



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ФЕЕ - 2022

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

**МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ**

(Суми, 18-22 квітня 2022 року)

**Суми,
Сумський державний університет
2022**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ФЕЕ :: 2022

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ

(Суми, 18–22 квітня 2022 року)

Суми
Сумський державний університет
2022

Шановні колеги!

Факультет електроніки та інформаційних технологій Сумського державного університету в черговий раз щиро вітає учасників щорічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка». Основними принципами конференції є відкритість і вільна участь для всіх учасників незалежно від віку, статусу та місця проживання.

Важливими особливостями конференції є технологічність та відмінні авторські сервіси завдяки веб-сайту конференції. Усі подані матеріали автоматично доступні для зручного перегляду на сайті та добре індексуються пошуковими системами. Це допомагає учасникам сформулювати свою цільову аудиторію та є потужним фактором популяризації доробку авторів на довгі роки.

Засідання секцій відбудуться в дистанційному режимі за допомогою сучасних комунікаційних засобів.

Усі питання та пропозиції Ви можете надіслати на нижчезазначену електронну адресу.

E-mail: elitconf@gmail.com.

Web: <https://elitconference.sumdu.edu.ua>.

Секції конференції:

1. Фізика та методика викладання фізики.
2. Наноматеріали: застосування та властивості.
3. Матеріалознавство мікро- та наноелектроніки.
4. Інформаційні електронні системи.
5. Електронні системи, прилади і засоби кодування інформації.
6. Електротехніка та енергетика.

Голова оргкомітету

доц. О. О. Дрозденко

**СЕКЦІЯ № 1 «ФІЗИКА ТА МЕТОДИКА ВИКЛАДАННЯ
ФІЗИКИ»**

Голова секції – канд. пед. наук, доц. Пасько О.О..

Секретар секції – студ. Борисенко А.М.

Початок: 19 квітня 2022 р., онлайн, 13⁰⁰

<https://meet.google.com/irk-sfoq-oeg>

1. Джоулівська модель виникнення вакуумного пробую з врахуванням температурних та розмірних ефектів
Автор – наук. співроб. Дяченко М.М.
2. Моделювання струму польової електронної емісії з врахуванням морфології поверхні та матеріалу катоду
Автор – наук. співроб. Лебединський С.О.
3. Використання методів PIC (Particle In Cell) для моделювання пробую
Автор – наук. співроб. Хелемеля О.В.
4. Густина струму польової електронної емісії з нанометрового вістря на поверхні металу в прискорювальних структурах
Автор – мол. наук. співроб. Мусієнко І.І.
5. Electronic remote simulators as a means of organizing extracurricular work of students
Authors: Assoc. Prof. Bilous O.
Assoc. Prof. Hovorun T.
Senior Lect. Berladir K.
6. Vector-coordinate method in solving physical problems
Authors: Assoc. Prof. Bilous O.
Senior Lect. Kravchenko Yu.

СЕКЦІЯ № 2 «НАНОМАТЕРІАЛИ: ЗАСТОСУВАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ»

Голова секції – канд. фіз.-матем. наук Рогоз В.М.

Секретар секції – асп. Шевченко С.Т.

Початок: 27 квітня 2022 р., онлайн, 13⁰⁰

<https://meet.google.com/voe-snaf-gwb>

1. Rotational relaxation dynamics of suspended ferromagnetic nanoparticles in a static magnetic field

Authors: Ph.D. Stud. Moskalenko M.M.,
Stud. Liutyi A.T.,
Assoc. Prof. Lyutyi T.V.,
Prof. Denisov S.I.

2. Drift motion of suspended ferromagnetic particles: Role of the static magnetic field

Authors: Ph.D. Stud. Moskalenko M.M.,
Stud. Drozdovsky L.I.,
Assoc. Prof. Lyutyi T.V.,
Prof. Denisov S.I.

3. Drift velocity of suspended ferromagnetic particles in a harmonically oscillating gradient magnetic field

Authors: Ph.D. Stud. Baryba M.Yu.,
Stud. Pushkar S.O.,
Assoc. Prof. Lyutyi T.V.,
Prof. Denisov S.I.

4. Drift velocity of suspended ferromagnetic particles in a harmonically oscillating gradient magnetic field

Authors: Ph.D. Stud. Petrenko N.,
Assoc. Prof. Lyutyi T.V.,

5. Hard nanolayered WN/NbN coatings for tribological applications

Authors: Ph.D. Stud. Smyrnova K.,
Senior Researcher. Sahul M.,
Researcher. Haršáni M.,
Prof. Čaplovič L.,
Prof. Pogrebnyak A.

**СЕКЦІЯ № 3 «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО МІКРО- ТА
НАНОЕЛЕКТРОНІКИ»**

Голова секції – канд. фіз.-матем. наук Шабельник Ю.М.

Секретар секції – канд. фіз.-матем. наук. Логвинов А.М.

Початок: 21 квітня 2022 р., онлайн, 13⁰⁰

<https://meet.google.com/irk-sfoq-oeg>

1. Температурні ефекти в магніторезистивних властивостях компонентів електронних систем на основі пермалою та золота

Автори: студ. Долгов-Гордійчук С.Р.,
ст. виклад. Пилипенко О.В.,
доц. Пазуха І.М.

2. Фазовий склад плівкових матеріалів з різним ступенем ентропійності

Автори: студ. Рилова А.К.,
доц. Шумакова Н.І.,
проф. Проценко С.І.

3. Структурно-фазовий стан нанорозмірних плівкових систем на основі пермалоевого сплаву $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ та Au

Автори: студ. Жаботинський В.І.,
інж. Логвинов А.М.,
доц. Пазуха І.М.

4. Структурно-фазовий стан шаруватих структур $[\text{Fe}/\text{SiO}]_5$

Автори: студ. Загорулько А.Ю.,
асп. Петренко Р.М.,
інж. Логвинов А.М.
Керівники: доц. Пазуха І.М.,
доц. Шкурдода Ю.О.

5. Вплив відпалювання на магнітоопір та структурно-фазовий стан тонкоплівкових сплавів на основі Co і Ag

Автори: студ. Сещенко Д.І.,
асп. Гребинаха В.І.,
доц. Шпетний І.О.

6. Температурна стабільність структурно-фазового стану та магнітоопору тонкоплівкових сплавів на основі пермалою та міді

Автори: студ. Лебединець Ю.С.,
студ. Загорулько А.Ю.
Керівники: доц. Шпетний І.О.,
проф. Проценко І.Ю.

7. Вплив магнітного поля на морфологію поверхні магнітних гранульованих плівок

Автори: студ. Мартиненко І.С.,
студ. Фоменко О.О.,
асп. Гребинаха В.І.
Керівник: доц. Шпетний І.О.

8. Магнітоопір багатокomпонентних плівкових сплавів

Автори: студ. Калініченко А.Ю.,
студ. Микитченко Д.О.,
ст. викладач Шабельник Ю.М.,
доц. Шкурдода Ю.О.

9. Розмірний ефект у магніторезистивному співвідношенні тришарової магнітовпорядкованої плівки

Автори: студ. Кудрявцев Д.В.,
студ. Касьяненко А.О.,
студ. Куценко Н.В.,
ст. викладач Шабельник Ю.М.
Керівник – проф. Дехтярук Л.В.

СЕКЦІЯ № 4 «ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ»

Голова секції – д-р. фіз.-матем. наук, проф. Однорець Л.В.
Секретар секції – канд. фіз.-мат. наук, ст. викл. Тищенко К.В.

Початок: 21 квітня 2022 р., онлайн, 13⁰⁰
<https://meet.google.com/irk-sfoq-oeg>

1. High-energy time-of-flight momentum microscope development

Authors: Assoc. Prof. Tkach O.,
Prof. Schönhense G.

3. Surgical diode lasers

Authors: Stud. Symonenko I.,
Assoc. Prof. Lukavenko I.

4. Діодні лазери як компоненти сучасних мікроелектронних систем

Автори: студ. Ковальов І.М.,
студ. Фатюшин В.В.,
проф. Одноворець Л.В.

5. Лабораторний стенд для дослідження температурної залежності робочих характеристик біполярних транзисторних структур

Автори: студ. Дмитренко А.Ю.,
доц. Пазуха І.М.

6. Перетворювачі Холла: фізика процесів та робочі характеристики

Автори: студ. Худякова Ю.О.,
зав. лаб. Лободюк О.С.,
асп. Толстіков Д.І.,
Керівник – проф. Одноворець Л.В.

7. Дослідження температурної залежності електропровідності власних напівпровідників засобами моделювання в LabVIEW

Автори: к.ф.-м.н. Вітренко А.М.,
студ. Дудник В.В.

8. Реалізація мікроконтролерних систем аналізу даних з елементами штучного інтелекту

Автори: студ. Сімагін В.В.
к.ф.-м.н. Тищенко К.В.

9. Віртуальні тренажери та електронні системи для навчальної дисципліни «Медицина невідкладних станів»

Автори: студ. Головка Я.А.,
студ. Хоружий В.В.
доц. Хижня Я.В.

**СЕКЦІЯ № 5 «ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ, ПРИЛАДИ І
ЗАСОБИ КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ»**

Голова секції – д-р. техн. наук, проф. Борисенко О.А.
Секретар секції – асп. Шевченко М.С.

Початок: 26 квітня 2022 р., онлайн, 14⁰⁰
<https://meet.google.com/dmk-oftw-bpq>

1. SRTP – захищений протокол передачі даних в реальному часі

Автори: студ. Косов О.О.,
ст. викл. Д'яченко О.В.

2. Практичні підходи використання протоколу SSH

Автори: студ. Усик А.О.,
ст. викл. Д'яченко О.В.,
ст. викл. Протасова Т.О.

**3. Вплив складу твердого розчину $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$ на оптичні
втрати та ККД тонкоплівкових сонячних елементів**

Автори: асп. Кахерський С.І.,
студ. Погуляй О.Р.,
проф. Опанасюк А.С.

4. CdMnTe and CdTeSe as new materials of hard radiation detectors

Authors: Ph.D. Stud. Oleh Pysanyi,
Stud. Vladislav Voloboiev,
Prof. Anatoliy Opanasyuk

**5. Застосування біноміальних чисел в адаптивних
інформаційних системах**

Автори: асп. Горішняк А.О.,
студ. Кривоніс Ю.І,
студ. Юрченко В.І.

проф. Борисенко О.А.,
доц. Бережна О.В.

6. Рівноважні коди в адаптивних завадостійких системах
передачі інформації

Автори: асп. Сердюк В.В.,
студ. Мороз Н.В.,
студ. Мазуркевич О.А.,
проф. Борисенко О.А.,
доц. Бережна О.В.

7. Застосування двійкових біноміальних чисел при кодуванні
інформації

Автори: асп. Шевченко М.С.,
студ. Жижа В.В.,
студ. Косов О.О.,
доц. Кулик І.А.

8. Застосування квазірівноважних кодів в телекомунікаційних
системах

Автори: студ. Лобанов А.О.,
студ. Зайцева М.В.,
доц. Кулик І.А.

9. Комбінаторний захист від помилок на основі площинних
кодів

Автори: асп. Шевченко М.С.,
студ. Савенков О.О.,
доц. Кулик І.А.

10. Особливості складання двійкових біноміальних чисел

Автори: асп. Шевченко М.С.,
студ. Гура Є.Ю.,
студ. Супрун М.М.,
доц. Кулик І.А.

11. Оцінка традиційних способів підрахунку одиниць та електронних пристроїв на їх основі
Автори: студ. Греков Т.В.,
студ. Манько Д.С.,
доц. Кулик І.А.
12. Блок управління системою водопостачання з розширеними функціями
Автори: студ. Лук'янов А.О.,
доц. Новгородцев А.І.
13. Захист апаратури від аварійних режимів роботи електромережі
Автори: студ. Рубежанський І. В.,
доц. Новгородцев А.І.
14. Пристрій контролю мікроклімату в серверній
Автори: студ. Отрощенко П.С.,
доц. Гриненко В.В.
15. Effect of annealing temperature on the properties of copper oxide thin layers deposited by a 3D printer
Authors: Ph.D. Stud. Vladyslav Yevdokymenko,
Stud. Oleksii Shapovalov,
Prof. Anatoliy Opanasyuk,
Assoc. Prof. Roman Pshenychnyi
16. Influence of Mg doping on structural characteristics and chemical composition of kesterite compound $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$
Authors: Post. Stud. Maksym Yermakov,
Stud. Yurii Shkyria,
Prof. Anatoliy Opanasyuk,
Assoc. Prof. Roman Pshenychnyi

17. Генератор випадкових чисел для тестування пристроїв
Автори: студ. Нижегородцев І.В.
ст. викл. Протасова Т.О.
18. Пристрій для віддаленого моніторингу та стеження за температурою у приміщенні
Автори: студ. Стьопчкін Н.Р.
ст. викл. Протасова Т.О.

СЕКЦІЯ № 6 «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГЕТИКА»

Голова секції – канд. техн. наук Лебединський І. Л.
Секретар секції – канд. техн. наук Дяговченко І. М.

Початок: 28 квітня 2022 р., онлайн, 11⁴⁰
<https://meet.google.com/oyy-cybd-vyo>

1. Подовження терміну служби трансформаторів в розподільних електричних мережах із значною кількістю електромобілей
Автори: студ. Корж Павло,
доц. Дяговченко Ілля
2. Порівняння структури виробництва електроенергії в Україні та Європейському Союзі у зв'язку з приєднанням української енергосистеми до ENTSO-E
Автор – асист. Загородня Т.М.
3. Розробка екрануючих поверхонь для захисту лічильників електричної енергії від впливу сильних магнітних полів
Автори: студ. Чупрун Анастасія,
доц. Дяговченко Ілля

4. Цифровий вимірювальний прилад для моніторингу основних показників електричної мережі

Автори: доц. Петровський М.В.,
студ. Нестеренко Б.І.,
студ. Нестеренко Є.І.

5. Схема заміщення ізолятора повітряної лінії електропередачі

Автори: проф. Шевченко С.Ю.,
асп. Борзенков І.І.

6. Розробка проєкту системи електропостачання на напрузі 20 кВ

Автори: студ. Спирін Д.В.,
студ. Кучмій Д.В.,
ст. викл. Лебедка С.М.

СЕКЦІЯ 1

**«Фізика та методика викладання
фізики»**

Джоулівська модель виникнення вакуумного пробую з врахуванням температурних та розмірних ефектів

Дяченко М. М., *к. ф.-м. н, н. с.*,

Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми, Україна

Фізична природа високовольтного високовакуумного пробую, який може виникати у прискорювачах заряджених частинок, зокрема у лінійному електрон-позитронному прискорювачі CLIC (Compact Linear Collider, CERN) є досить складною і не дивлячись на численну кількість досліджень повної теорії даного процесу наразі ще не існує.

В перших дослідженнях вакуумного розряду темнові струми пов'язували з автоелектронною емісією, однак, пізніше було встановлено, що помітні струми з'являються при значеннях напруженості електричному полі, на 2-3 порядки менших, ніж це випливає з теорії польової електронної емісії Фаулера-Нордгейма. Ця різниця була пояснена існуванням на катоді вістрь, електричне поле на яких посилюється в десятки та сотні разів. Тому емісія електронів, як правило, проходить саме з таких емітерів і тому має локальний характер. При підвищенні напруги у вакуумному проміжку зростання густини автоемісійного струму призводить до нагрівання вершини емітера за рахунок джоулівської дисипації енергії. Зазвичай передбачається, що нагрівання локальної ділянки призводить до пробую. І в даній роботі була використана гіпотеза, що пробій виникає за рахунок нагрівання катодних вістрь струмом автоелектронної емісії.

В роботі розглядається нестационарна задача теплопровідності наноемітера циліндричної форми на поверхні масивного металевого катода при проходженні через нього струму польової емісії. При цьому розглядаються випадки різних значень напруженості прикладеного електричного поля, залежність від відношення висоти до радіуса емітера та враховуються вплив температурних та розмірних ефектів. При розрахунках густина струму польової емісії з поверхні металу за рахунок тунелювання електронів через потенціальний бар'єр на межі метал вакуум визначається добре відомою формулою Фаулера-Нордгейма.

Чисельно було розв'язано безрозмірне рівняння теплопровідності за допомогою неявної схеми Ейлера. Результати розрахунків приведені на рис. 1. Якщо наближено прийняти, що вакуумний пробій починається,

коли вершина емітера досягає температури плавлення, то можна знайти для різних значень електричного поля коефіцієнти підсилення, при яких починається пробій. Як видно з рис. 1 а) для напруженості електричного поля 100 МВ/м коефіцієнт підсилення складає 76.7, що відповідає радіусу 1.3 нм і висоті 100 нм, при більших значеннях радіусу пробій не відбувається. Якщо взяти напруженість поля 170 МВ/м, то коефіцієнт підсилення становить 47.4, що узгоджується з експериментальними результатами, в яких для даного значення електричного поля цей коефіцієнт наближено дорівнював 50.

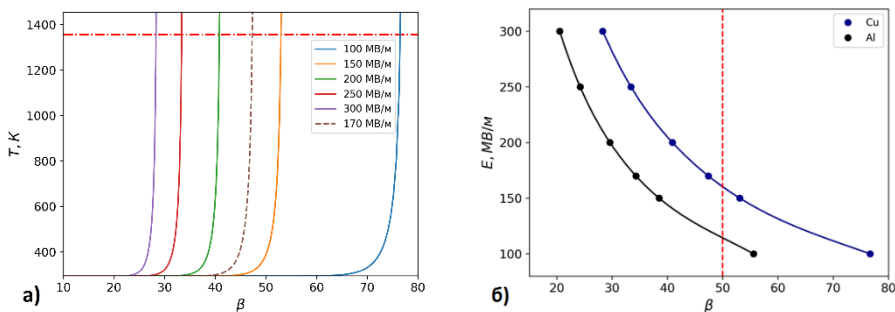


Рисунок 1 – а) Залежність температури вершини вістря від коефіцієнту підсилення для різних значень напруженості електричного поля; б) залежності напруженості електричного поля від коефіцієнту підсилення поля, коли починається плавлення вершини вістря

Також з рис. 1 а) видно, що зі збільшенням поля вершина починається плавитись при менших значеннях коефіцієнта β , тобто при більших значеннях радіуса емітера, що також узгоджується з експериментальними дослідженнями.

Були також отримані залежності напруженості електричного поля від коефіцієнту підсилення при якому починається плавлення вершини для мідного та алюмінієвого емітерів рис. 1 б). Якщо прийняти, що пробій починається при $\beta = 50$, то з рисунка видно, що напруженість поля буде дорівнювати для мідного катоду 160.3 МВ/м, а для алюмінієвого – 114.4 МВ/м, що досить точно узгоджується з експериментальними результатами.

Моделювання струму польової електронної емісії з урахуванням морфології поверхні та матеріалу катоду

Лебединський С. О., к. ф.-м. н, н. с.

Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми, Україна

Задача зменшення вірогідності виникнення високоградієнтних високовакуумних пробів є актуальною у наші дні через необхідність конструювання нових компактних лінійних прискорювачів заряджених частинок з високою енергією у точці зіткнення. Оскільки, щоб отримати енергії зіткнення у декілька ТеВ необхідно побудувати кілометри прискорювальних структур, задача підвищення гранично допустимого темпу прискорення є надзвичайно важливою технічно та економічно. Провідну роль у виникненні та розвитку пробом грає польова електронна емісія, яка сильно залежить від двох параметрів, що можуть бути змінені: напруженість електричного поля E та робота виходу електрону з металу ϕ . Логічно припустити, що при заміні одного металу на інший, з іншою роботою виходу, струм польової емісії, а відповідно і ймовірність виникнення пробом, мають суттєво змінюватись. Тому, логічно було б припустити, що задля збільшення градієнту прискорення необхідно використати метал з більшою роботою виходу. Наприклад, якщо знайти відношення густини струму польової емісії з алюмінію (робота виходу ~ 4 eV) до густини струму з міді (робота виходу ~ 4.5 eV), то можна отримати наступне співвідношення:

$$\frac{j_{Al}}{j_{Cu}} = \frac{\sqrt{\frac{ef_{Al}}{ef_{Cu}}} \sqrt{\frac{wf_{Cu}}{wf_{Al}}} (ef_{Cu} + wf_{Cu}) e^{-\frac{4\sqrt{2}\sqrt{m}(wf_{Al}^3/2 - wf_{Cu}^3/2)}{3\hbar e E}}}{ef_{Al} + wf_{Al}} \quad (1)$$
$$\frac{j_{Al}}{j_{Cu}} \approx e^{\frac{10^{10}}{E}}$$

Очевидно, що для робочих значень локальної напруженості електричного поля порядку декількох ГВ/м відношення (1) буде становити сотні разів. Відповідно, і напруга пробом у такому випадку у цих двох металів має дуже сильно відрізнятись. У той же час під час проведення експериментів по визначенню стійкості матеріалів до вакуумного пробом у ЦЕРН та ПФ НАН України, різниця у

пробивній напруженості електричного поля для алюмінію та міді відрізняється $\sim 10\%$. Враховуючи, що умови проведення експериментів були однакові, то можна припустити, що такий слабкий вплив зміни роботи виходу пов'язаний в першу чергу з тим, що формула (1) не враховує морфологію поверхні. У якості моделі, яка описує «реальну морфологію», було обрано множину півсфер радіусом r , які розташовані на поверхні металу. Радіус вістрь задавався випадковим чином за допомогою усіченого нормального розподілу отриманим шляхом генерування випадкового числа з нормального розподілу з математичним очікуванням $\mu = 80$ нм і стандартним відхиленням σ в кілька десятків нм. На рисунку 1 зображено відношення густин струмів з модельної алюмінієвої, титанової та молибденової поверхонь до струму з мідної поверхні.

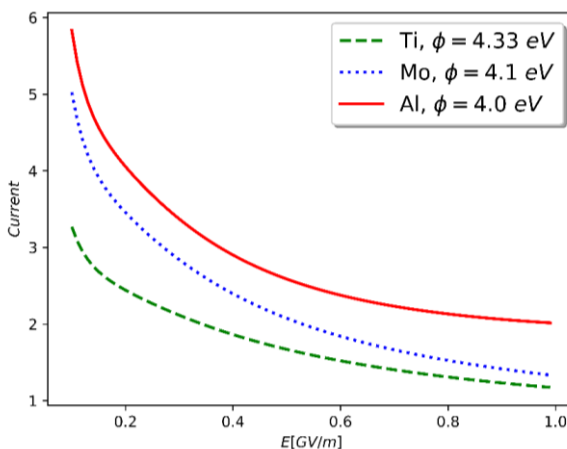


Рисунок 1 – Відношення струмів польової емісії з модельного катоду для матеріалів з різною роботою виходу до струму з модельного мідного катоду при різних значеннях напруженості електричного поля

З рисунка видно, що відношення струмів з модельної поверхні є набагато меншим, ніж отримане з формули (1). З цього можна зробити висновок, що врахування морфології поверхні катоду є важливим при знаходженні струму польової емісії. Це дає змогу краще моделювати процеси польової емісії та наближує теоретичні результати до експериментальних.

Використання методів PIC (Particle In Cell) для моделювання пробою

Хелемеля О.В., к. ф.-м. н, н. с.,

Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми, Україна

Виникнення пробоїв, що можуть призвести до руйнування або зниження якості поверхонь прискорюючи елементів, є одним з основних обмежень на максимально можливої напруженості електричного поля, а отже і максимальної енергії заряджених частинок, в прискорювачах заряджених частинок. Для моделювання процесу пробою особливо важливо врахувати вплив польової емісії з поверхонь прискорюючих елементів, яка, як вважається, є одним з основних тригерів виникнення пробою.

Моделювання системи взаємодіючих частинок можна реалізувати, розраховуючи окремо швидкості, координати частинки та сили, що діють на неї

$$\vec{F}_p = \sum_{p'} \vec{F}_{pp'}. \quad (0.1)$$

Загальна кількість частинок N , але оскільки сила розраховується попарно, тому загальна кількість розрахунків на одному кроці $N(N-1)/2$. Метод парної взаємодії успішно використовується для опису сильно зв'язаних систем, де кількість частинок в дебаївській коміріці достатньо мала, наприклад, в космології для опису гравітаційної взаємодії, формування та розподіл галактик, впливу темної матерії. Однак, при зростанні кількості частинок, тобто, при переході до слабо зв'язаних систем, прикладом яких є процес польової емісії, стає неможливо просто описати кожен частинку в системі через зростання розрахуноків ресурсів. Необхідно використовувати методи, що зводять опис до просто статистичної вибірки частинок. Одним з таких методів є метод PIC (Particle-in-cell). Ключова ідея моделювання слабозв'язаних систем полягає в тому, щоб використовувати в якості будівельного блоку моделі не окремі частинки, а скоріше деяку область-хмару фазового простору: кожна обчислювальна частинка (іноді яку називають «суперчастинка») представляє групу частинок. «Суперчастинки» усереднюють властивості реальних частинок. Всі подальші розрахунки ведуться відносно цих суперчастинок. Така

суперчастинка може містити в собі величезну кількість реальних частинок: іонів, електронів. Таким чином, розглядувана система вже складатиметься з меншої кількості частинок кінцевого розміру, що взаємодіють через скоригований потенціал. Головна перевага використання частинок кінцевого розміру в тому, що вони поведуть себе як, точкові частинки до тих пір, доки їх поверхні (об'єми) не перетинаються. Області перетину, нейтралізують одна одну і не дають вклад в кінцеву силу, що діє на частинки. У випадку, коли частинки повністю перекриваються – результуюча сила рівна нулю.

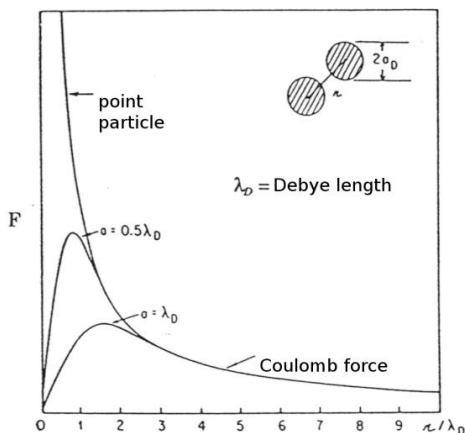


Рисунок 1 – Потенціал взаємодія між зарядженими частинками кінцевого розміру [1]

Таким чином, використання частинок кінцевого розміру зменшує потенціальну енергію взаємодії між частинками, при тих же значеннях кінетичної енергії. Отже для опису плазми, що складається із «суперчастинок» кінцевого розміру можна застосувати розв'язок рівняння Власова-Больцмана з малим параметром – збурення функції розподілу.

Проведено огляд наукових праць, присвячених використанню методу частинки в комірці (PIC) для опису явища польової емісії як основного фактору виникнення високовакуумного пробою.

1. J.M. Dawson, *Rev. Mod. Phys.* **55**, 403 (1983).

Густина струму польової електронної емісії з нанометрового вістря на поверхні металу в прискорювальних структурах

Мусієнко І.І., *м. н. с.*

Інститут прикладної фізики НАН України, м. Суми, Україна

Задача зменшення значення струму польової емісії є актуальною для одержання градієнтостійких матеріалів до виникнення темнових струмів у прискорювальних структурах і, як наслідок, можливості подолання високовакуумних високоградієнтних пробоїв. Польова емісія є однією з основних причин, що призводить до втрати електроізоляційних властивостей міжелектродного вакуумного проміжку. Протилежний аспект застосування вищевказаного явища полягає у функціонуванні польових електронних джерел, виконанні вимог тунельної мікроскопії, електронної голографії, вакуумної наноелектроніки [1 – 3].

Збільшення значення струму польової емісії у високоградієнтних прискорювальних структурах зумовлено основними факторами: зменшенням роботи виходу з поверхні металу; нерівностями на поверхні металу у вигляді наноскопічних виступів (вістря). За умови наявності електричного поля поблизу нанорозмірного виступу на поверхні металу напруженість електричного поля E підсилюється і спричиняє збільшення значення струму польової електронної емісії [4]. Коефіцієнт підсилення β напруженості електричного поля E для кожного вістря можливо знайти за формулою:

$$\beta = \frac{R/r}{\ln(R/r)}, \quad (1)$$

де R – відстань між анодом і емітером, $R = 100$ мкм, r – радіус вістря. Радіус вістря на поверхні прискорювальних структур розглядається на проміжку від $r_1 = 20$ нм до $r_2 = 100$ нм [5].

Метою дослідження є обчислення густини струму польової емісії з поверхні високоградієнтних прискорювальних структур з врахуванням нормального розподілу по радіусу нанорозмірних виступів на поверхні міді.

У дослідженні вибрано модель множини півсфер радіусом r для опису поверхні металу з нанорозмірними вістрями. Будемо розглядати радіуси виступів наноскопічного масштабу на поверхні металу, що характеризуються нормальним розподілом.

$$f(r; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(r - \mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2)$$

де μ – математичне сподівання, σ^2 – дисперсія випадкової величини r . Густина струму з вістря знайдено за формулою Фаулера-Нордгейма за умови локальної напруженості βE :

$$j(\beta E) = \frac{e^3}{4\pi^2 \hbar} \frac{\sqrt{\mu}}{(\mu + \chi)\sqrt{\chi}} (\beta E)^2 \exp\left(-\frac{4k}{3e(\beta E)} \chi^{\frac{3}{2}}\right), \quad (3)$$

μ – електрохімічний потенціал; χ – робота виходу електрона з міді; e – заряд електрона; $k = \sqrt{2 \cdot m} / \hbar$; m – маса електрона; \hbar – зведена стала Планка. Тоді загальний струм польової емісії з поверхні дорівнює:

$$I_{total} = \int_{r_1}^{r_2} f(r; \mu, \sigma) j(\beta E) dr. \quad (4)$$

1. Г.Г. Владимиров, *Физическая электроника. Эмиссия и взаимодействие частиц с твердым телом : учеб. пособие* (Санкт-Петербург: Лань: 2013).
2. Г.А. Месяц, *Взрывная электронная эмиссия : монография* (Москва: Физматлит: 2011).
3. Г.Н. Фурсей, *Автоэлектронная эмиссия : учеб. пособие* (Санкт-Петербург: Лань: 2012).
4. A. Descoeudres, Y. Levinsen, S. Calatroni, M. Taborelli, W. Wuensch, *Physical Review Special Topics - Accelerators and Beams* **12**, 092001 (2009).
5. W. Wuensch, *8th International Workshop on Mechanisms of Vacuum Arcs 85 (MeVArc 2019)* (Padova: 2019).

Electronic remote simulators as a means of organizing extracurricular work of students

Bilous O., *Associate Professor*, Hovorun T., *Associate Professor*,
Berladir K., *Senior Lecturer*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

In the educational process of a higher professional educational institution, two types of independent work are distinguished - classroom, under the guidance of a teacher, and extracurricular. The close relationship of these types of work provides for the differentiation and effectiveness of the results of its implementation and depends on the organization, content, logic of the educational process (intersubject communications, advanced knowledge, etc.). Extracurricular independent work is carried out by the student on the instructions of the teacher, but without his direct participation.

The main types of independent work of students without the participation of teachers are:

- the formation and assimilation of the content of lecture notes based on the educational literature recommended by the lecturer, including educational information resources (electronic textbooks, electronic libraries, etc.), writing abstracts;
- preparation for seminars and laboratory work, their design;
- compiling an annotated list of articles from relevant journals by branches of knowledge (pedagogical, psychological, methodological, etc.);
- preparation of reviews for an article, manual;
- performing micro-surveys; preparation of practical developments;
- homework assignments in the form of solving individual problems, carrying out standard calculations, computer-aided and individual work on individual sections of the content of disciplines, etc.;
- computer current self-control and control of progress on the basis of electronic training and certification tests.

One of the ways to improve the quality of the educational process is to increase the activity of students in all areas of independent work outside the classroom.

Vector-coordinate method in solving physical problems

Bilous O., *Associate Professor*, Kravchenko Yu., *Senior Lecturer*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

A vector is an object that characterizes both the numerical value and the direction of action of a certain quantity. The simplest examples of the use of vectors in physics are speed and force. So, for example, force is a quantity that has a direction of action, the magnitude of the impact (modulus of force) on the corresponding point of application.

The main components of the vector method for solving problems are the following:

1. Translation of the problem statement into the language of vector algebra (fig. 1):

- choice of coordinate system, choice of basis vectors;
- decomposition of all introduced vectors.

2. Compilation of vector equalities or their systems.

3. Simplification of vector equalities or their systems.

4. Replacing vector equalities with corresponding algebraic equations and their solution.

5. Interpretation of the received answers, taking into account the geometric meaning of the solution.

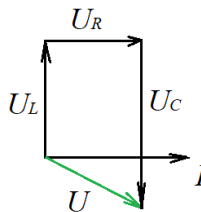


Figure 1 – Vector diagram of an electrical circuit

The use of this method allows to simplify and reduce the process of solving some problems of physics. In some cases, it is the main way to solve the proposed problems. The vector-coordinate method has advantages over other solution methods in that with the introduction of an appropriate coordinate system and the construction of given vectors, we proceed to finding the answer-vector in solving the problem.

СЕКЦІЯ 2

«Наноматеріали: властивості та застосування»

Rotational relaxation dynamics of suspended ferromagnetic nanoparticles in a static magnetic field

M.M. Moskalenko, *Ph.D. Student*; A.T. Liutyi, *Ph.D. Student*;
T.V. Lyutyi, *Associate Professor*; S.I. Denisov, *Professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Recently we have predicted theoretically and confirmed numerically the existence of the drift motion of suspended ferromagnetic nanoparticles subjected to a harmonically oscillating gradient magnetic field [1]. Now, assuming that the gradient field is absent, we solved the equation

$$\frac{d}{d\tau}\varphi = v_{\perp} \cos \varphi - v_{\parallel} \sin \varphi \quad (1)$$

for the dependence of the magnetization angle $\varphi = \varphi(\tau)$ on the dimensionless time τ , where v_{\perp} and v_{\parallel} are the dimensionless components of the static magnetic field. Its analytical solution for $\varphi_0 \equiv \varphi(0) \geq \varphi_{\infty} \equiv \varphi(\infty)$ yields

$$\varphi = \varphi_{\infty} + \arccos \frac{\cos(\varphi_0 - \varphi_{\infty}) + \tanh[(v_{\perp}^2 + v_{\parallel}^2)^{1/2} \tau]}{1 + \cos(\varphi_0 - \varphi_{\infty}) \tanh[(v_{\perp}^2 + v_{\parallel}^2)^{1/2} \tau]} \quad (2)$$

and

$$\varphi = \varphi_{\infty} - \arccos \frac{\cos(\varphi_0 - \varphi_{\infty}) + \tanh[(v_{\perp}^2 + v_{\parallel}^2)^{1/2} \tau]}{1 + \cos(\varphi_0 - \varphi_{\infty}) \tanh[(v_{\perp}^2 + v_{\parallel}^2)^{1/2} \tau]}, \quad (3)$$

respectively (see Fig. 1 for illustration). Thus, in the static magnetic field, the magnetization angle φ can either monotonically decrease with time (if $\varphi_0 > \varphi_{\infty}$) or monotonically increase (if $\varphi_0 < \varphi_{\infty}$).

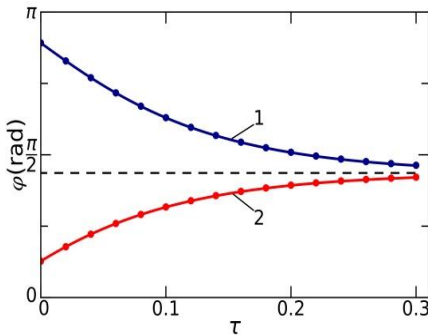


Figure 1 – Dependence of the magnetization angle φ on the dimensionless time τ . The system parameters are chosen as follows: $v_{\perp} = 10$, $v_{\parallel} = 2$ (i.e., $\varphi_{\infty} = 1.37$, horizontal dashed line), $\varphi_0 = 2.8$ rad (solid line 1) and $\varphi_0 = 0.4$ rad (solid line 2). Numerical solutions of Eq. (1) are indicated by the circular symbols

1. S.I. Denisov, T.V. Lyutyi, A.T. Liutyi, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **55**, 045001 (2022).

Drift motion of suspended ferromagnetic particles: Role of the static magnetic field

M.M. Moskalenko, *Ph.D. Student*; L.I. Drozdovskyy, *EP.m-01n, Student*;
T.V. Lyutyty, *Associate Professor*; S.I. Denisov, *Professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

A set of equations describing the rotational and translational motions of suspended ferromagnetic particles with a ‘frozen’ magnetization reads [1]

$$\dot{\varphi} = v_{\perp} \cos \varphi - v_{\parallel} \sin \varphi - v_g r_x \sin \varphi \sin(\tau + \phi), \quad (1)$$

$$\dot{r}_x = (4/3)v_g \cos \varphi \sin(\tau + \phi). \quad (2)$$

Here, $\varphi = \varphi(\tau)$ and $r_x = r_x(\tau)$ are the magnetization angle and the dimensionless particle coordinate, the overdot denotes derivative with respect to the dimensionless time τ , v_{\perp} and v_{\parallel} are the dimensionless components of the perpendicular and parallel components of the static magnetic field, and v_g and ϕ characterize the value and initial phase of the gradient magnetic field. We solved Eqs. (1) and (2) numerically and studied

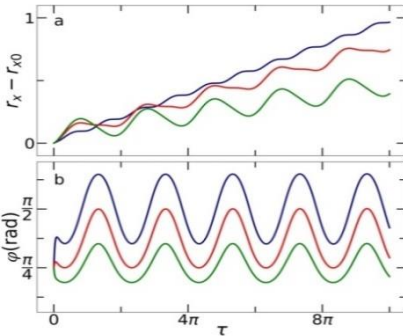


Figure 1 – The particle displacement from the initial position r_{x0} (a) and the magnetization angle (b) as functions of the dimensionless time τ . The other parameters are $v_g = 0.1$, $v_{\perp} = 10$, $r_{x0} = 50$, $\phi = \pi/5$, the initial magnetization angle φ_0 equals $\pi/4$, $v_{\parallel} = 0$, $v_{\parallel} = 5$ and $v_{\parallel} = 10$ (the upper, middle and lower curves, respectively)

the rotational and translational dynamics of such particles. It has been shown, in particular, that if $v_{\perp} = 0$ then φ and r_x are periodic functions of τ , i.e., in this case the drift motion of particles does not occur. In contrast, if $v_{\perp} \neq 0$ then the drift motion exists and its features, arising from the parallel component of the static magnetic field, are illustrated in Fig. 1. Specifically, the average drift velocity decreases with increasing v_{\parallel} .

1. S.I. Denisov, M.M. Moskalenko, T.V. Lyutyty, M.Yu. Baryba, *J. Nano-Electron. Phys.* **13** No 6, 06027 (2021).

Drift velocity of suspended ferromagnetic particles in a harmonically oscillating gradient magnetic field

M.Yu. Baryba, *Ph.D. Student*; S.O. Pushkar, *EP.m-01n, Student*;
T.V. Lyutyi, *Associate Professor*; S.I. Denisov, *Professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

The coupled rotational and translational dynamics of suspended ferromagnetic particles induced by a harmonically oscillating gradient magnetic field is described by ordinary differential equations [1]

$$\frac{d}{d\tau}\varphi = v_{\perp} \cos \varphi - v_g r_x \sin \varphi \sin(\tau + \phi), \quad (1)$$

$$\frac{d}{d\tau}r_x = (4/3)v_g \cos \varphi \sin(\tau + \phi) \quad (2)$$

for the magnetization angle $\varphi = \varphi(\tau)$ and the dimensionless particle position $r_x = r_x(\tau)$. We define the average drift velocity of particles as $\bar{v} = [r_x(2\pi n + 2\pi) - r_x(2\pi n)]/2\pi$, where the natural number n is chosen to exceed the dimensionless transient time $\tau = \tau_{tr}$, i.e., $n \gtrsim \tau_{tr}/2\pi$. Then, using Eq. (2), from this definition one obtains

$$\bar{v} = \frac{2}{3\pi} v_g \int_{2\pi n}^{2\pi(n+1)} \cos \varphi(\tau) \sin(\tau + \phi) d\tau. \quad (3)$$

To calculate this velocity, it is necessary to solve Eqs. (1) and (2) for a fixed parameters. We approximately solved these equations in two particular cases, when the nanoparticle dynamics occurs near and far from the origin. In the first case, occurring at $1 \lesssim |r_{x0}| = |r_x(0)| \ll v_{\perp}/v_g$, we have

$$\bar{v}_1 = 2v_g^2 r_{x0}/3v_{\perp}, \dots \quad (4)$$

and in the second case, when $|r_x(\tau)| \gg v_{\perp}/v_g$, Eqs. (1) and (2) yield

$$\bar{v}_2 = \text{sgn}(r_x) 8v_g/3\pi, \quad (5)$$

where $\text{sgn}(x)$ denotes the sign function. From formulas (4) and (5) it follows, in particular, that \bar{v}_1 linearly depends on the initial particle position r_{x0} , decreases as v_{\perp} grows, and depends quadratically on v_g . At the same time, \bar{v}_2 does not depend on $|r_x(\tau)|$ and linearly grows with increasing v_g .

1. S.I. Denisov, T.V. Lyutyi, A.T. Liutyi. *J. Phys. D: Appl. Phys.* **55**, 045001 (2022).

Numerical simulation of biofluid flow for magnetic drug targeting

Nikita Petrenko, *Ph.D. student*; Taras Lyutyi, *Associate Professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

The biomagnetic fluids are found within living organism, and in the existence of an external magnetic field, the flow of these fluids is influenced significantly. During the previous few decades, the flow of biological fluids under the force of a magnetic field has been studied by numerous researchers due to countless possible applications in bioengineering and medicine. The main priority is the invention and development of cell separation devices, targeted drug delivery using magnetic drug carries, treatment of cancer and tumor using magnetic hyperthermia.

In this work, we carry out blood that is considered a typical biomagnetic fluid due to the interaction of intercellular particles, which are present at a uniquely high concentration in the mature red blood cells. Along with this, we inject some magnetic nanoparticle into it and examine the behavior and dynamics of fluid flow to act as Newtonian biomagnetic fluid via an aortic bifurcation artery.

We consider ferromagnetic nanoparticle of Fe_3O_4 as the dispersed magnetic nanoparticle, spherical (radius R_{mp} and volume V_{mp}) and uniform size. The force that is affecting the particle is described by:

$$F_m = \left(\frac{4}{3}\right) \pi R_{mp}^3 \mu_0 \left(\frac{3\chi_{mp}}{\chi_{mp}+3}\right) (\vec{H} \cdot \nabla) \vec{H} \quad (1)$$

where \vec{H} is the applied magnetic field, χ_{mp} is the magnetic susceptibility, μ_0 is the permeability in air.

The magnetic field is described as:

$$H_x(x, y) = \frac{M_s R_{mag}^2}{2} \left(\frac{(x+d)^2 - y^2}{((x+d)^2 + y^2)^2}\right); H_y(x, y) = \frac{M_s R_{mag}^2}{2} \left(\frac{2(x+d)^2 - y^2}{((x+d)^2 + y^2)^2}\right) \quad (2)$$

where M_s is the magnetization property of a fluid; R_{mag} is a radius of the cylindrical electromagnet; d is the distance orthogonal to the axial flow field; (x, y) are the location of the applied magnetic field.

Computational fluid dynamics simulations were performed using Ansys Fluent software. The aortic bifurcation artery geometry was first done (Fig. 1). The following steps were also meshing the built geometry along with the written user-defined functions that have been compiled in the Ansys Fluent platform for simulations flow and particle trajectory calculations.

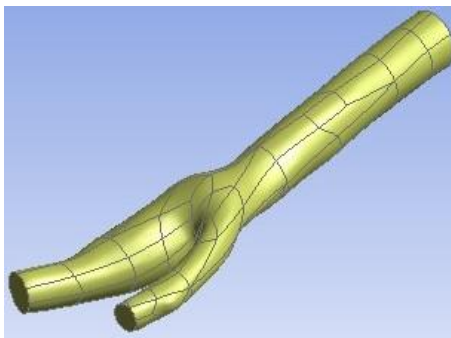


Figure 1 – The aortic bifurcation artery geometry

In an effort to receive accurate results, the amount of time calculation was set up with these parameters: time step size 0.01, max number of time steps – 50, max iterations – 200.

The particle track under the magnetic field in the artery is shown (Fig. 2). When the external magnetic field is applied in the big outlet of the artery, a strong recirculation zone is formed near to it location. That's why the chance to capture injected nanoparticle at the outlet of this branch is increased. The opposite is observed at the upper branch (small outlet) of the bifurcation, where the intensity of the magnetic field is weaker the blood flow reduces.

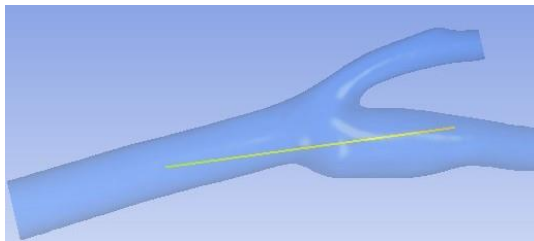


Figure 2 – Magnetic particle pathlines in the artery with a magnetic field

It's observed that the primary effect of the applied magnetic field is the formation of the vortex near the insert point, which modifies the fluid flow, making it more uniform. The particle approaching this zone is captured. Furthermore, the strength of this flow gradually decreases as the field strength decreases, which is a similar that occasion can also be observed for the temperature distribution.

Hard nanolayered WN/NbN coatings for tribological applications

Kateryna Smyrnova¹, *Ph.D. Student*; Martin Sahul², *Senior Researcher*; Marián Haršáni³, *Head of the Department, Researcher*; Ľubomír Čaplovič², *Professor, Head of the Institute*; Alexander Pogrebnyak¹, *Professor, Head of the Department*

¹Department of Nanoelectronics and Surface Modification, Sumy State University, Sumy, Ukraine

²Institute of Materials Science, Slovak University of Technology in Bratislava, Trnava, Slovak Republic

³Research and Development Department, STATON, s.r.o., Turany, Slovak Republic

Protective coatings are widely used in the industry since they effectively prolong the service life of the expensive details and tools and reduce the usage of lubricants, which are harmful to the environment. Multilayers were found to exhibit high hardness, resistance to crack propagation and wear, as well as low friction coefficient under extreme tribological conditions due to a combination of different materials as alternating layers. Therefore, considering promising characteristics of layered architecture, we synthesized new nanostructured WN/NbN coatings via the cathodic-arc physical vapor deposition technique. X6CrNiTi18-11 stainless steel was used as a substrate. Different negative bias voltages (U_s) were applied: -50 V, -100 V, and -200 V. The effect of the U_s on the chemical composition, morphology, microstructure, surface roughness, mechanical properties, and wear resistance of WN/NbN multilayers was comprehensively studied. The X-ray diffractometer, scanning electron microscope with energy-dispersive spectroscopy, scanning laser confocal microscope, nanohardness tester, and ball-on-disk tribotester were utilized.

Cross-sectional observations revealed that the bilayer period, λ , increased from ~ 8 nm to ~ 14 nm, increasing the negative bias voltage. At -50 V, WN/NbN coatings exhibited the highest hardness of 36.6 GPa and elastic modulus of 447.8 GPa, as well as the lowest surface roughness of 35.2 nm and wear rate of 8.02×10^{-5} mm³/Nm. High tribological properties are caused by the presence of a mixture of Nb₂O₅ and WO₃ oxides. Thus, studied WN/NbN multilayers can be promising candidates for wear-protective coatings operating under extreme conditions.

СЕКЦІЯ 3

**«Матеріалознавство мікро- та
наноелектроніки»**

Температурні ефекти в магніторезистивних властивостях компонентів електронних систем на основі пермалою та золота

Долгов-Гордійчук С.Р., студент гр. ЕП.м-01н;
Пилипенко О.В., к.ф.-м.н.; Пазуха І.М., к.ф.-м.н., доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Нанорозмірні плівкові системи, сформовані на основі феромагнітних та немагнітних металів з обмеженою взаємною розчинністю широко використовуються як компоненти електронних систем. Це стимулює інтенсивні дослідження їх фізичних властивостей. Зокрема, актуальною на сьогодні проблемою залишається пошук матеріалів з високою температурної стабільністю магніторезистивних та магнітних властивостей з метою розробки термостабільних компонентів електронних систем.

У роботі проведені дослідження впливу температури обробки на магніторезистивні властивості нанорозмірних плівкових систем ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}+\text{Au}$)/П, що містять від 10 до 60 ат.% Au, в умовах термообробки при $T_b = 400, 500, 600$ та 700 К. Установлено, що для зразків загальною товщиною $d = 45$ нм при $c_{\text{Au}} = 21-46$ ат.% фіксується ізотропний характер польових залежностей магнітоопору (МО). Структура зразків у вказаному концентраційному діапазоні складається з феромагнітних гранул розділених провідниковими каналами матриці Au, що зумовлює ефективне спін-залежне розсіювання електронів. Амплітуда ізотропного ефекту сягає максимального значення 0,45 % при $c_{\text{Au}} = 30$ ат.%, яке фактично залишається незмінним при відпалюванні до температур $T_b = 400$ та 500 К (МО = 0,46 %). Перехід до анізотропного характеру МО для діапазону $c_{\text{Au}} = 21-46$ ат.% спостерігається у процесі термовідпалювання зразків за $T_b = 600$ К. Це пов'язано із зростання середнього розміру феромагнітних гранул, яке супроводжується зростанням ймовірності процесу електрон-фононного розсіювання, що перешкоджає руху електронів від однієї феромагнітної гранули до іншої і зменшує ймовірність спін-залежного розсіювання.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0120U102005 (2020-2022 рр.).

Фазовий склад плівкових матеріалів з різним ступенем ентропійності

Рилова А.К., студ. гр.ЕПМ-11н; Шумакова Н.І., к.ф.-м.н., доцент;
Проценко С.І., д.ф.-м.н., професор
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Двокомпонентні сплави відносяться до т.зв. низькоентропійних сплавів; при кількості базових компонент $n = 3-4$ стабілізуються середньоентропійні, а при $n = 5-14$ – високоентропійні сплави (ВЕС). Для формування плівкових матеріалів різного ступеня ентропійності на основі Fe, Ni, Co, Cu, Al, Ag, Au, Pd, Pt, Mo і Cr використовувались методи пошарової або одночасної конденсації металів (див., наприклад, [1]).

Дифракційні дослідження кристалічної структури і фазового складу плівкових матеріалів (електронний мікроскоп ПЕМ-125К) указують на те, що їх фазовий склад залежить від елементного складу і не залежить від ступеня ентропійності плівки. У плівкових ВЕС основними фазами можуть бути ГЦК фази на основі Cu з параметром $a = 0,3604 - 0,3650$ нм або $a = 0,4016 - 0,4050$ нм при надлишку в сплаві Al. Поряд з лініями від базової ГЦК фази можуть фіксуватись сліди фази із параметром решітки, близьким до параметра α -Fe або ОЦК Cr - твердий розчин т.р. α -Fe(Cr) або, інколи, сліди іншої фази - інтерметаліду NiAl. У відпалених ВЕС спостерігалась лише ГЦК фаза.

Установлено, що в середньоентропійних плівкових матеріалах утворюються інтерметаліди; у ВЕС після конденсації спостерігається двофазний склад ГЦК фаза і сліди ОЦК фази, яка відповідає інтерметалідам на основі Ni і Al або Fe і Cr. Після відпалювання фазовий склад гомогенізується і відповідає ГЦК фазі.

Робота виконана в рамках НДР №0122U000785 (2022-2024 pp.).

1. Yu.S. Bereznyak, M. Opielak, L.V. Odnodvoretz, D.V. Poduremne, I.Yu. Protsenko, Yu.M. Shabelnyk, *J. Nano- Electron. Phys.* **11** No 2, 03026 (2019).

Структурно-фазовий стан нанорозмірних плівкових систем на основі пермалосьвого сплаву $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ та Au

Жаботинський В.І., студ. гр. ЕП-81; Логвинов А.М.,
к.ф.-м.н.; Пилипенко О.В., к.ф.-м.н.; Пазуха І.М., к.ф.-м.н., доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Дослідження впливу термообробки на структурно-фазовий стан нанорозмірних плівкових систем є важливим з точки зору коректного аналізу їх електрофізичних, магніторезистивних та ін. властивостей. У даній роботі такі дослідження були проведені для системи $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} + \text{Au})/\text{П}$ загальною товщиною 45 нм, що містить від 20 до 52 ат.% Au. Отримувалися зразки методом одночасного електронно-променевого випарування у вакуумі.

Результати електроннографічних досліджень зразків до та після відпалювання до 750 К свідчать про те, що на електроннограмах фіксуються дифракційні кільця, які належать фазам ГЦК-Au та ГЦК- Ni_3Fe . При цьому кільця, що належать $\text{Ni}_3\text{Fe}(111)$ та $\text{Au}(200)$ накладаються, що впливає на розподіл інтенсивності кілець. Параметри ґраток становлять 0,406 нм для ГЦК-Au та 0,354 нм для ГЦК- Ni_3Fe . У процесі відпалювання до 750 К дифракційні кільця стають більш чіткими. Це пов'язано із зростання середнього розміру зерен, що підтверджується результатами електронно-мікроскопічних досліджень. Фазовий стан системи не змінюється і відповідає ГЦК-Au+ГЦК- Ni_3Fe з параметрами ґраток 0,407 нм та 0,355 нм відповідно. Згідно даних електронно-мікроскопічних досліджень, структура свіжосконденсованих зразків змінюється від такої, що складається з феромагнітних гранул розмірами від 5 до 15 нм рівномірно розподілених у матриці Au ($c_{\text{Au}} = 52$ ат.%) до такої, що відповідає суцільним феромагнітним плівкам з впровадженими атомами немагнітної компоненти із середнім розміром зерна 5-7 нм. ($c_{\text{Au}} = 20$ ат.%). У процесі відпалювання зразків при $c_{\text{Au}} = 52$ ат.% відбувається незначне збільшення середнього розміру феромагнітних гранул, поруч із більш суттєвим зростанням зерен немагнітної компоненти. Для зразків при $c_{\text{Au}} = 20$ ат.%, характерним є незначне збільшення розміру як феромагнітних гранул, так і зерен Au, внаслідок їх ізоляції магнітною компонентою.

Структурно-фазовий стан шаруватих структур $[\text{Fe}/\text{SiO}]_5$

Загорulyко А.Ю., студ.гр. ЕП-81; Петренко Р.М., аспірант;
Логвинов А.М., к.ф.-м.н.

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Відомо, що зміни магніторезистивних властивостей феромагнітних матеріалів та систем, сформованих на їх основі, досить часто пов'язані зі зміною у структурно-фазову стані, що відбуваються у процесі їх формування або під час термообробки. У зв'язку з цим метою даної роботи було проведення досліджень структурно-фазового стану шаруватих структур $[\text{Fe}(d_{\text{Fe}})/\text{SiO}(d_{\text{SiO}})]_5/\Pi$ при $d_{\text{Fe}} = 3-10$ нм, $d_{\text{SiO}} = 5$ нм після конденсації та термовідпалювання за $T_b = 800$ К. Для проведення дифракційних та електронно-мікроскопічних досліджень був використаний просвічуючий електронний мікроскоп ПЕМ-125К.

Результати досліджень показали, що і свіжосконденсовані, і відпалені при температурі 800 К зразки $[\text{Fe}(d_{\text{Fe}})/\text{SiO}(5)]_5/\Pi$ з ефективною товщиною шарів Fe $d_{\text{Fe}} = 6-10$ нм є нанокристалічними. Середній розмір зерна для свіжосконденсованих плівок складає 5-10 нм, а для відпалених – 30-50 нм. Фазовий склад таких зразків відповідає ОЦК-Fe з параметрами ґратки $a = 0,284-0,286$ нм. Діелектрична компонента знаходиться в аморфному стані, що не дає можливості ідентифікувати дифракційні максимуми, які відповідають SiO_x .

Для свіжосконденсованих зразків $[\text{Fe}(d_{\text{Fe}})/\text{SiO}(5)]_5/\Pi$ з ефективними товщинами $d_{\text{Fe}} = 3-5$ нм на електроннограмах спостерігаються тільки розмиті дифракційні максимуми. Детальний аналіз електроннограми не можливий, а структура таких плівок близька до аморфної. Після відпалювання зразків при температурі 800 К їх фазовий склад відповідає ОЦК-Fe + ГЦК-FeO. На мікрознімках спостерігається формування структури з широким розподілом розмірів частинок Fe, розділених діелектричними каналами.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0120U102005 (2020-2022 рр.).

Керівники: Пазуха І.М., к.ф.-м.н., доцент;
Шкурдода Ю.О., д.ф.-м.н., доцент

Вплив відпалювання на магнітоопір та структурно-фазовий стан тонкоплівкових сплавів на основі Co і Ag

Сещенко Д.І.¹, студ. гр. ЕП.м-01н; Гребинаха В.І.², аспірант;
Шпетний І.О.¹, д.ф.-м.н., доцент

¹ Сумський державний університет, м. Суми, Україна

² НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Відомо, що проведення відпалювання зразків гранульованих магнітних плівкових систем дозволяє гомогенізувати структурний стан по всьому об'єму плівки. При цьому процес відпалювання гранульованих зразків впливає на поведінку їх магнітоопору за рахунок зміни розміру та форми гранул.

Узагальнюючи результати дослідження магніторезистивних властивостей та структурно-фазового стану невідпалених та відпалених при температурах $300 < T_{\text{відп}} \leq 900$ К зразків тонкоплівкових сплавів на основі кобальту та срібла товщиною $d = 20$ нм у широкому інтервалі концентрацій компонентів ($17 \leq c_{\text{Co}} \leq 89$ ат. %), можна зазначити наступне. Невідпалені та відпалені до $T_{\text{відп}} \leq 900$ К плівки характеризувалися двофазним станом, при якому гранули Co знаходились в матриці ГЦК-Ag. Наявність стабільних твердих розчинів при цьому не фіксувалась. У зразках гранульованих плівкових сплавів при концентраціях кобальту $17 < c_{\text{Co}} < 70$ ат.% (незалежно від співвідношення концентрацій компонентів у сплаві) одночасно були присутні суперпарамагнітні, однодоменні феромагнітні та багатодоменні феромагнітні гранули у певній пропорції. Поріг структурної перколяції гранульованого сплаву у невідпаленому стані та після термообробки становив $c_p \approx 55$ ат. %.

Максимальним значенням величини гігантського магнітоопору (ГМО) характеризувалися невідпалені зразки. Так, максимальне значення ГМО = 7,7 % при вимірюваннях у магнітному полі $H = 0,45$ Тл у поздовжній геометрії при $T_{\text{вимір}} = 300$ К спостерігалось для невідпаленого зразка з концентрацією $c_{\text{Co}} = 55$ ат. %. Відпалювання плівок при $370 \leq T_{\text{відп}} \leq 900$ К призвело до зменшення величини ГМО внаслідок зміни структурного стану, а саме зростання розміру гранул Co.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0120U102005 (2020-2022 рр.).

Температурна стабільність структурно-фазового стану та магнітоопору тонкоплівкових сплавів на основі пермалою та міді

Лебединець Ю.С., студ. гр. ЕП-81;
Загорулько А.Ю., студ. гр. ЕП-81

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Середньоентропійні сплави на основі пермалою можуть бути застосовані як основа для високоентропійних сплавів. Тому дослідження впливу структурно-фазового стану на фізичні властивості гранульованих плівкових систем на основі пермалою є актуальними та перспективними. Узагальнюючи результати досліджень структурно-фазового стану та магнітоопору невідпалених та відпалених при $600 \leq T_{\text{відп.}} \leq 900$ К тонкоплівкових сплавів на основі пермалою $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ та міді товщинами $25 \leq d \leq 40$ нм у широкому інтервалі складу ($0,19 \leq x_{\text{Cu}} \leq 0,79$, де x_{Cu} – частка міді у сплаві), можна зазначити наступне. Невідпалені зразки характеризувалися структурно-фазовим станом, при якому суперпарамагнітні квазігранули ГЦК- Ni_3Fe ($x \approx 3$), були розміщені у матриці ГЦК- Cu . Після відпалювання зразків при $T_{\text{відп.}} = 700$ К у зразках поновилася стехіометрія до стану матеріалу вихідної наважки. Фазовий склад зразків при цьому відповідав ГЦК- Ni_3Fe + ГЦК- Cu . Якісний склад зразків контролювався за спектром характеристичних втрат електронів. Дослідження магнітоопору показало, що зразки у широкому інтервалі складу характеризуються ізотропним магнітоопором. Після відпалювання зразків при $600 \leq T_{\text{відп.}} \leq 900$ К польові залежності магнітоопору залишилися ізотропними.

Проведені дослідження вказують, що тонкоплівкові сплави на основі пермалою $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ та міді товщинами $25 \leq d \leq 40$ нм можуть бути перспективними при застосуванні їх в якості чутливих елементів сенсорів величини магнітного поля завдяки термічній стабільності їх структурно-фазового стану та магніторезистивних властивостей після відпалювання у діапазоні температур $600 \leq T_{\text{відп.}} \leq 900$ К.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми № 0122U000785 (2022-2024 рр.).

Керівники: Шпетний І.О., д. ф.-м. н., доцент;
Проценко І.Ю., д. ф.-м. н., професор

Вплив магнітного поля на морфологію поверхні магнітних гранульованих плівок

Мартиненко І.С.¹, студ. гр. ЕП-81;

Фоменко О.О.¹, студ. гр. ФЕ-11, Гребинаха В.І.², аспірант

¹ Сумський державний університет, м. Суми, Україна

² НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Відомо, що магнітні поля можуть впливати на морфологію поверхні магнітних наноматеріалів, тим самим змінюючи характеристики електричної та спінової провідності елементів наноелектроніки і спінтроніки.

Методами атомно-силової мікроскопії на приладі Solver PRO було досліджено вплив зовнішнього магнітного поля на механічні та структурні характеристики поверхні зразків гранульованих тонкопліткових сплавів на основі Co і Ag, а також Co і Cu. Встановлено, що навіть при відносно невисокій напруженості ($H = 0,01$ Тл) перше застосування магнітного поля має найбільш значний вплив на зміну морфології поверхні зразка. Так, для зразка гранульованого сплаву на основі кобальту та срібла при $c_{Co} = 39$ ат.% після першого застосування магнітного поля середньоарифметична шорсткість поверхні плівки R_a зменшилась на 19 %, середньоквадратична шорсткість R_q – на 16 %, структурна ентропія S – на 4,5 %, а висота найвищого піку – в 4 рази.

Збільшення величини магнітного поля до $H = 0,1$ Тл і подальша релаксація у відсутності поля не мали істотного впливу на структурні характеристики поверхні плівки порівняно зі значеннями, отриманими після першого застосування зовнішнього магнітного поля.

Ефекти впливу магнітного поля на структуру і морфологію поверхні зразків гранульованих пліткових сплавів можна пояснити обертанням магнітних гранул, їх деформацією і переходом плівкової системи в новий, більш рівноважний стан. Цей стан відрізняється за своїми властивостями від початкового.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0120U102005 (2020-2022 рр.).

Керівник: Шпетний І.О., *д.ф.-м.н., доцент*

Магнітоопір багатокомпонентних плівкових сплавів

Калініченко А.Ю. студ. гр. ЕП.м-01н; Микитченко Д.О., студ. гр. ЕП-81; Шабельник Ю.М., к.ф.-м.н., ст. викладач; Шкурдода Ю.О., д.ф.-м.н., професор

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Узагальнюючи результати дослідження магніторезистивного ефекту в багатокомпонентних плівкових сплавах на основі феромагнітних та немагнітних металів товщинами $d = 20-100$ нм у широкому інтервалі концентрацій компонент, можна зазначити наступне. Для всіх термостабілізованих за температури 700 К зразків ($\text{FeNiCoCu}/\text{П}$, $\text{FeNiCoCuAl}/\text{П}$, $\text{FeNiCoCuAlCr}/\text{П}$) за виключенням $(\text{Fe}_{0,8}\text{Co}_{0,2})_x\text{Cu}_{1-x}/\text{П}$ та $(\text{Fe}_{0,8}\text{Ni}_{0,2})_x\text{Cu}_{1-x}/\text{П}$ з $x = 0,5-0,8$ фіксується анізотропний магнітоопір величиною 0,2-2 % залежно від товщини та концентрації компонент. Такі плівкові сплави можна розглядати як магнітооднорідні матеріали, анізотропний характер магнітоопору яких зумовлений взаємодією електронів провідності із зовнішніми електронами, спінові моменти яких спричиняють спонтанну намагніченість. Величина магнітоопору таких зразків лише зменшується при збільшенні вмісту немагнітних компонент і при деяких критичних концентраціях взагалі не фіксується у полях до 0,5 Тл як за кімнатної температури, так і за температури 120 К.

Для зразків $(\text{Fe}_{0,8}\text{Co}_{0,2})_x\text{Cu}_{1-x}/\text{П}$ та $(\text{Fe}_{0,8}\text{Ni}_{0,2})_x\text{Cu}_{1-x}/\text{П}$ з $x = 0,5-0,8$ фіксується ізотропний характер магнітоопору величиною 0,5-1 %. Причиною появи ізотропного магнітоопору є утворення гранульованого стану, що підтверджується електронно-мікроскопічними дослідженнями. У таких зразках реалізується механізм спин-залежного розсіювання електронів. Залежність величини магнітоопору від концентрації міді для таких зразків носить не монотонний характер.

Були проведені дослідження залежності ізотропного магнітоопору від температури у температурному інтервалі 120-400 К. Величина ізотропного магнітоопору зменшується з підвищенням температури. від 120 до 400 К у 1,5-2,5 рази.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0120U102005 (2020-2022 рр.).

Розмірний ефект у магніторезистивному співвідношенні тришарової магнітовпорядкованої плівки

Кудрявцев Д.В.¹, студ. гр. СФ-81; Касьяненко А.О.², студ.гр. КН-21,
Кущенко Н.В.², студ. гр. БЦІ-12; Шабельник Ю.М.¹,
к. ф.-м. н., ст. викладач

¹ Сумський державний університет, м. Суми, Україна

² Харківський національний університет будівництва та архітектури,
м. Харків, Україна

Експериментально встановлено [1] та теоретично обґрунтовано, як з використанням квазікласичного [2, 3], так і феноменологічного [4] підходів, що залежність магніторезистивного відношення (МРВ) δ :

$$\delta = \frac{\overline{\rho_{\text{ар}}} - \overline{\rho_{\text{р}}}}{\overline{\rho_{\text{р}}}}, \quad (1)$$

$\overline{\rho_{\text{ар}}}$ ($\overline{\rho_{\text{р}}}$) – усереднений по товщині провідника опір магнітовпорядкованої тришарової плівки (сандвіча), в якому реалізується антиферромагнітна взаємодія, коли вектори спонтанної намагніченості антипаралельні в ферромагнітних шарах металу (ферромагнітна – коли вектори спонтанної намагніченості паралельні в магнітних шарах металу) конфігурації) у залежності від товщини d_{m2} накривного магнітного шару носить немонотонний характер. Зазначену розмірну залежність МРВ δ від товщини d_{m2} можна обґрунтувати з використанням узагальненої формули Дієні [5]:

$$\delta(d_{m2,m1}) \sim \frac{1 - e^{-\frac{d_{m2,m1}}{1+d_{n,m1}+d_{i1,m1}(1+d_{i2,i1})}}}{1 + \frac{d_{m2,m1}}{1 + d_{n,m1} + d_{i1,m1}(1 + d_{i2,i1})}}. \quad (2)$$

Тут $d_{m2,m1} = d_{m2} / d_{m1}$ – відношення товщин d_{m2} накривного магнітного шару до товщини $d_{m1} = \text{const}$ базового магнітного шару, який конденсується на підкладку, $d_{n,m1} = d_n / d_{m1}$ – товщина d_n

немагнітного прошарку нормованого на товщину d_{m1} базового шару, $d_{i1,m1} = d_{i1} / d_{m1}$ – товщина d_{i1} інтерфейсу між базовим шаром та немагнітним прошарком яка нормована на товщину d_{m1} базового шару, $d_{i2,i1} = d_{i2} / d_{i1}$ – відношення товщин інтерфейсів у тришаровому зразку (d_{i2} – товщина межі поділу між немагнітним прошарком та накривним шаром).

Дослідимо формулу (2) для граничних значень товщин d_{m2} . В області малих значень товщини d_{m2} накривного шару, тобто коли виконується нерівність:

$$d_{m2,m1} \ll 1 + d_{n,m1} + (1 + d_{i2,i1})d_{i1,m1}, \quad (3)$$

магніторезистивне відношення δ лінійно зростає зі збільшенням товщини d_{m2} накривного магнітного шару ($\delta(d_{m2,m1}) \sim d_{m2,m1}$):

$$\begin{aligned} \delta(d_{m2,m1}) &\sim \frac{d_{m2,m1}}{1 + d_{n,m1} + (1 + d_{i2,i1})d_{i1,m1}} \approx \\ &\approx d_{m2,m1} \left(1 - d_{n,m1} - (1 + d_{i2,i1})d_{i1,m1}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

а самий ефект є незначним. Це обумовлене тим, що в зазначеному інтервалі товщин (3) опір накривного шару в сандвічі шунтується опорами базового магнітного шару, немагнітним прошарком та інтерфейсами. Зі зростанням товщини d_{m2} величина струму в накривному магнітному шарі збільшується (струм якби „перетікає” у накривний шар), що і призводить до збільшення МРВ при подальшому зростанні товщини d_{m2} магнітного шару.

У разі виконання протилежної, у порівнянні з (3), нерівності:

$$\begin{aligned} \delta(d_{m2,m1}) &\sim \frac{1 + d_{n,m1} + (1 + d_{i2,i1})d_{i1,m1}}{d_{m2,m1}} \approx \\ &\approx \frac{1}{d_{m2}} \left(d_{m1} + d_n + (1 + d_{i2,i1})d_{i1}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

який лише в інтервалі товщин $d_{m2,m1} > 1 + d_{n,m1} + (1 + d_{i2,i1})d_{i1,m1}$ правильно описує розмірну залежність $\delta(d_{m2,m1})$. З асимптотичного виразу (6) випливає, що магніторезистивне відношення практично лінійно зменшується зі збільшенням товщини d_{m2} накривного магнітного шару в силу того, що у цьому випадку спостерігається зворотна ситуація: опір спейсера, інтерфейсів та базового магнітного шару у тришаровій плівці шунтується опором накривного магнітного шару.

З огляду на протилежну поведінку МРВ (воно зростає – в області малих товщин d_{m2} , та спадає – в області великих значень d_{m2}) для граничних значень величини d_{m2} , вираз (2) доцільно дослідити на наявність екстремуму. Для цього здиференціюємо формулу (2) по $d_{m2,m1}$, а отриманий результат прирівняємо до нуля. В результаті отримаємо трансцендентне рівняння:

$$e^{-\frac{d_{m2,m1}}{1+d_{n,m1}+d_{i1,m1}(1+d_{i2,i1})}} \left(2 + \frac{d_{m2,m1}}{1+d_{n,m1}+d_{i1,m1}(1+d_{i2,i1})} \right) - 1 = 0, \quad (7)$$

наближеним розв'язком якого є функція:

$$d_{m2,m1}^{\text{extr}} = 1 + d_{n,m1} + d_{i1,m1}(1 + d_{i2,i1}). \quad (8)$$

У разі виконання рівності (8) величина МРВ δ набуває максимального (амплітудного) значення в силу відсутності шунтуючого ефекту.

Таким чином, використовуючи узагальнену формули Дієні (2) можна якісно описати розмірну залежність МРВ δ (залежність від товщини накривного шару d_{m2}), яке описує ефект гігантського магнітоопору в магнітному сандвічі. Величина δ , для граничних значень товщини накривного магнітного шару металу мізерно мала внаслідок наявності шунтуючого ефекту та набуває найбільшої (амплітудної) величини у разі виконання рівності (8) в силу відсутності ефекту шунтування. Зауважимо, що вище наведені формули можна використовувати для обґрунтування розмірної залежності транспортних коефіцієнтів в немагнітних багатошарових структурах.

Робота виконана в рамках держбюджетної теми 0120U102005 (2020-2022 рр.).

1. *Magnetoelectronics* (Ed. by M. Johnson) (Elsevier: 2004).
2. Yu.O. Shkurdoda, L.V. Dekhtyaruk, V.B. Loboda, *Functional Materials* **15**, 34 (2008).
3. Л.В. Дехтярук, *Вісник СумДУ. Серія Фізика, математика, механіка* **2**, 120 (2007).
4. Yu.O. Shkurdoda, L.V. Dekhtyaruk, A.G. Basov, A.M. Chornous, Yu.M. Shabelnyk, A.P. Kharchenko, T.M. Shabelnyk, *J. Magn. Magn. Mater.* **477**, 88 (2019).
5. B. Dieny, P. Humbert, V.S. Speriosu, et. al., *Phys. Rev. B* **45**, 806 (1992).

Керівник: Дехтярук Л.В., д.ф.-м.н., професор, Харківський національний університет будівництва та архітектури

СЕКЦІЯ 4

«Електронні інформаційні системи»

High-energy time-of-flight momentum microscope development

Olena Tkach¹, *Associate Professor*; Gerd Schönhense², *Professor*

¹Sumy State University, Sumy, Ukraine

²Institute of Physics, Johannes Gutenberg University, Mainz, Germany

Photoelectron momentum microscopy (MM) is a modern research method for determining the electronic structure of solid materials using photoelectron energy, momentum and spin analysis. In the language of electron microscopy, this information can be retrieved from the ‘reciprocal image’. There are several designs of microscopes to obtain this information: with a hemisphere (angle-resolved photoelectron spectroscopy (ARPES)) or high-energy (HE) time-of-flight (ToF) MM. The latter allows us to sort the energy states by their time-of-flight. A time-resolving image detector, here a delay-line detector (DLD), is used for spatio-temporal beam diagnostics and for k-space and real-space (=Gaussian) imaging.

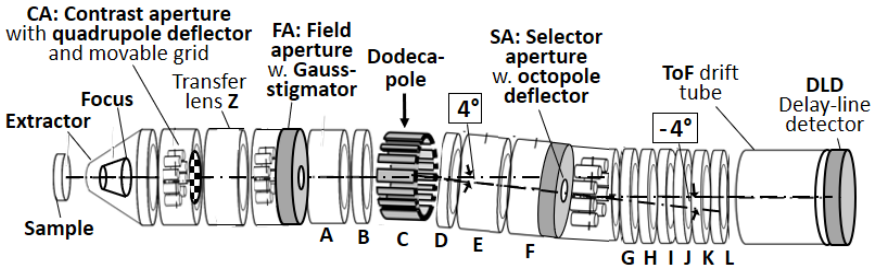


Figure 1 – Schematic electron optics of momentum microscope

Consider the design of the HE ToF microscope (Fig. 1). It consists of 3 lens groups with optical axis in a short section being tilted by 4° . The front part comprises: extractor, focus, contrast aperture (CA) unit (hosting a deflector quadrupole), transfer lens Z and field aperture (FA) unit (hosting the Gauss octopole stigmator). In this microscope the first k-image is huge (up to 20 mm diameters.), so it cannot be confined by a set of apertures. The CA plane hosts a large k-grid (hole array) for adjustment, movable in and out by a piezomotor. Plane FA hosts the first Gaussian image and a piezomotor-driven array of 16 field apertures. Behind FA, lens A focuses a

k-image to the centre of the dodecapole, and lens E in the tilted part of the column focuses the second Gauss image into the selector aperture SA unit. B and D serve to suppress field penetration of A and D into the dodecapole. The microscope comprises 5 piezo motors that move various diaphragms.

The *dodecapole bandpass filter* acts like a dispersive spectrometer, deflecting the beam by 4° , with selectable entrance and exit apertures in FA and SA. It selects a bandpass of some 10 to 100 eV and thus effectively suppresses background electrons with undesired energies. The SA unit also hosts a 16-aperture exit-slit array and an octopole deflector/stigmator which deflects the beam by -4° , back to the original direction. The parallel beam displacement is only few mm, so that the column is mounted in a linear mumetal tube. Finally, zoom optics G-L focusses the final k-image (or Gaussian image) onto the DLD. The three lens groups enable k-fields-of-view between < 4 and $\sim 16 \text{ \AA}^{-1}$ diameter on the 80mm DLD.

The assembled microscope is mounted in a mumetal chamber (working pressure few 10^{-7} Pa). Simple Hg-UV-lamps or UV-LEDs are well suited as photon sources for studying the sample surface, exploiting workfunction and topological contrast. In the case of inhomogeneous, complexly textured samples or small sizes, it is useful to inspect real image in real time. Homogeneous regions on the sample are selected using a precision hexapod manipulator. In addition, the positioning of the photon spot on the sample can be done in this mode. Because of the huge parameter space (>50 lens and deflector potentials), a simulator program (SIMION) helps finding suitable lens settings. By changing lens excitations (focal lengths), we can switch from real to k images.

The instrument enables energies from threshold up to >7 keV. The insulators of the front lens allow for extractor voltages up to 30 kV. The simulations for the low-energy range ($E_{\text{kin}} \sim 16$ eV) revealed even higher k-resolution than reached with the low-energy k-ToF. This is not surprising, because the large lenses have lower spherical aberrations.

The first two prototypes are operated at the hard- and soft-X-ray beamlines P22 and P04 at the Synchrotron-radiation source PETRA-III (DESY, Hamburg). We report on the first experiments and the selection of the most optimal operating parameters. The microscope will be used for the study of new interesting samples, for example, with topological states in which quantum effects are manifested.

Surgical diode lasers

Symonenko I.A., *Stud. Gr. МЦ.М-709*;
 Lukavenko I.M., *Cand. Med. Sci., Associate Professor*
 Sumy State University, Sumy, Ukraine

Diode laser is a laser in which the active medium is an electron-hole gas, and the working area is a semiconductor p - n junction. Structurally, the diode laser consists (Fig. 1) of two semiconductor wafers with different types of conductivity. The electric current transmission in the forward direction stimulates the movement of electrons from the plate n to the region p , where the electrons collide with atoms and release photons. This process is avalanche-like until a laser beam is formed.

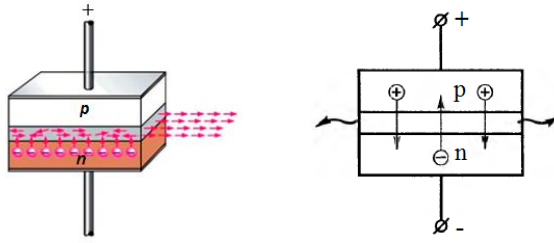


Figure 1 – To explain the operation principle of the diode laser

Depending on the wavelength, diode lasers as elements of laser scalpels are widely used in various fields of medicine. Their action is based on increasing the temperature of a limited area of biological tissue under the energy action of a monochromatic coherent light beam, which leads to instantaneous combustion and evaporation of the area. The thermal effect on the surrounding tissues is spread over a very short distance, because the diameter of the focused beam is 0.01 mm. Then there is an explosive destruction of tissue and the instantaneous transition of tissue fluid into a gaseous state.

Advantages of laser scalpels: ease of use, speed of surgery, painlessness for the patient, no sutures and recovery postoperative period.

1. I.M. Lukavenko, *J. Nano- Electron. Phys.* **12** No 1, (2020).

Діодні лазери як компоненти сучасних мікроелектронних систем

Ковальов І.М., студ. гр.ЕП.м-01н; Фатюшин В.В., студ. гр.ЕП-01;

Однодворець Л.В., д.ф.-м.н., професор

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Діодний лазер (ДЛ) – сучасний напівпровідниковий лазер, сформований на основі матриць з лазерних діодів, який випромінює світло певної довжини хвилі. Конструктивно ДЛ складається з двох напівпровідникових пластин з різними типами провідності, які стикаються одна з одною. Пропускання електричного струму в прямому напрямку стимулює переміщення електронів з пластини n в область p, де електрони зіштовхуються з атомами і вивільняють фотони. Цей процес йде лавиноподібно до тих пір, поки не сформується лазерний промінь. На основі базових співвідношень моделі Lang - Kobayashi [1] проведена оцінка параметрів зовнішнього резонатора ДЛ (Таблиця 1).

Таблиця 1 – Розрахункова залежність ширини лінії генерації від вихідної ширини лінії та характеристик зовнішнього резонатора ДЛ

Довжина резонатора L, см	Коефіцієнт віддзеркалення грані діода	Рівень зворотного зв'язку	Ширина лінії генерації, МГц
10	0,32	0,4	220
100	0,32	0,4	22
100	0,32	0,8	0,25

Отримані результати вказують на залежність ширини лінії генерації від довжини резонатора та рівня зворотного зв'язку приладу: при збільшенні довжини резонатора від 10 до 100 см ширина лінії генерації лазерного діода при різних значеннях рівня зворотного зв'язку (0,4 – 0,8) суттєво зменшується (від 220 до 0,25 МГц).

Робота виконана в рамках НДР №0122U000785 (2022-2024 рр.).

1. R. Lang, K. Kobayashi, *IEEE J. Quantum Electron.* **16** No 1, 347 (1980).

Лабораторний стенд для дослідження температурної залежності робочих характеристик біполярних транзисторних структур

Дмитренко А.Ю., студ. гр. ЕП.м-01н;
Пазуха І.М., к.ф.-м.н., доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Однією з особливостей біполярних транзисторів (БТ), яку слід враховувати при проектуванні схем, є залежність його параметрів від температури. Визначальний вплив на параметри БТ має температура переходу, включеного в зворотному напрямку, нагрівання якого пов'язано як зі змінами температури навколишнього середовища, так і з потужністю розсіювання на переході, з умовами відводу тепла від нього. У залежності від типу БТ та від матеріалу, з якого він виготовлений, можна вказати граничну температуру, при якій транзистор втрачає працездатність.

Для дослідження температурної залежності робочих характеристик біполярних транзисторних структур, підключених за схемою зі спільним емітером, було розроблено лабораторний стенд. Він складається з таких функціональних блоків: блок живлення, який призначений для живлення нагріваючого елемента; блок керування (містить регулятори температури, напруги та струму); нагріваючий елемент; блок індикації призначений для реєстрування даних (мультиметри); досліджуваний елемент (біполярна транзисторна структура, яку можна замінювати). Особливість даного стенду полягає в тому, що він дозволяє реалізувати дослідження вхідних (залежність струму бази I_b від напруги між базою та емітером $U_{б-е}$ при сталій напрузі між колектором та емітером $U_{к-е}$) та вихідних (залежність струму колектора I_k від напруги між колектором і емітером $U_{к-е}$ при сталому струмі бази I_b) вольт-амперні характеристики БТ структур будь-яких типів при зміні напруги U , струму I та температури t нагрівача у наступних діапазонах: $U = 0-12$ В; $I = 0-200$ мА; $t = RT-95$ °С, де RT – кімнатна температура. Аналіз температурної залежності коефіцієнту підсилення по струму β , розрахованих на основі вихідних ВАХ, вимірених за різних t , дозволяє визначити область стабільної роботи досліджуваної БТ структури (для даного діапазону величина коефіцієнта β практично не змінюється).

Перетворювачі Холла: фізика процесів та робочі характеристики

Худякова Ю.О., студ. гр.ЕП.м-01н; Лободюк О.С., зав. лаб.;

Голстіков Д.І., аспірант

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У роботі проведені вимірювання і аналіз робочих характеристик перетворювачів Холла з точки зору особливостей конструкції та властивостей матеріалів чутливих елементів. Для вимірювання характеристик перетворювачів Холла АН49Е – біполярної аналогової мікросхеми та А3144 – цифрового однополярного датчика, використовувався лабораторний стенд, схема якого показана на рис.1 а. Робочі характеристики вимірювались при $T = 300 \text{ K}$ у магнітному полі $B = 0 - 0,5 \text{ Тл}$.

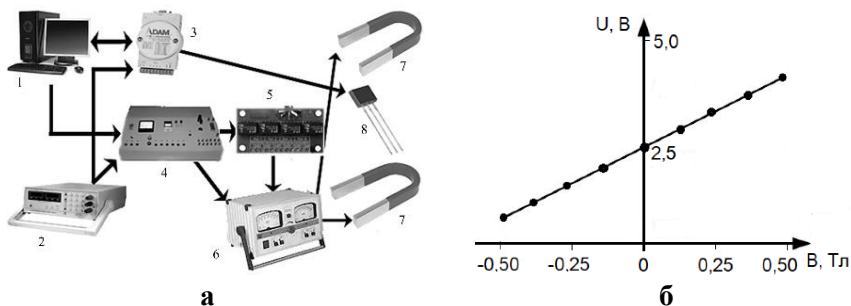


Рисунок 1 – Схема лабораторного стенду (а): 1 – ПК; 2 – джерело живлення, 3 – ADAM-4520; 4 – блок керування струмом; 5 – реле, 6 – джерело високого струму, 7 – магніти; 8 – перетворювач Холла та приклад експериментальної залежності вихідної напруги від величини індукції магнітного поля (б) для мікросхеми АН49Е

Параметри приладів АН49Е і А3144: напруга живлення 3 – 24 В; робочий струм 8 – 10 мА; чутливість 0,125 – 0,145 мВ/Тл. Отримано, що в перетворювачах Холла різних типоміналів вихідна напруга лінійно залежить (Рис.1 б) від величини індукції магнітного поля.

Робота виконана в рамках НДР №0122U000785 (2022-2024 рр.).

Науковий керівник – Однорець Л.В., *д.ф.-м.н., професор*

Дослідження температурної залежності електропровідності власних напівпровідників засобами моделювання в LabVIEW

Вітренко А.М., к.ф.-м.н.; Дудник В.В., студ. гр.ЕП-81
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Характерною властивістю напівпровідникових матеріалів є збільшення їх електропровідності σ з підвищенням температури T . Для власних напівпровідників $\sigma(T) = \sigma_0 \exp(-\Delta E/2kT)$, де ΔE – ширина забороненої зони; k – стала Больцмана; $\sigma_0 = e(N_c N_v)^{1/2}(u_n + u_p)$ – коефіцієнт, який визначав би електропровідність напівпровідника при $T \rightarrow \infty$; e – заряд електрона; u_n і u_p – рухливості електронів і дірок; $N_c = (2/h^3)(2\pi m_n kT)^{3/2}$ і $N_v = (2/h^3)(2\pi m_p kT)^{3/2}$ – ефективні густини одноелектронних станів біля дна зони провідності і біля стелі валентної зони; h – стала Планка; m_n і m_p – ефективні маси електронів в зоні провідності і дірок у валентній зоні. Зростання $\sigma(T)$ є експоненціальним, оскільки коефіцієнт σ_0 значно слабше залежить від температури, ніж $\exp(-\Delta E/2kT)$. Тим більше, при високих температурах (кімнатній і вищій) він практично є константою, оскільки залежність рухливостей u_n і u_p від температури пропорційна $T^{-3/2}$ і компенсує температурну залежність ефективних густин станів N_c і N_v .

Мета даної роботи полягає у створенні електронного засобу навчального призначення з дослідження температурної залежності електропровідності власних напівпровідників. Для моделювання використовується функціональна залежність $\sigma(T)$, для програмної реалізації – середовище LabVIEW. В блок-діаграмі задаються табличні значення параметрів ΔE , u_n , u_p , m_n , m_p [1]. Обчислення за формулами виконуються за допомогою структури Formula Node, розташованій в циклі For Loop. На лицевій панелі вводяться початкова і кінцева температури, обирається напівпровідник – кремній або германій. Графік функції $\sigma(T)$ виводяться графічним індикатором XY Graph.

Розроблений програмний застосунок може бути використаний як віртуальна лабораторна робота з навчальних дисциплін «Фізика», «Фізичні основи електроніки».

1. W.M. Haynes, CRC Handbook of Chemistry and Physics (Boca Raton: CRC Press: 2017).

Реалізація мікроконтролерних систем аналізу даних з елементами штучного інтелекту

Сімагін В.В., студ. гр. ЕП.м-01н; Тищенко К.В., к.ф.-м.н.;
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Розробка портативних систем аналізу даних сьогодні, переважно, виконується із застосуванням електронних обчислювальних платформ на базі мікропроцесорів. Для реалізації інтелектуальної обробки даних доцільним є застосування елементів штучного інтелекту (ШІ) у програмній частині обчислювального комплексу.

Виконання програми з ШІ вимагає значних розрахункових потужностей, і як наслідок, розвинутої апаратної складової кінцевого пристрою. Сьогодні розгортання системи аналізу даних може бути виконано на базі одноплатних комп'ютерів (наприклад Raspberry Pi або Jetson Nano), які мають ряд унікальних характеристик, необхідних в цій області: відносно низька вартість, хороша автономність роботи, достатня розрахункова потужність, універсальність. Пристрої такого класу мають операційну систему загального користування (здебільшого Linux), що дозволяє використовувати широкий спектр сучасних програмних засобів та забезпечує загальну захищеність пристрою від несанкціонованого доступу.

Широко затребуваними сьогодні є системи аналізу потокового відео, наприклад з камер спостереження. Такі системи виконують велику кількість паралельних розрахунків, і мікропроцесор досить погано підходить для даних цілей. Більш продуктивної роботи при аналізі відеопотоку можна досягти виконуючи розрахунки за допомогою графічних процесорів. Саме тому платформа Jetson Nano, яка має 128 ядерний графічний процесор, забезпечує хороший баланс ціни та продуктивності роботи в системах розпізнавання окремих елементів у потоковому відео. Також широкі можливості паралельного виконання задач графічним процесором дозволяє застосовувати програмні методи обробки з елементами штучного інтелекту, здатних до самонавчання і корекції алгоритмів пошуку та аналізу даних у попередньо окреслених рамках.

Віртуальні тренажери та електронні системи для навчальної дисципліни «Медицина невідкладних станів»

Головко Я.А., студ. гр. МЦ.м-709;

Хоружий В.В., студ. гр. МЦ.м-706;

Хижня Я.В., к.мед.н., доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

У закладах вищої освіти мета вивчення медицини невідкладних станів полягає у формуванні в майбутніх лікарів спеціальних знань і навичок, які дозволять їм повноцінно виконувати діагностику невідкладного стану, проведення лікувально-евакуаційних заходів, визначення тактики та надання екстреної медичної допомоги.

Сучасні технології стимуляційного навчання з використанням віртуальних тренажерів дозволяють досягти високого рівня реалістичності, розробити еталони практичних навичок і бібліотеки клінічних сценаріїв, відпрацювати будь-які маніпуляції і практичні навички без шкоди для пацієнтів.

Симуляційне навчання має певні переваги, які недоступні при навчанні «біля ліжка пацієнта». По-перше, це клінічний досвід в віртуальному середовищі без ризику для пацієнта, особливо при відпрацюванні інвазивних діагностичних та лікувальних процедур. По-друге, тренінги в зручний час, незалежно від роботи клініки і наявності пацієнтів, відпрацювання дій при рідкісній патології, коли в період клінічних занять пацієнти з даними захворюваннями відсутні. По-третє, необмежене число повторів відпрацювання навичку. Тільки в рамках симуляційного навчання можна довести багаторазовими повтореннями до автоматизму здатність не тільки виконувати дію, але і відпрацювати спосіб виконання складних дій, що забезпечується сукупністю знань і навичок. Використання симуляційних технологій призводить до зниження «стресу-контакту» з пацієнтом, якщо виконувані пацієнтові маніпуляції були до цього відпрацьовані на симуляторах.

Окрім віртуальних, в навчальному процесі доцільно використовувати реальні діючі електронні системи, такі, наприклад, як дефібрилятори, венозні сканери і бронхоскопи[1, 2].

Дефібрилятор – це електронна система, яка впливає на серце короткочасним потужним електроімпульсом. Під час виконання дефібриляції відбувається деполяризація критичної маси серцевого

м'яза. Природні клітини синусового вузла повертають серцю нормальний ритм. Дефібрилятори мають невеликі розміри та відносно простий інтерфейс користувача. Конструкція сучасних дефібриляторів складається з пари електродів, які під'єднуються як до грудної клітки пацієнта, так і вхідного каскаду електрокардіографа. Мікроконтролер детектує серцевий ритм і передає сигнал у високовольтний блок для заряду конденсатора при підготовці до подачі електрошоку, активує кнопку електрошоку в інтерфейсі користувача. Коли рятувальник натискає на кнопку електрошоку через електроди до тіла пацієнту подається електричний імпульс. Напруга на робочих частинах електродів досягає 2 кВ. Різні конструкції дефібриляторів відрізняються ємністю конденсатора ($C = 16 - 20$ мкФ) і надають різну форму імпульсу струму. Для прямої дефібриляції використовуються імпульси з енергією 5, 10, 25, 50 або 75 Дж, а для непрямой дефібриляції - 100, 200 і 360 Дж.

Венозний сканер (веноскоп) – електронна система, яка застосовується для пункції периферичних кровеносних судин [2]. Кільцева форма головки з відкритим контуром забезпечує додаткову фіксацію вен. Невелика вага і зручна рукоятка дозволяють легко маніпулювати приладом при ін'єкції або заборі крові. Основний конструктивний елемент приладу – освітлювальна система на основі світлодіодів нового покоління. Комбіноване використання світлодіодів різного кольору дають можливість досягти оптимальної візуалізації кровеносної судини незалежно від віку пацієнта, статі та кольору шкіри.

1. Я.В. Хижня, Д.В. Євченко, О.М. Рудика, Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка. ФЕЕ-2020», 96 (Суми: Сумський державний університет: 2020).
2. Я.В. Хижня, О.А. Ромась, Ю.О. Біда, Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фізика, електроніка, електротехніка. ФЕЕ-2020», 97 (Суми: Сумський державний університет: 2020).

СЕКЦІЯ 5

**«Електронні системи, прилади і засоби
кодування інформації»**

SRTP – захищений протокол передачі даних в реальному часі

Косов О. О., студент гр. ЕС-81; Д'яченко О. В., ст. викладач;
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В сучасному світі, окутаному мережами, потокове відео стало загальноприйнятим способом передачі відеоматеріалів по мережі Інтернет не тільки з розважальною метою, а й для вирішення завдань, пов'язаних з безпекою та охоронним відеоспостереженням. Одним з варіантів безпечної передачі трафіку є використання SRTP (Secure Real-time Transport Protocol) – протоколу, який надає можливості автентифікації, перевірки цілісності даних та робить неможливим проведення playback-атак. Такі атаки, що проводяться з метою перехоплення й заміни ключа.

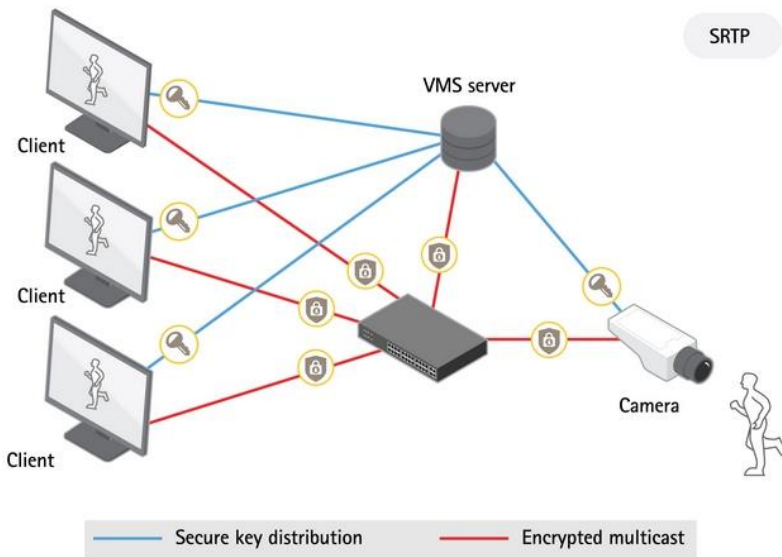


Рисунок 1 – алгоритм Genetec Security Center на базі SRTP-протоколу [1].

Шифрування інформації виконується методом AES (Advanced Encryption Standard), що позитивно впливає на криптозахист інформації, а також на швидкість роботи протоколу, проте зберігається можливість

відключення шифрування (за допомогою NULL-шифру). Наприклад, якщо необхідно забезпечити цілісність файлів і правильний порядок доставки даних, але не потрібне шифрування. Такі дії призведуть до економії відповідних ресурсів, але при цьому й зберігається захист від playback-атак, оскільки блоки переданої інформації нумеруються, а можливість повторної передачі вже прийнятого повідомлення відсутня. До переваг протоколу варто віднести і захист відтворення інформації.

Для автентифікації повідомлень та захисту цілісності використовується алгоритм HMAC-SHA1. Як аргумент функції хешування виступають дані з заголовка пакету про корисне навантаження, що ним переноситься. Таким чином забезпечується високий рівень криптозахисту. Також, варто відмітити й механізм оновлення ключів ідентифікації: на основі головного ключа генеруються додаткові ідентифікаційні ключі для кожної окремої сесії.

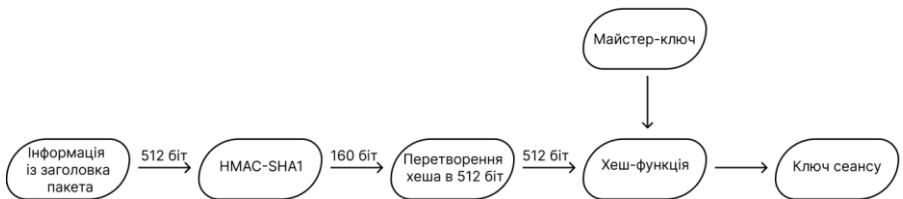


Рисунок 2 – Етапи формування ключа сеансу.

До недоліків протоколу можна віднести необхідність підтримки шифрування як від відправника, так і від отримувача та відсутність шифрування заголовків SRTP-пакетів, проте цей недолік можна усунути використавши SIP (Session Initiation Protocol) або TLS (Transport Layer Security) протокол.

Отже, на сьогоднішній день, безпека передачі даних є важливим аспектом конфіденційності, котрою не можна знехтувати, особливо, коли це стосується надання комерційних послуг. Згаданий вище протокол забезпечує можливість передавати відеотрафік майже без затримок, хоча він і потребує додаткових протоколів для повноцінного захисту даних.

1. Три способа шифрования видеопотока [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://kb-sb.com/pub/19/1115>.

Практичні підходи використання протоколу SSH

Усик А. О., студент гр. ТК-91; Д'яченко О. В., ст. викладач;

Протасова Т. О., ст. викладач

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

SSH (Secure Socket Shell) – це мережевий протокол, який надає користувачам безпечний спосіб доступу до комп'ютера через захищену мережу.

Алгоритм роботи протоколу SSH можна розділити на три послідовні етапи: відкриття захищеного каналу, автентифікація та підключення. Варто відмітити і рівень установки мережевого з'єднання, хоча він лежить нижче за SSH.

На першому етапі відбувається встановлення TCP-з'єднання тобто підключення клієнта до сервера на TCP-порт 22. Встановивши з'єднання, клієнт і сервер обмінюються версіями SSH-протоколу та іншими сервісними даними, необхідними для з'ясування сумісності протоколів та вибору конкретних алгоритмів роботи (шифрування, обміну ключами, стиснення, тощо). На цьому етапі сторони відсилають один одному списки алгоритмів, що підтримуються. При цьому найбільший пріоритет мають алгоритми на початку кожного списку. Потім порівнюють алгоритми в отриманих списках з доступними алгоритмами в системі, і обирають перший, що співпав в кожному із списків.

Процес отримання сесійного ключа шифрування може відрізнитися залежно від версії алгоритму, але загалом зводиться до наступного:

- сервер надсилає клієнту свій ключ;
- якщо клієнт проводить з'єднання з цим сервером вперше, то користувачу буде поставлено питання про довіру до ключа сервера. Якщо з'єднання з даним сервером вже встановлювалося раніше, то клієнт порівнює надісланий ключ із ключем, записаним у системі. Якщо ключі не співпадають, користувач отримує попередження про можливу спробу злому;
- щойно клієнт визначився з довірою до ключа сервера, за допомогою однієї з реалізацій алгоритму Діффі-Хеллмана клієнт та сервер генерують сеансовий ключ, що використовують для симетричного шифрування каналу. Сеансовий ключ створюється виключно на період життя каналу та знищується при закритті з'єднання;

Нарешті, коли клієнт і сервер встановили канал для зашифрованої передачі даних, вони можуть здійснити автентифікацію за паролем або ключами. Загалом, автентифікація за допомогою ключів відбувається наступним чином:

- клієнт надсилає серверу ім'я користувача та свій публічний ключ;
- сервер перевіряє наявність у системі надісланого клієнтом відкритого ключа. Якщо відкритий ключ знайдено, сервер генерує випадкове число і шифрує його відкритим ключем клієнта, після чого результат відправляється клієнту;
- клієнт розшифровує повідомлення своїм приватним ключем та надсилає результат серверу;
- сервер перевіряє отриманий результат на відповідність його числу, яке спочатку зашифрував відкритим ключем клієнта, і в разі збігу вважає автентифікацію успішною.

Після проведення всіх наведених вище процедур, користувач отримує можливість передавати команди серверу або копіювати файли. На цьому рівні забезпечується: мультиплікація каналів (можливість роботи безлічі каналів одного серверу за рахунок об'єднання їх в один канал), тунелювання тощо.

Звісно, з точки зору кібербезпеки, використання стандартного TCP-порту 22 вимагає використовувати додаткові засоби захисту. Оскільки навіть використання автентифікації за ключами не може захистити сервер від тієї кількості запитів, що постійно генеруються від «захоплених» зловмисниками клієнтів під час DDoS атак. Сервер змушений втрачати час на виконання марної роботи: встановлювати TCP-з'єднання, вибирати алгоритми, генерувати сесійний ключ, відправляти запити автентифікації, тощо. Тому використання додаткових засобів захисту дозволить відхилити запити зловмисників ще на етапі встановлення TCP-з'єднання.

На сьогоднішній день існують дві версії протоколу SSH (SSH-1 та SSH-2), причому другу версію вдосконалено та розширено порівняно з першою. Наприклад, друга версія стійка до атак MITM.

Функції, які надає SSH, включають: безпечний віддалений доступ до мережевих систем або пристроїв із підтримкою SSH для користувачів, а також до автоматизованих процесів; безпечні та інтерактивні сеанси захищеної передачі файлів; безпечна подача команд на віддалені пристрої або системи; і безпечне керування компонентами мережевої інфраструктури; тунелювання SSH.

Вплив складу твердого розчину $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$ на оптичні втрати та ККД тонкоплівкових сонячних елементів

Кахерський С.І., аспірант; Погуляй О.Р., студент; Опанасюк А.С., професор

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Як поглинальні шари сонячних елементів (СЕ) третього покоління у наш час запропоновані такі матеріали як $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$. Великою перевагою цих сполук є відсутність у складі екологічно небезпечних і рідкісних компонентів, навпаки, елементи, що входять до їх складу, широко поширені у земній корі, а вартість їх видобутку відносно невисока. Окрім цього змінюючи концентрацію сірки та селену у п'ятикомпонентній сполуці $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$ можна змінювати ширину забороненої зони E_g цього матеріалу точно підлаштовуючи його до максимуму ККД СЕ.

Метою даного дослідження було визначення, шляхом моделювання, оптичних втрат на границях розділу і в об'ємі допоміжних шарів СЕ в залежності від складу поглинального шару $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$ та товщини струмознімального і віконного шарів у приладі зі структурою n -ІТО(ZnO)/ n - CdS / p - $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$ /тильний контакт та оптимізація його конструкції; визначення максимального ККД таких приладів з врахуванням оптичних втрат енергії.

Встановлено, що з врахуванням оптичних втрат енергії найоптимальнішу конструкцією з розглянутих має СЕ з конструкцією скло/ ZnO / CdS / $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ при товщині струмознімального та віконного шарів $d_{\text{ZnO}} = 100$ нм; $d_{\text{CdS}} = 25$ нм. Врахування втрат світла на поглинання в допоміжних шарах приладів навіть при їх найменшій технологічній товщині, зменшує коефіцієнт проходження світла до шару $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ на (4,86–4,95)%, а до шару $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ на (4,81–5,57)%. Проведені розрахунки свідчать, що шар ZnO у всіх випадках є дещо більш привабливим для створення фронтального контакту приладу ніж шар ІТО. З врахуванням оптичних втрат та літературних даних визначено максимальний ККД СЕ в умовах освітлення AM1,5G . Показано, що в умовах освітлення AM1,5G максимальну ефективність мають СЕ на основі твердого розчину складу $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_{0,67}\text{Se}_{0,33})_4$, як без врахування оптичних втрат ($\eta = 33,83\%$) так і з їх врахуванням ($\eta_{\text{пр}} = (29,18\text{--}29,21)\%$).

CDMnTe and CdTeSe as new materials of hard radiation detectors

Oleh Pysanyi, *Ph.D. Student*; Vladislav Voloboiev, *Student gr. ES.m-11*;
Anatoliy Opanasyuk, *professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

Nowadays, there is a problem with choosing a semiconductor material with optimal characteristics for the creation of hard radiation detectors that operate at room temperature. Chlorine-doped high-resistance telluride cadmium monocrystals have been used as a basic material for the manufacture of such detectors for a long time. Regardless, in recent years there has been a tendency to replace CdTe: Cl with solid three-component solutions containing Zn. However, the structural and electrical homogeneity of the monocrystals of this solid solution was found to be unsatisfactory due to the value of the zinc segregation coefficient equal to $k = 1,35$. One of the ways to improve the structural quality of CdTe and $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ (CZT) monocrystals is to introduce Se atoms with a segregation coefficient close to one. It was found that the addition of Se to CdTe, CZT allows obtaining samples with a constant value of the lattice constant and electrophysical characteristics of the ingot volume. As a result, the development of methods for obtaining single crystals and films of solid solutions $\text{Cd}_{1-x}\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$ (CTS) and $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}_{1-y}\text{Se}_y$ (CZTS) began. When the semiconductor material is irradiated with high-energy quanta, the processes of their absorption and separation of the electron-hole pairs that have occurred take place. Accordingly, the optimal detector material should be characterized by the following set of physical characteristics: high-density ρ_m and average atomic number Z , good transport properties of charge carriers (product of lifetime mobility $\mu_{e,h}\tau$), high resistivity ρ , and others. To characterize the absorption capacity of new detector materials, we used the product $\rho Z^5/\mu$, where μ is the molar mass. At the same time, the efficiency of charge carrier collection in the semiconductor is determined by the ratio $\lambda/L = \mu_{e,h}\tau \cdot E/L = \mu_{e,h}\tau \cdot \rho \cdot J_T/L$, where L is the thickness of the detector; λ – the length of the charge carriers; E – electric field strength in the device; J_T – dark current density. To compare the efficiency of materials, we built the dependences $\mu_{e,h}\tau\rho$ on $\rho_m Z^5/\mu$. It was found that the best detective properties have such materials as CZT, CTS, and CdTe.

Застосування біноміальних чисел в адаптивних інформаційних системах

Борисенко О.А., *професор*; Бережна О.В., *доцент*;
Горішняк А.О., *аспірант*; Кривоніс Ю.І., *студент гр. ЕС-81*;
Юрченко В.І., *студент гр. ЕС-81*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В даний час актуальним завданням є розвиток методів кодування повідомлень як засобу підвищення ефективності роботи інформаційних систем із нестационарними каналами зв'язку.

Забезпечення необхідної достовірності передачі повідомлень у таких системах сьогодні досягається засобами завадостійкого кодування при виявленні та виправленні помилок. Однак при цьому зменшується швидкість передачі інформації. Підвищити її можна зменшенням надлишковості завадостійких кодових комбінацій, які підлягають передачі по каналу зв'язку в той час, коли завади невеликі. Компроміс досягається при використанні завадостійких кодів, параметри яких мають можливість адаптуватись при зміні рівня завад. В якості таких кодів пропонується застосовувати біноміальні коди, які за своєю природою дозволяють змінювати в залежності від потужності завад власну завадостійкість і відповідно власну довжину. В результаті застосування таких кодів з'являється можливість забезпечити більш високу швидкість передачі інформації при достатньому рівні її завадостійкості. Наприклад, якщо вночі рівень завад буде незначним, то довжина кодів зменшиться, а вдень, якщо рівень завад підвищиться, то довжина кодових комбінацій збільшиться.

Перевагами таких кодових комбінацій, сформованих на базі біноміальних чисел, є невелика складність процедур виявлення помилок відносно до інших адаптивних завадостійких кодів. Параметрами цих чисел є довжина n і контрольне число k . Крім того, на основі біноміальних чисел можливе створення спеціалізованих пристроїв кодування та декодування з функцією самоконтролю, що дозволить підвищити надійність приймально-передавальної апаратури.

Таким чином, запропоновані методи та алгоритми адаптивного біноміального кодування та декодування є достатньо ефективними при впровадженні інформаційних систем зі змінним рівнем завад у каналах зв'язку.

Рівноважні коди в адаптивних завадостійких системах передачі інформації

Борисенко О.А., *професор*; Бережна О.В., *доцент*;
Сердюк В.В., *аспірант*; Мороз Н.В., *студент гр. ЕС-81*;
Мазуркевич О.А., *студент гр. ТК-01*
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Одним із актуальних завдань при побудові завадостійких систем передачі інформації є пошук методів завадостійкого кодування інформації, які б забезпечували свою ефективність в умовах зміни параметрів нестационарних каналів зв'язку.

Необхідна достовірність передачі повідомлень у таких системах досягається засобами завадостійкого кодування. Однак підвищення рівня завадостійкості кодування зменшує швидкість передачі інформації, яку можна підвищити шляхом зменшення надлишковості кодових комбінацій при їх передачі по каналу зв'язку з незначним рівнем завад. При значному рівні завад надлишковість завадостійких комбінацій треба збільшувати. Ефективний метод завадостійкого кодування дозволяє адаптувати свої алгоритми відповідно до рівня завад, що змінюється. Одним з таких кодів є рівноважний код, який дозволяє адаптувати довжину кодових повідомлень та свою завадостійкість в залежності від стану каналу зв'язку. При змінах внутрішньодобового та сезонного навантаження каналів зв'язку адаптивні алгоритми кодування дозволяють отримувати необхідну швидкість передачі інформації при забезпеченні достатнього рівня її завадостійкості. Так, зростання навантаження і відповідне збільшення рівня завад потребує збільшення довжини кодових комбінацій, а при зменшенні навантаження їх довжина може бути зменшена.

Отримати рівноважні коди можна на основі біноміальних кодів. Схожа структура цих кодів та такі їх спільні параметри, як довжина n і контрольне число k , спрощують формування рівноважних комбінацій. Змінюючи довжину рівноважних кодових комбінацій в залежності від рівня завад можна отримати оптимальне співвідношення між швидкістю передачі та завадостійкістю.

Таким чином, запропонований метод адаптивного рівноважного кодування є достатньо ефективним для створення завадостійких систем передачі інформації зі змінним рівнем завад у каналах зв'язку.

Застосування двійкових біноміальних чисел при кодуванні інформації

Кулик І.А., доцент; Шевченко М.С., аспірант;
Жижа В.В., студент гр. ЕС-м- 11; Косов О.О., студент гр. ЕС-81
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Двійкові біноміальні числа генеруються біноміальними системами числення з параметрами n і k за допомогою систем кодоутворюючих обмежень виду:

$$((l = n - k) \wedge (x_r = 0)) \vee ((q = k) \wedge (x_r = 1)),$$

де l , q та x_r – кількість двійкових нулів, одиниць та значення останнього розряду в біноміальному числі відповідно. Завдяки складній структури біноміальних чисел, а саме залежності вагових коефіцієнтів розрядів чисел не тільки від значення самого розряду, але і від значень попередніх розрядів, вони володіють позитивними якостями, які дозволяють ефективно кодувати інформацію на їх основі. До таких позитивних властивостей можна віднести наступні.

1. Нерівномірність двійкових біноміальних чисел та те, що їх довжина r помітно менше за довжину n відповідних їм інформаційних послідовностей, що обумовлює при їх використанні скорочення надмірності двійкових даних.

2. Префіксність двійкових біноміальних чисел для фіксованого значення параметра k , що усуває необхідність застосування службових символів для розділення біноміальних чисел у послідовному рядку. Але, коли параметр k змінний, тоді його значення потрібно використовувати у двійковому вигляді в якості службового слова для однозначного декодування.

3. Обмеження в змінюванні кількості l нулів і q одиниць в двійкових біноміальних числах, що надає можливість виявляти і виправляти помилки в них при інформаційних перетвореннях.

Вказані властивості двійкових біноміальних чисел обумовлюють розробку ефективних методів представлення, стиснення і захисту інформації на їх основі, які не потребують значних витрат при практичній реалізації та характеризуються застосуванням простих операцій і підвищеною швидкодією.

Застосування квазірівноважних кодів в телекомунікаційних системах

Кулик І.А., доцент; Лобанов А.О., студент гр. ТК-81;
Зайцева М.В., студент гр. ТК-81

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Одним із перспективних напрямів розвитку телекомунікаційних пристроїв та систем є підвищення їх інформаційної потужності без збільшення довжини інформаційних повідомлень. У такий спосіб можна досить ефективно підвищити швидкість передачі інформації по каналам зв'язку, особливо якщо це здійснюється з мінімальним використанням апаратно-програмних витрат й без помітного зниження завадостійкості передачі даних.

Для збільшення інформаційної потужності систем передачі даних та пристроїв кодування/декодування пропонується застосування в них квазірівноважних кодів, множини яких на відміну від множин рівноважних комбінацій володіють значно більшою потужністю (кількістю кодових елементів) при тій самій кількості інформаційних розрядів. Це є наслідком використання декількох дозволених чисел одиниць в квазірівноважних кодових послідовностях.

Квазірівноважні коди, як і рівноважні, мають біноміальну структуру і для їх формування можна застосувати біноміальні числа, які генеруються двійковими біноміальними системами числення з параметрами n і k . Алгоритм отримання квазірівноважних кодових комбінацій, що мають довжину $(n-1)$ розрядів і кількості k та $(k-1)$ двійкових одиниць досить простий. Він полягає в тому, що до біноміальних чисел, які закінчуються одиницею, додають двійкові нулі, а до біноміальних чисел, які закінчуються нулем, додають одиниці доки не буде сформована результуюча квазірівноважна комбінація з $(n-1)$ розрядів. Очевидно, що і зворотний перехід до біноміальних чисел не буде становити технічних труднощів.

Слід зауважити також, що перетворення квазірівноважних $(n-1)$ -розрядних кодів, які мають k та $(k-1)$ одиниць, до звичайних рівноважних, які мають n розрядів і k одиниць, теж складається з простих операцій, а можливе сумісне застосування біноміальних кодів, квазірівноважних і рівноважних комбінацій в телекомунікаційних системах та пристроях кодування/декодування дозволить адаптивно підходити до організації передачі даних по каналам зв'язку.

Комбінаторний захист від помилок на основі площинних кодів

Кулик І.А., доцент; Шевченко М.С., аспірант;
Савенков О.О. студент гр. ТК-81
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Ефективність пристроїв та систем зв'язку залежить від можливості забезпечення якісної передачі даних. Тому актуальними є розробка кодових методів збільшення вірності передачі даних, які не потребують значних апаратно-програмних витрат при практичній реалізації та дозволяють адаптивно змінювати надмірність кодів і їх перешкодостійкість в залежності від стану каналу зв'язку. Досить перспективним з точки зору вказаних критеріїв є впровадження в телекомунікаційні системи комбінаторного підходу до кодування даних, зокрема площинного кодування або площинних кодів.

Площинні коди використовують можливість знаходження будь-якої точки площини з m інформаційних розрядів повідомлення системою k комбінаторних координат (перевірочних розрядів). Кількість інформаційних розрядів m має пряму залежність від k перевірочних розрядів і виражається наступною формулою:

$$m = 1/2 \cdot k(k - 1).$$

В містах перетину координатних шин розміщуються інформаційні символи, а у вигинів – перевірочні, застосовуючи при цьому принцип перевірок на парність.

В залежності від рівня завад в каналі зв'язку можливе введення різних режимів кодування даних з використанням площинних кодів за рахунок змінювання довжини m інформаційної послідовності, що охоплюється перевіркою за допомогою k контрольних розрядів. Відповідно розглядаються режими роботи для каналів зв'язку з високим, середнім та низьким рівнями зашумленості, тим самим надаючи можливість адаптивно підходити до встановлення рівня перешкодостійкості та швидкості передачі інформації в телекомунікаційних системах та пристроях.

Також доцільним вважається застосування площинного принципу виявлення та корегування помилок із одночасним використанням інших поширених завадостійких кодів, наприклад рівноважних, квазірівноважних та біноміальних кодів.

Особливості складання двійкових біноміальних чисел

Кулик І.А., доцент; Шевченко М.С., аспірант;
Супрун М.М., студент гр. ТК-11; Гура Є.Ю., студент гр. ТК-11
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

На сьогоднішній день актуальним є питання розвитку двійкової біноміальної арифметики та дослідження особливостей складання двійкових біноміальних чисел, які генеруються біноміальними системами числення. Наявність існування арифметики для біноміальних чисел підтверджується вже розробленими алгоритмами та пристроями біноміального рахунку як в підсумовуючому, так і віднімаючому режимах.

Дослідження теоретично-практичних особливостей складання біноміальних чисел є безумовно важливим з точки зору розширення області застосування біноміальних систем числення в універсальних і спеціалізованих електронних системах та пристроях різноманітного призначення, які вирішують такі інформаційні задачі, як біноміальне кодування і шифрування даних, генерування комбінаторних об'єктів, відмовостійка лічба і комбінаторна оптимізація.

Для розробки та практичної реалізації складання біноміальних чисел необхідно використовувати матричні моделі, які забезпечують підвищену швидкодію виконання операцій через те, що область вагових коефіцієнтів біноміальних чисел та біноміальних коефіцієнтів, які утворюються в результаті перетворень, поєднуються. Дане поєднання спрощує перехід між біноміальними коефіцієнтами різних областей та значно зменшує кількість пересилок між ними.

Завдяки дослідженню правил і процедур складання біноміальних чисел можливою стане реалізація одного з основних компонентів машинної біноміальної арифметики. Ще однією, можливо найголовнішою, особливістю складання двійкових біноміальних чисел, яка пропонується до розгляду, є заміна операцій над ваговими коефіцієнтами на операції, які проводяться над їх параметрами.

Дослідження властивостей біноміального складання чисел надає можливість розроблення нових, ефективних з точки зору підвищення швидкості виконання операцій та зменшення обсягу витрат, методів біноміального кодування інформації, генерації різних комбінаторних об'єктів та вирішення завдань комбінаторної оптимізації.

Оцінка традиційних способів підрахунку одиниць та електронних пристроїв на їх основі

Кулик І.А., доцент; Греков Т.В., студент гр. ЕС-81;

Манько Д.С., студент гр. ЕС.м-11

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Обчислення кількості одиниць в двійкових послідовностях є однією з поширених і необхідних операцій при різних перетвореннях інформації, наприклад при стисненні повідомлень, захисту даних від помилок і генеруванні різноманітних комбінаторних конфігурацій. Тому досить велику увагу приділяють розробці швидкодіючих та малозатратних способів підрахунку одиниць та електронних пристроїв, які їх реалізують.

Відомим являється традиційний спосіб визначення кількості двійкових одиниць за допомогою лічильного пристрою, який полягає в перегляді усіх n розрядів послідовності. Такий спосіб хоча і відрізняється схемотехнічною простотою, але потребує максимального часу обчислення, яке дорівнює n машинним тактам. Очевидно, що такий підхід не є прийнятним для багатьох швидкодіючих додатків, особливо, коли n має великі значення.

Модифікацією цього способу є впровадження одночасного паралельного підрахунку одиниць у різних складових частинах інформаційної послідовності, на які попередньо, перед початком обчислення, вона розбивається. Очевидно, що вказаний підхід дозволить знизити час підрахунку у n/t разів, де t – число частин розбиття вихідної послідовності, але приблизно у стільки ж разів збільшить обсяг апаратних витрат, а сам пристрій виявиться суттєво складнішим з урахуванням необхідності використання суматорів.

Граничним випадком паралельності підрахунку одиниць, що надає максимальну швидкодію, є використання однорозрядних матричних суматорів, але це призводить до великого обсягу апаратних витрат, що виключає такий підхід для побудови малогабаритних та низьковартісних електронних пристроїв та систем.

Найбільш цікавими є комбінаторні способи підрахунку кількості одиниць, які "відв'язують" значення часу знаходження числа одиниць від довжини вихідної інформаційної послідовності або обумовлюють заміну прямо пропорційного характеру залежності часу підрахунку одиниць від довжини комбінації на більш повільну логарифмічну.

Блок управління системою водопостачання з розширеними функціями

Новгородцев А.І., доцент; Лук'янов А.О., студент гр. ЕС-81;
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Конструкція системи водопостачання містить джерело води, насос, труби підведення - витрати води та накопичувальний бак для неї. За місцем розташування системи та температурних умов, в яких вона має працювати, можна визначити можливі режими роботи, передбачати аварійні ситуації і, виходячи з цього, визначити вимоги до системи в цілому та конкретно до блоку управління.

Система має бути надійною, а блок управління виявляти аварійні ситуації, сигналізувати про них і не допускати їх розвитку.

Вимоги до блоку керування системою водопостачання:

- підтримка заданого рівня води в накопичувальному баці;
- вимкнення насоса при зниженій, або підвищеній більш ніж на 10% напрузі в мережі живлення;
- вимкнення насоса при пошкодженні труб, що під'єднані від насоса до накопичувального бака;
- вимкнення насоса при протіканнях трубопроводів розподілу води. Одночасно має бути перекрито подачу води з накопичувального бака.

Ці функції системи, реалізуються за допомогою датчиків потоку води, що надходить в бак, і датчиків вологості в місцях можливих протікань. Блок управління повинен забезпечити допустимий рівень води в накопичувальному баці. Він був сконструйований виходячи з перерахованих вище вимог. Надійність його роботи, забезпечена застосуванням у якості порогових елементів та електронних ключів, мікросхем паралельних стабілізаторів напруги TL431ILP. Пропонується для зниження електрохімічних процесів до електродів рівня води подавати імпульсну напругу низького рівня 12В. За будь-якого аварійного режиму контакти реле відключають генератор імпульсів від напруги живлення 12В, запобігаючи цим подачу напруги на насос. Через іншу пару контактів цього ж реле, закривається електромагнітний клапан, припиняючи подачу води з бака в трубу витрат. Після усунення аварії, відновити подачу води із накопичувального бака можна вручну кнопковим вимикачем.

Захист апаратури від аварійних режимів роботи електромережі

Новгородцев А.І., доцент; Рубежанський І. В., студент гр. ЕС-81
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Пристрій призначений для захисту різної мережевої електроапаратури від коливань напруги живлення. У якості комутуючого елемента застосовано електромагнітне реле, завдяки якому до пристрою можна підключити навантаження сумарною потужністю від кількох мВт до 3 кВт (230В, 16А).

У пристрої використовується безтрансформаторний блок живлення, тому при його виготовленні та налагодженні необхідно суворе дотримання правил техніки безпеки. Основою запропонованого пристрою є мікроконтролер із вбудованим АЦП. Він постійно вимірює мережеву напругу, а у разі її виходу за встановлені граничні значення відключає навантаження від мережі. Результати вимірювання та інформація про режими роботи пристрою відображаються на РК-індикаторі. Пристрій містить широкодіапазонний блок живлення з діапазоном напруги від 40 до 400В.

Пропонується для розширення інтервалу напруги живлення застосувати вхідний конденсаторний подільник напруги. На вхід АЦП мікроконтролера з подільника напруги надходить змінна напруга. Одночасно мікроконтролер порівнює отримані результати із закладеними у його пам'ять параметрами нижнього і верхнього порогів відключення. Амплітудне значення напруги виводиться на РКІ. Для встановлення нижнього та верхнього порогів напруги використовують кнопки «MENU» та «SELECT». Всі встановлені значення напруги записуються в енергонезалежну пам'ять мікроконтролера, тому після відключення пристрою від мережі та подальшого його увімкнення всі налаштування відновлюються.

Технічні характеристики пристрою:

- діапазон напруги мережі 40..... 400В;
- установки нижнього порогу відключення 170 ... 200В;
- установки верхнього порогу відключення 240.....270В;
- крок встановлення порогів відключення ... 2В;
- максимальний струм навантаження ... 16А.

Пристрій контролю мікроклімату в серверній

Гриненко В.В., доцент; Отрощенко П.С., студент гр. ЕС-81
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Забезпечення безперебійної роботи серверного обладнання пов'язане з підтримкою певних параметрів мікроклімату в серверному приміщенні. Основними складовими мікроклімату є температура та відносна вологість повітря, згідно з стандартом ТІА/EIA-569 температура повинна бути в діапазоні 18 – 24 °С, а вологість, на висоті 1,5 м від полу, 30% – 55%. За результатом проведеного аналізу була запропонована система, що використовує пристрій на базі мікроконтролера. Пристрій опитує датчики температури та вологості, потім зібрані дані передає на мережевий контролер, який в свою чергу в мережу та на сервер. Датчики можуть бути вбудованими в корпус пристрою, або бути виносними. Система може бути під'єднана до вже існуючої інтернет мережі. Зібрана інформація про параметри мікроклімату, зберігається на сервері, а переглянути її можна з комп'ютера.

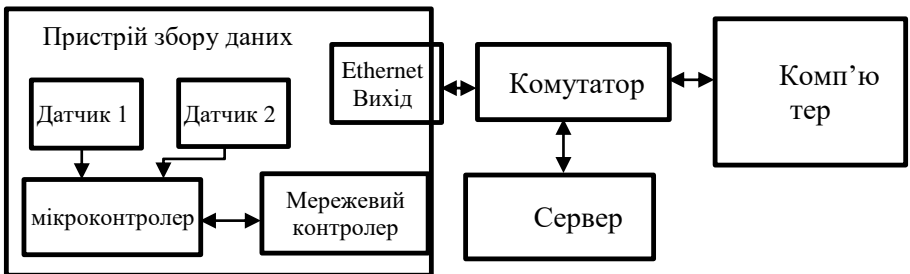


Рисунок 1- Пристрій контролю мікроклімату в серверній.

Для підвищення функціональності можливе модифікація системи за рахунок встановлення датчика контролю газів CO₂, що може сигналізувати про задимленість кімнати та датчика удару та відкриття дверей, що підвищить безпеку серверного обладнання. Також система дозволяє віддалено відчиняти двері до серверного приміщення або шафи, що дозволяє також підвищити безпеку. Програмне забезпечення серверної частини дозволить повідомляти оператору про тривогу або різкі перепади умов мікроклімату в приміщенні.

Effect of annealing temperature on the properties of copper oxide thin layers deposited by a 3D printer

Shapovalov Oleksii, *Student gr. ES.m-11*; Vladyslav Yevdokymenko,
Ph.D. student; Roman Pshenychnyi *Associate Professor*;
Anatoliy Opanasyuk, *Professor*

Sumy State University, Sumy, Ukraine

Flexible electronics today is one of the most modern topics for a wide range of applications in various devices. The key components are wide band gap semiconductors, where oxides of various origins play an important role, not only as a passive component but also as an active component, similar to that observed in conventional semiconductors such as silicon.

Among various oxides, one of the promising semiconductor materials is copper oxide. There are two common forms of copper oxide: cuprous oxide or cuprite (Cu_2O) and cupric oxide or tenorite (CuO). Both CuO (monoclinic) and Cu_2O (cubic) are p-type semiconductors with a band gap of 1.2–2.1 eV and 2.1–2.6 eV, respectively, and they are attracting considerable interest as promising semiconductor materials for a wide range of optoelectronic devices.

Thin layers of copper oxide were obtained by applying ink based on nanosuspensions on flexible substrates by using a 3D printer. Flexible polyamide was used as substrates. Then, to improve the properties of the precipitated layers, they were annealed in argon at 160 °C and 300 °C for 10, 30 and 60 minutes.

In this work, we studied the effect of annealing temperature on the phase composition, structural and microstructure characteristics of the obtained layers, in order to remove impurities from synthesis and improve the stoichiometry of the material.

As a result of research, it was established that the obtained layers are a mixture of two phases CuO and Cu_2O . Phase analysis showed that at 160 °C no noticeable changes were detected, with increasing temperature to 300 °C over time Cu_2O peaks almost completely disappeared, and the intensity of CuO peaks increases, which indicates the transition to a single-phase state.

Influence of Mg doping on structural characteristics and chemical composition of kesterite compound $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

Yurii Shkyria, *Student gr. ES.m-11*; Maksym Yermakov, *Ph.D. Student*;
Roman Pshenychnyi, *Associate Professor*; Anatoliy Opanasyuk, *Professor*
Sumy State University, Sumy, Ukraine

In recent years, scientists have been actively investigating the possibility of using compounds $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$ with kesterite structure, as absorbing layers of third-generation film solar cells (SC). The main advantage of these compounds is the absence of harmful and high-value components in their composition. However, the maximum efficiency achieved with the use of kesterite compounds is only 11.7%. The main reason for the low-efficiency value is the presence of Sn_{Zn} defects. This shortcoming can be overcome by replacing, in part or in full, Zn atoms with Mg atoms.

$\text{Cu}_2\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{SnS}_4$ films were obtained by spray pyrolysis from synthesized molecular solutions. The following chemical reagents were used in the synthesis of molecular solutions: $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, and $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$. As a result, samples were obtained with a content of Mg (x): 0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5.

The structural characteristics of the films and their chemical composition were studied by X-ray diffractometry (DRON-4) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (ElvaX Light SDD).

The constant lattices of the obtained films of solid solution with increasing Mg content first decrease slightly, and then begin to grow. The minimum values of the parameters ($a = 0.54265$ nm, $c = 1.08468$ nm) are observed for the film with a value of $x = 0.2$. The results of EDX analysis showed that the Mg content in the films with increasing concentrations of this element in the precursor increases almost linearly. This reduces the content of Zn, and the content of other elements is almost unchanged. This indicates that Mg ions take the place of Zn ions in the crystal lattice of solid solution.

As a result, it was possible to obtain films of a new promising material $\text{Cu}_2\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{SnS}_4$, suitable for the creation of third-generation SC absorption layers.

Генератор випадкових чисел для тестування пристроїв

Нижегородцев І.В., студент гр. ТК-81;

Протасова Т.О., старший викладач

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Послідовності випадкових чисел використовуються в найрізноманітніших випадках, починаючи з моделювання і закінчуючи іграми і іншим розважальним програмним забезпеченням. Більш важливу роль генератори сигналів відіграють при проведенні електровимірювань та випробувань. Вони слугують джерелами тестових сигналів, що подаються на такі компоненти випробувань, як фільтри, підсилювачі або навіть готові модулі з метою перевірки правильності їх функціонування та вивчення їх поведінки та характеристик. Крім формування однотональних сигналів, ключовою функцією генераторів сигналів є створення сигналів з аналоговою та цифровою модуляцією.

Виділяють три основні класи датчиків випадкових чисел – табличні, фізичні та програмні.

При проведенні електровимірювань та випробувань пріоритетним є застосування фізичного способу побудови ГВП, основні вузли якого це:

- синтезатор-формувач коливальних – ядро пристрою;
- автоматичний регулятор рівня для стабілізації сигналів вихідного каскаду - мізки;
- вихідний каскад з підсилювачем та ступінчастими атенуаторами для керування вихідної потужності – кінцева частина пристрою.

ГВП мають гнучке налаштування частоти генерації сигналу до тривалості сигналу і визначається за формулою:

$$f_{out} = f_{ref} * \left(\frac{N_1}{M} + N_2 \right) \quad (1)$$

Зменшення опорної частоти призводить до звуження смуги захоплення, а час захоплення залежить від лінії захоплення.

Від якості роботи ГВЧ залежить якість роботи всієї системи й точність результатів. Тому випадкова послідовність, породжена ГВЧ, повинна задовольняти цілому ряду критеріїв, найголовнішими є: перевірки на рівномірність розподілу та на статистичну незалежність.

Пристрій для віддаленого моніторингу та стеження за температурою у приміщенні

Стьопочкін Н.Р., студент гр. ЕС-81;

Протасова Т.О., старший викладач

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Найголовнішим параметром у сфері контролю факторів входить температура. Приладами для вимірювання температури забезпечують технологічне обладнання та системи нафтогазового сектора, металургійних та машинобудівних підприємств, хімічних та нафтопереробних заводів, виробничих об'єктів харчової, фармацевтичної та енергетичної галузі.

Метою роботи є розробка пристрою для забезпечення постійного стеження за температурними змінами та відображення графіка для легкого розуміння з боку користувача.

Найбільш поширений спосіб побудови такий: датчики температури розташовані безпосередньо в зоні моніторингу. Вони збирають дані і відправляють їх на сервер, який обробляє та видає сповіщення, якщо температура конкретного датчика перевищує задану межу. Повідомлення з сервера надсилаються на комп'ютер, телефон або спеціальний пульт. Таким чином, користувач завжди знає про критичні температури, тощо.

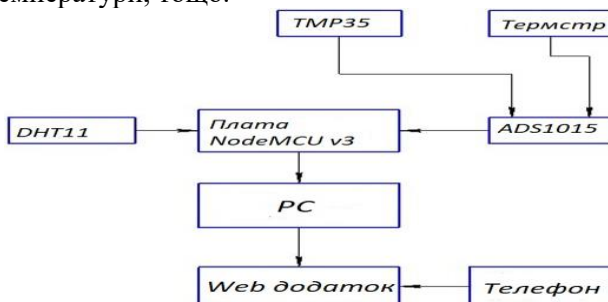


Рисунок 1 – Структура пристрою для віддаленого моніторингу та стеження за температурою у приміщенні

Запропонована структура пристрою дозволяє стежити за змінами в кліматі відразу в кількох місцях, і забезпечити необхідну точність вимірювань температури в одному місці.

СЕКЦІЯ 6

«Електротехніка і енергетика»

Подовження терміну служби трансформаторів в розподільних електричних мережах із значною кількістю електромобілей

Павло Корж, *ЕТ.м-11, студент*, Ілля Дяговченко, *к.т.н., доцент*

Сумський державний університет, Суми, Україна

Перевантаження силових трансформаторів розподільних мереж призводять до їхнього прискореного зносу і передчасного виходу з ладу. Особливо нагальною така проблема стала зі збільшенням частки електромобілей (ЕМ), під час заряджання яких створюється додаткове навантаження трансформаторів. У сукупності з високою температурою навколишнього середовища і низькою якістю електроенергії в мережі такі перевантаження можуть мати руйнівний вплив на трансформатори.

У цій роботі представлена методика сповільнення процесів зносу силових трансформаторів з масляним охолодженням, побудована на основі нечіткої логіки. На першому етапі була розроблена та реалізована в середовищі MATLAB-Simulink модель для оцінки завантаженості трансформатора, який забезпечує розподіл електроенергії між споживачами розподільної електричної мережі (РЕМ). В моделі враховані основні фактори, що негативно впливають на роботу трансформатора і призводять до перегріву його обмоток, серед яких а) висока температура навколишнього середовища; б) гармонічні спотворення напруги, породжені нелінійними навантаженнями; в) зустрічні потоки потужності від установок локальної генерації електроенергії; г) перевантаження, спричинені зарядками для значної кількості ЕМ.

На другому етапі був розроблений алгоритм регулювання роботи мережі, спрямований на оптимізацію рівня завантаженості трансформатора і коефіцієнта потужності на шинах вторинної напруги трансформаторної підстанції. Запропонована модель аналізує параметри і фактори, що впливають на нормальну роботу трансформатора, і попереджає про наявність небезпечних факторів, що можуть призвести до несправностей і аварій. Крім того, в роботі досліджено роль локальних геліосистем, конденсаторних установок компенсації реактивної енергії та систем накопичення електроенергії (СНЕ), встановлених на стороні вторинної напруги, для подовження

терміну служби трансформаторів з масляним охолодженням. Виконана чисельна оцінка ефективності розробленої методики.

Після того як вхідні параметри обробляються нечітким логічним контролером, нечіткий вивід декодується і розбивається на чотири діапазони, а потім ціле число від 0 до 3 виводиться на осцилографи і зберігається в робочу область. Такі цілі числа для різних періодів часу відображають стани трансформатора і далі декодуються в застереження (тобто в повідомлення) для оператора РЕМ, яке може бути одним з чотирьох: «Немає проблем», «Обережно», «Можлива проблема», «Неминуча проблема». У разі «Неминучої проблеми» сигнал тривоги може бути відправлений в операційний центр системи розподілу електроенергії.

Третій і останній крок алгоритму має за мету запобігти потенційному виходу трансформатора з ладу, що могло б призвести до перебоїв електропостачання і пошкодження мережевої інфраструктури. Для цього в модель Simulink був інтегрований додатковий модуль управління (регулювання) з нечіткою логікою. Основна задача налаштування полягає в тому, щоб зберегти рівень завантаженості трансформатора в прийнятних межах (тобто уникнути перевантажень) і підтримувати $\cos\phi$ вище 0,9, коли це можливо. Це може бути реалізовано шляхом використання КБ, контролю режимів зарядки та розрядки СНЕ, а також шляхом тимчасового обмеження надлишкової генерації від сонячних панелей.

Результати дослідження показують, що найбільше «старіння» буде спостерігатися при базовому сценарії, коли в РЕМ є лише навантаження споживачів та ЕМ. При цьому тривалість роботи з попередженням про стан «Неминуча проблема» є непринятно великою. Встановлення на шинах вторинної напруги трансформатора СНЕ з контролем заряджання/розряджання разом з конденсаторними установками є найкращим рішенням для забезпечення високого рівня $\cos\phi$ протягом всього часу роботи і сповільнення зносу. При такому сценарії тривалість статусу «Неминуча проблема» становить менше 20 годин на рік, в той час як найбезпечніший статус «Без проблем» триває 2901 годину, а відносно безпечний статус «Обережно» триває 4484 години. Названий сценарій покладено в основу рекомендованої стратегії розвитку низьковольтних РЕМ зі споживачами, які мають електромобілі та сонячні панелі на дахах приватних будинків, що є подібними до розглянутих в цій студентській науковій роботі.

Порівняння структури виробництва електроенергії в Україні та Європейському Союзі у зв'язку з приєднанням української енергосистеми до ENTSO-E

Загородня Т.М., к.т.н., асистент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Донедавна об'єднана енергетична система (ОЕС) України працювала в паралельному режимі з електроенергетичними об'єднаннями Білорусі, Молдови, Російської Федерації. Відтепер, зі зрозумілих причин, не може бути жодних відносин з енергетиками цих країн. 16 березня 2022 відбулася інтеграція енергомереж України та Європи (43 оператори у 39 країнах європейського континенту).

Розглянувши динаміку виробництва електроенергії в Україні за 2020-2021 рр. (див. рис. 1а), бачимо, що обсяг виробництва електричної енергії ОЕС України зріс на 6,5 %. Причому об'єм виробництва електроенергії на АЕС зріс на 8,1 %, альтернативні джерела дали приріст в об'ємі виробництва електроенергії на 10,5 % а об'єм виробництва електроенергії на ТЕС і блок-станціях знизився на 3,4 % і 13,1 % відповідно. Що стосується виробництва електроенергії ЄС (див. рис. 1б), то у 2020 р. тут вперше отримали більше електроенергії з альтернативних джерел, ніж з копалин. На атомних електростанціях у 2020 р. виробництво електроенергії впало на 10 %, обсяги виробництва на ГЕС залишилися незмінними, а виробництво електроенергії на ТЕЦ стрімко скоротилося (впало на 20 %).

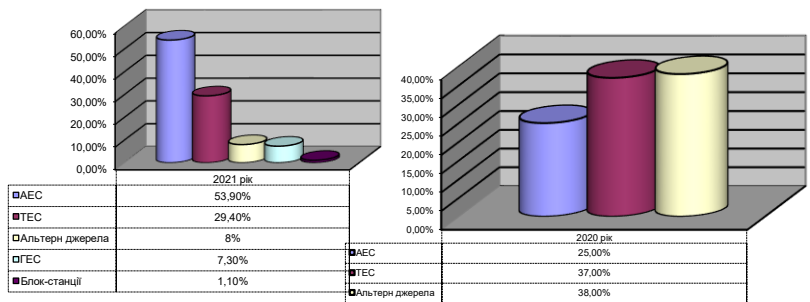


Рисунок 1 – Структура виробництва електроенергії: в Україні у 2021 році (а), в ЄС у 2020 році

Окрім того, що енергосистема Європи (ENTSO-E – European Network of Transmission System Operators for Electricity) має переваги по ємності 1136 ГВт проти 300 ГВт енергосистеми Росії/Білорусі, приєднання енергосистеми України до ENTSO-E, має ще такі важливі плюси: інтеграція ринку електроенергії України та ЄС сприятиме посиленню конкуренції на оптових ринках і демонополізації електроенергетичного сектору, прискорить вивід з експлуатації застарілих ще радянських блоків вугільної та атомної генерацій, які в умовах ринкового ціноутворення будуть просто неконкурентоспроможними, порівняно з електроенергією з інших джерел та країн. Разом з тим є ряд застережень, які необхідно враховувати при інтеграції як українцям, так і європейським партнерам. Мова йде про непрозорість ринку, слабкі антимонопольні заходи, ядерну безпеку. Як ми бачили на діаграмі рис. 1а, АЕС України дають більше 50 % електроенергії в країні, але термін експлуатації енергоблоків АЕС було подовжено без вжиття всіх необхідних заходів для підвищення безпеки їх роботи.

У структурі виробництва електроенергії в ЄС вітер, сонце, гідроенергія та біомаса забезпечують 38% сумарної генерації енергії, тоді як в Україні ця цифра на 80% менша. Синхронна робота енергосистеми України з енергооб'єднанням ENTSO-E спонукатиме нашу державу до переходу до низьковуглецевої економіки, відкриє нові можливості для створення робочих місць задля збільшення частки відновлювальних джерел енергії на українському енергетичному ринку. Україна має достатній потенціал для переходу на відновлювані джерела енергії задля забезпечення сталого розвитку енергетичної галузі та економіки країни в цілому.

На нашу думку, підвищення енергоефективності шляхом зменшення втрат електричної енергії, експансія відновлювальних джерел енергії до рівня 20-30%, модернізація існуючих джерел та впровадження інноваційних технологій – основні тренди розвитку української енергетики.

2. Динаміка виробництва електроенергії в Україні. Джерело: <https://kosatka.media/>
3. ВИЭ стали в 2020 году главным источником электричества в ЕС, у газа выросла доля. Джерело: <https://www.dw.com/>

Розробка екрануючих поверхонь для захисту лічильників електричної енергії від впливу сильних магнітних полів

Анастасія Чупрун, *ЕТ-91*; студентка, Ілля Дяговченко, *к.т.н.*,
доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

З метою спотворення показів лічильників електроенергії широко використовуються феромагнітні постійні магніти великої сили. Їхнє магнітне поле негативно впливає на вимірювальні трансформаторні датчики струму, тим самим призводячи до некоректної роботи технічного засобу вимірювальної техніки.

В цій роботі розглянуто метод захисту, який полягає в екрануванні вбудованих трансформаторних датчиків струму імпульсного типу від електромагнітних впливів постійних рідкоземельних магнітів. Магнітні екрануючі матеріали перенаправляють магнітне поле, зменшуючи його вплив на предмет, що екранується. Матеріалом для захисного екрану було обрано високопроникний екрануючий сплав нікелю та заліза. MuMETAL. Моделювання захисних екранів здійснювалося за допомогою програмного інструмента CST Studio Suit (рис. 1).

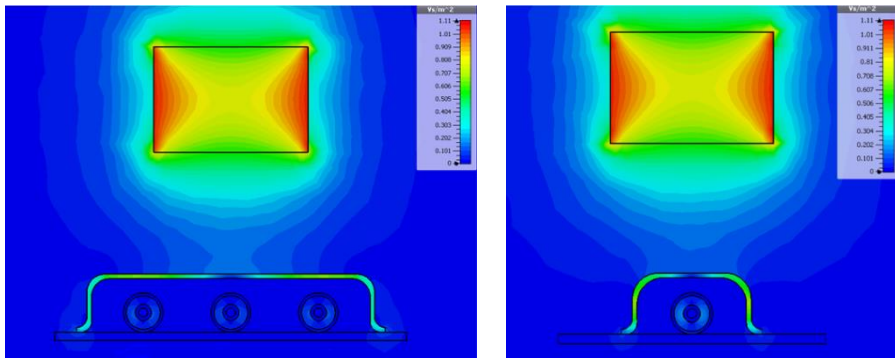
Було виконано моделювання ситуації насичення залізного осердя імпульсного трансформатора при дії на нього сильного магнітного поля від рідкоземельного постійного магніту. Виконано вибір оптимальної форми, матеріалу, розміру, розміщення екрану для захисту імпульсних трансформаторів струму. Ефективність запропонованого методу була підтверджена в результаті порівняння його з аналітичними методами розрахунку магнітних полів. Експериментально порівняно екрани з цільною структурою а також такі, що складаються з декількох шарів різної товщини і прошарків з паперу та полімеру. Проаналізовано як такі структури впливають на ефективність екранування.

У ході моделювання з'ясувалося, що найбільш ефективним є прямокутний екран із послідовним розташуванням трансформаторних датчиків струму всередині. Для більш ефективної роботи захисного

екрану варто робити його кути закругленими, а не гострими. Якщо екран складати із декількох частин, то варто подбати про перекриття в місцях стиків.

Додатково підвищити ефективність роботи екрану можна шляхом шарування: одношаровий екран більшої товщини працює гірше, ніж аналогічний за товщиною, але складений із декількох тонких шарів з повітряними зазорами між ними.

Результати моделювання прямокутного захисного екрану в програмі CST Studio Suit показано на рис. 1.



а

б

Рисунок 1 – Модель прямокутного захисного екрану: вигляд спереду (а), вигляд збоку (б)

1. Illia M. Diahovchenko, Robert G. Olsen, Electromagnetic compatibility and protection of electric energy meters from strong magnetic fields, *El. Power Syst. Research* (2020).
2. P. Chandel, T. Thakur, B. A. Sawale, “Energy Meter tampering: Major cause of non-technical losses in Indian distribution sector,” *Int. Conf. on El. Power and Energy Systems, ICEPES* (2017).
3. Мінпаливенерго України. Наказ від 12.07.2005 № 305, Додаткові вимоги до засобів обліку електроенергії, спрямовані на запобігання несанкціонованому втручанню в їх роботу (2005).

Цифровий вимірювальний прилад для моніторингу основних показників електричної мережі

Петровський М.В., *к.ф.-м.н., доцент*; Нестеренко Б.І., *студент*;
Нестеренко Є.І., *студент*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В електричних мережах під час експлуатації різноманітного обладнання спостерігаються відхилення від нормованих значень параметрів напруги та частоти, а також відбуваються постійні зміни таких параметрів, як струм, потужність та кут зсуву фаз між синусоїдами напруги та споживаного струму. Ці процеси обумовлені постійною зміною характеристик як самої мережі, так і навантаження в процесі експлуатації електрообладнання. У зв'язку з цим виникає необхідність у постійному моніторингу основних параметрів електричної мережі, на основі значень яких можуть бути прийняті рішення щодо оптимізації роботи складових частин останньої.

Одна із проблем, з якою стикається користувач або кваліфікований обслуговуючий персонал при експлуатації електротехнічних мереж, – це необхідність одночасного вимірювання одразу декількох електричних величин. Причому вимірювання деяких параметрів електричної мережі потребує проведення математичної обробки вимірних сигналів напруги та струму.

У цьому плані ефективним вирішенням завдання є створення цифрових вимірювальних систем з використанням мікроконтролерів, що дозволяє реалізувати багатофункціональні пристрої, які мають низьку собівартість.

Головним елементом пристрою, що розроблюється, обрано 8-бітний мікроконтролер PIC18F2525 фірми Microchip, який має 10-бітний АЦП для точного вимірювання аналогових сигналів, достатню кількість периферійних модулів для реалізації основної логіки, апаратну підтримку множення, що дозволяє прискорювати обчислення, значну кількість виводів для подальшої модернізації пристрою.

В роботі проведено аналіз та описано методики вимірювання основних показників електричної мережі: середнього квадратичного значення напруги та струму, споживаної повної, активної та

реактивної потужності, кута зсуву фаз між струмом і напругою та частоти основної гармоніки напруги.

Цифровий вимірювальний прилад з мікроконтролером PIC18F2525 дозволяє розраховувати в реальному часі основні показники електричної мережі.

Продемонстровано роботу приладу у спеціалізованих комп'ютерних програмах для синтезу та моделювання електронних схем – Multisim та Proteus Design при різного роду навантаженнях: резистивно-індуктивному, резистивно-ємнісному та суто резистивному (рис. 1).

Розроблений пристрій дозволяє в реальному часі моніторити стан енергомережі з діючим значенням напруги величиною 220 В.

Використання багатофункціонального мікроконтролера дозволяє у майбутньому реалізувати інші корисні функції, такі як зв'язок з ПК, вимірювання споживаної електроенергії тощо.

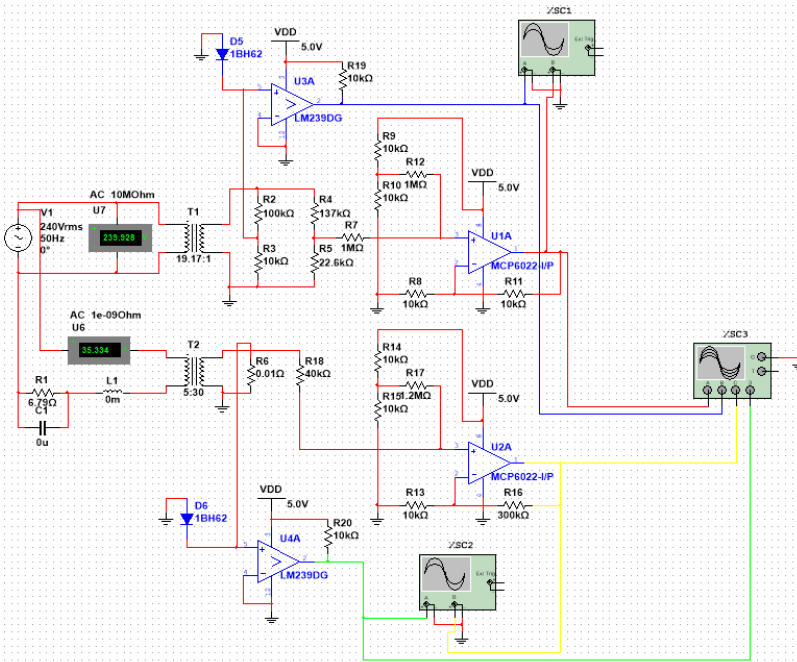


Рисунок 1 – Моделювання схеми вимірювання напруги, струму та $\cos\phi$ в Multisim

Схема заміщення ізолятора повітряної лінії електропередачі

Шевченко С.Ю., *д.т.н. професор*; Борзенков І.І., *аспірант*

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Як відомо, для ізоляції струмопровідних проводів лінії електропередачі (ЛЕП) від заземленої траверси опори слугують ізоляційні конструкції у вигляді гірлянди тарілчастих або стрижневих ізоляторів різних типів. Ці електричні апарати виконують дуже важливу роль, оскільки від їх справності залежить передача електричної енергії до споживачів. Основними характеристиками ізоляторів різних типів є механічне навантаження від проводів ЛЕП, яке вони можуть витримувати тривалий час, і електричні характеристики – електрична міцність.

З механічним навантаженням ізоляторів за експлуатації все більш-менш зрозуміло, оскільки ця характеристика знімається на заводі виробнику і є незмінною. З електричною міцністю в умовах експлуатації є певні труднощі. В процесі експлуатації ізолятори знаходяться в різних умовах навколишнього середовища. Середовище, де проходять ЛЕП, може бути як умовно чистим, так і забрудненим, і ці зони регламентуються ступенем забруднення атмосфери (СЗА).

Залежно від СЗА, на поверхню ізоляційної конструкції ізолятора осаджується певна кількість хімічних відкладень, що в сухому стані не несе певних змін для електричної міцності ізолятора в цілому. Але існують тяжкі умови експлуатації, наприклад, осадження на забруднену поверхню ізолятора вологи з туману, дощу, що призводить до утворення на поверхні ізоляційної конструкції електроліту по якому починають текти струми витоку $I_{\text{вит}}$. За рахунок зміни величини струмів витоку зменшується електрична міцність ізолятора.

За дії струмів витоку $I_{\text{вит}}$ по забрудненій і зволоженій поверхні ізолятора утворюються підсушені кільцеві зони. За рахунок цього на поверхні ізолятора відбувається перерозподіл падіння напруги, і на цих кільцевих зонах з'являються часткові розряди у вигляді короткочасного горіння дуги. Такі процеси викликають на поверхні ізоляції інтенсивну іонізацію повітря, що призводить до перекриття, як одного ізолятора, так і всієї гірлянди ізоляторів в цілому.

Для визначення поточного стану ізоляції використовуються методи випробування, перевірки та вимірювання, що впливають із фізичних принципів ізоляції. Будь-яку ізоляцію можна представити у вигляді електричного конденсатора зі складним середовищем.

Ізолятор можна охарактеризувати наступними параметрами: значенням геометричної ємності C_{Γ} , значеннями активного $R_{абс}$ і ємнісного $C_{абс}$ опорів абсорбції, опором для струму об'ємної провідності R_0 , та значеннями поверхневих опорів R_{Π} та C_{Π} , що характеризують властивості шару забруднення. На рис. 1 наведена схема заміщення ізолятора.

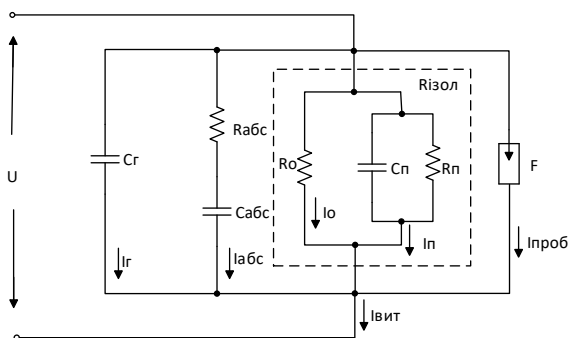


Рисунок 1 – Схема заміщення ізолятора ЛЕП

З рис. 1 видно що, струм витoku $I_{в\text{ит}}$, який протікає через ізолятор певної конструкції, визначається наступними складовими:

- I_{Γ} – струмом геометричної ємності;
- $I_{абс}$ – струмом абсорбції;
- I_0 – струмом наскрізної провідності;
- I_{Π} – поверхневим струмом.

Тоді струм витoku $I_{в\text{ит}}$ можна визначити як:

$$I_{в\text{ит}} = I_{\Gamma} + I_{абс} + I_0 + I_{\Pi} \quad (1)$$

Дослідження зміни струму витoku $I_{в\text{ит}}$ є невід'ємною частиною для упередження негативних наслідків, які призводять до перекриття ізоляції.

Розробка проєкту системи електропостачання на напрузі 20 кВ

Спірін Д.В., *студент*; Кучмій Д.В., *студент*;
Лебедка С.М., *к.т.н., ст. викладач*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Зростання електричних навантажень часто призводить до технічного обмеження в сучасних мережах. Одним із перспективних способів зменшення електричних втрат та збільшення пропускної спроможності є застосування номінальної напруги 20 кВ замість традиційних 6 (10) кВ.

Метою проєкту є забезпечення електроенергією споживачів Роменського мікрорайону м. Суми. В проєкті передбачається будівництво підстанції «Роменська» 110/20 кВ, передача електроенергії спроектованими лініями електропередачі на напрузі 20 кВ до щоглових ТП і заживлення споживачів напругою 380/220 В.

Виконано вибір високовольтного обладнання для підстанції «Роменська» 110/20 кВ та проведені розрахунки з перевірки відповідності силового трансформатора заданим умовам експлуатації, а також наведено вибір та розрахунок жорсткого ошинування для напруги 20 кВ.

Захист від перенапруг виконано за допомогою ОПН і подані відповідні розрахунки. Також проведено розрахунок заземлюючого пристрою і блискавкозахисту підстанції.

В проєкті передбачено прокладання кабельної лінії 20 кВ до першої опори і повітряної лінії з ізольованими проводами 20 кВ до щоглових ТП. Живлення споживачів напругою 380/220 В проводиться існуючими лініями від проєктованих ТП 20/0,4 кВ. Проведені відповідні розрахунки і перевірки згідно до заданого навантаження для вибору кабелів і проводів.

При розрахунку навантаження силових трансформаторів ТП 20/0,4 кВ враховано існуюче навантаження та розрахункові величини навантаження житлових будинків та громадських споруд.

Наведено техніко-економічне обґрунтування проєкту і приведена порівняльна характеристика електричних мереж 6 кВ та 20 кВ з відповідними висновками.

Наукове видання

ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

ФЕЕ :: 2022

**МАТЕРІАЛИ
та програма**

**МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
молодих вчених**

Відповідальний за випуск
Декан ф-ту ЕЛІТ

доц. **О.О. Дрозденко**

Комп'ютерне верстання
Дизайн обкладинки

ст. викладач **Ю.М. Шабельник**
ст. викладач **Ю.М. Шабельник**

Відповідальний редактор

ст. викладач **Ю.М. Шабельник**

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 8,08 Обл.-вид. арк. 6,30 Тираж 100 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Р.-Корсакова, 2, м. Суми, 40007,
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007

Секції конференції:

- 1. Фізика та методика викладання фізики.**
- 2. Наноматеріали: властивості та застосування.**
- 3. Матеріалознавство мікро- та наноелектроніки.**
- 4. Електронне інформаційні системи.**
- 5. Електронні системи, прилади та засоби кодування інформації.**
- 6. Електротехніка та енергетика.**

**Факультет електроніки та інформаційних технологій
Сумський державний університет
вул. Римського-Корсакова, 2, 40007 м. Суми, Україна
тел. +38 0542 33 71 44
<https://elitconference.sumdu.edu.ua>**