

Лекція 2

ТЕНЗОМЕТРИ І ОСЦИЛОГРАФИ

1. Види тензометрів та їх основні характеристики
2. Дротяні датчики омичного опору
3. Реєстрація свідчень приладів
4. Основи теорії і конструкції приладів прямої дії
5. Магнітоелектричні прилади
6. Електромагнітні прилади
7. Світлопроменеві осцилографи

1. Види тензометрів та їх основні характеристики

Безпосереднє вимірювання деформацій може здійснюватись різними тензометрами: механічними, оптико-механічними, дзеркальними, струнними, пневматичними, електричними...

Механічні тензометри

Механічні тензометри використовуються для вимірювання як статичних так і динамічних деформацій деталей та конструкцій. Величина деформації, що вимірюється фіксується візуально або записується за допомогою ленторотяжного механізму.

Для забезпечення підрахунків або запису деформацій тензометри мають різного роду механічні системи, що збільшують фактичні деформації у 500-1000 та більше разів.

Оптико-механічні тензометри

У такому тензометрі при деформаціях зразка рухається втулка 1 та повертає дзеркало 2, що знаходиться на одній з нею вісі.

Збільшення деформації відбувається за рахунок оптико-механічної системи.

Тензометр встановлюється на дві пружини: нерухому та рухому та закріплюється на деталі за допомогою струбини. При деформаціях деталі рухома призма повертається, і за нею повертається дзеркало.

Струнні (акустичні) тензометри

Принцип дії цих тензометрів оснований на зміні частоти власних коливань струни в залежності від ступеня її натягу, що змінюється при деформаціях деталі.

Пневматичні тензометри

Основані на зміні витрати повітря, що проходить через сопло, ступінь відкриття якого залежить від величини зміни деформації.

Електричні датчики тензометрів – можуть бути декількох видів: проволочені, індукційні, ємкісні та ін.

Ємкісні датчики працюють на принципі залежності місткості конденсатора від величини зазору між пластинками або площі пластин. Цей вид датчиків знайшов широке застосування для вимірювання тиску.

В індуктивних датчиках використана залежність реактивного опору

катушки із залізним сердечником від її індуктивності. Зміна індуктивності може відбуватися за допомогою зміни величини повітряного зазору або шляхом переміщення рухливого залізного сердечника.

2. Дротяні датчики омічного опору

Є спеціальної форми грати, утворені тонким дротом.

1 – нижній шар паперу; 2 – петлеві дротяні грати; 3 вивідні кінці.

Такий датчик наклеюється на поверхню випробовуваної деталі і разом з деталлю піддається тій або іншій деформації.

При деформації деталі змінюється довжина провідника, а отже і опір. Якщо датчик включити в електричний ланцюг, то зміна опору викличе зміну сили струму.

Залежно від характеру деформацій, що вимірюються, в міст можуть бути включений один, два або чотири робочих датчика. При цьому датчики включаються в плечі моста різними способами. При цьому датчики вмикаються в плечі моста різними способами.

На представлено дві схеми включення датчиків. На схемі I датчики r_1 і r_2 включені для вимірювання деформацій вигину. На схемі II – для вимірювання деформацій розтягування. На мал. б всі чотири датчика є робочими (розповісти о татировки).

3. Реєстрація свідчень приладів

Реєстрація може проводитися записано на копіювальному папері, що рухається, світловим променем на фотопапері, подряпаням на целулоїдній плівці.

Найбільш часто в експериментальній практиці застосовуються осцилограф з записом на папері. Запис здійснюється за допомогою світлового променя.

Принцип дії осцилографа полягає в тому, що на світлочутливий папір, переміщуваний стрічкопротяжним механізмом, прямує промінь світла, величина відхилення якого від нульового положення пропорційна зміні сили струму у вимірювальній діагоналі моста.

Промінь від джерела світла 1 падає на дзеркало 3 вібратори 4 (гальванометр) осцилографи. При зміні струму у вимірювальній діагоналі моста опорів дзеркало вібратора повертається на певний кут. Відображений від неї промінь проводить запис на фотопапері 2.

Вібратор осцилографа представляє собою рамку із струмом в магнітному полі, в площині якого знаходиться дзеркало, що повертається разом з рамкою.

Електронні осцилографи відносяться до безінерційних приладів, обладнаних електронно-променевою трубкою. В приладі є наступні основні частини: підсилювач вертикального і горизонтального відхилення, генератор розгортки, блок живлення.

Електронний осцилограф використовується для спостережень за періодичними процесами, а також при вивченні динамічних процесів високої частоти. Для реєстрації процесів користуються фотоприставкою.

Електротензометрування при вимірюванні деформації усередині деталі

При дослідженні пластичних деформацій, що виникають при обробці металів тиском, широко застосовується спосіб координатних сіток, що полягає в тому, що на поверхню розрізаючої в необхідних перетинах моделі наносять координатну сітку, модель спаюється сплавом вуда і випробовується. Після випробувань сплав вуда віддається в нагрітій воді і проводиться вимірювання спотворень координатної сітки.

При дослідженні залізобетонних виробів часто датчики наклеюються на стрижень арматури перед бетонуванням і деталь випробовується після того, як бетон придбає необхідну міцність. У форму моделі деталі або конструкції заздалегідь встановлюються спеціальні дротяні датчики, які заливаються епоксидною смолою. Потім заливаються металом

4. Основи теорії і конструкції приладів прямої дії

Електромеханічний вимірювальний прилад прямої дії є приладом, в якому положення жвавої частини залежить від значення величини, що вимірюється. В такому приладі відбуваються одне або декілька перетворень сигналу вимірювальної інформації в одному напрямі без застосування зворотного зв'язку. Незалежно від призначення і принципу дії такі прилади (рис. 3.) складаються з вимірювального ланцюга ІЦ, вимірювального механізму НІМ і відлікового пристрою ОУ.

Вимірювальний ланцюг — сукупність перетворюючих елементів засобів вимірювань, забезпечуючи здійснення всіх перетворень сигналу вимірювальної інформації. У вимірювальному ланцюзі відбувається одне з ряду послідовних перетворень величини x , що вимірюється, у функціонально пов'язану з нею електричну величину y .

Вимірювальний механізм — частина конструкції засобу вимірювань, що складається з елементів, взаємодія яких викликає їх взаємне переміщення. В такому механізмі електромагнітна (або електростатична) енергія, пропорційна величині x , перетворюється в пропорційну механічну енергію переміщення жвавої частини.

Відліковий пристрій — це частина конструкції засобу вимірювань (наприклад, шкала і стрілка), призначена для відліку значень величини, що вимірюється.

Загальні вузли і деталі аналогових приладів. Електромеханічні аналогові прилади залежно від призначення і принципу дії мають різні конструкції і типи вимірювальних механізмів. Не дивлячись на конструктивні відмінності приладів, вони мають багато загальних елементів: корпус приладу, нерухому і жваву частини, протидіючі пристрої, заспокоювач, відліковий пристрій, коректор і аретир.

Корпус приладу служить для кріплення всіх вузлів і деталей і для їх запобігання від зовнішніх дій. Корпус виконують різної форми

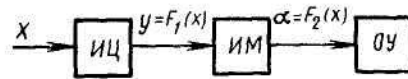


Рис. 2.1. Структурна схема електромеханічного приладу безпосередньої оцінки.

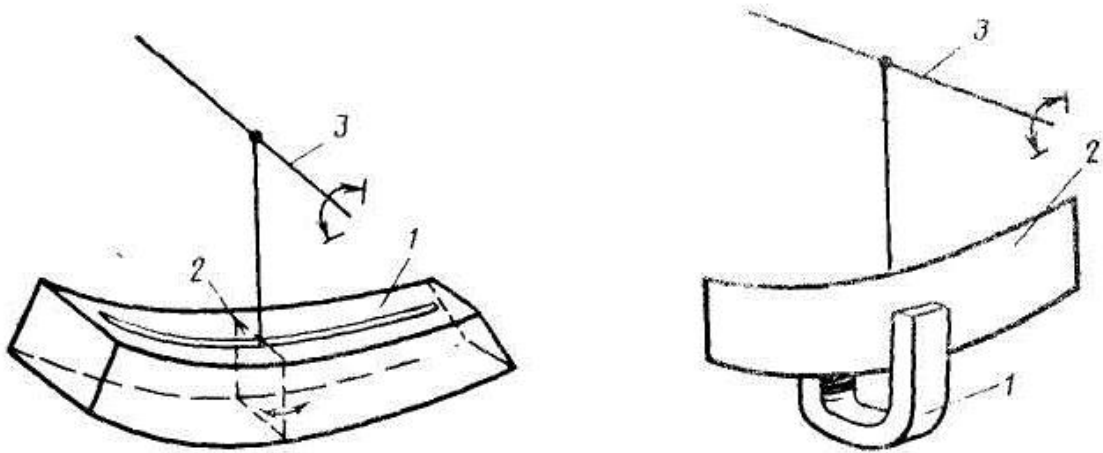


Рис. 2.2. а)повітряний заспокоювач: 1-камера; 2-поршень; 3-рухома частина пристрою. б)магнітоіндукційний заспокоювач: 1-постійний магніт; 2-сердечник; 3-рухома частина приладу.

з металу, пластмаси або дерева.

Нерухома частина у більшості приладів є котушкою (з магнітопроводом або без магнітопроводу). Деякі прилади мають нерухому частину, виконану у вигляді постійного магніту або провідника (пластини).

Жвава частина приладів виконується у вигляді постійного магніту, котушки або провідника (диска). Для обертання жвавої частини навкруги осі її кріплять в опорах або підвішують на розтяжках або підвісі. Осі і опори можуть бути різних конструкцій залежно від типу і призначення приладу.

Для створення протидіючого моменту більшість приладів є забезпечені струмопровідними спіральними або стрічковими пружинами. Особливістю спіральних пружин є майже прямий зв'язок створюваного протидіючого моменту і кута закручування. Завдяки застосуванню розтяжок або підвісів збільшується чутливість приладу і зменшується його власне споживання енергії за рахунок зменшення тертя в механізмі. Протидіючі пристрої виготовляють з пружних металів — олов'яно-цинкової і берилієвої бронзи або платино-срібних і алюмінієвих сплавів.

Заспокоювач необхідний для забезпечення часу заспокоєння жвавої частини приладу, що вимагається. В аналогових приладах застосовують повітряні, магнітоіндукційні або рідинні заспокоювачі.

Повітряний заспокоювач (рис. 2.3) є закритою камерою 1, в якій переміщається легке алюмінієве крило або поршень 2, сполучені з віссю приладу 3. При переміщенні останній між частинами камери створюється

перепад тиску, унаслідок чого відбувається гальмування крила або поршня, сприяюче заспокоєнню жвавої частини приладу. В сучасних аналогових приладах повітряні заспокоювачі застосовуються рідко.

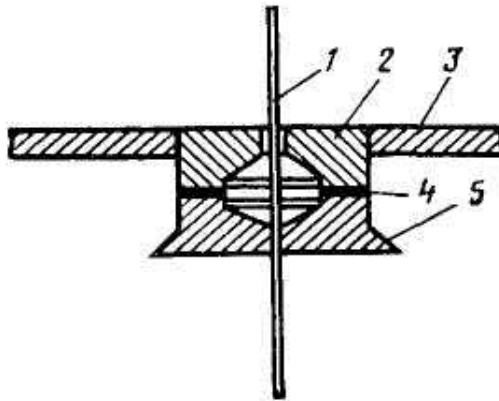


Рис. 2.3. Рідинний заспокоювач

1-вісь; 2-нерухома втулка; 3-панель; 4-рідина; 5-рухома втулка

Магнітоіндукційний заспокоювач (рис. 2.3) складається з постійного магніту 1, між полюсами якого переміщається укріплений на нерухомій частині приладу сердечник 2 з немагнітного матеріалу (або коротко замкнутий провідник). При переміщенні жвавої частини приладу 3 в сердечнику (коротко замкнутому провіднику) індукується струм, який, взаємодіючи з полем постійного магніту, створює заспокійливий момент.

Магнітоіндукційні заспокоювачі прості і зручні в експлуатації. Вони забезпечують краще, ніж повітряні, заспокоєння. Разом з тим застосовувати їх можна тільки в приладах, на магнітні ланцюги яких не робить впливу додаткове магнітне поле заспокоювача.

Рідинні заспокоювачі використовують в'язкі властивості кремнійорганічних рідин. Заспокоювач (рис. 2.3) складається з двох дисків, один з яких укріплений на жвавій частині приладу, а інший — на нерухомій. В зазорі між дисками (не перевищуючому декількох часток міліметра) за рахунок сил поверхневого натягнення утримується полісилоксанова рідина 4. Заспокоєння жвавого диска відбувається за рахунок в'язкості рідини і через тертя між її шарами. Застосування рідинних заспокоювачів дозволяє зменшити масу і габарити аналогових приладів.

Відліковий пристрій аналогового приладу складається з шкали (або декількох шкал) і покажчика. Шкала є частиною відлікового пристрою, представляючи сукупність відміток і проставлених у деяких з них чисел відліку або інших символів, відповідних ряду послідовних значень величини. Характер шкали залежить від виду зв'язку обертаючого моменту з отриманою після перетворення в приладі електричною величиною. Якщо цей зв'язок лінійний, шкала приладу рівномірна, і навпаки, при нелінійному зв'язку шкала нерівномірна (статечна, логарифмічна і ін.). Крім того, шкали виконують нульовими або безнулевими, а залежно від розташування нульової відмітки — симетричними і несиметричними, односторонніми і двосторонніми.

Показчиком відлікового пристрою є частина його конструкції, положення якої щодо відміток шкали визначає свідчення приладу. Показчики розділяють на стрілочні, світлові і цифрові індикатори. Стрілочні показчики виконують у вигляді списа, ножа або нитки. Як світловий показчик застосовують оптичні пристрої, проектуючи світловий промінь за допомогою системи дзеркал на нерухому шкалу приладу. В інтегруючих аналогових приладах застосовують механічні цифрові індикатори, які є роликовим рахунковим механізмом — лічильник оборотів. Особливістю цифрових індикаторів є об'єктивність відліку, але разом з тим для їх роботи потрібна додаткова енергія, що збільшує власне споживання потужності приладом.

Коректор в аналоговому приладі необхідний для установки показчика проти нульової відмітки шкали при вимкненому приладі. Зміни температури, залишкові явища в механізмі приладу можуть привести до зсуву його показчика з нульової відмітки шкали. Ці чинники усувають коректором, виконаним у вигляді повідця, пов'язаного з жвавою частиною механізму.

Аретир дозволяє нерухомо закріпити (або закоротити) нерухому частину приладу при його транспортуванні або монтажі.

5. Магнітоелектричні прилади

Принцип дії магнітоелектричних приладів заснований на взаємодії магнітного потоку постійного магніту і поля контура із струмом. Виникаючий при цьому обертаючий момент повертає жваву частину (катушку або постійний магніт) щодо нерухомої. Конструктивно механізми таких приладів виконують з жвавою катушкою або з жвавим постійним магнітом.

Одне рамкові прилади. Магнітоелектричні прилади з жвавим магнітом мають великий (в порівнянні з приладами з нерухомим магнітом і жвавою катушкою) діапазон вимірювань, малі габарити і невисоку вартість. Однак-невисокі точність і чутливість, а також залежність обертаючого моменту від кута переміщення жвавої **частини** обмежують їх застосування.

Велике розповсюдження унаслідок високої чутливості і точності отримали одне рамкові прилади з жвавою катушкою (із зовнішнім магнітом). Механізм таких приладів складається (рис. 2.4) з постійного магніту 3 з полюсними наконечниками 7, між якими розташований нерухомий сердечник 8 з магнітом'якого матеріалу. Магніт, полюсні

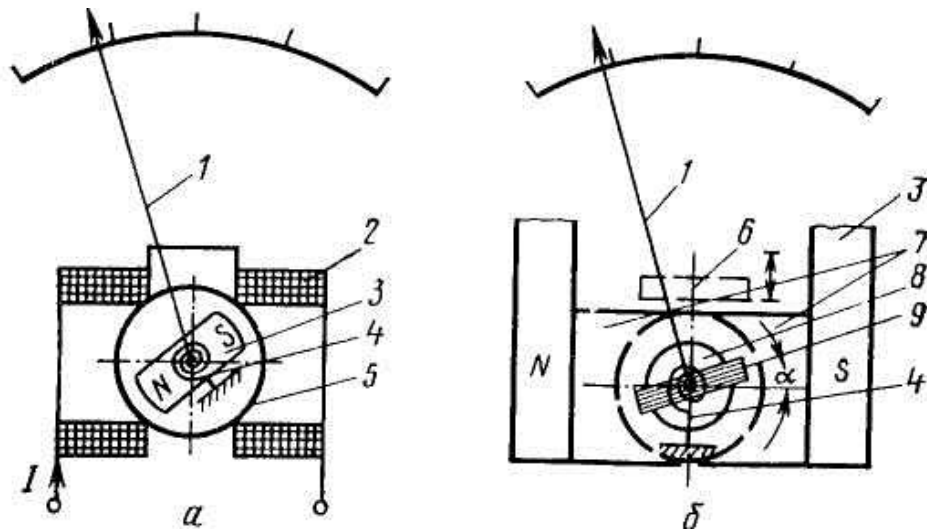


Рис. 2.4. Схема будови магнітоелектричного пристрою

а) з рухомим магнітом; б) з рухомою котушкою

1-стрілка; 2-нерухома котушка; 3-постійний магніт; 4-спіральна пружина; 5-циліндр; 6-шунт; 7-полюсні наконечники; 8-нерухомий сердечник; 9-рухома котушка

наконечники і сердечник необхідні для створення радіального магнітного поля. В просторі між сердечником і полюсними наконечниками поміщається прямокутна жвава котушка 9 з тонкого дроту, іноді намотаного на алюмінієвому каркасі. Струм, що вимірюється, підводиться до котушки через дві спіральні пружини 4, створюючи протидіючий момент. Покажчик (стрілка) 1 і шкала утворюють відліковий пристрій приладу.

Теплові вимірювальні прилади. Основні елементи теплових вимірювальних приладів — термоелектричний перетворювач і магнітоелектричний вимірювальний механізм. Термоелектричний перетворювач складається з провідника, по якому протікає струм, що вимірюється, і термопари. Для виготовлення перетворювача застосовують сплави ніхрому або константану, допускаючи тривалий нагрів під дією протікаючого струму. Термопара є з'єднанням двох різнорідних металів, даючи можливість одержувати термо-

2в

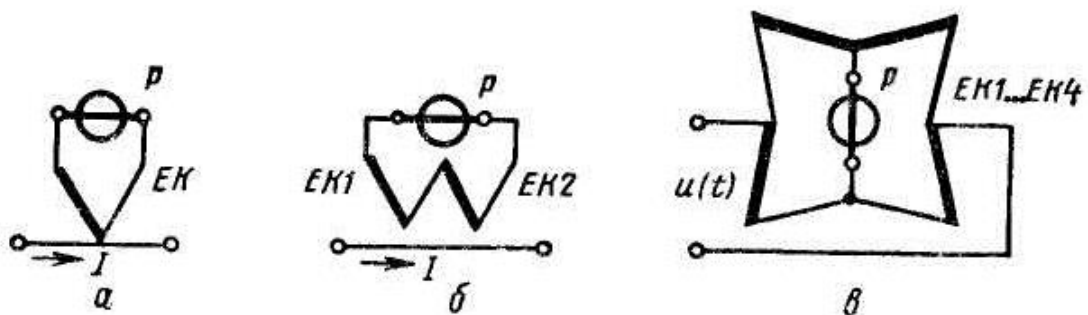


Рис. 2.5. Термоелектричні прилади з контактним (а), безконтактним (б) перетворювачами і з перетворювачем, включеним по мостовій схемі (в)

ЕДС залежно від нагріву. Значення термо-ЕДС, виникаючій під дією протікаючого струму, пропорційно різниці температур сполучених і вільних кінців термопари:

$$E_T = \alpha_T (\theta_{cn} - \theta_{cv})$$

де α_T — температурний коефіцієнт термопари; θ_{cn} і θ_{cv} — температура відповідно сполучених і вільних кінців термопари.

Переміщення жвавої частини (відповідно і показчика) такого приладу пропорційно квадрату сили струму, що вимірюється:

$$a_v = kI^2 \quad (2.1)$$

де k — коефіцієнт, залежний від властивостей термопари і особливостей вимірювального механізму.

Конструктивно термоелектричні перетворювачі виконують контактними, безконтактними або у вигляді термобатарей (послідовне з'єднання декількох термопар). Застосування контактних перетворювачів не дозволяє сполучати їх послідовно для збільшення загальної термо-ЕДС. Послідовне включення безконтактних перетворювачів дає можливість збільшити загальну термо-ЕДС, але при цьому зменшується чутливість приладу. Від цього недоліку вільна мостова схема включення термопар. Схеми термоелектричних перетворювачів вимірювальних приладів показані на рисунку 5.

Для зменшення впливів зовнішньої температури кожен термопару приладу поміщають в скляний балон, з якого викачано повітря. Вакуум зменшує теплопередачу нагрівателя термопарі і дозволяє зменшити потужність, споживану перетворювачем з вимірювального ланцюга.

Достоїнства теплових вимірювальних приладів — висока точність вимірювань у великому частотному діапазоні і незалежність свідчень від форми кривої струму. Недоліки приладу — низькі чутливість і перевантажувальна здатність, велике власне споживання потужності і вплив змін зовнішньої температури.

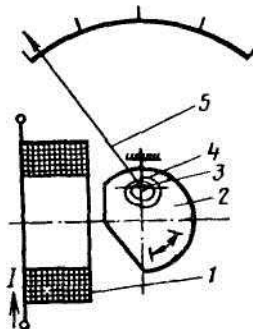


Рис. 2.6. Схема пристрою електромагнітного приладу:

1 - котушка; 2 - сердечник; 3 - вісь; 4 - спіральна пружина; 5 - стрілка

Теплові вимірювальні прилади використовують в основному для вимірювання сили струму і (рідше) напруги в ланцюгах з несинусоїдальною формою струму промислової і підвищеної частот.

6. Електромагнітні прилади

Дія механізмів електромагнітних приладів заснована на взаємодії магнітного поля нерухомої котушки, обтічної струмом, що вимірюється, з одним або декількома жвавими феромагнітними сердечниками. В конструкцію механізму таких приладів входять нерухома кругла або плоска котушка 1 (рис.2.6), феромагнітний сердечник 2, ексцентрично укріплений на осі 3, і пара протидіючих спіральних пружин 4. Стрілочний показчик приладу 5 жорстко є укріплений на осі обертання сердечника. Разом з шкалою стрільця утворює відліковий пристрій приладу. Заспокоєння жвавої частини механізму повітряне або рідинне (заспокоювач на не показаний). Магнітоіндукційні заспокоювачі в механізмах не використовують.

7. Світлопроменеві осцилографи

Світлопромені осцилографи відносяться до реєструючих приладів прямого перетворення, в яких процеси, що змінюються, реєструються за допомогою світлового променя на світлочутливому носії інформації.

Не дивлячись на конструктивні відмінності, всі світлопромені осцилографи складаються з вимірювального механізму (магнітний блок з гальванометрами), оптичного і розгортаючого пристроїв, відмітчика часу і допоміжних пристроїв.

Вимірювальним механізмом світло променевого осцилографа є блок з магнітоелектричними осцилографічними гальванометрами. Жвава частина таких гальванометрів виконана у вигляді рамки або петлі дроту, укріпленої на розтяжках. В більшості сучасних осцилографів застосовуються рамкові гальванометри, жвава частина яких поміщена в нерухомий металевий немагнітний корпус з полюсними наконечниками. Власного постійного магніту гальванометр не має, оскільки його поміщають в простір між полюсними наконечниками постійного магніту, укріпленого в корпусі осцилографа. Конструктивне виконання осцилографічних гальванометрів різне. Воно залежить від виду вживаного заспокоювача. При магнітоіндукційним обмотувальному заспокоєнні момент заспокоєння створюється за рахунок взаємодії поля постійного магніту осцилографа і поля, створюваного струмом, що вимірюється, в рамці гальванометра. При рідинному заспокоєнні корпус гальванометра з поміщеною жвавою частиною заповнюється в'язкою рідиною, наявність якої дає більший ефект, ніж магнітоіндукційне обмотувальне заспокоєння.

Основні вимоги, що пред'являються до осцилографічних гальванометрів, — можливо велика частота власних коливань жвавої частини, висока чутливість до струму і мінімальний габарит. Частота власних коливань і чутливість — найважливіші параметри осцилографічних гальванометрів, визначальні їх динамічні властивості. Твір власної частоти ω_0 на чутливість S для кожного гальванометра.....величина постійна. Вона визначає його

добротність. Якщо власна частота гальванометра менше частоти реєстрованого процесу або рівна їй, виникають динамічні погрішності, обумовлені відставанням жвавої частини гальванометра по амплітуді і фазі від реєстрованого процесу. Тому при виборі осцилографічного гальванометра необхідно урахувати наступне співвідношення між власною частотою гальванометра ω_0 (звичайно приводиться в його паспорті) і частотою реєстрованого сигналу ω_x .

$$\omega_0 = (5 \dots 10) \omega_x \quad (2.2)$$

Якщо параметри вибраного гальванометра відповідають співвідношенню (2.2), але він не підходить по чутливості, використовують шунтуючі або додаткові резистори (для зменшення амплітудних значень реєстрованих сигналів) або підсилювачі (для збільшення амплітуд реєстрованих сигналів).

Оптичний і розгортаючий пристрої світло променевого осцилографа схемно показані на рисунку 2.7. Від джерела гніту промінь через систему лінз 2 потрапляє на дзеркало 6 осцил лографического гальванометра. Основна частина відображеного від дзеркала променя потрапляє на носія інформації 8. Носій поміщений в світлонепроникну камеру з прорізом і переміщається за допомогою стрічкопротяжного механізму, яким обладнана камера. Частина променя, відображеного від дзеркала гальванометра, через дзеркальну призму 7 потрапляє на жвавий дзеркальний барабан 5, а від нього через призму 3 — на матовий екран 4. Ця частина оптичного пристрою осцилографа використовується для отримання розгорненого в часі зображення реєстрованого процесу і для його візуального спостереження. При цьому використовується властивість світлової інерційної («пам'яті») людського ока.

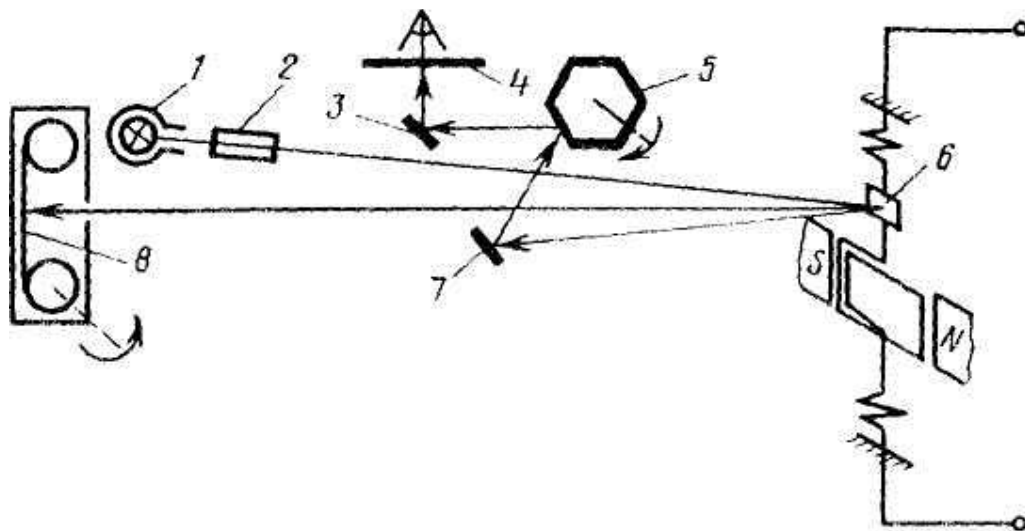


Рис. 2.7. Будова світло променевого осцилографа

1 – джерело світла; 2 - лінза; 3 та 7 – призми; 4 – матовий екран; 5 – дзеркальний барабан; 6-дзеркало осцилографічного гальванометра; 8-касета з носієм інформації

Зображення реєстрованого процесу на матовому екрані осцилографа буде нерухомим, якщо частоти процесу і обертання дзеркального барабана рівні або кратні. Для цього в осцилографі передбачено плавне регулювання частоти обертання барабана.

За відсутності струму в рамці гальванометра відображений від його дзеркала промінь викреслює на переміщуваному носії і матовому екрані пряму лінію. При протіканні по рамці струму, пропорційного реєстрованій величині, вона переміщається разом з дзеркалом і відображений промінь викреслює на носії криву зміни цього струму в часі. Швидкість переміщення носія регулює оператор залежно від частоти реєстрованого процесу, світлової потужності джерела світла і фоточутливості носія інформації. В сучасних світло променевих осцилографах як носії інформації застосовують фотоплівку і два види фотографічних паперів (чутливі до денного і до ультрафіолетового світла), відмінних по чутливості і способу обробки.

Сумісне застосування в світлопроменевих осцилографах високочутливих фотоматеріалів і ртутних джерел світла надвисокого тиску дозволяє реєструвати процеси, що змінюються з частотою до 30 кГц.

Для аналізу інформації, отриманої за допомогою світлопроменевого осцилографа, необхідно знати масштаби амплітуди і часу. Амплітуду зміряної величини визначають по градуировочной характеристиці осцилографа (осцилографічного гальванометра), використовуючи для цього паспортні дані гальванометра. Для визначення масштабу часу зміряної величини на носія інформації при реєстрації наносять відмітки часу. Існуючі для цього пристрою — відмітки часу — бувають електромеханічні (щілисті і вібраційні) і електронні. Менші погрішності мають електронні відмітки.

Масштабними перетворювачами світлопроменевих осцилографів є магазини шунтуючих і додаткових резисторів, вимірювальні трансформатори струму і напруги і підсилювачі. Сучасні осцилографи забезпечуються пристроями для автоматизації вимірювань і дистанційного керування, а їх живлення здійснюється від мережі або автономних джерел. Світлопроменеві осцилографи знайшли широке розповсюдження, особливо для вимірювання неелектричних величин при їх проходженні і випробуваннях сільськогосподарської техніки. Для цього досліджувані параметри заздалегідь перетворюють в електричні величини.

Світлопроменеві осцилограф, що випускається промисловістю, Н145 призначений для одночасної реєстрації 24 процесів, що змінюються з частотою в діапазоні від 0 до 30 кГц. Запис інформації здійснюється від ртутного джерела світла на фотопапір шириною 120 або 200 мм завдовжки 50 м, не вимагаючи хімічної обробки. Відмітки часу наносяться на всю ширину паперу з інтервалами від 10 до 0,01 із з погрішністю, не перевищуючою $\pm 1\%$. Швидкість руху паперу вибирається східчасто від 1 до 20 м/с.