

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ВОЛОШИН ВАДИМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.311

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ОБҐРУНТУВАННЯ СТАНУ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ ПРИ РІЗНИХ ПАРАМЕТРАХ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело _____

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Сукманюк Олена Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.і.н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

АНОТАЦІЯ

Волошин В.О. Обґрунтування стану контактних з'єднань при різних параметрах навколишнього середовища. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В даній кваліфікаційній роботі проведений аналіз видів контактних з'єднань, наведено матеріали контактів та вимоги до них. Розглянуто способи контролю стану контактних з'єднань та наведені показники їх технічного стану, розроблено пристрій для аналізу стану контактних з'єднань, вибрано обладнання для пристрою контролю та наведено принцип роботи безперервного аналізу стану контактів.

Ключові слова: *контактне з'єднання, контроль, технічний стан.*

ABSTRACT

VOLOSHYN Y.O. Justification of the state of contact connections under different environmental parameters. Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 - Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

In this qualification work, an analysis of the types of contact connections is carried out, contact materials and requirements for them are given. Methods of monitoring the state of contact connections are considered and indicators of their technical state are given, a device for analyzing the state of contact connections is developed, equipment for the control device is selected, and the principle of operation of continuous analysis of the state of contacts is given.

Key words: *contact connection, control, technical condition.*

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИДІВ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ	6
1.1. Визначення технічного стану контактних з'єднань	6
1.2. Матеріали контактів та вимоги до них	11
1.3. Висновки по розділу	12
РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ КОНТРОЛЮ СТАНУ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ	13
2.1. Контроль технічного стану контактних з'єднань	13
2.2. Показники технічного стану контактних з'єднань	15
2.3. Контроль нагріву контактних з'єднань	18
2.4. Залежність температури від опору контакту	21
2.5. Висновки по розділу	22
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТАНУ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ	23
3.1. Вибір обладнання для пристрою контролю контактних з'єднань	23
3.2. Розробка корпусу пристрою	25
3.3. Принцип роботи пристрою безперервного аналізу стану контакту	26
3.4. Техніка безпеки при роботі з електроустаткуванням	27
3.5. Висновки по розділу	28
ВИСНОВКИ	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	30

ВСТУП

У процесі експлуатації контактні з'єднання піддаються механічним та хімічним впливам, що в свою чергу призводить до збільшення їх перехідного опору і, як наслідок, під дією струму навантаження – до перегріву та згодом – до руйнування. Швидкість розвитку дефектів залежить від конструкції контактного з'єднання, його розташування та інтенсивності зовнішніх впливів.

Проміжок часу між виникненням дефекту та аварійним виходом контактного з'єднання з ладу становить від кількох місяців до кількох років [1].

Основними методами контролю стану контактного з'єднання до недавнього часу залишалися виміри перехідного опору за допомогою мостів та візуальне спостереження. Поява тепловізійного обладнання дозволило виявляти дефекти контактних з'єднань на ранній стадії розвитку та контролювати стан практично всього електроустаткування, що значно знижує аварійність.

Допустимі температури нагрівання та перевищення температури над температурою навколишнього середовища контактних з'єднань та контактів нормуються [2-4].

Тепловий стан електроустаткування оцінюється за нормованими температурами нагріву (перевищення температури над ефективною температурою навколишнього середовища), надмірній температурі, динаміці зміни температури у часі, а також шляхом вимірювання поточних значень температури в межах однієї фази або між фазами для порівняння з температурою на справній ділянці електроустановки.

Метою кваліфікаційної роботи є визначення стану контактних з'єднань при різних параметрах навколишнього середовища, аналіз отриманих відомостей та розробка прототипу пристрою безперервного моніторингу стану електричного контакту для виключення пошкодження стану електричного контакту та оповіщення оперативного персоналу про відчутне погіршення стану контакту.

Для виконання даної мети було вирішено такі завдання:

- вивчено різні види електричних контактів
- вивчено типові відмови обладнання, пов'язані з погіршенням стану електричних контактів при різних параметрах навколишнього середовища;
- розроблено прототип пристрою для безперервного моніторингу та аналізу стану електричного контакту.

Об'єктом розробки є застосування електрообладнання будь-яких класів напруги, що потребує контролю стану електричного контакту.

Публікації:

Волошин В.О. Показники технічного стану контактних з'єднань. Студентські наукові читання : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 березня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С.122-126.

Волошин В.О. Способи контролю електричного контакту. Студентські наукові читання: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 березня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С.126-128.

Обсяг та структура роботи. Робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 30 сторінок машинописного тексту, містить 12 рисунків та 4 таблиці, списку використаних джерел з 16 найменувань.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ВИДІВ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ

1.1. Визначення технічного стану контактних з'єднань

Контактне з'єднання – це конструктивний пристрій, у якому здійснюється електричне та механічне з'єднання двох або кількох окремих провідників, що входять до електричного ланцюга. У місці зіткнення провідників утворюється електричний контакт – струмопровідне з'єднання, через яке струм протікає з однієї частини іншу.

«Контактні з'єднання у великій кількості входять у всі електричні ланцюги та апарати та є їх дуже відповідальними елементами. Від стану електричних контактів найбільше залежить безаварійна робота електрообладнання та електропроводки» [2].

В залежності від сфери застосування, контактні з'єднання поділяються на 3 класи [3, 5, 6]:

«1 клас – контактні з'єднання ланцюгів, переріз провідника якого обрано за допустимим тривалим струмовим навантаженням (силові електричні ланцюги, лінії електропередачі)» [2];

«2 клас – контактні з'єднання ланцюгів, переріз провідника якого обрано за стійкістю до струму, захисту від навантаження, а також контактні з'єднання в ланцюгах заземлювальних та захисних провідників» [2];

«3 клас – контактні з'єднання ланцюгів з електротехнічними пристроями, при роботі яких виділяється велика кількість тепла» [2];

Залежно від кліматичного виконання та категорії розміщення електротехнічних пристроїв з'єднання поділяються на групи А та Б.

За конструктивним виконанням контактні з'єднання поділяються на [2]:

1. Нерозбірні (зварні, паяні, спресовані, клепані, клейові) – з'єднання, які неможливо розібрати без того, щоб не зруйнувати хоча б одну з деталей, що утворює цю сполуку (рис. 1.1).

2. Розбірні (болтові, гвинтові, клинові) – з'єднання, які можна розібрати на окремі елементи таким чином, щоб з'єднуватися деталі залишилися цілими.

3. Роз'ємні — з'єднання, які включають вилку і розетку.

Залежно від матеріалу елементів, що з'єднуються, розбірні з'єднання, у свою чергу, поділяються на [2, 9]:

- не вимагають застосування засобів стабілізації електричного опору у місці контакту (рис. 1.2);

- вимагають застосування засобів стабілізації (рис. 1.3).

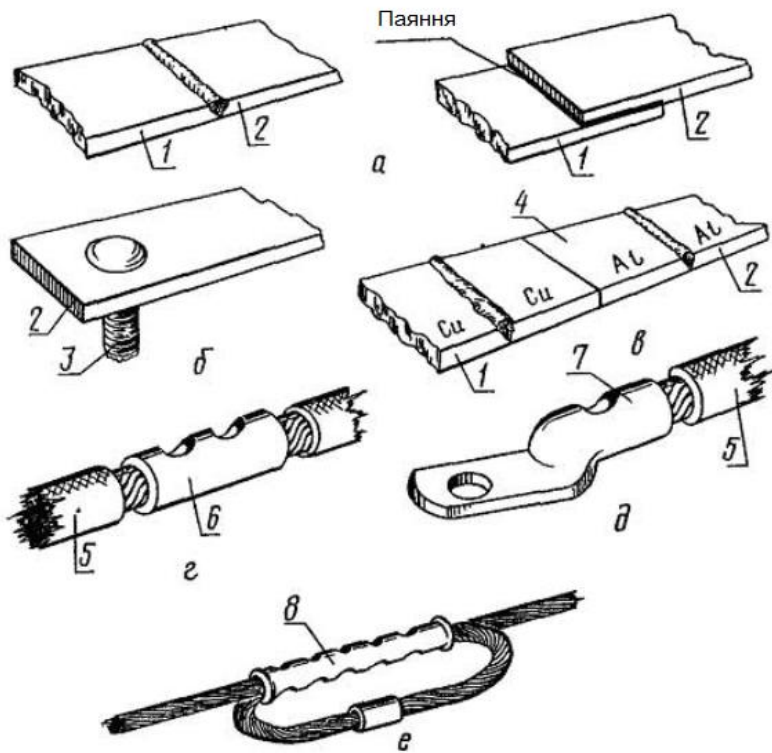


Рисунок 1.1 – Нерозбірні контактні з'єднання: а – зварюванням або паянням; б – зі штировим виведенням; в – зварюванням через перехідну мідно-алюмінієву пластину; г – з'єднання через гільзу обпресуванням; д – з'єднання дроту з кабельним наконечником; е – з'єднання дротів овальних з'єднувачах. 1 – плоский вивід; 2 – шина; 3 – штировий вивід; 4 – мідно-алюмінієва пластину; 5 – провід (кабель); 6 – сполучна гільза; 7 – кабельний наконечник; 8 – овальний з'єднувач.

З'єднання плоских контактних поверхонь (шин прямокутного перерізу або наконечників з плоскими електротехнічних виводів пристроїв), виконаних з міді та її сплавів або з твердих алюмінієвих сплавів, що не вимагають застосування засобів стабілізації та виконуються за допомогою сталевих кріпильних виробів. Допускається застосування воронених сталевих болтів, гайок та шайб.

З'єднання алюмінієвих шин між собою або з плоскими виводами електротехнічних пристроїв, а також з іншими провідниками, виконаними з міді та її сплавів або з твердих алюмінієвих сплавів, має виконуватися із застосуванням засобів стабілізації, одного з нижче перерахованих [7, 8]:

1. Кріпильних виробів із кольорових металів;
2. Тарілчастих пружин;
3. Металевих покриттів робочих поверхонь алюмінієвих провідників;
4. Перехідних мідно-алюмінієвих пластин (мідно-алюмінієвих наконечників) або перехідних пластин та наконечників з твердого алюмінієвого сплаву.

Пластини з алюмінієвого сплаву та алюмінієві частини мідно-алюмінієвих пластин з'єднуються з алюмінієвими шипами зварюванням.

При застосуванні засобів стабілізації контактні з'єднання також виконуються за допомогою сталевих кріпильних виробів, захищені від корозії [9, 10].

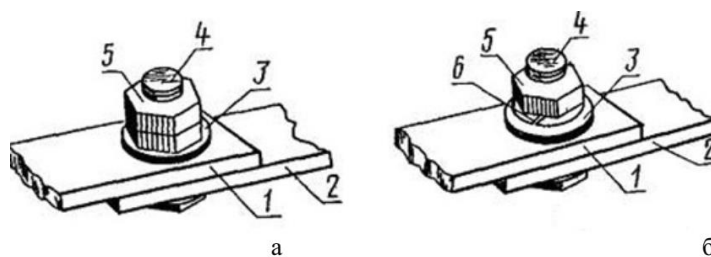


Рисунок 1.2 – Розбірні контактні з'єднання провідників із плоскими виводами без засобів стабілізації електричного опору: а – з контргайкою; б – із пружинною шайбою; 1 – плоский вивід (шина); 2 – шина (кабельний наконечник); 3, 4, 5 - шайба, болт та гайка сталеві; 6 – пружинна шайба.

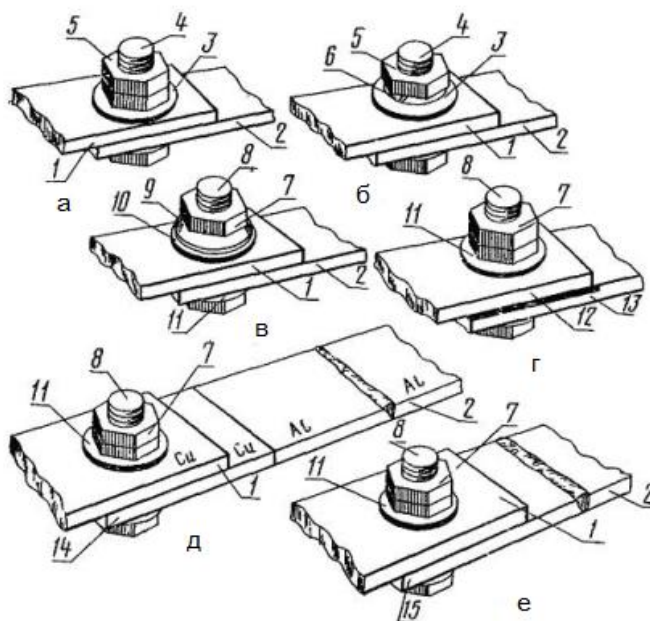


Рисунок 1.3 – Розбірні контактні з'єднання провідників із плоскими виводами із засобами стабілізації електричного опору [2]: а – кріплення з кольорового металу з контргайкою; б – кріплення з кольорового металу із пружинною шайбою; в – сталєне кріплення з пружиною; г – сталєне кріплення із захисним металевим покриттям робочої поверхні із контргайкою (пружинною шайбою); д – сталєне кріплення через перехідну мідно-алюмінієву пластину з контргайкою (пружинні шайбою); е – сталєне кріплення через перехідну пластину з твердого алюмінієвого сплаву із контргайкою (пружинною шайбою); 1 – плоский вивід; 2, 13 – шина; 3 - 5 – шайба, болт, гайка із кольорового металу; 6 – пружинна шайба; 7 – сталєва гайка; 8 – сталєвий болт; 9 – пружина; 10, 11 – шайба; 12 – плоский вивід; 14 – мідно-алюмінієва пластину; 15 – пластину з твердого алюмінієвого сплаву

До штирових виводів, виконаних з міді або латуні, приєднання провідників з міді або твердих алюмінієвих сплавів виконується без засобів стабілізації, а алюмінієвих провідників – із застосуванням засобів стабілізації (рис. 1.4): при струмах до 630 А – з використанням кріпильних деталей з латуні, а при струмах понад 630 А – з використанням металевих покриттів чи перехідних пластин.

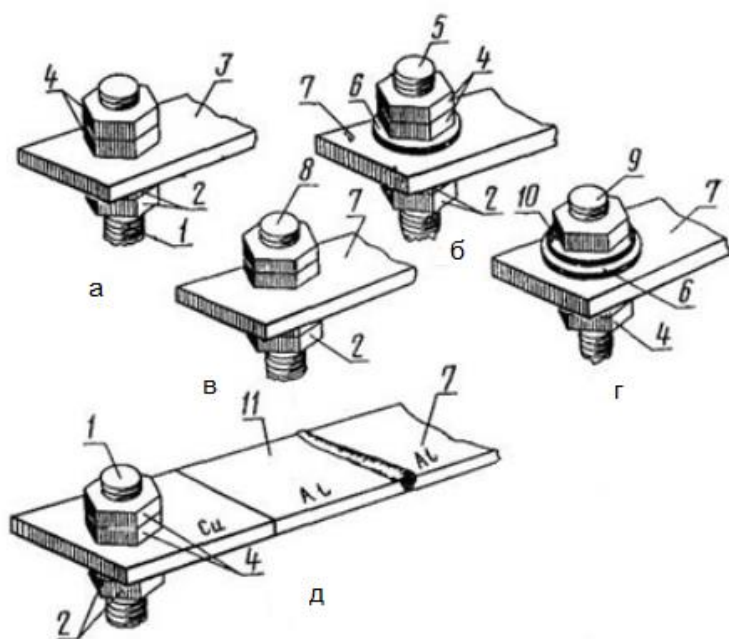


Рисунок 1.4 – Контактні з'єднання провідників з штировими виводами без засобів та із засобами стабілізації електричного опору: а – мідній або алюмінієвий провідник; б, в, г – алюмінієвий провідник; д – алюмінієвий провідник через перехідну мідно-алюмінієву пластину 1, 5 – вивід; 2 – гайка; 3 – шина з міді; 4 – гайка; 6 – шайба; 7 – алюмінієва шина; 8 – штировий латунний вивід; 9 – штировий сталевий вивід; 10 – пружина; 11 – мідно-алюмінієва пластина.

Окрему групу складають контактні з'єднання, що застосовуються в комутаційних електричних апаратах. Вони контактом також називають конструктивний елемент, за допомогою якого в процесі роботи апарату здійснюється періодичне замикання та розмикання електричного ланцюга.

Контактна система електричного апарату полягає у більшості випадків з пари або кількох пар рухомих та нерухомих елементів, при замиканні яких утворюється електричний ланцюг.

Контактні з'єднання електричних апаратів класифікуються за різним ознакам [1, 2, 9]:

1. За видом з'єднання:

- взаємонерухомі:

а) розбірні (болтове з'єднання);

б) нерозбірні (зварені, паяні, напилені);

- взаєморухомі:

а) нерозмикаються – призначені для здійснення передачі електричної енергії з нерухомих частин установки на рухому або навпаки: щіткові ковзаючі (рис. 1.5, а); рідкометалеві (рис. 1.5, б); роликові (рис. 1.5, в);

б) розмикаються – що розходяться в процесі роботи: місткові контакти (рис. 1.6, а), розеткові (рис. 1.6, б), щіткові (рис. 1.6, в), пальцеві або ножові (рис. 1.6, г), з плоскими пружинами (рис. 1.6, д).

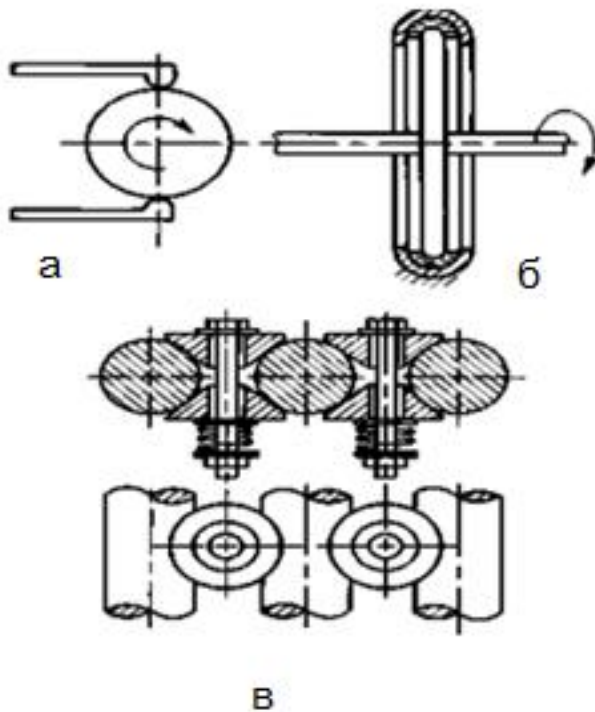


Рисунок 1.5. – Нерозмикаючі взаєморухливі контакти: а – щіткові ковзні; б – рідкометалеві; в – роликові.

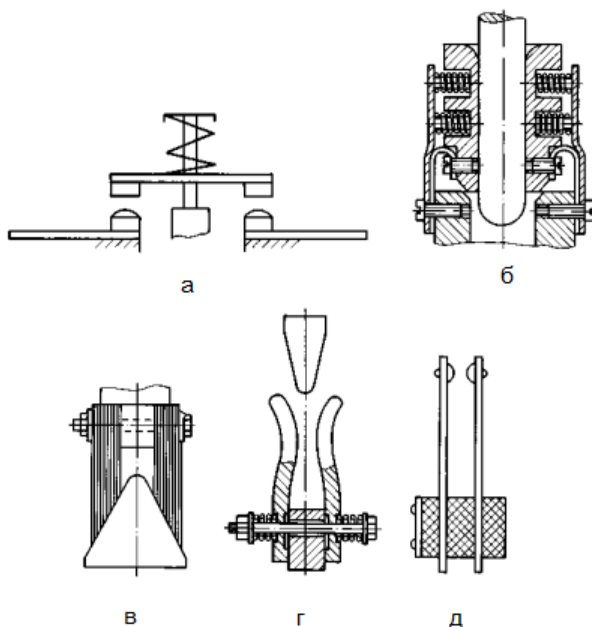


Рисунок 1.6 – Розмикаються контакти: а – місткові; б – розеткові; в –

щіткові; г – пальцеві; д – із плоскими пружинами.

2. За можливим переміщенням контактуючих деталей: а) розбірний контакт (контактне з'єднання) – це конструктивний вузол, призначений лише для проведення електричного струму, але з призначенням для комутації (болтове з'єднання "шин", приєднання провідника до затискача).

б) комутуючі контакти – це конструктивний вузол, призначений для комутації електричної мережі (вимикач, контактор, рубильник).

в) ковзаючі контакти – різновид комутуючого контакту, у якого одна деталь ковзає щодо іншої, але електричний контакт при цьому не порушується (контакти реостату, щітковий контакт, шарнірний контакт).

3. За формою контактування:

а) поверхневий контакт – умовне контактування поверхнею.

б) лінійний контакт – умовне контактування відбувається по лінії (ролик-площина).

в) точковий контакт (контакт в одній площині: сфера-сфера, конус-площина тощо).

У поверхневих контактах електричний контакт здійснюється на площині ABCD (рис. 1.7, а), у лінійних - по лінії АВ (рис. 1.7, б), в точкових – у точці А (рис. 1.7, в).



Рисунок 1.7 – Форми контактних поверхонь.

1.2. Матеріали контактів та вимоги до них

При виготовленні всіх видів контактних з'єднань використовуються різні матеріали. При цьому до них висувається низка вимог:

1. Висока електропровідність та теплопровідність.
2. Стійкість проти корозії.
3. Стійкість проти утворення плівок із високим ρ .
4. Мала твердість матеріалу, зменшення сили натискання.
5. Висока твердість зменшення механічного зносу при частих вклучення та відключення.
6. Мала ерозія.
7. Висока дугостійкість (температура плавлення).
8. Високе значення струму та напруги, необхідні для дугоутворення.
9. Простота обробки та низька вартість.

У природі немає матеріалів, що повністю задовольняють дані вимоги.

Тому вибір матеріалу здійснюється залежно від виду контактної з'єднання та умов його експлуатації.

Мідь задовольняє всім пунктам, крім 2-го та 5-го. Контакти із міді та її сплавів (латунь, бронза) набули широкого поширення для виготовлення як рухомих, так і нерухомих контактних з'єднань. При тривалій безперервній роботі, щоб уникнути окислення мідні контакти покривають шаром олова або виконують із срібними накладками [1, 2, 9].

Срібло задовольняє всім вимогам за винятком дугостійкості.

Платина, золото, молибден. Використовуються на малі струми при малих напругах, т.к. не утворюють окисних плівок.

Вольфрам та його сплави (з молибденом та платиною) використовуються на малі та великі струми як дугостійкість контактів.

Металокераміка – механічна суміш двох практично не металів, що сплавляються, одержувана методом спікання їх порошків або просоченням одного розплавом іншого. Один із матеріалів має велику провідність, інший має механічну міцність, дугостійкість, тугоплавкістю (срібло, вольфрам, Ag-Ni, Ag-графіт, Ag-окис кадмію, Ag-молибден). Металокераміка застосовується в якості дугогасних контактів, та як основні контакти на струми до 600 А.

Алюміній для комутуючих контактів не використовується, застосовується тільки в розбірних з'єднаннях, при армуванні його міддю або сріблом. Застосовуються також його метали. Для захисту від корозії алюмінієві контакти іноді оцинковують.

1.3. Висновки по розділу

В даному розділі подано класифікацію контактних з'єднань. Наведено технічний стану контактних з'єднань, матеріали з яких їх виготовляють та вимоги до них. Під час роботи контактні з'єднання нагріваються від струмопровідних проводів, кабелів та шин; вібраціям, зумовленим роботою устаткування; впливу газів, вологи, парів лугів, кислот та навколишнього середовища.

РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ КОНТРОЛЮ СТАНУ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ

2.1. Контроль технічного стану контактних з'єднань

На даний час існує декілька способів контролю стану електричних контактів. Стан контактного з'єднання можна розглянути трьома способами: візуальним контролем, тепловізійними дослідженнями, оскільки зі збільшенням перехідного опору збільшується нагрівання контактного з'єднання, та виміром перехідного опору.

Контроль технічного стану контактних з'єднань зводиться до наступних пунктів [10]:

1. Тепловізійний контроль. Оцінка теплового стану електроустаткування та струмопровідних частин залежно від умов їх роботи та конструкції може здійснюватися: за нормованими температурами нагріву (перевищення температури), надлишкової температури, коефіцієнту дефектності, динаміці зміни температури у часі, зі зміною навантаження, шляхом порівняння вимірних значень температури в межах фази, між фазами, свідомо справними ділянками тощо.

Вимірювання не слід проводити в умовах дощу, снігу, швидкості вітру понад 4 м/с. Виміряні значення температур чи перегріву слід коригувати з урахуванням навантаження, випромінювальної здатності об'єкта, атмосферних умов.

Для контактів та болтових контактних з'єднань нормативними значеннями слід користуватися при струмах навантаження $(0,6-1,0) I_{ном}$ після відповідного перерахунку. Для контактів та болтових контактних з'єднань при струмах навантаження $(0,3-0,6) I_{ном}$ оцінка їх стану проводиться за надмірною температурою. Як норматив використовується значення температури, перераховане на $0,5 I_{ном}$.

При оцінці стану контактів і болтових контактних з'єднань надмірній температурі та струмі навантаження $0,5 I_{ном}$ розрізняють наступні рівні несправності:

а) підвищення температури на 5–10 °С. Початковий ступінь несправності, необхідно тримати під контролем та вживати заходів щодо її усунення під час проведення ремонту, запланованого за графіком.

б) підвищення температури на 10-30 °С. Дефект. Необхідно прийняти заходи щодо усунення несправності.

в) підвищення температури понад 30 °С. Аварійний дефект. Вимагає негайного усунення.

Оцінку стану зварних контактних з'єднань рекомендується проводити при підвищеній температурі або коефіцієнту дефектності.

2. Контроль опресованих контактних з'єднань [10]. Контролюються геометричні розміри та стан контактних з'єднань проводів та грозозахисних тросів, тросів ПЛ та шин розподільчих пристроїв.

Геометричні розміри (довжина та діаметр спресованої частини корпусу затискача) не повинні відрізнятися від необхідних технологічних вимогах по монтаж контактних з'єднань. Сталевий сердечник опресованого сполучного затискача не повинен бути зміщений щодо симетричного положення більш ніж на 15% довжини пресованої частини дроту. На поверхні затискача не повинно бути тріщин, корозії, механічних пошкоджень.

3. Контроль контактних з'єднань, що виконані із застосуванням овальних сполучних затискачів. Перевіряються геометричні розміри та стан контактних з'єднань проводів та грозозахисних тросів.

Геометричні розміри затискачів після монтажу не повинні відрізнятися від передбачених технологічних вимог з монтажу затискачів. На поверхні затиску не повинно бути тріщин, корозії (на сталевих сполучних затискачах), механічних пошкоджень.

4. Контроль болтових контактних з'єднань [10]. Перевіряється затяжка болтів контактних з'єднань, виконаних із застосуванням петлевих перехідних, сполучних перехідних, відгалужувальних, апаратних затискачів. Перевірка проводиться відповідно до інструкції щодо їх монтажу. Перевірка затягування болтів контактних з'єднань збірних та сполучних шин проводиться вибірково із розкриттям 2–3 % з'єднань.

Вимірюється перехідний опір всіх болтових контактних з'єднань. Для розподільних пристроїв падіння напруги або опору на ділянці шини (0,7–0,8 м) у місці контактного з'єднання не має перевищувати падіння напруги чи опору ділянки шини тієї ж довжини того ж перерізу більш ніж в 1,2 рази. Періодичність контролю – не рідше одного разу на 6 років.

5. Контроль зварних контактних з'єднань. При контролі контактних з'єднань, виконаних із застосуванням термпатронів, у зварному з'єднанні не повинно бути:

- переплавів зовнішнього пориву дроту або порушення зварювання при перегині зварених кінців дроту;

- усадкових раковин у місці зварювання глибиною понад 1/3 діаметра дроту з алюмінію, сплавів або міді глибиною понад 6 мм – сталевалюмінієвого дроту перерізом 150-600 мм².

При контролі контактних з'єднань жорстких збірних та сполучних шин РУ, виконаних зварюванням, перевіряється стан зварювання.

2.1. Показники технічного стану контактних з'єднань

Просте накладання контактних поверхонь з'єднувальних провідників не забезпечує хорошого контакту, оскільки дійсний дотик відбувається не по всій поверхні, а лише в небагатьох точках. Причина цього – нерівність поверхні контактуючих елементів та навіть при дуже ретельному шліфуванні на поверхнях залишаються мікроскопічні піднесення та западини (рис. 2.1). Дійсна площа дотику у багато разів менша загальної контактної поверхні.

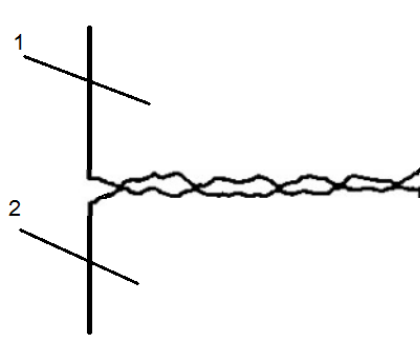


Рисунок 2.1 – Дотичні контактні поверхні

Через малу площу зіткнення контакт представляє досить значний опір для проходження струму. Повний опір контактного з'єднання включає в себе опори власного матеріалу контактних елементів та опору в місці їх зіткнення. Опір у місці переходу струму з однієї контактної поверхні до іншої називається перехідним контактним опором.

Опір контакту завжди більше, ніж суцільного провідника таких самих розмірів та форми. Перехідний опір залежить від матеріалу контактів, сили притискання їх один до одного, площі контактної поверхні, її стану та температури.

Перехідний контактний опір – це різке збільшення активного опору у місці переходу струму з однієї деталі до іншої [12].

Його величина визначається за формулою:

$$R_{\Pi} = \frac{\varepsilon}{0.102F^n}, \quad (2.1)$$

де ε – коефіцієнт, який залежить від властивостей матеріалів контактів, а також від способу обробки і частоти контактної поверхні (ε залежить від фізичних властивостей матеріалів контактів, питомого електричного опору, механічної міцності, властивості матеріалів контактів до окислення, теплопровідності;

F – сила контактного натискання, Н;

n – коефіцієнт, що залежить від точок дотику контактних поверхонь (0,5 – для точкового контакту; 1 – для поверхневого контакту).

З рівняння також слід, що опір контакту залежить від розміру контактних поверхонь і для контакту визначається насамперед силою тиску (контактного натискання).

Контактне натискання – зусилля, з яким одна контактна поверхня діє іншу. Число дотиків у контакті швидко зростає при натискання. Навіть при невеликих тисках у контакті відбувається пластична деформація, вершини

виступів змінюються і зі збільшенням тиску все більше нових точок дотикається.

Якщо два провідники торкаються контакту, то число майданчиків і сумарна площа зіткнення залежатиме від величини сили натискання та від міцності матеріалу контакту (його тимчасового опору на зминання).

Зі збільшенням контактного натискання перехідний опір зменшується внаслідок збільшення площі зіткнення за рахунок зминання виступів (рис. 2.2). Причому після зняття контактного натискання за рахунок залишкової деформації виступів на поверхні контактів, перехідне опір стає менше, ніж зі збільшенням контактного натискання.

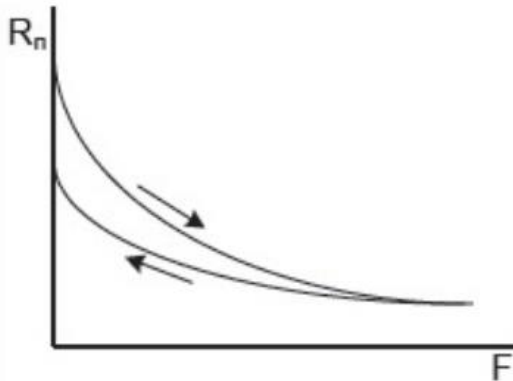


Рисунок 2.2 – Залежність перехідного опору від сили контактного натискання.

Однак тиск у контакті доцільно збільшувати лише до деякої певної величини, тому що при малих значеннях тиску перехідний опір зменшується швидко, а за великих – майже не змінюється. Подальше збільшення тиску призведе до пошкодження або руйнування контактних поверхонь.

Властивості контактної з'єднання можуть змінюватися з часом [1, 2, 12].

Опір контакту може бути представлено як сума опорів R_C та шарів плівок

$$R_K = R_C + R_{пл} \quad (2.2)$$

Опір плівок може змінюватися в процесі експлуатації в дуже широких межах. Опір стягування залежить, в першу чергу, від матеріалу контактів, числа зіткнень і сили стиснення.

Залежність опору контакту від прикладеної сили є складним і може бути знайдено лише для окремого випадку – точкового контакту, утвореного сферою та площиною або двома циліндрами з однаковими радіусами. Під дією сили F_K , спрямованої по прямій, що з'єднує центри кривизни, початковий точковий дотик перейде в дотик по круглій площині з радіусом α . Тиск розподіляється по контактній площині нерівномірно: найбільший тиск у центрі площини, де в 1,5 рази більший за середній; біля країв площині тиск дорівнює нулю.

При досить великій силі можна прийняти, що тиск по всій площині однаковий і дорівнює твердості матеріалу контактів:

$$F_K = \sigma_T \pi \alpha, \quad (2.3)$$

де σ_T - твердість матеріалу контактів за Брінелем [5].

Якість контактних з'єднань, призначених для електричного з'єднання проводів, кабелів, рухомих контактів та інших струмопровідних з'єднань (болтових, зварних, виконаних методом обтиснення тощо), визначається за допомогою двох діагностичних показників:

– коефіцієнта дефектності перегріву K_d електричного контакту або відгалуження, виконаного за допомогою того чи іншого виду з'єднання;

- надлишкової температури T аналогічних контактних сполук інших фаз при $0,5 I_{ном}$.

Коефіцієнт дефектності K_d за своєю фізичною сутністю визначається співвідношенням питомого теплового потоку Джоуля, що виділився в контактному з'єднанні або відгалуженні, до питомого теплового потоку, що виділяється на проводі поза контактним з'єднанням. Питомий тепловий потік із поверхні, внаслідок тепловіддачі в довкілля та теплового випромінювання, визначається виразом:

$$q = \alpha (T - T_0), \quad (2.4)$$

де α – ефективний коефіцієнт тепловіддачі з поверхні; T – температура поверхні; T_0 – температура навколишнього повітря.

Коефіцієнт дефектності визначається за формулою:

$$K_d = \frac{\Delta T_c}{\Delta T_{np}}, \quad (2.5)$$

де ΔT_c та ΔT_{np} – перевищення температури, відповідно, контактного з'єднання комутаційного апарату та проводу, що з'єднується, поза арматурою (на відстані не менше 1 м від затиску) над температурою навколишнього середовища при протіканні за ними одного і того ж струму.

З іншого боку, враховуючи вираз кількості теплоти, можна коефіцієнт дефектності визначити як:

$$K_d = \frac{I^2 R_k}{I^2 R_{dp}} = \frac{R_k}{R_{dp}}, \quad (2.6)$$

де I – сила струму; R_k і R_{dp} – електричний опір, відповідно, контактного з'єднання комутаційного апарату та дроту.

Опір контактного з'єднання комутаційного апарату [12]:

$$R_k = 2\sqrt{\lambda}F \left(\frac{T_{pob} F k_T + R I^2}{I^2 \sqrt{k_T S}} \right), \quad (2.7)$$

де λ – теплопровідність матеріалу провідника, для міді 390 Вт/(м·К); k_T – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м² К); S – площа контурної (фактичної) площини доторкання контактних з'єднань (табл. 2.1), м²; F – охолоджувальна поверхня одиниці довжини, м²; $R = \rho_0 (1 + \alpha \cdot T_{pob}) / S$ – опір одиниці довжини провідника, Ом; I – струм через контакт, А; $T_{pob} = \Delta T + T_n$ – температура контактного з'єднання комутаційного апарату, К; ΔT – надлишкова температура, перевищення вимірюваної температури контрольованого вузла над температурою аналогічних вузлів інших фаз, що знаходяться в однакових

умовах; T_n – температура контактної з'єднання комутаційного апарату на справних ділянках електроустановки, К.

Таблиця 2.1

Значення розмірів контактних площин для силових контактів низьковольтних комутаційних апаратів

№ п/п	Найменування комутаційних апаратів	Номинальний струм, А	Розмір контактної площини, мм ²
1	Автоматичний вимикач АП50Б	1,6...6,3	лінія довжиною 6 мм
		10...25	12,5
		40...63	30,0
2	Автоматичний вимикач АЕ20	10...16	20,0
		20...63	30,0
		80...125	40,0
3	Автоматичний вимикач ВА21-29	1,6...6,3	30,0
		31,5...63	32,0
4	Автоматичний вимикач ВА13-29	1,0...6,3	30,0
		31,5...63	32,0

2.3. Контроль нагріву контактних з'єднань

Термін експлуатації електричних пристроїв, діагностика стану яких затруднена, значно коротший за нормативний. Одне із слабких місць діагностики та контролю пристроїв електропостачання – це місця підвищеного нагріву, зокрема контактні з'єднання.

«Для контролю температури струмопровідних частин і з'єднань використовують колірні сигналізатори, термоіндикаторні фарби, а також інфрачервоні дефектоскопи.

Колірні сигналізатори виготовляють у вигляді плівки, яку нарізають смужками та наклеюють на місця контрольних точок клеєм БФ-2. При нормальних умовах плівка має червоний колір, при температурі 70 °С вона змінюється на бордовий, при 75-80 °С плівка набуває коричневого, а вище 80 °С - чорного кольору. Після зниження температури до 70 °С червоний колір плівки відновлюється» [16].

Сигналізатор, що відпадає, складається з 2-х металевих кружечків, пофарбованих в контрастний (у порівнянні з обладнанням) яскравий колір. Кружечки з'єднують між собою припоєм, до складу якого входить 52,5% вісмуту, 32% свинцю та 15,5% олова, що приклеюють до контрольованого контакту. При збільшенні температури контакту до 95-100 °С припой розм'якшується і неприклеєний кружальце під дією сили тяжіння падає або

зависає на підвісі. Для контролю нижчих температур (55-60 °С) використовують парафінові кружечки на аркуші паперу, який приклеюють клеєм БФ-2 або бакелітовим лаком до контактної з'єднання. Крім постійних сигналізаторів (кольорових та відпадаючих) нагрівання контактних з'єднань у доступних місцях можна визначити за допомогою термосвічок, виготовлених з воску та парафіну, що плавляться при заданих температурах. При перевірці такої термосвічки за допомогою ізолюючої штанги короткочасно прикладають до контакту та за її станом перевіряють температуру [16].

Для контролю температури вентилів, розташованих у приміщенні тягової підстанції, використовують термоіндикаторну фарбу (ТІ-фарба) № 32 на 85-95 °С, що має вихідний рожевий колір. Мітки ТІ-фарбою наносять на корпуси холодних вентилів, випрямляч включають лише після повного висихання фарби. Першу перевірку проводять через добу після нанесення міток та у разі зміни кольору з рожевого на блакитний перевіряють тепловий опір цих вентилів приладом ІТСВ. У перші три місяці контроль проводиться щомісяця, потім – під час проведення оглядів згідно з Інструкцією. Після одного року ТІ-мітки видаляють і наносять нові.

У районах контактної мережі для визначення якості контактних з'єднань використовуються інфрачервоні дефектоскопи ІКД-10М, за допомогою яких порівнюють показання нагріву контактної з'єднання (Ік) та нагріву цільного відрізка контактної дроту, віддаленого (по дроту) від контактної з'єднання (затиску) не менше ніж на 1 м (ІП) [16].

Вимірювання таким дефектоскопом здійснюють дистанційно, з поверхні землі, не торкаючись вимірюваного з'єднання і дотримуючись таких умов:

- відстань від приладу до об'єкта, що вимірюється, повинна бути не більше 14 м;
- кут нахилу приладу, контрольованого затискачем, по відношенню до вертикальної осі не повинен перевищувати 30 °;
- для підвищення точності вимірювань знімають кілька значень та фіксують максимальне.

Використовують також прилади ІКТ [9, 10], виміри якими виробляються як і, як і дефектоскопом ІКД-10М. Проте за вимірах з відстані більше 8 м його показання коригуються поправочним коефіцієнтом (з паспорта приладу). Для підвищення точності вимірювань приладом ІКТ необхідно перебувати на мінімально можливій відстані від об'єкта, що вимірюється. При цьому встановлювати прилад проти сонця та проводити вимірювання під час дощу, туману, снігу забороняється.

Вимірювання приладами проводяться тільки при максимальному електричному навантаженні в літній період при високій температурі повітря.

До середини 90-х років. XX ст. для знайдення місць підвищеного нагріву пристроїв електропостачання почали застосовувати тепловізійні системи. Застосування тепловізора в електропостачанні полягає у контролі підвищеного нагріву струмопровідних елементів.

Найбільшу користь тепловізор для електроустаткування приносить під час діагностики високовольтного силового обладнання – вартість компонентів такої системи досить висока, і важливіше зберегти їх в робочому стані. Запобігши виходу з ладу силових трансформаторів, трансформаторів струму, автотрансформаторів, масляних вимикачів, конденсаторів тощо, при виході з ладу яких довелося витратити значні кошти на ремонт. Функціонал недорогого тепловізора базового рівня з діапазоном вимірюваних температур до $+500^{\circ}\text{C}$ дозволить вирішувати такі завдання:

- технічний огляд контактних елементів та комунікаційних пристроїв з високою робочою напругою;
- перевірка стану проводки та електромереж;
- контроль правильної роботи електроагрегатів, установок та машин.

На рис. 2.3 показано розподіл температури на екрані тепловізора діючої електроустановки.



Рисунок 2.3 – Розподіл температури на екрані тепловізора

Для роботи на об'єктах, де є висока напруга, а також для перевірки стану високовольтних ліній електропередач найкраще підходять професійні тепловізори з високою роздільною здатністю ІКдатчика, оснащені телеоб'єктивом. Такі прилади забезпечують ефективний дистанційний контроль, дозволяючи виконувати тепловізійну зйомку з відстаней. Вартість таких приладів більша, проте використовувати їх цілком доцільно через широке застосування даного пристрою в обслуговуванні електроустановок. Основними перевагами тепловізора є широта використання, робота в режимі реального часу та відсутність необхідності зняття напруги. На сьогоднішній день тепловізори тільки починають широко використовуватися в мережевих

компаніях нашої країни, але на жаль не всі компанії можуть дозволити собі придбання такого обладнання.

2.4.Залежність температури від опору контакту

Згідно з ДСТУ 2290-93 [15], робоча температура болтових контактних з'єднань електроустаткування з міді без покриття на відкритому повітрі не повинна перевищувати 75 °С, допустиме перевищення температури над ефективною температурою навколишнього повітря не має перевищувати 35 °С, а температура даних з'єднань при аварії не повинна перевищувати 140 °С, так як при перевищенні даних граничних значень можлива втрата фізичних властивостей та руйнування елементів внаслідок прискореної корозії.

Випробовування на нагрівання піддають повністю зібраний апарат з новими контактами, встановленими в експлуатаційному положенні (вертикальному, горизонтальному та ін), при якому можливе найбільше нагрівання його частин.

Перед випробуваннями вимірюють загальний опір та (або) окремих його елементів струмоведучого контуру, якщо значення опору цих елементів встановлено у конструкторській документації.

Допускається не випробовувати на нагрівання апарати, що пройшли випробування на ресурс з механічної стійкості або на механічну зносостійкість, якщо опір струмовідного контуру та (або) окремих його елементів не перевищує норми, встановлених у конструкторській документації.

Апарат випробовують струмом, що дорівнює номінальному (найбільшому робочому первинному – для трансформаторів струму). Матеріал тимчасових приєднань, їх перетин та розташування, характеристика поверхні (забарвлена та ін), наявність теплоізоляції або відведення тепла повинні бути наведені у протоколі випробувань. Нагрів апарату необхідно продовжувати до досягнення встановленого теплового режиму.

Для проведення дослідження використовували тепловізор Fluke Ti400, мікрометр БСЗ-010-1 та джерело струму. На початку роботи було виміряно перехідний опір болтового з'єднання за допомогою мікрометра БСЗ-010-1 до подачі струму на шини. Потім був поданий струм на шини, щоб контактне з'єднанням почало нагріватись. При досягненні певного значення струму на шинах, джерело струму відключили, і було заміряно опір контакту до його охолодження. Температура фіксувалася за допомогою тепловізора. Потім, для визначення впливу перехідного опору, контакт послаблювався. Послаблення болтового з'єднання призводить до збільшення перехідного опору, і

наступного нагрівання. Дану роботу було повторено для отримання кількох значень та побудови графічної залежності.

Таблиця 2.2 – Залежність перехідного опору болтового контактного з'єднання від температури навколишнього середовища

R_k , мкОм	t , °C
152	20
154	25
163	63
180	85

Отримані дані не відповідають ДСТУ 2290-93, оскільки перевищено робочу температуру болтових контактних з'єднань електроустаткування із міді без покриття на відкритому повітрі. Проте, дослід підтверджує що зміна перехідного опору пов'язана зі станом контактного з'єднання і призводить до надлишкового нагрівання контакту. Незадовільні результати могли бути викликані похибкою при вимірах, забруднення електричного контакту.

На рис. 2.4 побудовано графічну залежність температури від опору електричного контакту.

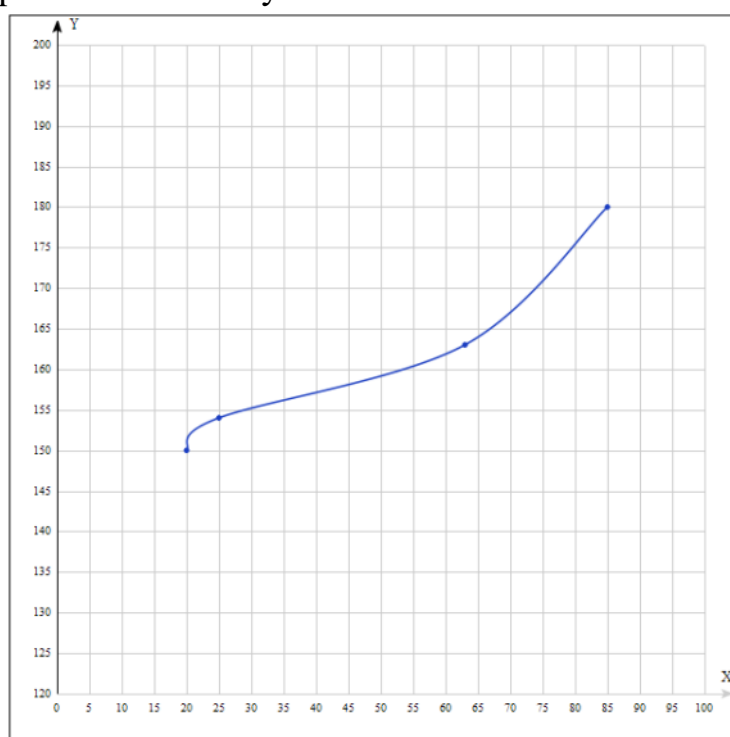


Рисунок 2.4 – Залежність перехідного опору болтового контактного з'єднання від температури

2.5. Висновки по розділу

В даному розділу було здійснено контроль технічного стану та нагріву контактних з'єднань. Наведено показники технічного стану контактних з'єднань та залежність температури навколишнього середовища від опору контакту.

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТАНУ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ

3.1. Вибір обладнання для пристрою контролю контактних з'єднань

Вибір обладнання проводиться в результаті технічних випробувань, які повинен пройти кожен апарат, перед встановленням та отримати відповідний сертифікат та стандарт якості, в залежності від необхідної надійності пристрою з урахуванням можливості установки.

Для розробки запропонованого прототипу пристрою потрібно вибрати і встановити контролер та датчик, а також розробити корпус пристрою.

Мікроконтролер – мікросхема, призначений для керування електронними пристроями. Мікроконтролер поєднує в собі функції процесора та периферійних пристроїв, тобто це однокристальний комп'ютер, що може виконувати завдання [11, 13, 16].

Використання в сучасному мікроконтролері достатнього потужного обчислювального пристрою з широкими можливостями, побудованого на одній мікросхемі замість цілого набору, значно зменшує розміри, енергоспоживання та вартість побудованих на його базі пристроїв [11, 13, 16].

У промисловості це найчастіше пристрої промислової автоматики від програмованого реле і вбудованих систем до систем управління верстатами. У той час як 8-розрядні мікропроцесори загального призначення повністю витіснені більш продуктивними моделями, 8-розрядні мікроконтролери продовжують широко використовуватись [11, 13, 16].

Програмування мікроконтролерів найчастіше здійснюється за допомогою мови C++. Крім цієї мови програмування також використовуються Fort, Basic та різні інтерпретатор, перевагою яких є простота використання даних мов.

Також мікроконтролери забезпечені великою кількістю портів передачі сигналу, що практично зводить до нуля проблеми, пов'язані із передачею сигналу. Найчастіше використовувані інтерфейси: UART, I²C, SPI, CAN, USB, IEEE 1394, Ethernet [11, 13]. Також можливе приєднання додаткових плат, що наділяють мікроконтролер додатковим функціоналом. Додаткові плати допомагають вирішити широкий спектр складностей у застосуванні, наприклад підключення до локальної мережі та інтернету або геолокації. В таблиці 3.1. показані характеристики запропонованих мікроконтролерів.

Таблиця 3.1 - Короткі характеристики мікроконтролерів

	Arduino nano ATMega 328	ESP8266	Raspberry Pi Zero	TEENSY
Розмір, см×см	1,85×4,2	1,7×*2,4	6,5×3,0	1,7×3,5
Уроб, В	5	3,3	До 5	3,3; 5
Кількість виходів і входів	22	22	5	21
ОЗУ, Кб	2	2	512000	64
Флеш- пам'ять, Кб	32	4096	-	256

При порівнянні характеристик було відкинуто мікроконтролера Raspberry Pi Zero. Він є найбільш дорогим, і не має функції підключення до мережі інтернет, необхідної для передачі сигналу від пристрою.

Порівняльні характеристики трьох мікроконтролерів, що залишилися приблизно однакові, проте через простоту, велика кількість можливостей встановлення додаткових розширювальних плат був вибраний мікроконтролер Arduino nano ATMega 328 (рис. 3.1).

Недолік даного контролера є залежність від електромагнітних перешкод (потрібне додаткове екранування під час експлуатації розроблюваного прототипу) та незахищеність від вологи.

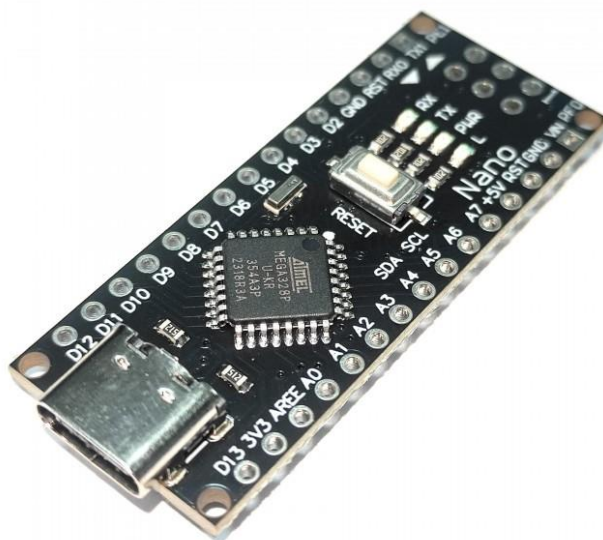


Рисунок 3.1 – Мікроконтролер типу Arduino nano ATMega 328

Датчиком в даному випадку буде інфрачервоний термометр для віддаленого вимірювання. Запропоновані моделі основних датчиків для вимірювання температури інфрачервоним методом: Devantech TRA81 8x1Thermopile, Panasonic GridEYE, Melexis MLX90620, Melexis MLX90614.

Порівняльні характеристики запропонованих термометрів наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльні характеристики ІЧ-термометрів для віддаленого виміру

	Devantech TPA81 8x1Thermopile	Panasonic Grid-EYE	Melexis MLX90620	Melexis MLX90614
Діапазон робочих температур, t °C	+4...+100	-20...+100	-20...+300	-70... +382.2
Погрішність, t °C	2	3	1.5	0.02
Розмір, см×см	4,3×2,1	12,6×9,0	6,0×4,2	6,1×3,2

Наведені датчики використовуються для безконтактного вимірювання температури. Усі датчики екрановані від електромагнітних перешкод, що дозволяє використовувати їх у різних електроустановках.

Перші три датчики є матричними, тобто в основі лежить матриця чутливих до далекого інфрачервоного діапазону елементів, що дозволяє знімати повноцінну картину далекого інфрачервоного спектру, проте у завданні стоїть вимірювання температури в одній точці, тому оптимальним у даному випадку є Melexis MLX90614. Щодо аналогів даний датчик має і найбільш широкий діапазон температур об'єкта вимірювання.

3.2. Розробка корпусу пристрою

Для прототипу корпус пристрою буде запропонований методом друку на 3D-принтері. Для матеріалу корпусу було обрано пластик типу ABS та пластик типу HIPS(ударостійкий полістерол).

ABS-пластик (акрилонітрилбутадієнстирол) – ударостійка технічна термопластична смола на основі сополімеру акрилонітрилу з бутадієномі стиролом (назва пластика утворено з початкових букв найменувань мономерів).

Пропорції можуть змінюватись у межах: 15 –35 % акрилонітрилу, 5–30% бутадієну та 40–60% стиролу.

Властивості:

- непрозорий (хоча є і прозора модифікація – MABS) матеріал жовтого відтінку. Забарвлюється у різні кольори;
- нетоксичний у нормальних умовах;
- довговічний у відсутності прямих сонячних променів та ультрафіолету;
- стійкий до лугів та миючих засобів;

- вологостійкий;
- маслостійкий;
- кислотостійкий;
- теплостійкий 103 °C (до 113 °C у модифікованих марок);
- широкий діапазон експлуатаційних температур (від -40 °C до +90 °C);
- розчиняється у складних ефірах, кетонах, 1,2-дихлоретан, ацетон, етилацетат;
- щільність 1.02-1.06 г/см³.

Властивості HIPS-пластика багато в чому схожі, але є деякі відмінності:

- матеріал не поглинає вологу, краще переносить умови зовнішнього середовища, не схильний до розкладання. Довше зберігається у відкритому стані без упаковки;

- м'який, краще піддається механічній обробці;

- легкий та низьке водопоглинання дозволяють при дотриманні певних умов створити об'єкт, що не тоне у воді;

- незабарвлений HIPS має яскраво-білий колір, що дає йому естетичні переваги. Матова фактура візуально згладжує шари та шорсткості друку. З нього виготовляється пластиковий посуд.

Обидва запропоновані пластики дозволяють витримувати температури до 180-200 °C і дію сонячного випромінювання. Необхідно зауважити, що для досягнення необхідних характеристик корпусу з обох видів пластиків необхідно загартувати при температурі 110-140 °C та обробити ацетоном для усунення мікротріщин та шорсткості.

Використання ABS-пластику так само обумовлюється відмінними механічними властивостями, довговічністю та низькою вартістю цього матеріалу.

Однак застосування пластику типу HIPS спрощується нижчою вартістю та стійкістю до вологості. Виберемо для розробки корпусу ударостійкий полістирол (HIPS-пластик).

3.3. Принцип роботи пристрою безперервного аналізу стану контакту

Після вибору обладнання та обґрунтування небезпеки різних факторів, перейдемо до розробки пристрою безперервного аналізу стану електричного контакту. Так як, ослаблення контакту, його забруднення, або підвищення перехідного опору призводять до його нагрівання, запропоновано оцінювати стан контактного з'єднання за допомогою інфрачервоного термометра.

Конструкція пристрою складатиметься з наступних частин: мікропроцесор Arduino nano ATmega 328, інфрачервоний термометр

віддаленого вимірювання Melexis MLX90614, корпус з HIPS-пластику, та теплопровідна пластина.

Теплопровідна пластина необхідна для зниження впливу поверхні, з якою буде проводитися вимірювання температури: пристрій може вимірювати температури з різних поверхонь, і щоб уникнути складнощів з урахуванням матеріалу, його теплопровідних властивостей та якості лакофарбового покриття, запропоновано використовувати саме пластину з металу з добрими теплопровідними властивостями.

На рисунку 3.2 наведено схему пристрою.

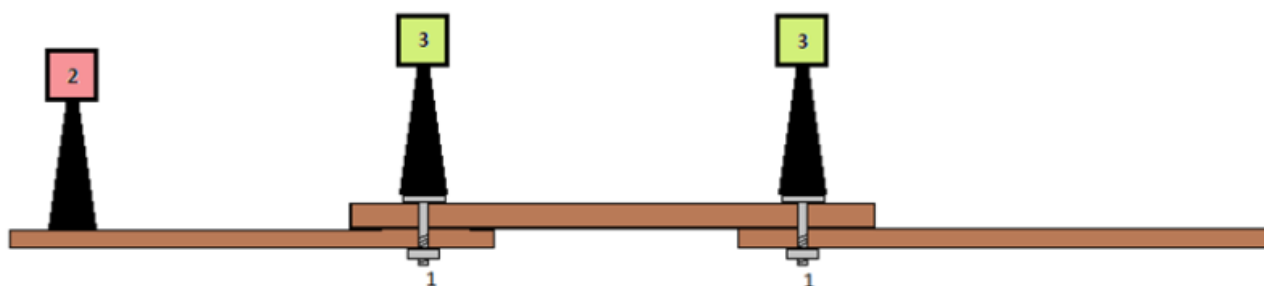


Рисунок 3.2. Схема з'єднання пристрою: 1 – болтове контактне з'єднання; 2 – датчик корекції; 3 – датчик аналізу.

Датчики аналізу точково вимірюють температуру у заданих точках. За допомогою мікроконтролера, показники термометра порівнюються з показаннями датчика корекції, і при перевищенні критичного значення різниці температур, інформується про стан електричного контакту. Так як функції мікроконтролера типу Arduino дуже широкий, можливе передавання сигналу за допомогою Wi-Fi модуля на частоті 5ГГц на АСДУ для інформування чергового персоналу про погіршення стану електричного контакту, та необхідності прийняття заходів щодо усунення можливої аварійної ситуації.

До недоліків можна віднести: слабка захищеність мікроконтролера до електромагнітних перешкод, шорсткість корпусу пристрою, викликана печаткою на 3D-принтері та слабка стійкість до вологи.

3.4. Техніка безпеки при роботі з електроустановками

Робота в електроустановках поділяється на 3 категорії щодо заходів безпеки:

- роботи з вимкненням напруги;
- роботи на струмопровідних частинах електроустановки або поблизу них без відключення напруги;
- роботи на відстані від струмопровідних частин, що знаходяться під напругою, без відключення напруги.

Роботи з відключенням напруги – це роботи, при виробництві яких напруга знята з усіх струмопровідних частин, а приміщення, в яких розташовується електрообладнання, що залишилося під напругою, закрито.

Виконання робіт безпосередньо поблизу електричних частин належить до категорії «роботи під напругою». Ця класифікація включає випадки, коли працівник працює в межах безпеки, менших, ніж встановлені відстані, запобігаючи ненавмисно порушення під час роботи біля струмопровідних частин без відключення джерела живлення.

Під час проведення робіт з струмопровідними частинами без відключення джерела живлення необхідно залучати не менше двох працівників. До початку виконання робіт, що виконуються з відключенням напруги, необхідно провести наведені нижче технічні заходи, у зазначеному порядку:

- відключення від джерела напруги струмопровідних частин, на яких виконуватимуться роботи;
- вживання заходів, що унеможливають помилкове включення комутаційної апаратури з попаданням напруги на струмопровідні частини;
- перевірка відсутності напруги на заземлені на час виконання робіт;
- увімкнення заземлюючих елементів, а за їх відсутності накладення на струмопровідні частини переносних провідників; дані провідники повинні приєднуватися до заземлюючих шин, ще до перевірки відсутності напруги;
- огороження робочих місць, які знаходяться під напругою;
- вивішування на огорожах попереджувальних знаків «Стій напруга».

Взаємодіючи з електроустановками до 1000 В, коли знеструмлення струмоведучих частин не є можливим, необхідно дотримуватися правил електробезпеки та технічних запобіжних заходів. До таких заходів належать:

1. Ізоляція провідників, які знаходяться під напругою, для запобігання нещасного випадку.

2. Використовувати електроізолююче взуття, стояти на електроізолюючих платформах або використовувати електроізолюючі килимки, якщо існує небезпека ураження струмом, тобто працювати із застосуванням засобів захисту від ураження електричним струмом.

3. Використовувати електроізолюючі засоби індивідуального захисту та ручний інструмент, що відповідає вимогам нормативних документів.

3.5. Висновки по розділу

В даному розділі було вибрано обладнання для пристрою контролю контактних з'єднань. Конструкція пристрою складатиметься з наступних частин: мікропроцесор Arduino nano ATmega 328, інфрачервоний термометр віддаленого вимірювання Melexis MLX90614, корпус з HIPS-пластику, та теплопровідна пластина.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було проведено роботу з вивчення видів контактних з'єднань, наведено технічний стану контактних з'єднань, матеріали з яких їх виготовляють та вимоги до них. У процесі роботи контактні з'єднання нагріваються від струмопровідних проводів, кабелів та шин; вібраціям, зумовленим роботою устаткування; піддаються механічним та хімічним впливам. Вивчено типові відмови обладнання, пов'язані з погіршенням стану електричних контактів при різних параметрах навколишнього середовища.

Було розроблено прототип пристрою для безперервного моніторингу та аналізу стану контактних електричних з'єднань. Конструкція пристрою складатиметься з наступних частин: мікропроцесор Arduino nano ATmega 328, інфрачервоний термометр віддаленого вимірювання Melexis MLX90614, корпус з HIPS-пластику, та теплопровідна пластина.

Під час розробки даного пристрою було запропоновано збільшити ступінь захисту та зменшити вплив електромагнітних перешкод. Пристрій може використовуватись в електроустановках усіх класів напруги, що безсумнівно, збільшить надійність того чи іншого електричного апарату та допоможе уникнути небезпечних аварійних ситуацій, таких як спалах або вибух електроустаткування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Апарати керування і захисту. Навчальний посібник / Я.Д. Ярош, Ю.П. Гончаренко, О. М. Сукманюк, Кухарець С.М. Поліський національний університет. Житомир. 2020. 128 с.
2. Бржезицький В. О., Зелінський В.Ц., Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є. Електричні апарати: підручник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. 602с.
3. Грищук Ю.С. Мікропроєсорні пристрої: Навчальний посібник. Харків: НТУ «ХП», 2007. 280 с.
4. Електричні машини. Навчальний посібник / Ю.П. Гончаренко, Я.Д. Ярош, О. М. Сукманюк, О.В. Коновалов. Поліський національний університет. Житомир. 2021. 378 с.
5. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлєв та ін. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 449 с.
6. Електричні системи і мережі. Частина 2: навчальний посібник / Ю. В. Малогулко, О. Б. Бурикін, Т. Л. Кацадзе, В. В. Нетребський. Вінниця : ВНТУ, 2021. 162 с.
7. Електричні системи і мережі. Частина 3 : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Малогулко Ю. В., Бурикін О. Б., Кацадзе Т. Л., Нетребський В. В. Вінниця : ВНТУ, 2022. 172 с.
8. Кідиба В.П., Шелепетень Т.М. Захист ліній електропередавання: навч. посіб. НУ «ЛП», 2004. 184 с.
9. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник. – Харків: Вид-во «Точка», 2012. – 340 с.
10. Куценко Ю.М. Монтаж електрообладнання і систем керування /Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлєв. За заг. ред. проф. Яковлєва В.Ф. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 348 с.
11. Мікропроєсорна техніка: Підручник /Ю.І. Якименко, Т.О. Терещенко, Є.І. Сокол та ін./За ред. Т.О.Терещенко. К.: Політехнік, 2003. 440с.
12. Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. Для ВНЗ / Г. Г. Півняк, І. В. Жежеленко, Ю. А. Папаїка, Л. І. Несен, за ред.. Г. Г. Півняка. МОН України, Нац. гірн. гн-т. 5-те вид. Дніпро: НГУ, 2016. 600 с.
13. Петрівний О.І. Методичні рекомендації до самостійно і контрольної робіт з дисципліни «Апарати керування і захисту». Ж.: ЖНАЕУ, 2015. 120 с.
14. Релейний захист і автоматика: Навч. посібник / С. В. Панченко, В. С. Блиндюк, В. М. Баженов та ін.; за ред. В. М. Баженова. Харків: УкрДУЗТ, 2020. Ч. 1. 250 с.
15. ДСТУ 2290-93. Контакти електричні. Терміни та визначення.
16. <https://studopedia.org/9-5869.html>