

ПРОБЛЕМИ ВИМІРЮВАНЬ У НАРОДНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

УДК 53.087.92; 378.147.88

ФІРМА “IFM ELECTRONIC” – НОВИЙ ПАРТНЕР КАФЕДРИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

© Машкова Каміла, Ришковський Олександр, Петровська Ірина, 2017

ІФМ “Електронік”, ВАТ, вул. Расковой, 11, Київ, Україна
Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Наведено короткий історичний огляд становлення фірми “IFM Electronic”, стисло подано номенклатуру продукції, яку вона випускає сьогодні. Описано деякі типи сенсорів, які випускає фірма. З використанням наданих сенсорів створено дев'ять лабораторних макетів в найсучаснішій навчально-дослідницької лабораторії первинних перетворювачів фізичних величин (сенсорів), які дадуть змогу унаочнити і покращити вивчення дисциплін “Методи та засоби вимірювання неелектричних величин і “Первинні вимірювальні перетворювачі”, ознайомити студентів напряму “Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології” із сучасними високоточними сенсорами і широким діапазоном їх використання.

Ключові слова: первинний перетворювач, сенсор, вимірювання, лабораторний макет

Осуществлен краткий исторический обзор становления фирмы “IFM Electronic”, кратко представлена номенклатура, которую она выпускает сегодня. Описаны некоторые типы сенсоров, выпускаемых фирмой. С использованием предоставленных сенсоров создано девять лабораторных макетов в современной учебно-исследовательской лаборатории первичных преобразователей физических величин (сенсоров), которые позволят сделать наглядно и улучшить изучения дисциплин “Методы и средства измерения неэлектрических величин и “Первичные измерительные преобразователи”, ознакомит студентов направления “Метрология и информационно-измерительные технологии” с современными высокоточными сенсорами и широким диапазоном их использования.

Ключевые слова: первичный преобразователь, сенсор, измерения, лабораторный макет.

Cathedra “Information and measurement technologies” of Lviv Polytechnic National University raises a preparation of specialists in measuring technology and metrology to a new level with a support from “IFM Electronic” – a leading company in development and production of non-electric quantities sensors and automatization elements in Europe. IFM Electronic from the moment of its establishment is continuously growing and developing. Today in the range of products manufactured by it, there are more than eight thousand items, including: contactless inductive position and approximation sensors IFM Electronic; magnetic cylinder sensors; capacitive approximation and level sensors; sensors of flow of liquids and gases; electronic temperature sensors; objects recognition sensors; contactless optical sensors IFM Electronic (including standard optical approximation sensors, optical sensors with fiber optics, contrast labeled sensors, laser rangefinders); corner encoders (angular displacement sensors); pressure sensors (with ceramic membrane for food production and general industry IFM Elektronik) – pride of the company IFM Electronic; sensors for a safety during production; levels and limit level sensors; diagnostic systems (vibration sensors for control and prevention of wearing); sensors and accessories As-is; radio identification RFID; power supplies; and also accessories and connectors. Particularly noteworthy is the special software IO-Link, that is developed by company. This software is intended for work with practically whole range of sensors. It allows not only to program measurement ranges, resolution, precision and so on, but also visualize the results of measurements and send them for further processing.

Some types of sensors manufactured by IFM Electronic today, in particular liquid level sensors of the type LR300 and LMT, are intended for measurement of water level and water-based lubricating liquids; fluid flow sensors of the type SA5000, that uses calorimetric method, of type SV4204, that uses whirlwind principle, of type SM6000, that uses electromagnetic principle, of type SI5000, that uses calorimetric principle. There also are vibration sensors of the type VNB001, which uses capacitive principle (MEMS accelerometer) and which measures the average vibration velocity. Also a tilt angle sensor of the type JN2200, the operating principle of which is a two-axis integrated accelerometer, executed on the basis of MEMS-technology. Measuring linear acceleration converters are used to measure the angles of inclination of bodies, forces of inertia, shock loads and vibrations. Also a distance measuring sensor of the type OID1100, the principle of its work – measuring the passage time of a light beam. Also a pressure measuring sensor of the type PN2096, the principle of its work is a ceramic capacitive accelerometer (MEMS). Also an inductive sensor of the type IM5141, principle of its work is inductive. Also an objects recognition sensor of the type O3D302, principle of its work is measuring the passage time of a light beam. The sensor illuminates the object with the help of an internal source of infrared light and calculates the distance with light reflected from the surface. Programming of the sensor is carried out with the help of IO-Link software.

To date, 9 laboratory models with use of IFM Electronic sensors have been created at the cathedra of “Information and measurement technologies”. First laboratory model is intended for analysis and study of the principles of operation and measuring flow rates using sensors such as SA5000, SV4204, SM6000, SI5000. Second laboratory model shows abilities of turning angle sensor (inclinometer) of type JN2200. Third laboratory model is intended for work with thermoresistive temperature sensors of type TD2241. Fourth laboratory model is intended to work with laser distance measuring sensors of type OID100. Fifth laboratory model allows to study the measurement of the level of matter with help of LR3000 and LMT sensors. Sixth laboratory model allows to study the vibration of object with help of vibration sensor of type VNB001. Seventh laboratory model demonstrates the capabilities of optical 2D and 3D sensors, namely the sensor of type O3D302. Eighth laboratory model allows to make measurements of high temperatures with help of an infrared temperature sensor of type ... Ninth laboratory model allows to measure the speed and frequency of engine rotation with use of RUP500 sensor.

Key words: *primary converter, sensor, measurement, laboratory model.*

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету “Львівська політехніка” переводить на новий рівень підготовку спеціалістів з вимірювальної техніки і метрології за підтримки фірми “IFM Electronic” – провідної компанії з розроблення і виробництва сенсорів неелектричних величин і елементів автоматизації в Європі.

Історична довідка. Фірма “IFM Electronic” розпочала свою історію 1969 р. у Німеччині (м. Ессен) як сімейне підприємство. Засновниками компанії – Robert Buck і Gerdt Marhofer [1-3]. Сьогодні фірму очолюють голова правління Martin Buck і виконавчий директор Michael Marhofer, компанія нараховує 6000 працівників у 70 країнах світу і є одним зі світових промислових лідерів виробництва засобів автоматизації і вимірювальної техніки. Річний оборот фірми становив в 2016 р. 775 млн євро. Фірма досягла успіхів завдяки своїй політиці щодо працівників і клієнтів. У різних філіалах обслуговують клієнтів понад 1300 висококваліфікованих спеціалістів, які надають підтримку клієнтам у всьому світі. Більше ніж 600 науковців,

інженерів і техніків працює у відділі досліджень і розробок. Тісно співпрацюючи з науково-дослідними установами і університетами у пошуку рішень, що відповідають вимогам сучасного ринку і найближчого майбутнього, компанія отримала понад 600 патентів на свої винаходи. Основні виробничі потужності компанії розташовані в районі Боденського озера (Німеччина), де виготовляється близько 88 % продукції компанії, а частина виробництва розміщена в Азії та США. Це дає змогу оперативного реагувати на потреби регіональних ринків. Для забезпечення високих стандартів якості компанія “IFM Electronic” постійно навчає своїх іноземних працівників у Німеччині. Продукція фірми IFM продається в усьому світі [1, 2].

Сучасна номенклатура продукції “IFM Electronic”. Продукцію, яку сьогодні випускає фірма “IFM Electronic”, можна розділити на такі групи [1–5]:

Сенсори позиціонування і виявлення об’єктів:

- індуктивні сенсори;
- ємнісні сенсори;
- магнітні сенсори;



- сенсори циліндрів;
- фотоелектричні сенсори для стандартних застосувань;
- фотоелектричні вилочні сенсори/кутові сенсори;
- лазерні сенсори/сенсори вимірювання відстані;
- оптоволоконні сенсори;
- фотоелектричні сенсори для спеціальних застосувань;
- сенсори зворотного зв'язку для запірно-регулювальних приводів;

• комутувальні підсилювачі.

Сенсори контролю кутових і лінійних переміщень:

- енкодер;
- сенсор швидкості;
- сенсор кута нахилу;
- системи оцінки імпульсів;
- системи технічного зору;
- 2d-сенсори;
- 3d-сенсори;
- 3d-камери;
- зовнішні пристрої підсвічування.

Промислова безпека:

- індуктивні сенсори безпеки;
- світлові завіси безпеки;
- багатопроменеві бар'єри безпеки;
- реле безпеки;
- контролери безпеки;
- компоненти систем безпеки з інтерфейсом as "safety at work".

Сенсори фізичних величин/сенсори для запірно-регулювальної арматури:

- сенсори тиску;
- вакуумні сенсори;
- сенсори потоку/витратоміри;
- сенсори рівня;
- сенсори температури;
- пристрої оцінки сигналів;
- сенсори зворотного зв'язку для запірно-регулювальних приводів.

ПЛК та промислові мережеві інтерфейси:

- ПЛК/шлюзи з інтерфейсом AS;
- джерела живлення для інтерфейсу AS/пристрої контролю землі;
- модулі введення/виведення з інтерфейсом AS;
- пневмоострови з інтерфейсом AS;
- сенсори з інтерфейсом AS;
- сенсори з інтерфейсом AS для запірно-регулювальних приводів;
- технічні засоби для збільшення довжини сегмента мережі AS;

• компоненти систем безпеки з інтерфейсом AS "Safety at Work";

• компоненти Fieldbus;

• компоненти IO-Link.

Системи ідентифікації:

- RFID 125 кГц;
- RFID 13.56 МГц;
- RFID UHF;
- транспондери RFID;
- зчитувачі 1D/2D штрихкодів.

Системи моніторингу та діагностики:

- системи вібродіагностики;
- витратоміри стисненого повітря;
- витратоміри води;
- сенсори контролю якості масла.

Компоненти для систем управління та автоматизації рухомої техніки:

- контролери початкового рівня;
- контролери верхнього рівня;
- модулі введення/виведення;
- діалогові модулі/дисплеї;
- відеокамери для рухомої техніки;
- компоненти для діагностики та сервісного обслуговування;

- перетворювачі сигналу.

Промислові з'єднання:

- кабельні роз'єми типу "мама";
- кабельні роз'єми типу "тато";
- джамперні кабелі;
- розподільні коробки;
- вбудовувані роз'єми типу "мама";
- вбудовувані роз'єми типу "тато";
- Y-подібні розподільники;
- роз'єми COMBICON.

Блоки живлення/аксесуари:

- блоки живлення;
- основні монтажні пристосування;
- модульні монтажні системи;
- аксесуари для фотоелектричних датчиків;
- аксесуари для магнітних датчиків;
- аксесуари для датчиків циліндрів;
- аксесуари для запірно-регулювальної арматури;
- аксесуари для інтерфейсу AS;
- аксесуари для систем управління і автоматизації;
- аксесуари для систем ідентифікації.

З моменту утворення фірма IFM Electronic безперервно зростає і розвивається, і сьогодні в номенклатурі продукції, що вона випускає, налічується понад вісім тисяч найменувань, серед них: безконтактні індуктивні сенсори положення і наближення IFM Electronic; магнітні сенсори циліндрів; емнісні сенсори наближення і рівня; сенсори потоку, витрати рідин і газів; електронні сенсори температури; системи розпізнавання об'єктів; безконтактні оптичні сенсори IFM Electronic (серед них стандартні оптичні сенсори наближення, оптичні сенсори з волоконною оптикою, сенсори контрастних міток, лазерні віддалеміри); кутові енкодера (сенсори кутових переміщень); сенсори тиску

(з керамічною мембраною для харчового виробництва і загальнопромислової IFM Electronic) – особлива гордість компанії IFM Electronic; сенсори для забезпечення безпеки на виробництві; рівнеміри і сенсори граничного рівня; системи діагностики (сенсори вібрації для контролю і запобігання зношенню); сенсори і приладдя As-i; системи ідентифікації за радіоміткою RFID; джерела живлення; а також аксесуари і роз'єми.

Особливо відзначимо спеціальне програмне забезпечення IO-Link, розроблене фірмою, яке призначене для роботи практично з усією номенклатурою сенсорів. Програмне забезпечення дає змогу не тільки програмувати сенсори, задаючи необхідні діапазони вимірювання, роздільну здатність, точність тощо, але й візуалізувати результати вимірювання і передавати їх для подальшого оброблення.

IFM Electronic – одна з небагатьох компаній, використовуючи обладнання якої, можна повністю автоматизувати виробництво/технологічний процес.

Відрізняє фірму IFM Electronic і щонайширший асортимент сенсорів, спеціально виготовлених і спроектованих для застосування у харчовій промисловості. Практично всі сенсори IFM Electronic виробляють на заводах у Німеччині. Компанія IFM Electronic величезного значення надає науково-технічній дослідницькій роботі, що проявляється у нових інноваційних продуктах, які постійно оновлюються. Устаткування IFM Electronic регулярно завойовує міжнародні престижні винагороди у сфері інженерії за свої оригінальні технічні рішення.

Вибираючи сенсори IFM Electronic, варто звернути увагу на роз'єми, що поставляються, і кабелі власного виробництва. Роз'єми і кабелі виробництва IFM Electronic дають змогу отримати надійне з'єднання й електричне підключення навіть у важких умовах експлуатації в харчовій і хімічній промисловостях.

Деякі типи сенсорів, які випускає сьогодні компанія IFM Electronic*Сенсори рівня рідини*

На рис. 1, а подано зовнішній вигляд емнісного сенсора рівня рідини LR300, принцип побудови якого полягає у поширенні хвильоводом (стрижнем з нержавіючої сталі) електромагнітного імпульсу. На границі рідини частина імпульсу відбивається в зворотному напрямку. Цей сенсор призначений для вимірювання рівня води, мастильно-охолоджувальних рідин на водяній основі.



Рис. 1. Зовнішній вигляд сенсорів рівня рідини виробництва IFM Electronic:
а – типу LR300; б – типу LMT

Fig. 1. Appearance of liquid level sensors manufactured by IFM Electronic:
а – type LR300; б – type LMT

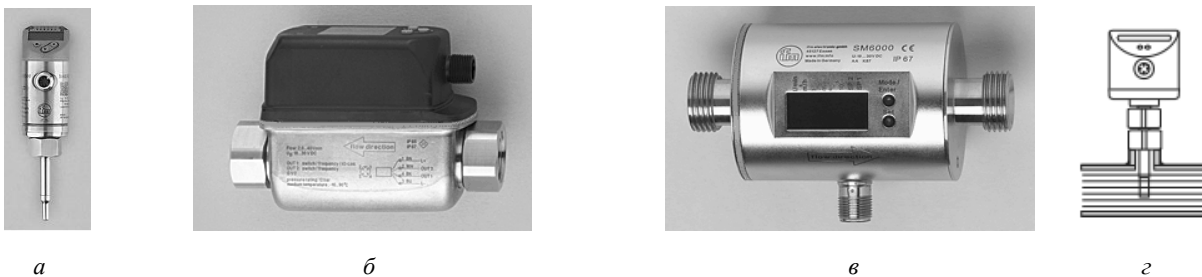


Рис. 2. Зовнішній вигляд сенсорів потоку рідини виробництва IFM Electronic:
а – типу SA5000; б – типу SV4204; в – типу SM6000; г – типу SI5000

Fig. 2. Appearance of liquid flow sensors manufactured by IFM Electronic:
а – type SA5000; б – type SV4204; в – type SM6000; г – type SI5000

На рис. 1, б наведено зовнішній вигляд бінарного сенсора рівня LMT, принцип роботи якого – імпедансна спектроскопія. Оцінюється електричний опір середовища в частотному діапазоні 50 і 200 МГц.

Сенсори потоку рідини

На рис. 2, а подано зовнішній вигляд сенсора потоку рідини SA5000, який використовує калориметричний метод. Діапазон вимірювання швидкості потоків: рідини – 0,05–3 м/с, газу – 2100 м/с. Похибка вимірювання – $\pm 7\%$. Діапазон вимірювання температури – $-20+90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Принцип роботи сенсора потоку рідини типу SV4204 (рис. 2, б) – вихровий. Діапазон вимірювання: витрат – 1–20 л/хв, температури – $-10-90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Основна похибка вимірювання (у відсотках від діапазону) – $\pm 2\%$.

Принцип роботи сенсора потоку рідини типу SM6000 (рис. 2, в) – електромагнітний, оснований на явищі електромагнітної індукції Фарадея. Діапазони вимірювання: витрат – 0–25 л/хв., температури – $-10-90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Основна похибка вимірювання – $\pm 2,5\%$.

Принцип роботи сенсора потоку рідини типу SI5000 (рис. 2, г) – калориметричний. Він призначений для контролю потоків рідких та газоподібних середовищ.

Сенсор вібрації

На рис. 3 подано зовнішній вигляд сенсора вібрації типу VNB001, принцип роботи якого – ємнісний (MEMS акселерометр). Сенсор вимірює середню швидкість вібрації. Діапазон вимірювання – 0–500 м/с. Частотний діапазон – 2–1000 Гц. Похибка вимірювання – $\pm 3\%$. Він має аналоговий та цифровий виходи.

Рис. 3. Зовнішній вигляд сенсора вібрації типу VNB001

Fig. 3. Appearance of vibration sensor of type VNB001



Сенсор кута нахилу

На рис. 4 подано зовнішній вигляд сенсора кута нахилу типу JN2200. Його принцип роботи – двовісний інтегральний акселерометр, виконаний на основі MEMS-технології. Вимірвальні перетворювачі лінійного прискорення використовують для вимірювання кутів нахилу тіл, сил інерції, ударних навантажень і

вібрації. Діапазон вимірювання – $\pm 180^\circ$. Похибка вимірювання – $\leq \pm 0,5^\circ$. Відтворюваність показів – $\leq \pm 0,1^\circ$. Роздільна здатність – $0,05^\circ$. Інтерфейс IO-Link. Функція самоконтролю.



Рис. 4. Зовнішній вигляд сенсора кута нахилу типу JN2200

Fig. 4. Appearance of tilt angle sensor of type JN2200

Сенсор вимірювання відстані

На рис. 5 подано зовнішній вигляд лазерного сенсора вимірювання відстані типу O1D100. Принцип його роботи – вимірювання часу проходження світлового променя. Діапазон вимірювання – 0,2–10 м (для білої поверхні 200×200 мм, відбиття 90 %).

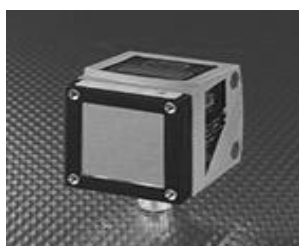


Рис. 5. Зовнішній вигляд сенсора вимірювання відстані типу O1D100

Fig. 5. Appearance of distance measuring sensor of type O1D100

Сенсор вимірювання тиску

На рис. 6 наведено зовнішній вигляд сенсора вимірювання тиску типу PN2096. Принцип його роботи – керамічний ємнісний акселерометр (MEMS). Діапазон вимірювання: – 0,125–2,5 бар / –1,8–36,25 psi / –12,5–250 кПа. Гістерезис $< \pm 0,1$. Повторюваність показів $< \pm 0,1$. Часова стабільність $< \pm 0,05$.



Рис. 6. Зовнішній вигляд сенсора вимірювання тиску типу PN2096

Fig. 6. Appearance of pressure measuring sensor of type PN2096

Індуктивний сенсор

На рис. 7 подано зовнішній вигляд індуктивного сенсора типу IM5141. Принцип його роботи – індуктивний. Робоча зона – 1–26 мм; робоча напруга –

15–30 В. Споживання струму – < 20 мА. Повторюваність показів ± 2 %. Аналоговий вихід – 4–20 мА.

Рис. 7. Зовнішній вигляд індуктивного сенсора типу IM5141

Fig. 7. Appearance of inductive sensor of type IM5141



Сенсор розпізнавання об'єктів

На рис. 8 подано зовнішній вигляд сенсора розпізнавання об'єктів типу O3D302. Принцип його роботи – вимірювання часу проходження променя. Сенсор освітлює об'єкт за допомогою внутрішнього джерела інфрачервоного світла й розраховує відстань за допомогою світла, відбитого від поверхні. Програмування сенсора здійснюється за допомогою програмного забезпечення IO-Link. Робоча відстань спрацьовування – 300–8000 мм. Максимальний діапазон вимірювання – 30 м. Кут огляду: $60^\circ \times 45^\circ$. Роздільна здатність: 176×132 піксель. Максимальна частота опитування зображення – 25 Гц.

Рис. 8. Зовнішній вигляд сенсора розпізнавання об'єктів типу O3D302

Fig. 8. Appearance of objects recognition sensor of type O3D302



Інфрачервоний сенсор вимірювання температури

На рис. 9 наведено зовнішній вигляд інфрачервоного сенсора вимірювання температури. Програмування сенсора здійснюється за допомогою програмного забезпечення IO-Link. Сенсор контролює (вимірює) температуру дуже гарячих об'єктів або об'єктів у важкодоступних місцях. Сенсор безконтактно визначає інфрачервоне випромінювання об'єктів, перетворює його на електричний сигнал і відображає на цифровому індикаторі виміряне значення температури. Окрім того видає аналоговий вихідний сигнал 4–20 мА. Випромінювальна здатність залежить від матеріалу об'єкта та його поверхні. Для отримання точних результатів вимірювання коефіцієнт випромінювання об'єкта необхідно запрограмувати на сенсорі. Діапазон вимірювання: 0–999,5 °C (32–1831 °F). Точність: $< \pm 1$ % виміряного значення температури, але не менше за 2 К (рівень випромінювання = 1, T = 23 °C).

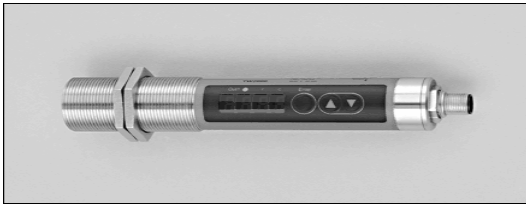


Рис. 9. Зовнішній вигляд інфрачервоного сенсора вимірювання температури TW2000

Fig. 9. Appearance of infrared temperature measuring sensor

Мета роботи. Використання сенсорів виробництва IFM Electronic у навчальному процесі в новоствореній лабораторії первинних перетворювачів фізичних величин на кафедрі ІВТ Львівської політехніки.

Результати використання сенсорів виробництва IFM Electronic у лабораторії первинних перетворювачів фізичних величин на кафедрі інформа-

Лабораторна робота № 1 (рис. 10) призначена для аналізу, вивчення принципів роботи і вимірювання витрат і швидкості потоку рідини. Використовуються сенсори SA5000, SV4204, SM6000, SI5000, функціонування яких ґрунтується на різних фізичних ефектах. В результаті виконання лабораторної роботи студенти зможуть здійснити вимірювання швидкості руху рідини в трубопроводі, порівняти результати вимірювання, одержані на сенсорах, побудованих на різноманітних фізичних ефектах.

Лабораторна робота № 2 (рис. 11) показує можливість сенсора кута повороту (інклінометра). Використано сенсор типу JN2200. В результаті виконання лабораторної роботи студенти зможуть виміряти кут повороту об'єкта в двох площинах ($\pm 180^\circ$), порівняти результати вимірювання з показами, наприклад, транспортера.

Налаштування технічних параметрів, діапазону вимірювання сенсора і виведення результатів вимірювання здійснюється за допомогою програмного забезпечення IO-Link і персонального комп'ютера. Окрім цього, вихідний сигнал може бути поданий в аналоговій уніфікованій формі 4–20 мА.

ційно-вимірювальних технологій Національного університету “Львівська політехніка”. На кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій Інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології Львівської політехніки завершується облаштування спеціальної навчально-дослідницької лабораторії первинних перетворювачів фізичних величин.

Всесвітньовідома фірма IFM Electronic (Німеччина) разом з громадською благодійною організацією Н.О.Р.Е. – we help children e.V. (Німеччина) безоплатно передали кафедрі ІВТ низку найсучасніших промислових сенсорів і спеціального програмного забезпечення IO-Link. Забезпечено всі умови студентам для вивчення фізичних засад функціонування та набуття практичних навичок роботи з сенсорами.

Вже створено дев'ять лабораторних макетів з використанням сенсорів IFM Electronic



Рис. 10. Лабораторний макет № 1

Fig. 10. Laboratory model № 1



Рис. 11. Лабораторний макет № 2

Fig. 11. Laboratory model № 2

Лабораторна робота № 3 (рис. 12) призначена для роботи з терморезистивними сенсорами температури. Використано сенсори типу **TD2241**. Лабораторний макет спроектовано так, що студент знімає покази інтелектуального сенсора температури до нагрівача, який встановлено всередині трубопроводу, через який прокачується повітря, і покази аналогового сенсора, розташованого на деякій відстані після нагрівача.

У результаті виконання лабораторної роботи студенти зможуть не тільки здобути навички вимірювання температури, але й за відповідної теоретичної підготовки розрахувати швидкість руху повітряного потоку в трубопроводі.



Рис. 12. Лабораторний макет № 3

Fig. 12. Laboratory model № 3

Лабораторна робота № 4 (рис. 13) призначена для роботи з лазерними сенсорами вимірювання відстані. Використано сенсори типу **O1D100** і **O1D250**. У результаті виконання лабораторної роботи студенти: ознайомляться з принципом роботи лазерних сенсорів вимірювання відстані; вимірюють відстані, переміщуючи досліджувану поверхню за допомогою мікрометричного гвинта; здійснюють відлік показів вимірювання сенсором, що обладнаний цифровим індикатором і сенсором без цифрового індикатора, порівнюють результати виконаних вимірювань.



Рис. 13. Лабораторний макет № 4

Fig. 13. Laboratory model № 4

Лабораторна робота № 5 (рис. 14) дає змогу досліджувати вимірювання рівня речовини за допомогою сенсорів рівня.

Використано сенсори типу **LR3000** і **LMT**. В результаті виконання лабораторної роботи студенти зможуть здійснювати вимірювання, змінюючи рівень рідини в резервуарі, порівнюють результати вимірювання з показами зовнішнього показника рівня і оцінюють похибку вимірювання.



Рис. 14. Лабораторний макет № 5

Fig. 14. Laboratory model № 5

Лабораторна робота № 6 (рис. 15) дає можливість досліджувати вібрацію об'єкта за допомогою сенсора вібрації **VNB001**.

У результаті виконання лабораторної роботи студенти вимірюють рівень вібрації об'єкта (електричного двигуна), частотний діапазон вібрації на різних швидкостях обертання двигуна. Оцінюють похибку вимірювання.



Рис. 15. Лабораторний макет № 6

Fig. 15. Laboratory model № 6

Лабораторна робота № 7 (рис. 16) демонструє можливості оптичних 2D і 3D сенсорів. Використано сенсори типу **O2D220** і **O3D302**. У результаті виконання лабораторної роботи студенти ознайомлюються з принципом роботи оптичних 2D і 3D сенсорів. Оцінюють можливості використання сенсорів, наприклад, для відбракування дефектних деталей. Здійснюють вимірювання, оцінюють похибки. Лабораторна робота потребує використання програмного забезпечення IO-Link. Для проведення лабораторної роботи потрібно дві пари.

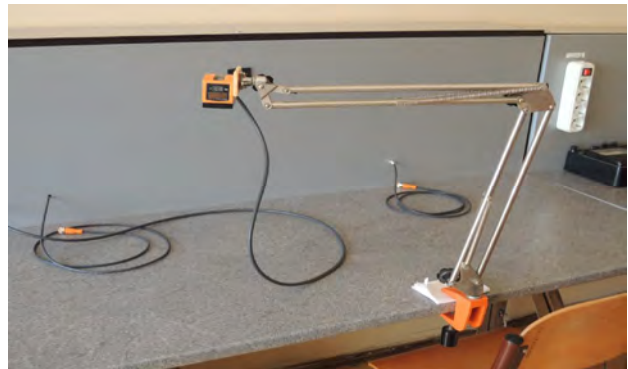


Рис. 16. Лабораторний макет № 7

Fig. 16. Laboratory model № 7

Лабораторна робота № 8 (рис. 17) дає змогу виконувати вимірювання високих температур за допомогою інфрачервоного сенсора температури. Використано сенсор типу **TW2000**. В результаті виконання лабораторної роботи студенти здійснюють вимірювання температури робочого тіла, розміщеного всередині печі, за допомогою безконтактного сенсора TW2000, порівнюють результати вимірювання температури з показами вимірювання температури за допомогою контактної термопари, розміщеної на робочому тілі. Оцінюють похибку вимірювання.



Рис. 17. Лабораторний макет № 8

Fig. 17. Laboratory model № 8

Лабораторна робота № 9 (рис. 18) дає змогу вимірювати швидкість і частоту обертання вала двигуна за допомогою сенсора **RUP500**.

Під час виконання лабораторної роботи студенти налаштовують сенсор, вимірюють швидкість і частоту обертання вала двигуна, визначають роздільну здатність сенсора.

Передбачена також можливість вимірювання вібрації устави внаслідок неспіввісності валів енкодера і двигуна. У цьому випадку використовується емнісний сенсор вібрації (мікромеханічний акселерометр) **VB1001**.

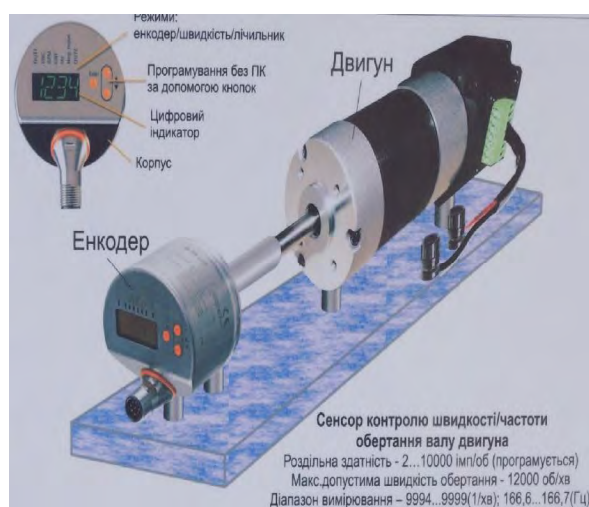


Рис. 18. Лабораторний макет № 9

Fig. 18. Laboratory model № 9

Висновки. Завдяки спонсорській допомозі компанії IFM Electronic обладнана найсучасніша навчально-дослідницька лабораторія первинних перетворювачів фізичних величин (сенсорів). Це дасть змогу унаочнити й істотно покращити вивчення дисциплін “Методи та засоби вимірювання неелектричних величин” і “Первинні вимірювальні перетворювачі”, ознайомити студентів напряму “Метрологія та інформаційно-вимірювальні

технології” із сучасними високоточними сенсорами і широкими можливостями їх використання.

1. <https://www.ifm.com/ifmua/web/home.htm>.
2. <http://karriere-familienunternehmen.de/firmenprofil-ifm/>.
3. <http://www.die-erfolgs-strategie.de/aktien/weltmarktfuehrer/ifm-electronic-gmbh/>.
4. <http://sensor365.ru/all-brands/ifm-electronic/>.
5. <http://www.ifm.com/products>.