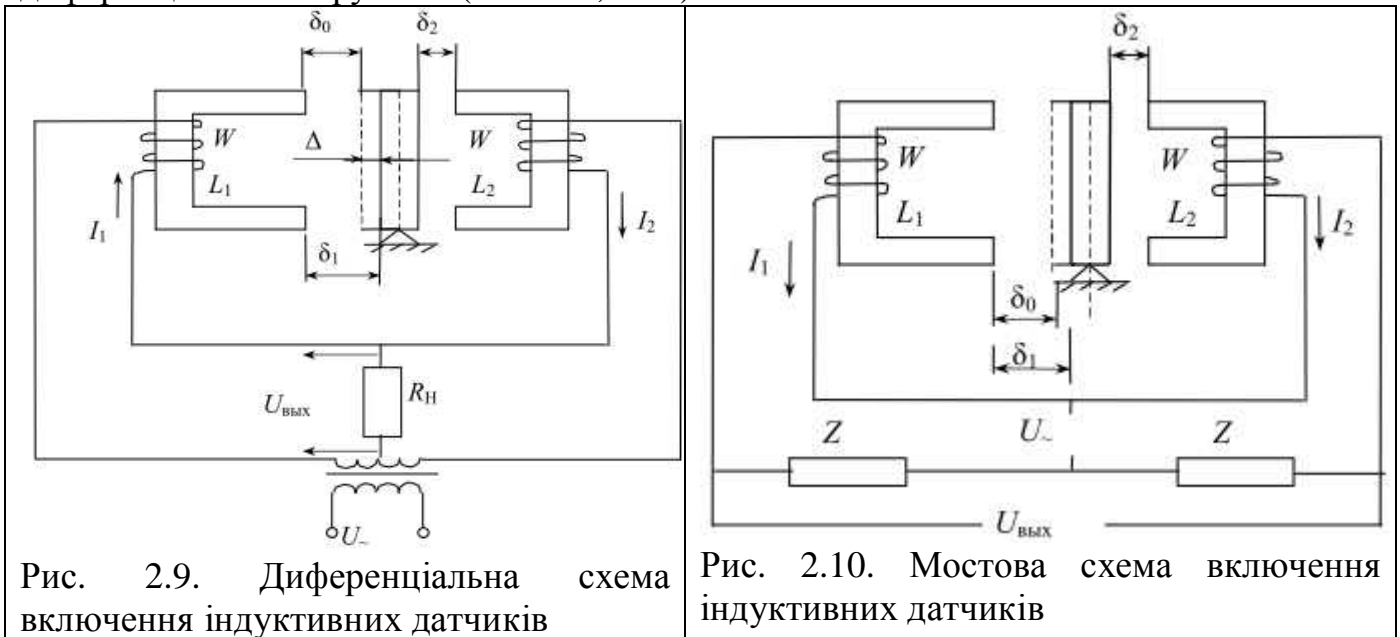


Рис. 2.9. Диференціальна схема включення індуктивних датчиків

Рис. 2.10. Мостова схема включення індуктивних датчиків

Диференціальна схема включення індуктивних датчиків передбачає наявність трансформатора із середньою крапкою (див. мал. 2.9). Обидві обмотки мають однакове число витків, сердечники ідентичні по характеристикам. Опір навантаження включається між середньої точки обмотки трансформатора й середньою крапкою обмоток вимірювального перетворювача. Струм, що протікає через навантаження, дорівнює різниці струмів правої й лівої половини схеми:

$$I_{\text{вих}} = I_1 - I_2.$$

Вихідна напруга

$$U_{\text{вих}} = (I_1 - I_2) R_n.$$

У вихіднім положенні при рівності зазорів $\delta_0 = \delta_1 = \delta_2$ індуктивності обмоток рівні $L_1 = L_2 = L_0$. Струми в обох контурах рівні по модулю $|i_1| = |i_2|$, але протилежні по фазі, отже, струм навантаження дорівнює нулю, виходить, і вихідна напруга дорівнює нулю.

При переміщенні якоря на величину Δ величини зазорів змінюються: один збільшується – $\delta_1 = \delta_0 + \Delta$, іншої зменшується – $\delta_2 = \delta_0 - \Delta$. Отже, змінюються індуктивності обмоток: $L_1 = L_0 - \Delta L$, $L_2 = L_0 + \Delta L$.

Зміна індуктивностей приводить до порушення балансу струмів: $I_1 = I_0 + \Delta I$; $I_2 = I_0 - \Delta I$. Це приводить до появи струму в навантаженні й до спадання напруги на навантаженні.

У **мостовій схемі** включення індуктивних датчиків (див. мал. 2.10) розглядається різниця спадання напруги на плечах моста, яка визначає вихідну напругу

$$\dot{U}_{\text{вих}} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \dot{Z}(I_1 - I_2).$$

Принцип дії мостової схеми аналогічний принципу дії диференціальної схеми.

Отже, статична характеристика двотактного індуктивного датчика являє собою функцію виду $|\dot{U}_{\text{вих}}| = k\Delta$, що відповідає прямій, що проходить через початок координат (мал. 2.11). При зміні знака збільшення вхідної координати Δ фаза вихідного сигналу міняється на 180° .

Мостова схема при погодженім навантаженні має чутливість менше в 2, 8 рази в порівнянні з диференціальною схемою.

На мал. 2.12 представлені конструктивні схеми індуктивних датчиків для виміру переміщень від 5 мм до 2 м: соленоїдний одинарний і феродинамічний.

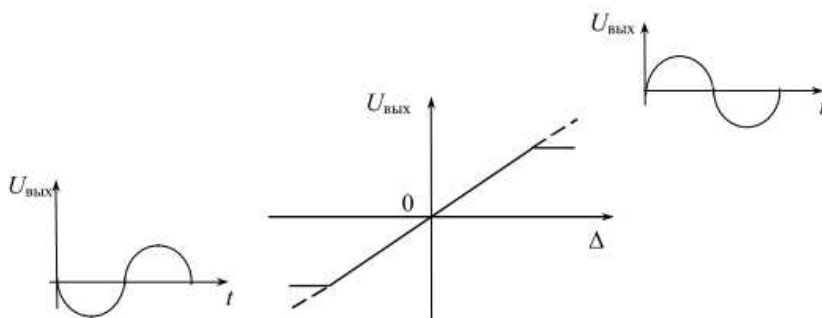


Рис. 2.11. Статична характеристика двотактного індуктивного датчика

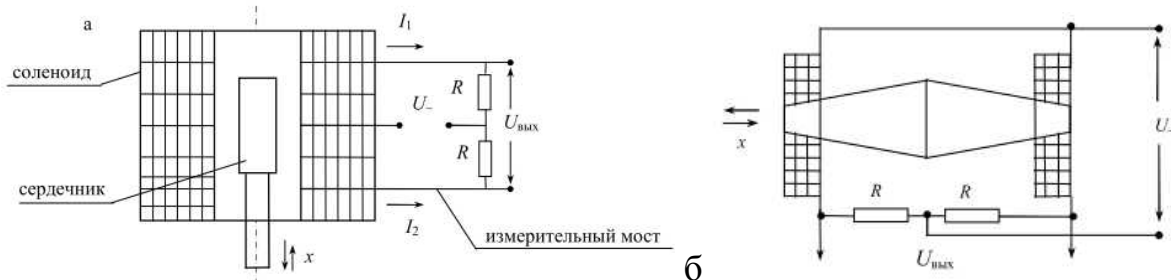


Рис. 2.12. Індуктивні датчики для виміру переміщень від 5 мм до 2 м: а – соленоїдний одинарний; б – феродинамічний

2.5. Розрахунок індуктивних датчиків лінійних переміщень

Розрахунок індуктивних датчиків лінійних переміщень включає наступні етапи:

розрахунок і побудова статичної характеристики – залежності вихідної напруги від величини повітряного зазору δ ;
 визначення перегріву обмотки;
 розрахунок і побудова тягової характеристики для визначення зусиль, необхідних для переміщення якоря.

Статична характеристика індуктивного датчика із плоскопаралельним повітряним зазором описується (10) або вираженням

$$L = \frac{W^2}{R_{m\Sigma} + 2 \frac{\delta_a}{\mu_0 S_a}} = \frac{W^2}{R_{m\Sigma} + 2 \frac{\delta_a}{S_a 4\pi \cdot 10^{-7}}} \approx \frac{4\pi \cdot 10^{-7} W^2}{\frac{2\delta_a}{S_a}} \quad (12)$$

де L – індуктивність дроселя при ненасиченому магнітопроводі, Гн;
 W – число витків обмотки дроселя;

$R_{m\Sigma}$ – магнітний опір сталевих частин, Гн⁻¹;

δ_B – довжина повітряного зазору, м;

μ_0 – магнітна постійна, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

SB – площа поперечного переріза повітряного зазору, м².

Магнітний опір повітряного зазору

$$R_{ma} = \frac{2\delta_a}{\mu_0 S_a} = \frac{W^2}{L_x} - \frac{1}{\mu_0} \left[\frac{l_c}{\mu_c S_c} + \frac{l_{як}}{\mu_{як} S_{як}} \right] \quad (13)$$

Магнітний опір сталевих частин

$$R_{m\Sigma} = \frac{1}{\mu_0} \left[\frac{l_c}{\mu_c S_c} + \frac{l_{як}}{\mu_{як} S_{як}} \right] \quad (14)$$

де l_c – середня довжина магнітних силових ліній у сердечнику, м;

S_c – площа поперечного переріза сердечника, м²,

$l_{як}$ – середня довжина магнітних силових ліній у якорі, м;

$S_{як}$ – площа поперечного переріза якоря, м²;

μ_c – магнітна проникність для матеріалу сердечника при значенні магнітної індукції B_{m1} ;

$\mu_{як}$ – те ж, для якоря при значенні магнітної індукції в якорі B_{m2} .

Значення μ_c и $\mu_{як}$ знаходять, використовуючи залежність $B_m = f(Hm)$, яка задається за допомогою графіків або таблиць по формулі

$$\mu = \frac{B_m}{H_m \mu_0} \quad (15)$$

Перегрів обмотки визначається по рівнянню теплового балансу:

$$I^2 r_{\text{оп}} + P_M \leq \eta S_{\text{оки}} \Delta \Theta, \quad (16)$$

де P_M – потужність втрат на вихрові струми й перемагнічування в сталевих частинах, Вт.

Тягова характеристика розраховується по рівнянню Максвелла:

$$F_{\text{Э}} = k_0 U^2 \left(\frac{1}{G_{\text{в}}^2} \cdot \frac{dG_{\text{в}}}{d\delta_{\text{в}}} \right), \quad (17)$$

де $G_{\text{в}} = \frac{\mu_0 S_{\text{в}}}{2\delta_{\text{в}}}$ – магнітна провідність повітряного зазору.

Для випадку, коли $\delta_{\text{в}} = \text{var}$ і мають місце плоскі полюсні наконечники, тобто $\frac{dG_{\text{в}}}{d\delta_{\text{в}}} = -\frac{\mu_0 S_{\text{в}}}{2\delta_{\text{в}}^2}$, тягові зусилля залишаються незмінними при переміщенні рухливих частин датчика:

$$F_{\text{Э}} = 2k_0 \frac{U^2}{S_{\text{в}}} = \text{const}. \quad (18)$$

Динамічні властивості індуктивних датчиків

Тому що вхідний сигнал індуктивних датчиків має більш низьку частоту в порівнянні із частотою живлячого напруги, зміна амплітуди вихідної напруги визначається рівнянням, що встановився режиму. Тому всі розглянуті індуктивні датчики можна вважати безінерційними підсилювальними ланками з передатної функції виду $W(p) = k$.

Переваги й недоліки індуктивних датчиків

До переваг ставляться: відсутність ковзного контакту; висока чутливість; висока розв'язна здатність; надійність конструкції; малі габарити й маса при живленні напругою високої частоти; високий КПД у порівнянні з реостатними датчиками.

До недоліків – труднощі регулювання (труднощі одержання нульового значення вихідної напруги при нейтральному положення якоря); можливість роботи тільки на змінному струмі; обмежений діапазон лінійності статичної характеристики (за рахунок насичення магнітопроводу); залежність коефіцієнта перетворення від частоти й амплітуди живлячого напруги; необхідність екранованої обмотки.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6
РОЗРАХУНОК МАЛОПОТУЖНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ

Основною частиною багатьох апаратів, наприклад, контакторів, магнітних пускачів, реле, гальмових електромагнітів і ін., є котушка, що втягує. При проходженні струму по котушці створюється магнітне поле, під дією якого сталевий сердечник котушки намагнічується й притягає якір,

Якір включає або виключає відповідні контакти електромагнітного апарата.

Котушка є відповідальним вузлом апарата дистанційного або автоматичного керування, тому при виході її з ладу (це трапляється у виробничих умовах досить часто) дуже важливо знати, як перемотати цю котушку.

Відновити обмотувальні дані котушки, якщо є паспорт, неважко. У цьому випадку намотують нову котушку, кількість витків якої й перетин проведення повинні відповідати паспортним даним.

Іноді доводиться перемотувати котушки електромагнітних апаратів на напругу, відмінне від паспортного. Число витків у котушці, при яким чітко спрацьовують контактор і пускач, можна вважати прямо пропорційним напрузі, поданому до котушки, тому що на кожний виток повинне доводитися певна напруга для чіткості спрацьовування апарата, перетин же проведення котушки - назад пропорційно напрузі. При зменшенні перетину проведення котушка може нагріватися до неприпустимої величини, при збільшенні ж перетину її габарити можуть перевершити припустимі розміри.

Перерахування обмотувальних даних котушок електромагнітних апаратів (при збереженні їх нормального обсягу) заснований на наступних умовах.

Магнітний потік, створюваний котушкою, а отже, її сили, що намагнічують, повинні залишатися незмінними $I_1 w_1 = I_2 w_2 = \text{const.}$, де I, w — струм і число витків котушки при напругах у мережі U_1, U_2

Теплові втрати в котушці повинні залишатися незмінними $R_1 I_1^{21} = R_2 I_2^{22} = \text{const.}$, де R, I — опір і струм котушки при напругах у мережі U_1, U_2 .

Перерахування котушок апаратів постійного й змінного струму на інші значення напруг робимо по формулах $w_2 = w_1 \cdot (U_2/U_1)$; $d_2 = d_1 \sqrt{U_2/U_1}$, де d_1 і d_2 — діаметри проводів без ізоляції відповідно при напругах U_1 і U_2 .

При перерахуванні котушок апаратів з однієї тривалості включення S_{31} % на іншу тривалість включення S_{32} % основні параметри котушок визначаються з виражень

$$d_2 = d_1 \sqrt[4]{S_{31}/S_{32}}; \quad w_2 = w_1 \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad \text{- для апаратів постійного струму}$$

$$d_2 = d_1 \sqrt[4]{S_{32}/S_{31}}; \quad w_2 = w_1 \quad \text{- для апаратів змінного струму}$$

де d_1, d_2 і w_1, w_2 — діаметри проводів без ізоляції й число витків відповідно для тривалості включення S_{3x} і S_{32} .

Іноді доводиться розраховувати котушки заново або по відомих розмірах сердечника відновлювати обмотувальні дані, тобто визначати число витків і діаметр проведення для заданого напруги мережі.

Обмотувальні дані котушки змінного струму з достатньою для практики точністю можна розраховувати за графіком, наведеному на мал. 6. На графіку по горизонтальній осі відкладене значення, перетини стрижня магнітопроводу Q_c у квадратних міліметрах, а по вертикальній осі — число витків, що доводяться на 1 В робочої напруги, $w_0 = w/U$, де U -напруга мережі, В.

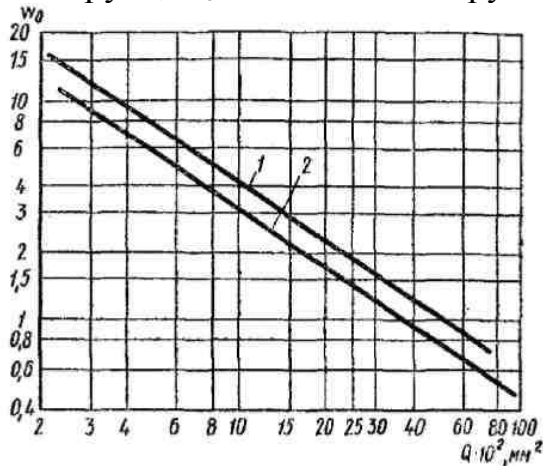


Рис. 6. Графік для визначення числа витків котушки: 1 – тривалий режим S_1 , 2 – повторно-короткочасний $S_3=40\%$.

Для розрахунку числа витків на 1 В робочої напруги котушки залежно від режиму роботи користуються похилими лініями, одна з яких відповідає тривалому режиму роботи $S_1 = 100\%$, а інша — повторно-короткочасному режиму при $S_3 = 40\%$. Кількість витків котушки $w = w_0 U$.

Для розрахунку діаметра проведення необхідно враховувати так званий коефіцієнт заповнення k_3 . Коефіцієнт заповнення показує відношення сумарної площі поперечного переріза ізолюваних проводів до площі вікна магнітопроводу Q_0 . Він залежить від типу ізоляції, форми й перетину проведення й виду намотування. Коефіцієнт заповнення визначають за графіком, наведеному на мал. 7, у яким проміжна лінія є середнім значенням коефіцієнта заповнення.

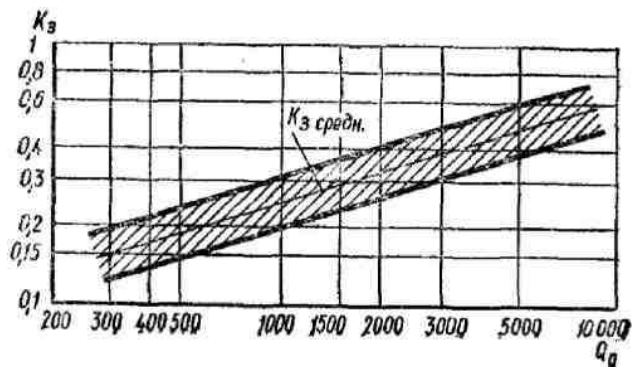


Рис. 7. Графік визначення коефіцієнта заповнення вікна магнітопроводу k_3

Обчисливши перетин вікна магнітопроводу магнітної системи (мал. 8) і помноживши його на коефіцієнт заповнення k_3 , одержимо площу, займану обмоткою,

$$Q_{обм} = k_3 l_0 h_0 = k_3 Q_0$$

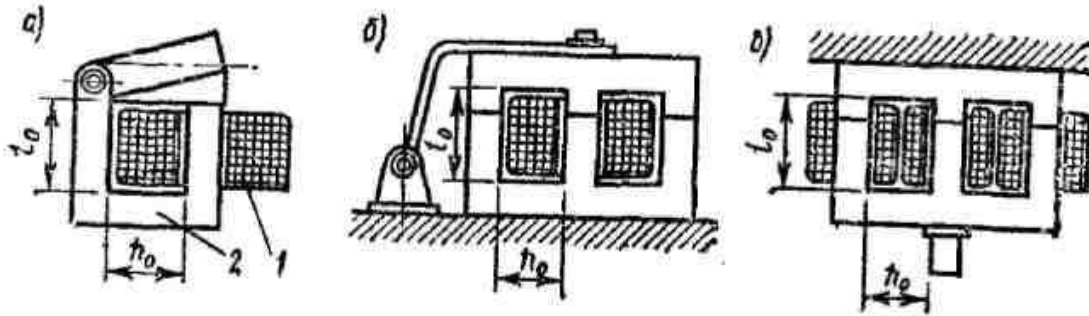


Рис. 8. Магнітопроводи апаратів змінного струму: а – клапанний; б – броньовий; в – трифазного струму; 1 – котушка; 2 – сердечник.

Коли відома площа $Q_{обм}$, можна визначити число витків, що доводяться на 1 мм^2 цій площі, $w_0 = w/Q_{обм}$, де w_0 – число витків, що доводяться на 1 мм^2 площі перетину обмотки.

Пі про знайденому значенню w'_0 і графікам, наведеним на мал. 9 і 10, визначають діаметр необхідного проведення d . Слід зазначити, що для контакторів, реле й магнітних пускачів найчастіше беруть проведення з емальованою ізоляцією ПЭЛ, ПЭВ-1, ПЭВ-2.

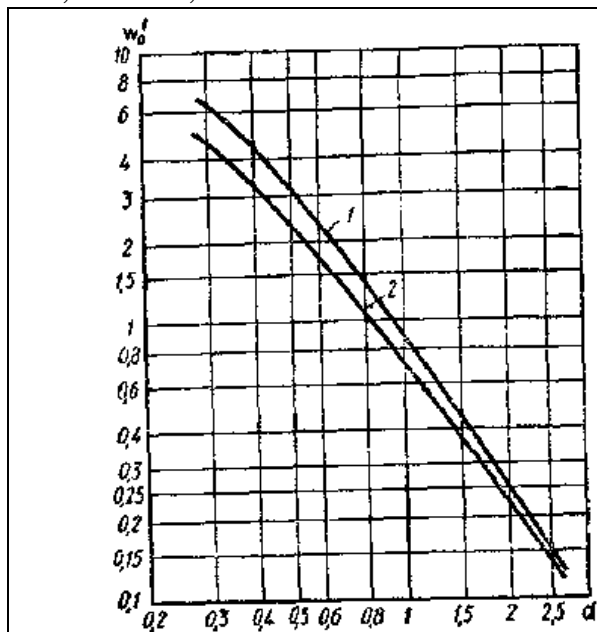


Рис. 9. Графіки для визначення діаметрів обмотувальних проводів ПЭЛБО (1) і ПСД, ПСДК, ПБД (2)

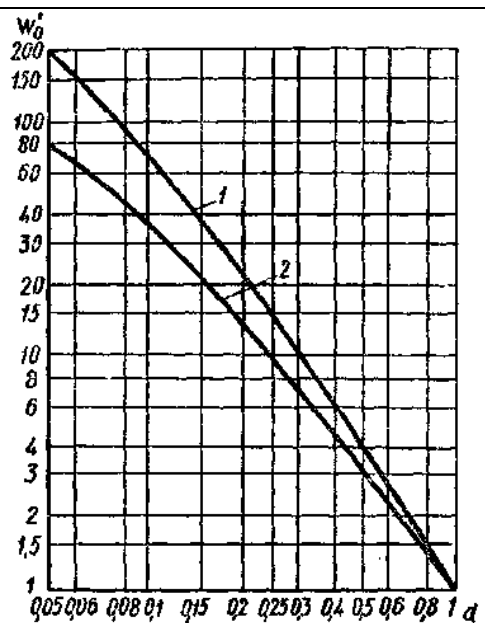


Рис. 10. Графіки для визначення обмотувальних проводів ПЭЛ, ПЭВ1, ПЭВ2, ПЭЛШКО: 1 – для ПЭЛ, ПЭВ1, ПЭВ2, 2 – для ПЭЛШКО

В експлуатаційній практиці для збільшення надійності роботи контакторів змінного струму котушки їх іноді включають на постійний струм за схемою мал. 11. При включенні котушки в мережу змінного струму вона має активний R_k і індуктивним x_k опором $z_k = \sqrt{R_k^2 + x_k^2}$, де z_k – повний опір котушки, Ом.

$$\text{Струм котушки при цьому } I_k = \frac{U}{\sqrt{R_k^2 + x_k^2}}$$

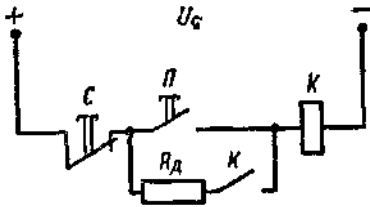


Рис. 11. Схема включення котушки змінного струму на постійний з додатковим опором

При включенні котушки в мережу постійного струму вона має лише активний опір, у результаті чого струм $I_k = U/R_k$ буде в кілька раз більше номінального й котушка згорить. Тому при включенні котушки в мережу постійного струму послідовно з нею необхідно підключити резистор, який обмежує струм котушки до номінального. Опір резистора визначають по формулі $R_p = U_p / I_{н. до}$, де $I_{н. до}$ — номінальний струм котушки; U_p — спадання напруги на резисторі $U_p = U_c I_{н. до} r_k$, де U_c — напруга мережі постійного струму; r_k — опір котушки постійному струму (активний опір котушки).

Приклад 10

Котушку, розраховану на 220 В (U_1) із числом витків 880 із проведення ПЭЛ діаметром 0,75 мм, перерахувати на напругу 36 В (U_2).

Рішення

Нове число витків $W_2 = W_1 / (U_1 / U_2) = 880 / (220 / 36) = 144$ витка. Діаметр проведення після перемотування

$$d_2 = d_1 \sqrt{U_1 / U_2} = 0,75 \sqrt{220 / 36} = 1,85 \text{ мм}$$

По табл. 1 вибирають проведення ПЭЛ діаметром 1,9 мм.

Приклад 11

Котушка електромагніту постійного струму на 220 В $S_{31} = 25\%$ має дані: $d_1 = 0,95$ мм; $w = 6560$; марка проведення ПЭЛ. Потрібно перерахувати котушку на $S_{32} = 40\%$.

Рішення

1. Діаметр проведення d_2 при $S_{32} = 40\%$

$$d_2 = d_1 \sqrt[4]{S_{31} / S_{32}} = 0,85 \sqrt[4]{25 / 40} = 0,76 \text{ мм}$$

Вибирають по табл. 1 проведення ПЭЛ, $d_2 = 0,85$ мм, 2. Число витків при $S_{32} = 40\%$ $w_2 = w_1 d_1^{2.1} / d_2^{2.2} = 6560 \cdot 0,952 / 0,852 = 8425$ витків.

Приклад 12

Визначити число витків і діаметр обмотувального проведення котушки контактора при напрузі 220 В.

Перетин стрижня магнітопровода $Q_c = 4,84$ див² = 484 мм². Площа вікна магнітопровода $l_0 h_0 = 44 \cdot 34 = 1496$ мм².

Рішення

По мал. 6 визначають число витків w_0 на 1 В, починаючи, що режим роботи повторно-короткочасний з $S_3 = 40\%$: $w_0 = 6$.

Загальне число витків $w = w_0 U = 6 \cdot 220 = 1320$ витків.

По мал. 7 по середній лінії графіка визначають коефіцієнт заповнення $k_3 = 0,28$.

Площа перетину обмотки $Q_{обм} = l_0 h_0 k_3 = 1496 \cdot 0,28 = 418 \text{ мм}^2$.

Число витків, що доводяться на 1 мм^2 площі перетину обмотки, $w_0 = w / Q_{обм} = 1320 / 418 = 3,16$.

Вибирають обмотувальне проведення ПЭЛШКО й по мал. 9 визначають його діаметр $d = 0,5 \text{ мм}$.

По табл. 3 беруть проведення діаметром $d = 0,5 \text{ мм}$.

Приклад 13

Визначити опір резистора в ланцюзі змінного струму котушки контактора для включенні його на постійний струм напругою 110 В .

Технічні дані контактора: $I_{пк} = 0,1 \text{ А}$; $U_k = 127 \text{ В}$; $R_k = 185 \text{ Ом}$ (обмірюване за допомогою універсального моста).

Рішення

Спадання напруги на резисторі при включенні котушки на постійний струм $U_p = U_{сі} I_{пк} / R_k = 110 \cdot 0,1 \cdot 185 = 91,5 \text{ В}$.

Опір резистора $R_p = U_p / I_{пк} = 91,5 / 0,1 = 915 \text{ Ом}$.