

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-35>

УДК 681.5:629.3

ФАНДУЛЬ Андрій

Хмельницький національний університет

МАЙДАН Павло

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3319-8730>

maidanps@gmail.com

МАКАРИШКІН Денис

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3447-811X>

makaryshkinde@khmnu.edu.ua

СОКОЛАН Юлія

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-0273-5719>

sokolan.julia@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ

Загально відомо, що, наприклад, у США на рік встановлюють не менше сотні систем керування (СК) товщиною плівки в процесі виробництва. Дедалі більша кількість фірм-виробників, які постачають як вимірювальні давачі, так і спеціалізовані комплексні системи корекції товщини (КТ) з'являються на ринку. Причому такі системи можуть бути як частиною технологічного процесу (ТП), так і просто лабораторним обладнанням. У даній кваліфікаційній роботі ми будемо розглядати переважно системи КТ, що працюють on-line, тобто в режимі реального часу.

Інтенсифікація сучасного виготовлення виробів вимагає розвитку високо продуктивних методів та необхідних засобів контролю якості готової продукції. Поперечні розміри (ширина, діаметр чи товщина) є одними з найважливіших параметрів для більшості виробів. Часто вони впливають на загальну якість, надійність чи навіть довговічність інших, більш складних виробів, саме тому, мають досить жорсткі технологічні допуски. Крім достатньо високої точності контролю звичай повинен бути забезпечений порівняно малий вплив на виріб, який контролюється. Наявні контактні вимірювачі поперечних розмірів володіють не лише порівняно низькою чутливістю, а й не задовольняють вимогам сучасного виробництва, оскільки мають досить низьку продуктивність і не дають можливості виконувати безперервний автоматичний контроль. Тому завдання створення високоточних швидкодіючих та порівняно дешевих вимірювачів поперечних розмірів до розвитку ємнісного методу не мало достатнього ефективного вирішення.

В роботі виконано розробку структурної схеми вимірювального ємнісного пристрою та на її основі розроблено електричну принципову схему вимірювача ємності.

Ключові слова: полімерна плівка, моделювання, автоматизована система, ємнісний давач, мікросхема.

FANDUL Andriy, MAIDAN Pavlo, MAKARYSHKIN Denys, SOKOLAN Iuliia
Khmelnitskyi National University

MODELING OF THE SYSTEM OF AUTOMATED QUALITY CONTROL OF POLYMER FILM PRODUCTION

It is well known that, for example, in the United States, at least a hundred film thickness control systems (TCS) are installed in the production process every year. An increasing number of manufacturers supplying both measuring sensors and specialized integrated thickness correction (TC) systems are appearing on the market. Such systems can be either a part of the technological process (TP) or just laboratory equipment. In this qualification paper, we will mainly consider TC systems that operate on-line, i.e. in real time.

The intensification of modern product manufacturing requires the development of high-performance methods and the necessary means of quality control of finished products. Transverse dimensions (width, diameter, or thickness) are among the most important parameters for most products. They often affect the overall quality, reliability or even durability of other, more complex products, which is why they have rather tight manufacturing tolerances. In addition to a sufficiently high inspection accuracy, it is usually necessary to ensure that the product under inspection is subjected to relatively low impact. Existing contact transverse dimensional gauges not only have relatively low sensitivity, but also do not meet the requirements of modern production, as they have rather low productivity and do not allow for continuous automatic control. Therefore, the task of creating high-precision, high-speed, and relatively cheap transverse dimension gauges before the development of the capacitive method was not sufficiently effective.

In this work, we have developed a structural diagram of a capacitive measuring device and, on its basis, developed an electrical circuit diagram of a capacitance meter.

Keywords: polymer film, modeling, automated system, capacitive sensor, microcircuit.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОКІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Загально відомо, що, наприклад, у США на рік встановлюють не менше сотні систем керування (СК) товщиною плівки в процесі виробництва. Дедалі більша кількість фірм-виробників, які постачають як вимірювальні давачі, так і спеціалізовані комплексні системи корекції товщини (КТ) з'являються на ринку.

Причому такі системи можуть бути як частиною технологічного процесу (ТП), так і просто лабораторним обладнанням. У даній кваліфікаційній роботі ми будемо розглядати переважно системи КТ, що працюють on-line, тобто в режимі реального часу.

Загалом система КТ складається з наступних частин: вимірювальний давач (сканер), програмне забезпечення (ПЗ) та виконавчий механізм (ВМ). Відповідно є фірми-виробники, що спеціалізуються на виробництві або однієї або декількох частин системи КТ, або ж, навіть, постачають ціле комплексне рішення.

У галузі давачів, які використовуються для вимірювання товщини в рукавній плівці відомі наступні фірми-виробники: Kuendig [1], Plast-Control [2], Sussex [3], NDC, Octagon Process Technology GmbH [4] та ін. Для вимірювання товщини в плоских плівках розповсюджені давачі наступних фірм-виробників: NDC, Electronic Systems (Italy) [5], Micro-Epsilon Messtechnik GmbH [6], Thermo-Fischer (USA) [7] тощо.

Частина із даних фірм-виробників постачають і спеціалізоване ПЗ для КТ, проте вони, за малим винятком, не займаються виготовленням ВМ, які відповідають за коригування товщини плівки. Комплексні системи КТ поставляються або фірмами-виробниками цілих ліній, які зазвичай оснащують дані машини власною системою КТ, що, як правило, є невід'ємною частиною лінії (одним із першопрохідців, що й донині має одну з найкращих систем КТ, є німецька компанія Windmöller & Hölscher [8]), або компаніями, що позиціонуються на світовому ринку в якості постачальників комплексних систем КТ «для всіх користувачів», тобто можуть продавати дані системи КТ як виробникам машин, так і до налаштувати системами КТ технологічні лінії, які працюють у користувача. До таких фірм-виробників відносять Octagon Process Technology GmbH [4], K-Design [9], Addex (USA) [10], Plast-Control [2], Macro Engineering (Canada) [11], яка, крім повних ліній з виробництва плівки, постачає комплексні системи КТ.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Інтенсифікація сучасного виготовлення виробів вимагає розвитку високо продуктивних методів та необхідних засобів контролю якості готової продукції. Поперечні розміри (ширина, діаметр чи товщина) є одними з найважливіших параметрів для більшості виробів. Часто вони впливають на загальну якість, надійність чи навіть довговічність інших, більш складних виробів, саме тому, мають досить жорсткі технологічні допуски. Крім достатньо високої точності контролю зазвичай повинен бути забезпечений порівняно малий вплив на виріб, який контролюється. Найвні контактні вимірювачі поперечних розмірів володіють не лише порівняно низькою чутливістю, а й не задовольняють вимогам сучасного виробництва, оскільки мають досить низьку продуктивність і не дають можливості виконувати безперервний автоматичний контроль. Безконтактні вимірювачі (рис. 1), засновані на різних методах також часто не дають можливості виміряти поперечні розміри виробів у необхідному діапазоні з встановленою точністю [12-17].

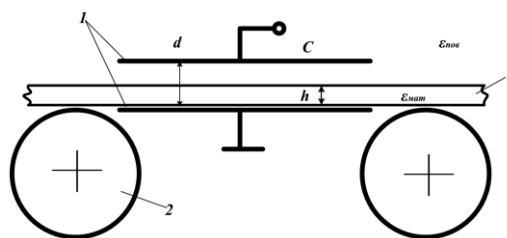


Рис. 1. Загальний вигляд процесу вимірювання товщини полімерної плівки:
1 – вимірювальний конденсатор; 2 – опорні ролики; 3 – плівка

Крім того, багато засобів контролю поперечних розмірів, які загально відомі зараз, володіють значною похибкою. Тому на сучасному етапі було створено низку новітніх методів та приладів, зокрема інтерференційних, для виконання особливо точного вимірювання габаритних розмірів як відносним методом (порівняння зі зразковим кільцем або блоком кінцевих мір), так і безпосереднім порівнянням із довжиною світлової хвилі. Зазначені прилади хоча й дають можливість реалізувати досить високі технічні характеристики, але є достатньо дорогими і через це мають суттєво обмежене використання.

Тому завдання створення високоточних швидкодіючих та порівняно дешевих вимірювачів поперечних розмірів до розвитку ємнісного методу не мало достатнього ефективного вирішення.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою роботи є: розроблення автоматизованої системи контролю якості виготовлення полімерної плівки на основі ємнісних давачів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Проведений аналітичний огляд методів вимірювання лінійних розмірів дає можливість виконати вибір методу, який найкраще підходить для реалізації обраного технічного завдання.

Очевидно, що контактні методи володіють нижчим пріоритетом, оскільки дають можливість створювати пристрої значно із нижчою надійністю, ніж ті, які можна створити на основі безконтактних методів.

Прямі методи вимірювання більш точні, ніж непрямі, але використання непрямих методів значно простіше за конструктивними ознаками. Всі електромеханічні методи вимірювання розмірів є контактними, тому були виключені із подальшого розгляду.

Спектрометричні методи, базуються на використанні внутрішньоатомних та, навіть, ядерних явищ, на які практично не мають впливу зміни навколишніх умов, особливо перспективні для використання при вимірюванні геометричних розмірів. Дані методи дають можливість створювати достатньо чутливі та точні засоби вимірювання, але при цьому складність та досить висока вартість таких засобів вимірювання обмежують широке використання спектрометричних методів [12-17].

Електрофізичні методи, що базуються на використанні інтегральних властивостей речовини, таких як теплопровідність, електропровідність, магнітна та діелектрична проникність тощо часто привертають увагу розробників через наступні переваги: висока чутливість та точність, простота використання, хороша пристосованість до умов промислового виробництва.

З електрофізичних методів вимірювання розмірів дедалі більшого значення і розвитку набувають ємнісні методи вимірювання. Вони володіють багатьма перевагами, що робить такі методи особливо доцільними в машинобудуванні та інших галузях. Дані методи, також мають обмеження і певні недоліки і тільки при правильній оцінці позитивних та негативних сторін методу можливо отримати потрібний результат.

Ємнісні методи вимірювання розмірів базуються на застосуванні ємнісних первинних вимірювальних пристроїв (або давачів), які відносяться до найважливішої групи пасивних давачів, також носять назву модуляторів або параметричних. Зазначена група носить назву - група імпедансних давачів, де термін імпеданс - опір змінній силі струму. Даний опір може бути по величині таким самим, як і для постійної сили струму, тобто активним опором, у якому енергія електричної сили струму перетворюється, наприклад, на теплову енергію.

В іншому випадку це може бути опір котушки (або точніше індуктивний опір), який зростає із частотою, але не споживає активної потужності, оскільки спричиняє запізнювання фази сили струму на чверть періоду відносно фази напруги. Опір, створений за допомогою використання ємності, або так званий ємнісний опір, також не споживає активної енергії і спричиняє запізнювання фази напруги на чверть періоду відносно фази сили струму. Проте необхідно пам'ятати, що опір може бути і змішаним, тобто включати в себе всі наведені вище складові і тому може мати для різних частот абсолютно різну величину.

З використанням ємнісних давачів можливо виконувати вимірювання за допомогою тих самих приладів, що й у разі використання інших імпедансних давачів, особливо заснованих на зміні рівня індуктивності, а іноді й на зміні величини активного опору. В такому випадку полегшується розробка конструкції найскладніших пристроїв, у яких не можливо обійтися лише використанням ємнісних давачів. У такому випадку можна за наявності одного приладу користуватися досить великим вибором давачів.

Відповідно до перерахованого раніше вимірювач величини ємності, що проектується, повинен відповідати наступним вимогам:

- діапазон вимірювання величини ємності від 0,01 пФ до 0,5мкФ;
- сила струму споживання не повинна перевищувати 50мА;
- похибка вимірювання величини ємності не повинна перевищувати 0,5%.

У вимірювачі величини ємності доцільно використовувати резонансний метод вимірювання, оскільки даний метод є найбільш ефективним у використанні. У коливальний контур вимірювального генератора, утворений за допомогою індуктивності та еталонного конденсатора буде паралельно підключатись ємнісний давач. Далі створений сигнал повинен потрапити на формувач та надійти на мікроконтролер.

Окрему увагу варто звернути на МК, який повинен володіти досить високою швидкістю, мати можливість переналаштування, відзначатись невеликим споживанням струму та невисокою вартістю.

В якості пристрою для індикації можливо застосувати будь-який LCD дисплей стандартного формату 2x16. Для виконання якісної стабілізації необхідно застосовувати спеціальний стабілізатор на мікросхемі, розрахований для пристроїв із низьким споживанням струму і живленням від джерела.

Таким чином схема повинна складатися з вхідного блоку, вимірювального генератора, блоків - вимірювання, індикації, живлення та стабілізації рівня напруги. Загальний вигляд структурної схеми даного вимірювального пристрою представлено на рисунку 2 [12-17].

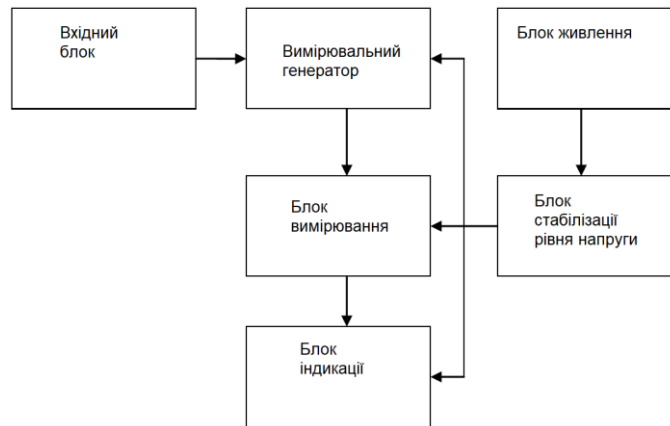


Рис. 2. Загальний вигляд структурної схеми вимірювального пристрою

Електрична принципова схема одноканального вимірювача величини ємності (див. рис. 3) розроблена на базі структурної схеми, описаної вище. У електричній принциповій схемі виділено наступні основні вузли:

- вхідний блок;
- блок вимірювання на DD1;
- вимірювальний генератор на DA1;
- блок стабілізації напруги на DA2;
- блок індикації на LCD;
- блок живлення.

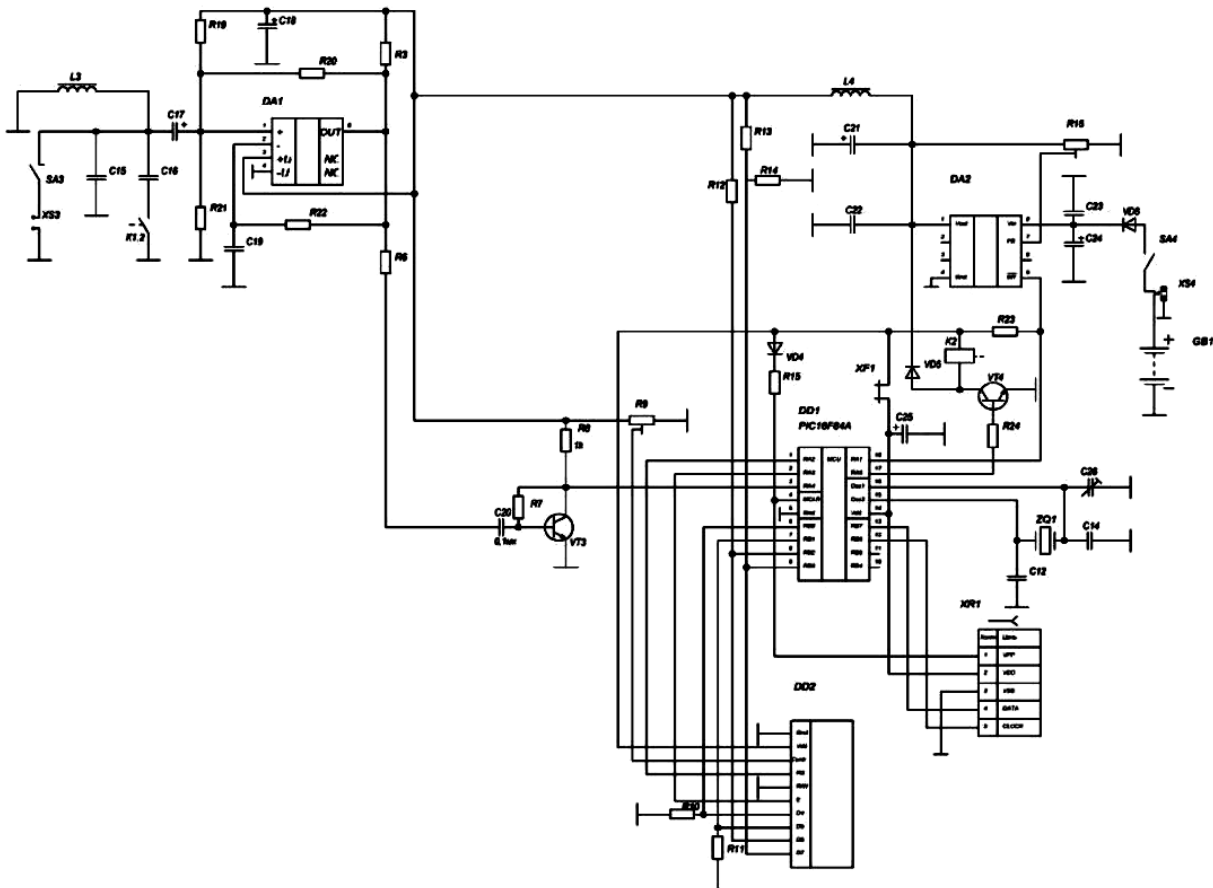


Рис. 3. Електрична принципова схема одноканального вимірювача величини ємності

Обрана електрична принципова схема вимірювача величини ємності працює за принципом резонансу: вимірювальні давачі підключаються в коливальний контур із вже відомими параметрами, який в свою чергу, входить до складу вимірювального генератора. За зміною рівня частоти, що генерується, за загальновідомою

формулою $F^2 = \frac{1}{4} \pi^2 \cdot L \cdot C$ аналітично розраховується значення. Для визначення власних параметрів коливального контуру необхідно до нього підімкнути відому додаткову ємність – тобто еталонний конденсатор С1. Вимірювальний генератор зібрано на мікросхемі-компараторі типу ІL311 (DA1). Дана схема добре зарекомендувала себе в якості генератору рівня частоти до 800 кГц, забезпечуючи на виході сигнал, близький по формі до меандру. Для забезпечення стабільних показань вимірювальний генератор потребує узгодженого за опором і стабільного рівня навантаження.

Рівень частоти задається за допомогою елементів вимірювального генератора - вимірювальної котушки індуктивності L1 та еталонного конденсатору С1. Вимірювальні давачі під'єднується до клем XS1 (див. рис. 3) паралельно до встановленого еталонного конденсатора.

З виходу вимірювального генератора створений сигнал через спеціальний резистор розв'язки R7 надходить на формувач, побудований на транзисторі VT1. Вихід формувача безпосередньо під'єднано до спеціального триггера Шмідта, що входить у склад мікроконтролера Шмідта. Мікроконтролер працює з тактовою частотою в 4МГц, при цьому швидкодія складає приблизно один мільйон операцій за секунду. Результат розрахунків виводиться на алфавітно-цифровий дисплей (тобто LCD) з інтерфейсом HD44780.

У ВП передбачено можливість внутрішньосхемного перепрограмування за допомогою використання розніму ICSP. Для цього необхідно видалити спеціальну перемичку XF1 (див. рис. 3), ізолювавши таким чином ланцюг живлення МК від решти електричної принципової схеми. Далі підключається програматор до розніму і «заливається» необхідна програма, після чого перемичка XF1 встановлюється на старе місце.

Джерелом живлення є гальванічна батарея з рівнем напруги в 9 В, також можливо використовувати стандартний адаптер живлення з рівнем напруги в діапазоні від 6 до 15 В. Мікросхема DA2 (рис. 3) є високоякісним стабілізатором рівня напруги в 5 В з низьким залишковим рівнем напруги та сигналізатором залишкового розряду батареї живлення. Дана мікросхема спеціально розроблялася для використання в вимірювальних пристроях із низьким споживанням струму та живленням від батарей. У ланцюгу живлення вмонтовано діод VD3 для захисту вимірювального приладу від неправильного підключення. Конденсатори С9 та С10 призначені для усунення високо- та низькочастотних перешкод.

Резистор R15, носить назву підлаштувального, використовується для встановлення рівня напруги в 5 В на виводі 1 мікросхеми DA2 під час складання приладу (рис. 3). За допомогою використання транзистору VT2 зібрано спеціальний ключ керування реле, що відповідає за підключення еталонного конденсатору С2.

Найважливішим елементом, від якості якого залежить точність і стабільність показань вимірювача, є котушка індуктивності L1, яка повинна мати максимальну добротність та мінімальну власну величину ємності.

В схемі можливо використовувати стандартний дросель типу LGV з індуктивністю в діапазоні від 100 до 125мкГн. До еталонного конденсатора С1 також висувають досить високі вимоги, особливо щодо термостабільності. В якості еталонного конденсатору можливо застосувати наприклад К71-7. Аналогічні вимоги висувають і до конденсатору С2.

Також можливо мікросхему DA1 замість ІL311 замінити на LM311 або К544СА3.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

В роботі виконано розробку структурної схеми вимірювального ємнісного пристрою та на її основі розроблено електричну принципову схему вимірювача ємності.

Оскільки під час випробувань товщини поліетиленової плівки зручно використовувати багатоканальний вимірювач величини ємності. Тоді є необхідність в створенні іншого варіанту побудови пристрою, який передбачає, що паралельно із каналом, зібраним на операційному підсилювачі DA1 будуть функціонувати аналогічні вхідні блоки, які за допомогою використання мультиплексу підключаються до перетворювальної схеми і реєструються за допомогою індикатору або від мультиплексу передаються на ПК, де виконується обробка відповідно до необхідного алгоритму.

Література

1. Innovation We strive to exceed. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.kuendig.com/en/>
2. PLAST-CONTROL - a success story. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.plastcontrol.de/en/>
3. Research at Sussex. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sussex.ac.uk/>
4. Octagon. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://octagon.com.ua/>
5. THE POWER OF CONTROL. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.electronicssystem.it/>
6. Cutting-edge technology for high precision measurements. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.micro-epsilon.com/>

7. Accelerating Science. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.thermofisher.com/ua/en/home.html>
8. Start with your vision. The all-new ALPHAFLEX CI flexo press. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.wh.group/int/en/>
9. Creative agency for a sustainable, connected future. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.k-design.io/>
10. Research And Development. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.addextherapeutics.com/en/>
11. Macro. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.macroeng.com/> Robocuprescue 2014-robot league team hector darmstadt (Germany) // Kohlbrecher S., Meyer J., Graber T., Petersen K., Von Stryk O., Klingauf U. RoboCupRescue 2014.
12. Перетворювачі механічних величин в електричні. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійної програми «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» / О.М. Безвесільна, Ю.В. Киричук, Н.М. Назаренко, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 156 с.
13. Вимірювальні перетворювачі : лабораторний практикум/ [Кучерук В. Ю., В.М. Севаст'янов, О.Г. Ігнатенко, В.С. Маньковська] – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 183 с.
14. Bishop R. H. The Mechatronics Handbook / R. H. Bishop. – Boca Raton : CRC Press, 2002. – 1229 p.
15. Левицький А.С., Федоренко Г.М., Грубой О.П. Контроль стану потужних гідро- та турбогенераторів за допомогою ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів– Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2011– 242с. A dynamic simulator for underwater vehicle-manipulators // Kermorgant O. - International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots. 2014. pp. 25-36.
16. Технологічні вимірювання і прилади. Вимірювання рівня та витрат [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С. Г. Бондаренко, Д. М. Складаний, А. О. Абрамова. – Електронні текстові дані (1 файл: 2 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 117 с.
17. Метрологія [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Н.М. Защепкіна. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 397 с.

References

1. Innovation We strive to exceed. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.kuendig.com/en/>
2. PLAST-CONTROL - a success story. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.plastcontrol.de/en/>
3. Research at Sussex. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sussex.ac.uk/>
4. Octagon. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://octagon.com.ua/>
5. THE POWER OF CONTROL. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.electronicssystemstf/>
6. Cutting-edge technology for high precision measurements. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.micro-epsilon.com/>
7. Accelerating Science. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.thermofisher.com/ua/en/home.html>
8. Start with your vision. The all-new ALPHAFLEX CI flexo press. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.wh.group/int/en/>
9. Creative agency for a sustainable, connected future. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.k-design.io/>
10. Research And Development. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.addextherapeutics.com/en/>
11. Macro. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.macroeng.com/> Robocuprescue 2014-robot league team hector darmstadt (Germany) // Kohlbrecher S., Meyer J., Graber T., Petersen K., Von Stryk O., Klingauf U. RoboCupRescue 2014.
12. Peretvoriuvachi mekhanichnykh velychyn v elektrychni. Konspekt leksii [Elektronnyi resurs]: navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 151 «Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii», osvithno-profesiinnoi prohramy «Kompiuterno-intehrovani systemy ta tekhnolohii v prykladobuduvanni» / O.M. Bezvesilna, Yu.V. Kyrychuk, N.M. Nazarenko; KPI im. Ihoria Sikorskoho. – Elektronni tekstovi dani (1 fail: 3,5 Mbait). – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. – 156 s.
13. Vymiriuvalni peretvoriuvachi : laboratornyi praktykum/ [Kucheruk V. Yu., V.M. Sevastianov, O.H. Ihnatenko, V.S. Mankovska] – Vinnytsia: VNTU, 2013. – 183 s.
14. Bishop R. H. The Mechatronics Handbook / R. H. Bishop. – Boca Raton : CRC Press, 2002. – 1229 p.
15. Levytskyi A.S., Fedorenko H.M., Hruboi O.P. Kontrol stanu potuzhnykh hidro- ta turbogeneratoriv za dopomohoiu yemnisnykh vymiriuvachiv parametriv mekhanichnykh defektiv–Kyiv: In-t elektrodynamiky NAN Ukrainy, 2011–242s. A dynamic simulator for underwater vehicle-manipulators // Kermorgant O. - International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots. 2014. pp. 25-36.
16. Tekhnolohichni vymiriuvannia i prylyady. Vymiriuvannia rivnia ta vytrat [Elektronnyi resurs]: navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 151 «Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii» / KPI im. Ihoria Sikorskoho; uklad.: S. H. Bondarenko, D. M. Skladanyi, A. O. Abramova. – Elektronni tekstovi dani (1 fail: 2 Mbait). – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2020. – 117 s.
17. Metrolohiia [Elektronnyi resurs] : navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 152 «Metrolohiia ta informatsiino-vymiriuvalni tekhnolohii» / KPI im. Ihoria Sikorskoho; uklad.: N.M. Zashchepkina. – Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. – 397 s.