

Використання принципу осцилюючої U-трубки в лабораторних електронних густиномірах

Електронні густиноміри знаходять застосування в багатьох галузях промисловості. Незважаючи на те, що основні елементи та функціонал є однаковим для всіх лабораторних приладів, для кількох основних елементів існують варіанти, як є результатом не тільки різних вимог до застосування, але й різних функціональних можливостей цих пристроїв. Дана стаття присвячена опису базових елементів електронного густиноміра та основних операцій, які він може виконувати.

Схема приладу

Серце сучасного електронного густиноміра - це вимірювальний сенсор (осцилятор), зазвичай U-подібна трубка, в якій збуджуються коливання на характеристичній частоті. Характеристична частота змінюється в залежності від густини зразка, яким заповнена U-трубка. Густина зразка визначається з характеристичної частоти коливань, яку вимірюють дуже точно. В наступних параграфах описано різні типи осциляторів та методи вимірювання на них.

Тип осцилятора (форма вимірювального сенсора)

Існують різні типи осциляторів (сенсорів), вони названі відповідно до напрямку, в якому коливаються: Y-осцилятор, X-осцилятор та W-осцилятор.

Y-осцилятор



Рисунок 1. Y-осцилятор.

Звичайні лабораторні густиноміри працюють за принципом Y-осцилятора (U-трубка). Його вигин рухається вгору і вниз. Ця установка є компактною і дозволяє проводити точне регулювання температури. Найбільш чутливою частиною є вигин U-трубки, тому що амплітуда досягає свого піку саме там. Цей тип осцилятора є дуже чутливим і дозволяє проводити дуже точні вимірювання. Паразитні коливання усувають за допомогою противаги, до якої міцно закріплена U-труба. Противага має гнучке з'єднання з іншою частиною густиноміра і, таким чином, відокремлює коливання U-трубки від будь-яких зовнішніх коливань.

X-осцилятор

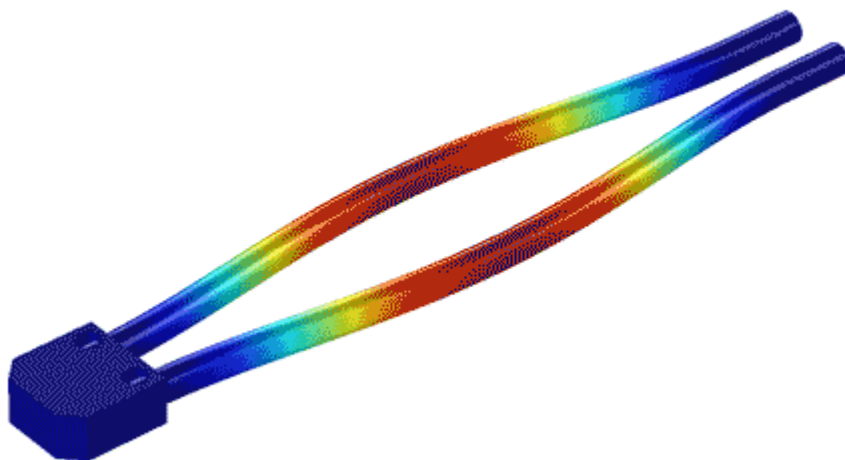


Рисунок 2. X-осцилятор.

X-осцилятор – це U-трубка з зафіксованим вигином (на відміну від Y-осцилятора). Тому рухомі частини це прямі трубки, які рухаються спочатку одна до одної, а потім у протилежних напрямках. Це найбільш чутливі частини даного типу U-трубки.

Характеристична частота X-осцилятора набагато вища, і, таким чином, вплив в'язкості (походить від ефекту амортизації зразка у відповідь на рух U-трубки) є більшим, ніж для інших типів осциляторів.

Проте X-осцилятор слабо піддається механічним коливанням і тому не потребує противаги.

W-осцилятор

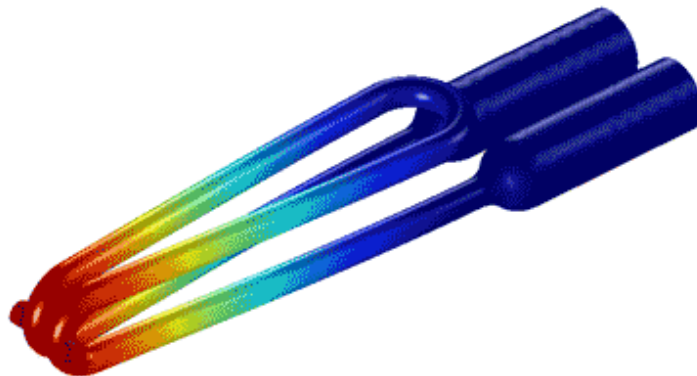


Рисунок 3. W-осцилятор.

W-осцилятор (інша назва: подвійний Y-осцилятор) характеризується наявністю трьох вигинів. Перший і останній вигини коливаються спочатку на зустріч, а потім навпаки, що робить їх найбільш чутливими частинами.

Цей тип осцилятора використовується в інструментах з обмеженою точністю, наприклад, ручні інструменти, які не мають ні противаги, ні системи контролю температури.

Матеріал, з якого виготовлений сенсор

Сенсор (те саме, що і осцилятор або комірка) може бути виготовлений зі скла, наприклад, з боросилікатного скла 3.3, металу або сплаву, в залежності від застосування та необхідної стійкості до зразка або миючих засобів, якими він обробляється. ^[1] Інформація про два найчастіше вживаних матеріали надана нижче.

Скло

Боросилікатне скло 3.3 – найпоширеніший матеріал для лабораторних густиномірів. Найбільш очевидною перевагою вимірювальної комірки зі скла є можливість побачити зразок і, отже, перевірити правильність процесу наповнення (тобто наявність повітряних бульбашок або частинок, які б давали не коректне значення вимірюваної густини). Хімічна стійкість боросилікатного скла є задовільною для багатьох застосувань; проте такі речовини, як плавикова (фтористоводнева) кислота (HF) і сірководень (H_2S) руйнують скляний сенсор і, тому ними не слід заповнювати комірку.

У найбільш точних лабораторних приладах використовуються скляні осцилятори. Це пов'язано з тим, що скло має гарну чутливість через низьку питому вагу та підходящий температурний коефіцієнт.

Вимірювальний сенсор, виготовлений зі скла, часто вкладається в скляний корпус (вимірювальну комірку), який захищає сенсор від впливу навколишнього середовища та

заповнюється спеціальним газом для гарної температуропровідності з метою контролю температури.

Метал (сплав)

Металеві осцилятори або осцилятори з металевих сплавів (наприклад, Хастелой) демонструють високу міцність та здатність протидіяти механічній нарузі. Комірки, виготовлені зі сплавів або металу, також можуть бути використані, якщо потрібно проаналізувати речовини, що руйнують скло, наприклад, плавикову кислоту (HF) або різноманітні основи. Металевий осцилятор характеризується високою міцністю, він витримує високий тиск (до 500 бар) і забезпечує вимірювання в широкому діапазоні температур (від -10 °C до + 200 °C). Комірки, виготовлені з металів або металевих сплавів, використовуються для вимірювання густини в ручному та настільному варіантах густиномірів та у сенсорах для контролю технологічних процесів.

Противага

Для зменшення паразитних резонансів ("зовнішніх коливань") від інших компонент, наприклад, електронних деталей, до вимірювальної трубки приєднують противагу. Вона з'єднується з корпусом густиноміра за допомогою пружних опор і діє як механічний фільтр зовнішніх коливань. Противага має резонансну частоту, яка лежить значно нижче частот, які використовуються для вимірювання густини. Противага також забезпечує незмінне розташування вузлових точок вимірювальної трубки. Об'єм заповнення зразком встановлюється за вузловими точками, тому в залежності від зразка змінюється лише маса досліджуваної системи, а об'єм залишається однаковим. ^[1] При використанні Y-осцилятора, наявність противаги є обов'язковою.

У випадку, коли трубка виготовлена зі скла, наявність вбудованого контрольного осцилятора виключає не тільки довготривалі дрейфи через старіння матеріалу, а й зміни температури, які впливають на еластичність. Отже, контрольний осцилятор дає змогу використовувати лише одне окреме налаштування для охоплення всього діапазону температур і дає змогу виконувати температурне сканування зразка. ^[2]

Контроль температури

Температурна регуляція вимірювальної комірки густиноміра здійснюється за допомогою елементів Пельтьє. Ця новітня технологія прийшла на заміну використанню водних бань. Елементи Пельтьє використовують однойменний ефект – тепловий потік, який виникає за рахунок електричного струму: одна сторона елемента Пельтьє нагрівається, а інша сторона охолоджується в залежності від напрямку струму. ^[3] Таким чином, елементи Пельтьє дозволяють проводити як ефективне нагрівання, так і охолодження вимірювальної комірки, а також забезпечують точне та швидке регулювання температури.

Збудження осцилятора

Для забезпечення електронного збудження датчика може бути використана як система магнітів та котушок, так і п'єзоелементів. Магніти є порівняно недорогими, але їх основний недолік полягає в тому, що вони додають вагу коливальному датчику, що негативно впливає на точність вимірювань. Найточнішим способом збудження датчика є використання п'єзоелементів: кристалів або керамічних матеріалів, які змінюють розмір при пропусканні через них електричного струму. Однак ця технологія вимагає деяких заходів безпеки, пов'язаних з електронними схемами, оскільки вимагає високих напруг.

Детектування та оцінка коливань

Детектування коливань

Оптичні детектори можуть зареєструвати переривання світлового променя мікропокриттям на осциляційній трубці. Потім детектори фіксують період коливань. Ця технологія є дуже точною, простою і доступною.

П'єзоелементи можуть використовуватись для дуже точних вимірювань періоду коливань, якщо п'єзоефект інвертувати. Хоча збудження датчика реалізується шляхом пропускання електричного струму через п'єзоелемент, детектування коливань також є можливим: під дією коливань другий п'єзоелемент періодично піддається стисненню і генерує електричний струм, величина якого дуже точно репрезентує період коливань. Магніти також можна використовувати для вимірювання періоду коливань. Кожного разу, коли магніт проходить повз котушку, індукується невеликий струм, який можна виміряти.

Оцінка коливань

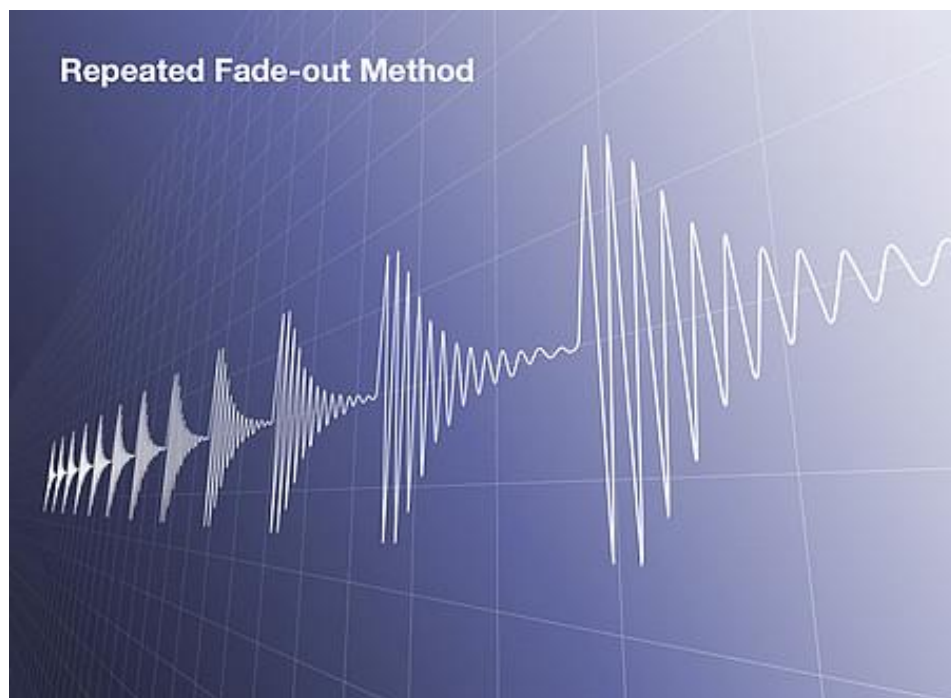


Рисунок 4. Після досягнення стабільних коливань збудження вимикають. Послідовність збуджень та затухань повторюється постійно. Цей запатентований метод повторюваних затухань (Repeated Fade-out Method) ^[4] дозволяє інструменту визначити добротність осцилюючої U-труби таким витонченим способом, що забезпечує

більш глибоке розуміння характеристик зразка в порівнянні з будь-яким іншим методом вимірювань на осцилюючій U-трубці. [5]

Хоча аналогова технологія детектування коливань є надійною і доступною, її точність обмежена. Процесори цифрових сигналів (від англ. digital signal processors – **DSP**) на сьогодні є своєрідним виробом мистецтва в даній області і надають великі переваги над аналоговою технологією. Вони дозволяють навіть визначати втрати енергії, пов'язані з в'язкістю зразка. Це можливо завдяки одночасному визначенню не тільки характеристичної частоти, а й її першої гармоніки та добротності.

Постійні коливання

Оцінка коливань здійснюється за допомогою постійних коливань вимірювальної комірки на характеристичній частоті. Записуючи ці постійні коливання, можна виміряти не тільки частоту коливань, а й загасання.

Метод повторюваних затухань

Останні розробки для оцінки коливань U-подібної трубки включають переривання на характеристичній частоті, що призводить до природного затухання коливань. Ця процедура постійно повторюється й дозволяє оцінити поведінку згасаючих коливань. Серія значень, які вимірюються одночасно, дає додаткові переваги, які проявляються не тільки в кращому вимірюванні та корекції в'язкості, але і в кращій відтворюваності результатів вимірювання густини та поліпшенні виявлення неоднорідностей у зразку (наприклад, бульбашок газу). Крім того, дана технологія дозволяє контролювати стан вимірювальної комірки. [4]

Основні кроки для отримання правильних і точних результатів

Принцип вимірювання коливальних густиномірів базується на наявності кореляції між густиною ρ рідини, яка вимірюється, та її періодом коливання τ (обернена частота коливань f), що описується формулою:

$$\rho = A\tau^2 - B$$

Рівняння 1. Густина зразка ρ може бути розрахована, використовуючи константи приладу (A та B) та виміряний період коливань τ

Константи приладу (апаратні константи) та їх корегування

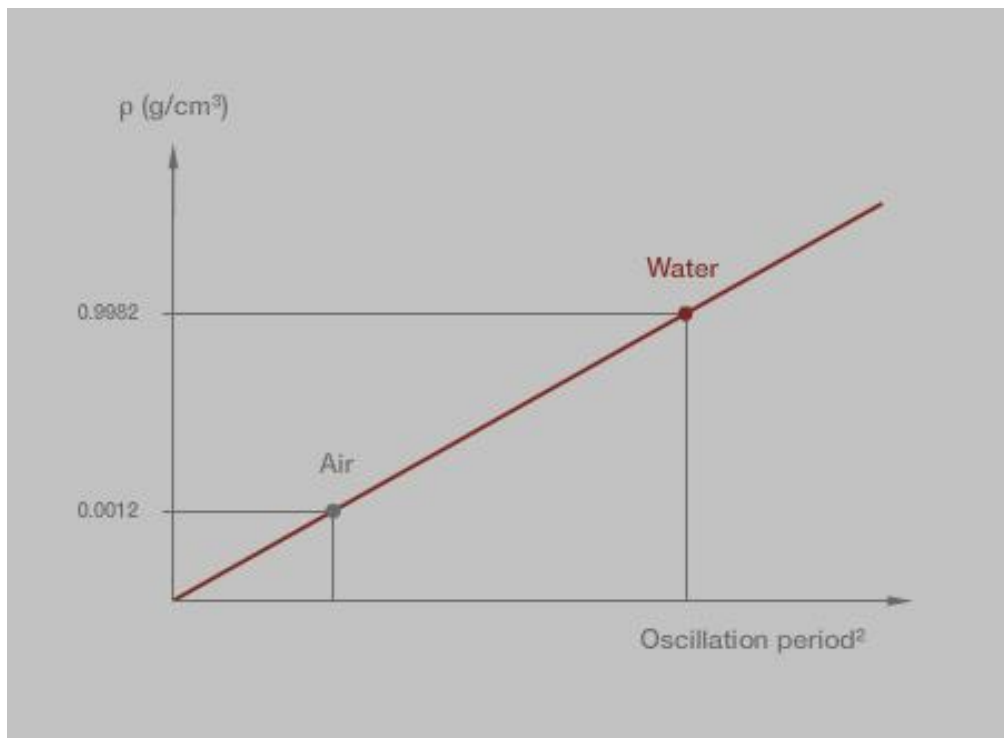


Рисунок 5. Принцип вимірювання.

Для визначення констант приладу А та В з відповідних значень частоти комірку необхідно заповнити щонайменше двома еталонними рідинами з відомою густиною. Константи приладу враховують об'єм комірки, її масу, а також коефіцієнт жорсткості. [6]

Налаштування констант приладу густиноміра називають корегуванням. Корегування – це операція приведення приладу (в тому числі густиноміра) в стан придатності до використання шляхом встановлення або налаштування констант приладу. Систематичні вимірювальні відхилення видаляються в залежності від необхідної точності у конкретному випадку застосування. [2]

Під час корегування зазвичай вимірюються два зразка (рис. 5), наприклад сухе повітря та чиста (наприклад, двічі очищена) дегазована вода. Знаючи густини контрольних зразків, можна зв'язати значення густини з певним періодом коливань та побудувати лінійну залежність між густиною та періодом коливань. Виходячи з цього співвідношення, невідомі густини різних зразків можуть бути визначені, вимірюючи їх період коливань.

Калібрування

Калібрування - це набір операцій для встановлення зв'язку між густиною контрольного зразка та відповідним показником густини контрольного зразка, виміряним за допомогою приладу. При калібруванні ніякі втручання, які безповоротно модифікують інструмент, не проводяться. [2]

Калібрування проводиться для перевірки якості вимірів та коригування.

Як в'язкість впливає на вимірювання густини

Частота коливань, яка отримується, залежить не тільки від густини досліджуваного зразка, але і від його в'язкості. Через коливання трубки виникають зсувні сили (тертя), які діють між досліджуваною рідиною та стінками трубки, що призводить до амортизації коливань. Амортизація підвищується зі збільшенням в'язкості зразка, що призводить до завищеного значення густини (отримане значення густини є занадто високим). [7] Сучасні густиноміри компенсують цей ефект і автоматично виконують корекцію в'язкості за допомогою спеціальної методики, в якій застосовуються два різних режими коливань. [2] Після того, як амортизація вимірюється в основному та в першому гармонічному коливанні, в'язкість інтерпретується та оцінюється за допомогою калібрувальної кривої.

Підсумки

Хоча принцип роботи електронних густиномірів завжди є однаковим, налаштування, основні технології та елементи відрізняються й дозволяють охоплювати велику різноманітність сфер застосування та задовольнити різні вимоги щодо вимірювань зразка. Сучасні густиноміри забезпечують велику зручність у порівнянні зі старим обладнанням (наприклад, корекцію в'язкості, мають контрольний осцилятор) або традиційними методами вимірювання.

Посилання

1. EN ISO 15212-1: 1999 Oscillation-type density meters – Part 1: Laboratory instruments
2. Fritz et al. Applications of densimetry, ultrasonic speed measurements, and ultra low shear viscosimetry to aqueous fluids. J. of Phys.Chem. B Vol 104, No 15, 3463–3470, 2000
3. www.researchgate.net/publication/262179901_Peltier_Effect_in_Semiconductors (last visited 26.03.2018)
4. AT 516420 (B1)
5. Anton Paar DMA™ 4100 M, 4500 M, 5000 M Reference Guide, instrument software version: from 2.93 (XDLIB016EN-B), 2018
6. H. Fehlauer and H. Wolf Density reference liquids certified by the Physikalisch-Technische Bundesanstalt Meas.Sci.Technol. 17 (2006) 2588–2592
7. ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/Instrumentacion%20Industrial/Instrument_Engineers__Handbook_-_Process_Measurement_and_Analysis/Instrument%20Engineers%27%20Handbook%20-%20Process%20Measurement%20and%20Analysis/1083ch6_8.pdf (last visited 12.12.2017)



Ексклюзивний дистриб'ютор Anton Paar GmbH в Україні та Молдові

Донау Лаб Україна
вул. Стратегічне шосе, 16,
оф. 301
03028
www.dlu.com.ua

Телефон +38 (044) 229 15 31
Факс +38 (044) 229 15 30
e-mail sale@dlu.com.ua