

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних завдань з дисципліни
«Електромеханічні та контактні явища в електричних апаратах»
частина 2 для студентів спеціальності
G3 «Електрична інженерія» всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання практичних завдань з дисципліни «Електромеханічні та контактні явища в електричних апаратах» частина 2 для студентів спеціальності G3 «Електрична інженерія» всіх форм навчання/Укл.: Л.С. Скрупська, С.І. Шило, О.О. Каплієнко – Запоріжжя: НУЗП, 2026.– 20с.

Укладачі: Л.С. Скрупська, ст. викл.
С.І. Шило, доцент, к. т. н.
О.О. Каплієнко, доцент, к. т. н.

Рецензент: В.В.Василевський, доцент, к. т. н.

Відповідальний
за випуск: Л.С. Скрупська, ст. викл.

Затверджено
на засіданні кафедри
«Електричні та
електронні апарати»
Протокол № 6
від « 22 » 12 2025 р.

Затверджено НМК ЕТФ
Протокол № 6
від « 21 » 01 2026 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практичне завдання № 7. Електроерозійні явища в електричних контактах	6
Практичне завдання № 8. Матеріали електричних контактів.....	9
Практичне завдання № 9. Електродинамічні сили в електричних апаратах	11
Практичне завдання № 10. Розрахунок електродинамічних сил в електричних апаратах	14
Практичне завдання № 11. Індукційні явища в електричних апаратах	17
Список використаних джерел посилання	19

ВСТУП

Методичні вказівки до виконання практичних завдань з дисципліни «Електромеханічні та контактні явища в електричних апаратах» (Частина 2) є логічним продовженням вивчення фундаментальних процесів, що визначають надійність та ресурс сучасної комутаційної техніки. Якщо перша частина курсу була зосереджена на статичних станах та електромагнітних системах, то друга частина присвячена динамічним процесам, зносостійкості матеріалів та складним видам електродинамічної взаємодії.

Для студентів спеціальності **141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (G3)** глибоке розуміння цих явищ є критично важливим, оскільки саме вони визначають межу працездатності апаратів у режимах короткого замикання та інтенсивних комутацій.

Друга частина практикуму охоплює наступні ключові напрямки:

1. Ерозійна стійкість та матеріалознавство (Завдання №7 – №8)

Розглядаються фізичні механізми руйнування контактів під дією електричної дуги та місткових перетяжок. Студенти вчаться прогнозувати термін служби апаратів та обґрунтовано обирати контактні матеріали (метали, композити, металокераміку) залежно від умов експлуатації.

- **Ключові теми:** масоперенесення, дугова ерозія, властивості срібних та вольфрамових композитів, рідинно-металеві контакти.

2. Електродинаміка та механічна міцність (Завдання №9 – №10)

Цей блок присвячений розрахунку сил, що виникають при протіканні великих струмів. На відміну від першої частини, тут аналізуються складні конфігурації провідників, вплив феромагнітних мас та специфіка змінного струму.

- **Ключові теми:** взаємодія паралельних та криволінійних провідників, сили в контактах, електродинамічна стійкість апаратів при коротких замиканнях.

3. Індукційні явища та швидкісна комутація (Завдання №11)

Завершальний розділ присвячений вивченню явищ

електромагнітної індукції в апаратах, що є основою для проектування надшвидкодійних приводів та систем обмеження струмів КЗ.

- **Ключові теми:** індукційно-динамічні системи, перетворення енергії, вихрові струми та їх механічна дія.

Методологія виконання робіт: Кожне практичне завдання побудоване за єдиним стандартом:

1. Теоретичний базис: опис фізичних законів та розрахункових моделей.

2. Інженерний алгоритм: послідовність дій для визначення шуканих параметрів.

3. Кейс-стаді: детальний розбір типової задачі з реальним технічним контекстом.

4. Контроль знань: перелік запитань для захисту результатів розрахунків.

Опанування матеріалу другої частини дозволяє студенту перейти від загальнотеоретичних уявлень до практичного проектування та експертної оцінки стану електричних апаратів у реальних енергосистемах.

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ № 7. ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНІ ЯВИЩА В ЕЛЕКТРИЧНИХ КОНТАКТАХ

1. Загальні положення

Мета Вивчення механізмів зношування контактних поверхонь під дією електричних розрядів та металевих містків, а також опанування методик кількісної оцінки ерозії.

Завдання:

- навчитися розрізняти механізми місткової та дугової ерозії;
- розраховувати об'єм перенесеного металу при розмиканні кола;
- оцінювати вплив параметрів кола (індуктивності, струму) на інтенсивність зносу;
- визначати електричний знос контактів при замиканні з урахуванням вібрації.

2. Короткі теоретичні відомості

Електрична ерозія — це процес руйнування та перенесення матеріалу контактів під дією електричних процесів у міжконтактному проміжку.

1. Місткова ерозія: Виникає при малих струмах або на початковій стадії розмикання. Між контактами утворюється перетяжка з розплавленого металу (місток), яка розривається в найгарячішій точці. Це призводить до одnobічного перенесення металу (утворення "піка" на одному контакті та "кратера" на іншому).

2. Дугова ерозія: Виникає при розмиканні великих струмів. Потужний термічний вплив дуги призводить до випаровування та розбризкування металу. Це найбільш інтенсивний вид зношування.

3. Ерозія при замиканні: Зумовлена механічною вібрацією (відскоком) контактів, під час якої виникають короточасні дугові розряди.

3. Практичні задачі для закріплення матеріалу

Задача №1. Розрахунок місткової ерозії

Умова:

Потрібно розрахувати об'єм металу V_m , що переноситься зі

срібного анода на катод за один цикл розмикання слабкострумового кола. Струм у колі $I=10$ А.

Вихідні дані:

- Коефіцієнт місткової ерозії для срібла: $\gamma_m \approx 0,6 \cdot 10^{-12}$ см³/А³.

Задача №2. Дугова ерозія при розмиканні

Умова:

Потрібно визначити сумарний знос контактів G після 1000 операцій розмикання кола постійного струму $I=100$ А.

Час горіння дуги $t_d=0,02$ с.

Вихідні дані:

- Питомий дуговий знос для міді: $q_d=40 \cdot 10^{-6}$ г/Кл.

Задача №3. Вплив індуктивності кола на енергію ерозії

Умова:

У колі з індуктивністю $L=0,05$ Гн розмикається струм $I=20$ А.

Вважаючи, що вся енергія магнітного поля котушки виділяється в дузі на контактах.

Потрібно визначити масу розплавленого вольфраму.

Вихідні дані:

- Питома енергія випаровування вольфраму: $w_{\text{вип}} \approx 45 \cdot 10^3$ Дж/см³;

- Густина вольфраму: $\rho=19,3$ г/см³.

Задача №4. Ерозія при замиканні та вібрації

Умова:

При замиканні контактів відбувається один відскок (вібрація) тривалістю $t_{\text{від}}=2$ мс.

Потрібно розрахувати кількість тепла, що виділяється на контактах під час вібрації, якщо падіння напруги в короткій дузі $U_d=15$ В.

Вихідні дані:

Струм замикання $I=50$ А.

Задача №5. Розімкнений стан та діелектрична міцність

Умова:

Після розмикання контактів відстань між ними становить $d=2$ мм.

Повітряне середовище.

Потрібно визначити максимальну напругу, яку може витримати цей проміжок без повторного пробую.

Вихідні дані:

- Електрична міцність повітря (нормальні умови): $E_{\text{пов}} \approx 30$ кВ/см (3 кВ/мм).

4. Контрольні запитання

1. Поясніть механізм утворення розплавленого металевого **містка** при розмиканні контактів. Чому місткова ерозія призводить до нерівномірного зносу (утворення «піка» та «кратера») і як це залежить від полярності?

2. Яка принципова відмінність між **містковою** та **дуговою ерозією** за інтенсивністю руйнування контактів? Як впливає час горіння дуги на сумарну масу викинутого металу?

3. Яким чином **індуктивність кола** впливає на кількість енергії, що виділяється в міжапаратному проміжку? Чому при розриві індуктивних навантажень знос контактів значно вищий, ніж в активних колах?

4. Опишіть процеси, що відбуваються при **вібрації (відскоку)** контактів під час замикання. Чому виникнення короткочасної дуги в цей момент є найбільш небезпечним з точки зору зварювання контактів?

5. Від яких факторів залежить діелектрична міцність розімкненого контактного проміжку? Поясніть роль відстані між контактами та середовища (повітря, газ, вакуум) у запобіганні повторного пробую.

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ № 8. МАТЕРІАЛИ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОНТАКТІВ

1. Загальні положення

Мета Вивчення фізико-хімічних властивостей сучасних контактних матеріалів та принципів їх підбору для забезпечення надійної комутації в різних режимах роботи.

Завдання:

- опанувати методику вибору матеріалів на основі їх термодинамічних констант;
- вивчити особливості композитних (металокерамічних) матеріалів;
- розрахувати параметри рідинно-металевих контактних систем;
- оцінити ефективність методів боротьби зі зносом (сріблення, використання вольфрамових добавок).

2. Короткі теоретичні відомості

Матеріали контактів повинні поєднувати високу електропровідність з механічною міцністю та дугостійкістю.

1. Чисті метали: Мідь (дешева, але окислюється), Срібло (найкраща провідність, не окислюється, але схильне до зварювання).

2. Металокераміка (композити): Суміш тугоплавкого компонента (Вольфрам, Молібден) та високопровідного (Мідь, Срібло). Наприклад, **КМК-А10м** (срібло-окис кадмію) або **ВМ** (вольфрам-мідь). Вони поєднують незварюваність вольфраму з провідністю міді.

3. Рідинні метали: Ртуть або сплави галію (Галістан). Забезпечують практично нульовий перехідний опір та відсутність механічного зносу, але мають обмеження по температурі та токсичності.

3. Практичні задачі для закріплення матеріалу

Задача №1. Вибір матеріалу за критерієм дугостійкості

Умова:

Контакти працюють у режимі частих розмикань великих струмів.

Потрібно порівняти лінійний знос мідних та вольфрамових

контактів, а також визначити, чи доцільна заміна міді на вольфрам, якщо пріоритетом є ресурс.

Вихідні дані:

Питомий ерозійний знос вольфраму в 5 разів менший за мідь, але його питомий опір у 3 рази вищий

Задача №2. Ефективність сріблення мідних контактів

Умова:

Мідна шина має перехідний опір $R_{Cu} = 200$ мкОм.

Після нанесення шару срібла товщиною 20 мкм опір знизився до $R_{Ag} = 50$ мкОм.

Потрібно розрахувати економію електроенергії за рік (8000 год).

Вихідні дані:

Струм $I = 1000$ А.

Задача №3. Металокераміка в умовах дуги (Механізм "випотівання")

Умова:

Композитний контакт Срібло-Вольфрам (60/40) піддається дії дуги.

Потрібно описати стан матеріалу та пояснити, чому контакт не зварюється.

Вихідні дані:

Температура плями (контакт) досягла 1500°C .

Задача №4. Розрахунок рідинно-металевого контакту (РМК)

Умова:

У РМК використовується сплав галію.

Площа змочування контакту $S = 2$ см²,

Потрібно розрахувати власний опір рідинного прошарку.

Вихідні дані:

Товщина шару металу $h = 0,1$ мм.

Питомий опір сплаву $\rho = 30 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Задача №5. Боротьба зі зносом: Комбіновані контакти

Умова:

Для зменшення зносу використано систему з двох пар контактів:
- основні (срібні) та дугогасні (вольфрамові).

Потрібно визначити послідовність їх роботи та розподіл обов'язків.

4. Контрольні запитання

1. Чому матеріали з високою температурою плавлення (наприклад, вольфрам) мають вищу **дугостійкість**, але рідко використовуються як основні струмопровідні контакти без додаткових заходів щодо зниження перехідного опору?

2. Який фізико-хімічний механізм дозволяє **срібленню** мідних шин суттєво знижувати теплові втрати в контакті при тривалій експлуатації, навіть якщо товщина покриття складає всього кілька десятків мікрометрів?

3. Опишіть механізм **«випотівання»** (капілярного охолодження) у металокерамічних контактах типу «срібло-вольфрам». Як цей процес запобігає зварюванню контактів при високих температурах дуги?

4. У чому полягають головні переваги **рідинно-металевих контактів (РМК)** над сухими механічними контактами в системах з великими струмами? Які обмеження накладають властивості рідких металів (наприклад, галістану) на конструкцію апарата?

5. Поясніть логіку роботи **комбінованої контактної системи** (основні + дугогасні контакти). Чому важливо дотримуватися суворої послідовності їхнього замикання та розмикання для мінімізації загального зносу апарата?

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ № 9. ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНІ СИЛИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТАХ

1. Мета та завдання розділу

Мета: Вивчення фізичних основ виникнення електродинамічних сил (ЕДС) та опанування інженерних методів їх розрахунку для забезпечення механічної міцності апаратів.

Завдання:

- навчитися визначати напрямок дії ЕДС за допомогою правил електродинаміки;
- засвоїти методику розрахунку сил взаємодії між паралельними провідниками;
- вивчити вплив геометрії струмового контуру на величину зусиль (коефіцієнт контуру);
- розраховувати ударні сили при протіканні струмів короткого замикання.

2. Короткі теоретичні відомості

Електродинамічна дія струму базується на взаємодії провідника зі струмом та магнітного поля іншого провідника.

1. Напрямок сили: Визначається за правилом "лівої руки" або принципом мінімуму магнітної енергії (контур завжди намагається розширитися, щоб збільшити свою індуктивність).

2. Закон Біо-Савара-Лапласа: Є базою для розрахунку сили взаємодії двох елементів струму.

3. Коефіцієнт контуру (k): Безрозмірна величина, що враховує форму, довжину та взаємне розташування провідників.

4. Ударний струм: Оскільки сила пропорційна квадрату струму ($F \sim I^2$), найбільшу небезпеку становлять миттєві (ударні) значення струмів КЗ.

3. Практичні задачі для закріплення матеріалу**Задача №1. Взаємодія двох паралельних шин****Умова:**

В розподільчому пристрої дві паралельні мідні шини довжиною $l = 2$ м розташовані на відстані $a = 0,1$ м одна від одної.

Потрібно визначити силу взаємодії між ними та її напрямок.

Вихідні дані:

По шинах в одному напрямку протікає робочий струм $I = 1000$ А.

Задача №2. Сила при ударному струмі короткого замикання**Умова:**

Використовуючи дані попередньої задачі,

Потрібно розрахувати максимальну ударну силу $F_{\text{уд}}$, якщо в колі виникло трифазне КЗ.

Вихідні дані:

Ударним струмом КЗ $i_{\text{уд}} = 50 \text{ кА (50000 А)}$.

Задача №3. Розрахунок сили за методом енергії (Коефіцієнт контуру)

Умова:

Прямокутний струмовий контур апарата має індуктивність, що змінюється залежно від положення рухомого контакту за законом $L(x)$.

Потрібно визначити силу, що діє на контакт.

Вихідні дані:

$I=200 \text{ А}$,

Градiєнт індуктивності $dL/dx=0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн/м}$.

Задача №4. Напрямок ЕДС у складному вузлі (Правило контуру)

Умова:

Струм подається до рухомого контакту через гнучкий зв'язок (косицю), яка утворює петлю.

Потрібно визначити напрямок дії сили на контакт у момент замикання та як це впливає на вібрацію.

4. Контрольні запитання

1. Як змінюється напрямок і величина сили взаємодії між двома паралельними шинами при зміні напрямку струму в одній з них на протилежний? Яку роль у цьому розрахунку відіграє відстань між осями провідників?

2. Чому при розрахунку механічної міцності ізоляторів та кріплень шин необхідно використовувати саме **ударне значення струму** короткого замикання ($i_{\text{уд}}$), а не його діюче значення? У скільки разів зростає сила при збільшенні струму в 10 разів?

3. У чому полягає сутність методу розрахунку сил за **змінною енергії магнітного поля**? Як градиєнт індуктивності контуру (dL/dx) впливає на величину сили, що діє на рухому перемичку?

4. Сформулюйте правило, за яким визначається напрямок дії сили в **складному струмовому контурі**. Чому будь-який замкнений контур під дією власних електродинамічних сил намагається збільшити свою площу (розширитися)?

5. Які існують конструктивні методи зменшення шкідливого впливу електродинамічних сил на контактні з'єднання в апаратах високої напруги?

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ № 10

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ СИЛ В ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТАХ

1. Мета та завдання розділу

Мета: Опанування математичного апарату для визначення механічних зусиль у вузлах електричних апаратів зі складною геометрією та при нестационарних режимах струму.

Завдання:

- навчитися розраховувати зусилля в котушках та криволінійних провідниках;
- вивчити вплив феромагнітних мас на розподіл ЕДС;
- розраховувати амплітудні та середні сили при змінному струмі;
- навчитися визначати електродинамічну стійкість апаратів.

2. Короткі теоретичні відомості

1. Сили в контактах: Виникають через звуження ліній струму в плямах змикання. Це завжди сили відштовхування.

2. Змінний струм: Оскільки $F \sim i^2(t)$, сила має постійну складову та складову, що пульсує з подвоєною частотою мережі.

3. Феромагнітні елементи: Наявність сталі поблизу провідника змінює конфігурацію магнітного поля, що призводить до виникнення сил притягання провідника до феромагнетика.

4. Електродинамічна стійкість: Здатність апарата витримувати механічні зусилля ударного струму КЗ без залишкових деформацій або руйнувань ізоляторів.

3. Практичні задачі для закріплення матеріалу

Задача №1. Зусилля у витках котушки (Осьова сила)

Умова:

Котушка автоматичного вимикача має середній радіус $R = 0,05$ м та $w = 100$ витків.

Потрібно визначити силу, що намагається розірвати (розширити) один виток.

Вихідні дані:

По котушці проходить струм $I = 200$ А.

Задача №2. Електродинамічне зусилля в контактному переході

Умова:

Потрібно розрахувати силу відштовхування F_z у точковому контакті при протіканні струму $I=10$ кА.

Вихідні дані:

Радіус плями змикання $a=1$ мм,

Радіус контактної важеля $R=10$ мм.

Задача №3. Провідник поблизу сталевій плити

Умова:

Провідник розташований паралельно сталевій плиті на відстані $h=0,02$ м.

Потрібно визначити силу притягання на метр довжини.

Вихідні дані:

Струм що проходить по провіднику $I=500$ А

Задача №4. ЕДС при змінному струмі (амплітудна та середня)

Умова:

По двох паралельних шинах ($l=1$ м}, $a=0,1$ м) тече синусоїдальний струм $i(t)$.

Потрібно визначити максимальну миттєву силу та середню силу за період.

Вихідні дані:

$i(t) = 141 \sin(100 \pi t)$ А.

Задача №5. Зусилля в дугоподібному провіднику

Умова:

Струмопровідна перемичка має форму півкола радіусом $R = 0,05$ м.

Потрібно розрахувати силу, що намагається розірвати дугу (розширити півколо).

Вихідні дані:

Струм $I = 1000$ А.

Задача №6. Електродинамічна стійкість ізолятора

Умова:

Ізолятор витримує руйнівне зусилля на вигин $F_{\text{руйн}} = 5000$ Н. На ньому закріплена шина, де при КЗ виникає ударна сила $F_{\text{уд}} = 3000$ Н.

Потрібно перевірити

стійкість апарата, якщо коефіцієнт запасу має бути $\geq 1,5$.

4. Контрольні запитання

1. Яка природа виникнення радіальних та осьових сил у багатовиткових котушках? Чому при протіканні великих струмів котушка намагається одночасно розширитися в діаметрі та стиснутися вздовж своєї осі?.

2. Поясніть, чому в контактному переході виникає саме сила відштовхування. Як залежить ця сила від радіуса плями змикання (a) та радіуса самого контактного важеля (R)?

3. У чому полягає метод дзеркальних відображень при розрахунку сили взаємодії провідника зі сталевією поверхнею? Чи зміниться напрямок сили (притягання чи відштовхування), якщо змінити напрямок струму в провіднику?

4. Опишіть характер зміни електродинамічної сили у часі при змінному синусоїдальному струмі. Чому частота пульсації сили у два рази перевищує частоту струму в мережі?

5. Що таке електродинамічна стійкість електричного апарата? Яким чином форма провідника (наприклад, дугоподібна) впливає на механічне навантаження, що передається на опорні ізолятори під час аварійних режимів?

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ № 11 ІНДУКЦІЙНІ ЯВИЩА В ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТАХ

1. Мета та завдання розділу

Мета: Вивчення фізичних основ індукційної взаємодії та перетворення електромагнітної енергії в механічну роботу в компонентах електричних апаратів.

Завдання:

- опанувати методи розрахунку сил, що виникають в індукційно-динамічних системах (ІДС);
- навчитися аналізувати процеси комутації в колах з індуктивністю;
- розраховувати енергетичні характеристики електромагнітних приводів;
- вивчити принципи механічної взаємодії між первинним контуром (катушкою) та вторинним контуром (екраном/диском).

2. Короткі теоретичні відомості

1. Індукційно-динамічний ефект: ґрунтується на виникненні вихрових струмів у провідному тілі (диску, кільці) при зміні магнітного потоку, створеного основною катушкою. Взаємодія цих струмів з потоком створює потужну силу відштовхування.

2. Перетворення енергії: В апаратах енергія магнітного поля

$$W_m = \frac{LI^2}{2}$$

може перетворюватися на кінетичну енергію рухомих частин

$$W_k = \frac{mv^2}{2}.$$

3. Комутація: При розриві кола з індуктивністю виникає ЕРС самоіндукції $e_L = -L \frac{di}{dt}$,

яка підтримує горіння дуги на контактах.

4. Індукційно-динамічні системи (ІДС): Використовуються у швидкодійних вимикачах для досягнення часу спрацювання менше 1-2 мс.

3. Практичні задачі для закріплення матеріалу

Задача №1. Сила в індукційно-динамічному приводі**Умова:**

Індукційно-динамічний привід складається з плоскої котушки та алюмінієвого диска. У момент розряду конденсатора на котушку швидкість зміни струму складає $di/dt = 10^7$ А/с. Взаємна індуктивність між котушкою та диском $M = 5$ мкГн.

Потрібно визначити миттєву силу відштовхування, що діє на диск.

Вихідні дані:

Струм у котушці в цей момент $i_1 = 2000$ А.

Задача №2. Енергія дуги при розмиканні індуктивного кола**Умова:**

Вимикач розмикає коло постійного струму $I=100$ А з індуктивністю $L=0,1$ Гн.

Потрібно визначити енергію, яка виділиться в електричній дузі, якщо вважати, що вся магнітна енергія кола переходить у тепло.

Задача №3. Механічна взаємодія кільця та соленоїда**Умова:**

Мідне кільце масою $m = 0,05$ кг надіте на осердя соленоїда. При подачі імпульсу струму в соленоїд виникає імпульсна сила відштовхування $F = 500$ Н., що діє протягом часу $t = 0,01$ с.

Потрібно визначити початкову швидкість v , з якою кільце підлетить вгору.

Вихідні дані:

Імпульсна сила відштовхування F діє протягом часу $t = 0,01$ с.

Задача №4. ЕРС самоіндукції при комутації**Умова:**

Контакти реле розмикають коло обмотки іншого апарата з індуктивністю $L = 2$ Гн. Струм $I = 1$ А обривається за час $dt = 0,001$ с.

Потрібно розрахувати ЕРС самоіндукції, що виникає на контактах.

Вихідні дані:

Струм $I = 1$ А обривається за час $dt = 0,001$ с.

4. Контрольні запитання

1. Які фізичні чинники визначають швидкість наростання сили в індукційно-динамічному приводі? Чому для роботи таких систем необхідно забезпечити високу швидкість зміни струму (di/dt) у первинній котушці?

2. Поясніть, чому при розмиканні кола з великою індуктивністю енергія дуги залежить від значення струму в квадраті (I^2). Які методи існують для безпечного розсіювання цієї енергії в електричних апаратах?

3. Опишіть механізм виникнення вихрових струмів у металевому кільці, що взаємодіє з соленоїдом. Як зміниться напрямок механічної сили, якщо змінити полярність напруги, що подається на соленоїд?

4. Чому при швидкій комутації (розриві) обмоток реле чи контакторів виникає ЕРС самоіндукції, яка значно перевищує напругу живлення? До яких наслідків для ізоляції та електронних компонентів це може призвести?

5. У чому полягає перевага індукційно-динамічних приводів над класичними електромагнітними системами в контексті створення швидкодійних вимикачів?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навч. посіб. для студ. вищих навч. закл. Харків : Точка, 2012. 340 с.

2. Гайдукевич Ю. О., Ковальов В. О. Електричні апарати : підручник / за ред. Б. В. Клименка. Харків : НТУ «ХПІ», 2017. 254 с.

3. Ольшанський В. М., Коробко І. К., Пруський О. В. Матеріалознавство в електротехніці : навч. посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 256 с.

4. Васильченко В. В., Бойко В. С. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле : підручник. Київ : Політехніка, 2014. 320 с.

5. Кондратенко М. П., Пазєєв С. В. Розрахунок електродинамічних зусиль у шинопроводах низької напруги : метод. вказівки. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 48 с.

6. ДСТУ EN 60947-1:2017. Пристрої розподільчих установок та апаратура керування низьковольтні. Частина 1. Загальні правила (EN 60947-1:2007; A1:2011; A2:2014, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.

7. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1995.

8. Марущенко В. О., Синельников О. С. Випробування та експлуатація електричних апаратів : навч. посібник. Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. 142 с.

9. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. Львів : Афіша, 2010. 424 с.

10. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Розділ 1. Загальні правила. Глава 1.4. Вибір електричних апаратів і провідників за умовами короткого замикання. Київ : Форт, 2017.

ДОДАТОК: ТЕХНІЧНІ КАТАЛОГИ ТА НОРМАТИВНА БАЗА ВИРОБНИКІВ

11. Каталог продукції ТОВ «Рівненський завод високовольтної апаратури» (РЗВА). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: gzva.ua.

12. Технічні дані низьковольтної апаратури ПрАТ «Комбінат «Електрокераміка». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.google.com/search?q=electrokeramica.com.ua>.

13. Каталог силового обладнання ПАТ «Укрелектроапарат» (м. Хмельницький). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.google.com/search?q=uea.com.ua>.

14. Продукція ТОВ «Етал» (Олександрійський електромеханічний завод). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: etal.ua.