

ТЕМА РОБОТИ

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ АНАЛІЗУ АНОРМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ ЧАСТКОВОГО ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЇХ БЕЗПЕЧНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ І МОДЕРНІЗАЦІЇ

шифр теми “БЕЗПЕКА-5“

строк виконання 01.2024 – 12.2028

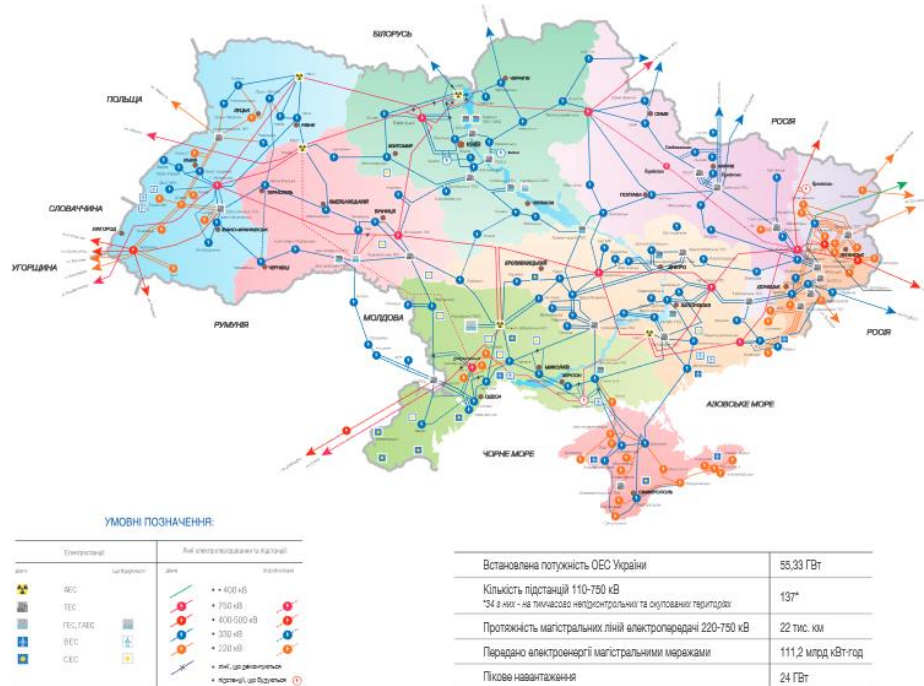
Науковий керівник

зав. відділу №14 д.т.н., с.н.с. Тугай Ю.І.



Електричні мережі ОЕС України

МАГІСТРАЛЬНІ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ



Основні положення

- ▶ *Мета дослідження.* Розвиток методів та засобів моделювання електромагнітних процесів, які виникають внаслідок часткового пошкодження електрообладнання для запобігання появі критично небезпечних внутрішніх перенапруг.
- ▶ *Об'єкт дослідження.* Магістральні електричні мережі енергосистем та їх режими.
- ▶ *Предмет дослідження.* Перехідні електромагнітні процеси та квазістаціонарні режими після часткового пошкодження електрообладнання в магістральних електричних мережах



Завдання дослідження

- вдосконалення математичних моделей первинних об'єктів силового та вимірювального обладнання магістральних електричних мереж;
- розробка пофазних математичних моделей для дослідження електромагнітних процесів в магістральних електричних мережах у випадку часткового пошкодження електрообладнання;
- аналіз схем і режимів розподільних електричних мереж за умовою живучості при локальних ушкодженнях



Внутрішні перенапруги

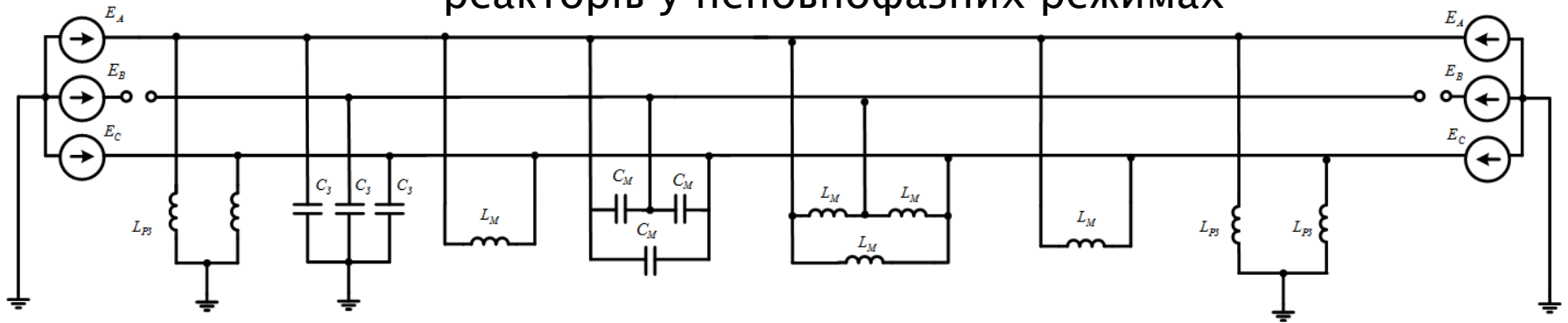
- ▶ Внутрішні перенапруги пов'язані із процесами обміну енергією, що запасається в магнітному й електростатичному полях.
- ▶ Внутрішні перенапруги виникають в результаті зміни схеми електричної мережі, як планової так і аварійної, що приводить до виникнення електромагнітних перехідних процесів.
- ▶ При планових змінах схеми найбільші перенапруги спостерігаються при комутаціях ненавантажених ліній, трансформаторів і шунтових реакторів.
- ▶ В аварійних випадках найбільші перенапруги спостерігаються при виникненні та ліквідації КЗ внаслідок ушкодження обладнання



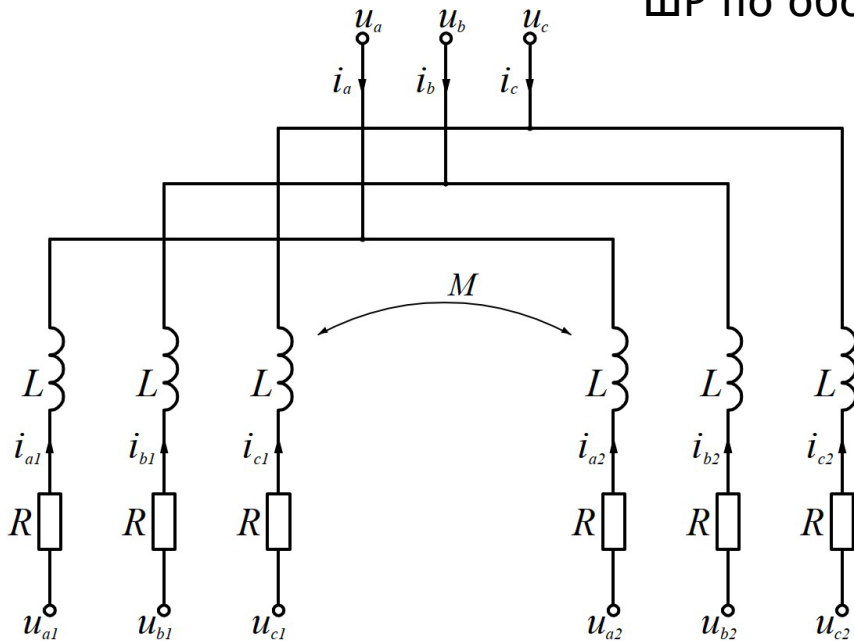
Варіанти пошкодження обладнання



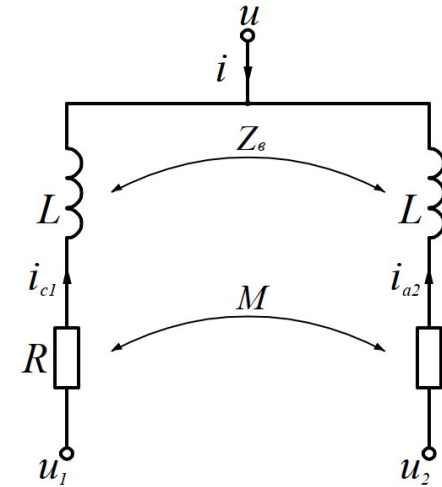
Розроблення математичних моделей груп однофазних шунтувальних реакторів у неповнофазних режимах



Заступна схема лінії електропередавання за умов від'єднання фази В лінії та В ШР по обох кінцях лінії



Заступна схема групи однофазних шунтувальних реакторів з відключеною фазою В у фазній системі координат

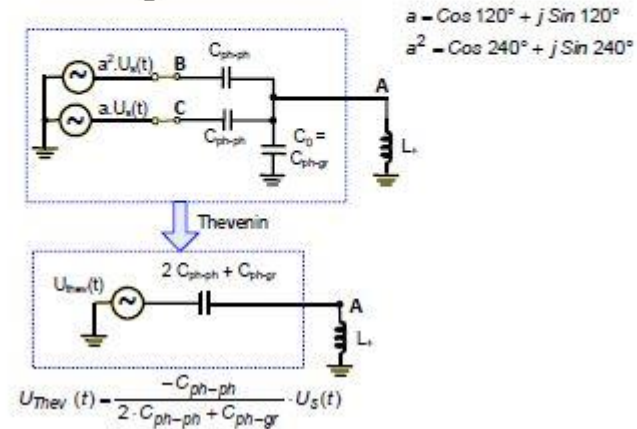
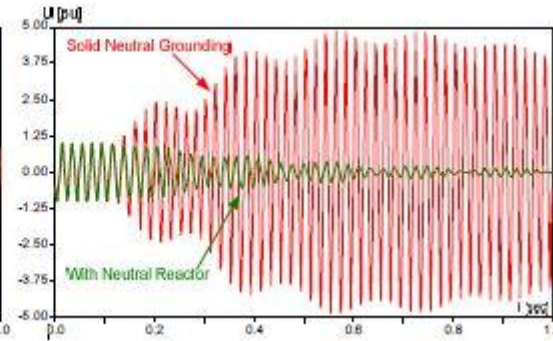
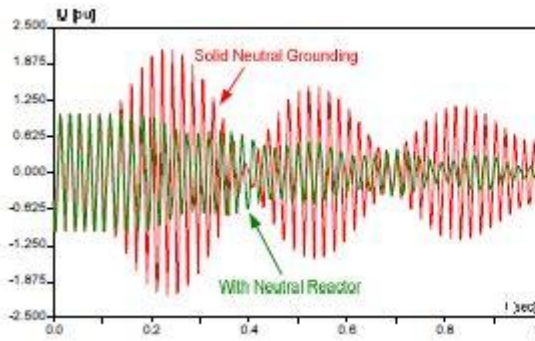
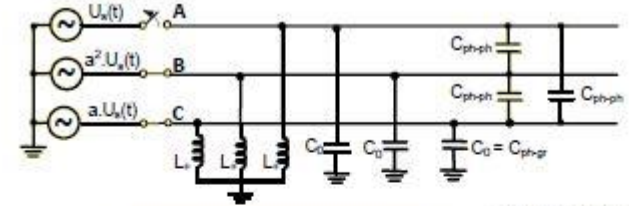
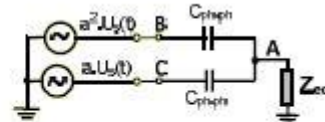
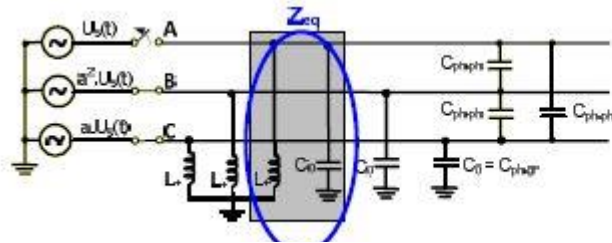


Заступна схема групи однофазних шунтувальних реакторів з відключеною фазою В в координатах узагальненого вектора

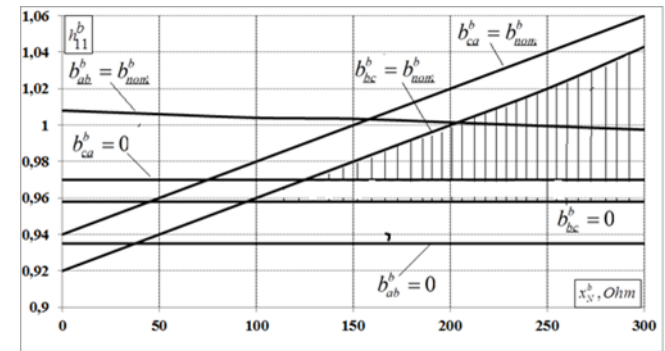
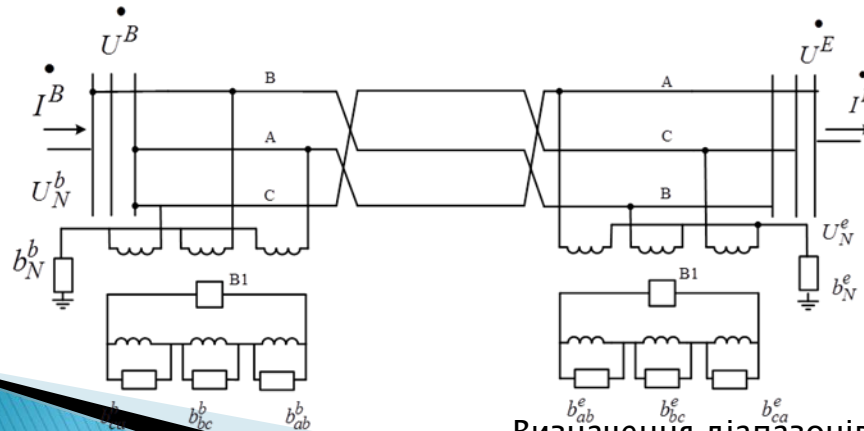
$$\begin{cases} \vec{U} - \vec{U}_1 = \check{R}\vec{i}_1 + \check{L}\frac{d\vec{i}_1}{dt} + \check{M}\frac{d\vec{i}_2}{dt}; \\ \vec{U} - \vec{U}_2 = \check{R}\vec{i}_2 + \check{L}\frac{d\vec{i}_2}{dt} + \check{M}\frac{d\vec{i}_1}{dt}; \end{cases} \quad \vec{U} - \vec{U}_{cp} = \check{Z}_{cp}\vec{I}_{cp} + \check{L}_{cp}\frac{d\vec{I}_{cp}}{dt},$$

АНАЛІЗ УМОВ ВИКОНАННЯ ОАПВ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ ЗАПОБІГАННЯ РЕЗОНАНСНИХ ПЕРЕНАПРУГ

Заступні схема лінії електропередавання в циклі спрацювання ОАПВ



Резонансні перенапруги в паузі ОАПВ



Визначення діапазонів статичних тиристорних компенсаторів для повної компенсації струму повторної дуги в циклі спрацювання ОАПВ

Математична модель автотрансформатора у координатах узагального вектора

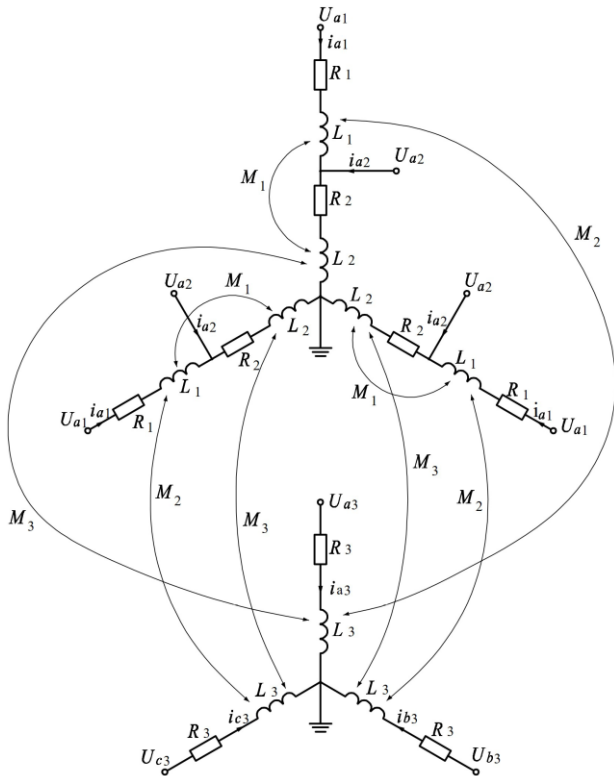


Схема заміщення автотрансформатора у фазній системі координат

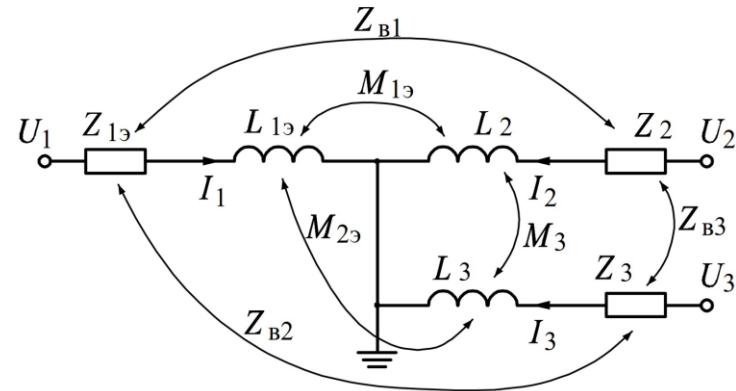


Схема заміщення автотрансформатора у координатах узагального вектора

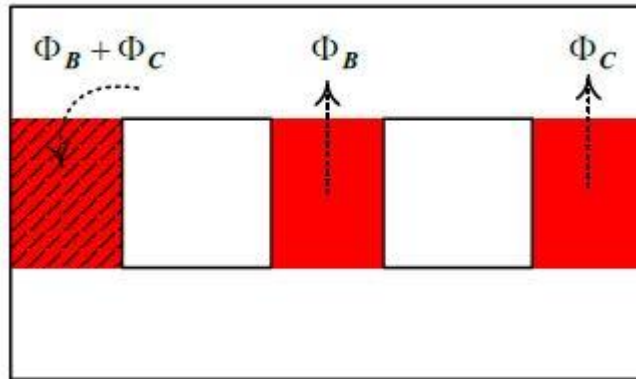
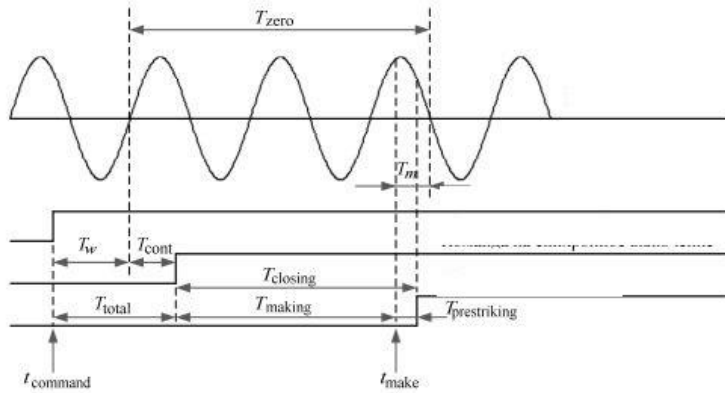
Система рівнянь для математичної моделі автотрансформатора

$$\begin{vmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Z_{1E} & Z_{e1} & Z_{e2} \\ Z_{e1} & Z_2 & Z_{e3} \\ Z_{e2} & Z_{e3} & Z_3 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} L_{1E} & M_{1E} & M_{2E} \\ M_{1E} & L_2 & M_3 \\ M_{2E} & M_3 & L_3 \end{vmatrix} \frac{d}{dt} \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{vmatrix}$$

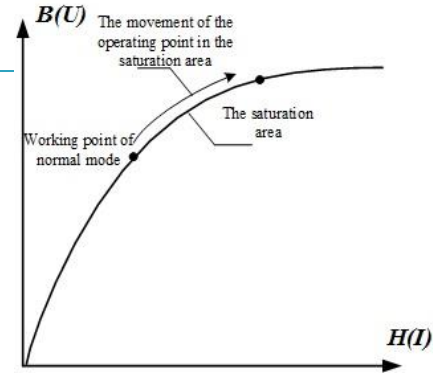
ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗАЛИШКОВОГО НАМАГНІЧУВАННЯ НА ПОЧАТКОВІ УМОВИ ВИНИКНЕННЯ РЕЗОНАНСИХ ПЕРЕНАПРУГ

Розроблення коцепції керовної комутації елегазових вимикачів для зменшення залишкового намагнічування

$$T_{cont} = T_{zero} - T_m - (T_{closing} - T_{prestriking}) = T_{zero} - T_m - T_{making}$$



Топологія магнітопроводу автотрансформатора під час комутації

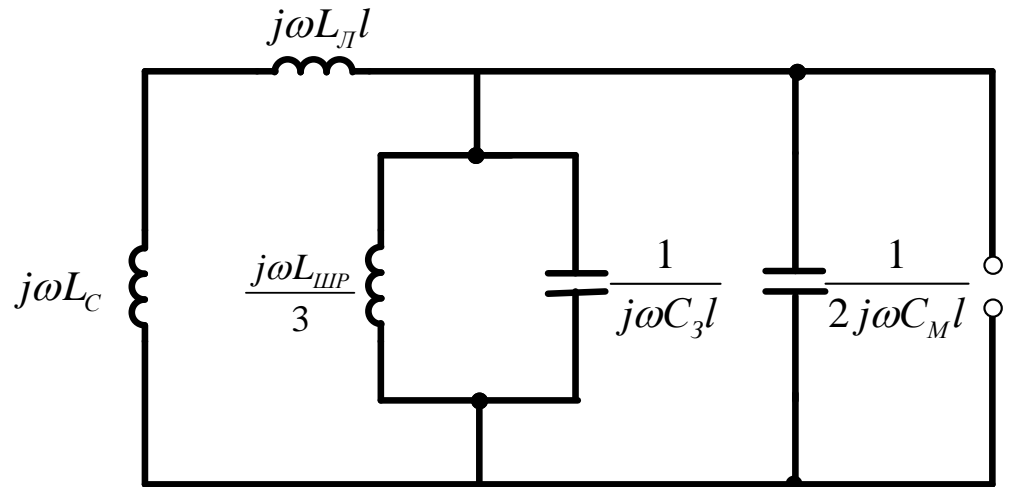
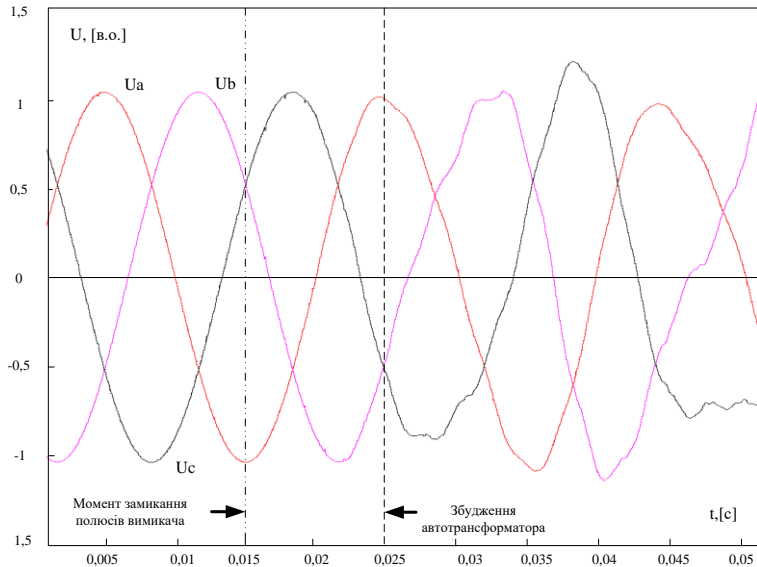


Крива насичення магнітопроводу автотрансформатора
Вплив залишкового намагнічування на резонансні перенапруги

Ned	Φ_{rem}^A	Φ_{rem}^B	Φ_{rem}^C	U^A, kV	U^B, kV	U^C, kV
1	$-\Phi_{max}$	$\Phi_{max}/2$	$\Phi_{max}/2$	1125	1100	1105
2	$-\Phi_{max}$	0	Φ_{max}	1117	1101	1304
3	$-\Phi_{max}$	Φ_{max}	0	1470	1257	1358
4	$-\Phi_{max}/2$	0	$\Phi_{max}/2$	1298	1459	1345
5	$-\Phi_{max}/2$	$\Phi_{max}/2$	0	1287	1114	1587
6	0	Φ_{max}	$-\Phi_{max}$	1147	1456	1258
7	0	$-\Phi_{max}/2$	$\Phi_{max}/2$	1235	1358	1208
8	0	$-\Phi_{max}$	Φ_{max}	1117	1258	1205
9	0	$\Phi_{max}/2$	$-\Phi_{max}/2$	1005	1298	987
10	$\Phi_{max}/2$	0	$-\Phi_{max}/2$	1070	1289	989
11	$\Phi_{max}/2$	$-\Phi_{max}/2$	0	1465	1356	1458
12	Φ_{max}	$-\Phi_{max}$	$-\Phi_{max}$	985	998	990
13	Φ_{max}	$-\Phi_{max}/2$	0	1268	1150	1258
14	Φ_{max}	$-\Phi_{max}/2$	$\Phi_{max}/2$	1289	1247	1236
15	Φ_{max}	$\Phi_{max}/2$	$-\Phi_{max}/2$	1139	1198	1058



Перенапруги на парних гармонійних складових



Резонансний контур для другої гармоніки

$$X_{BX} = \frac{L_p \omega^2 (L_S + L_{\Delta}l)}{2C_M \omega^2 l \left[3(L_S + L_{\Delta}l) + L_p (1 - C_3 \omega^2 l (L_{\Delta}l - L_S \omega^2)) \right] - 3} = \frac{P(\omega)}{Q(\omega)}$$

Поява перенапруг на вищих гармонічних складових

Необхідними умовами резонансних коливань на вищих гармонійних складових є:

- власна частота лінійної частини кола повинна бути близькою до частоти гармоніки, а її опір повинен носити ємнісний характер;
- амплітуда виникаючої гармоніки повинна бути достатньо великою;
- втрати активної потужності в колі на частоті гармоніки повинні бути малими.

Оцінка надійності систем електропостачання із використанням імітаційного моделювання

- ▶ Мета досліджень – формування підходу з визначення показників надійності системи електропостачання шляхом використання методу імітаційного моделювання і вивчення зміни кількості циклів генерування випадкової величини для адекватних результатів.
- ▶ Матеріали та методика досліджень. Для дослідження передбачається використати метод імітаційного моделювання Монте–Карло. Це числений метод для вирішення математичних задач за допомогою моделювання випадкових величин.
- ▶ Завданням цієї роботи є визначення необхідної кількості випробувань для отримання адекватного значення показників надійності.



Визначення місць встановлення реклоузерів в розподільчих мережах

- ▶ **Задачі дослідження**
- ▶ 1. Розробити науково-методичний апарат оптимізації кількості та місць розміщення вакуумних реклоузерів.
- ▶ 2. Провести системний аналіз та виділити чинники, які лежать в основі оптимізації кількості і місць розміщення вакуумних реклоузерів у розподільних мережах.
- ▶ 3. Удосконалити математичні моделі визначення оптимальної кількості і місць розміщення вакуумних реклоузерів та сформулювати завдання пошуку оптимального рішення при детермінованому типі вихідних даних для проєктованих та існуючих розподільних мереж.
- ▶ 4. Розробити математичну модель розміщення вакуумних реклоузерів в умовах невизначеності вихідної інформації з використанням теорії нечітких множин.



ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

- ▶ В науково-дослідній роботі буде виконано аналіз наслідків часткових ушкоджень обладнання електропередачі надвисокої напруги на характер перетікання електромагнітних процесів та розглянуто заходи обмеження перенапруг в аномальних режимах.
- ▶ Будуть удосконалені математичні моделі та методи для дослідження аномальних режимів, які, на відміну від розроблених раніше, дозволять враховувати можливість комплексних ушкоджень електрообладнання.
- ▶ За результатами дослідження аномальних режимів будуть запропоновані заходи по локалізації та обмеженню наслідків часткових ушкоджень, зокрема умови використання ОАПВ
- ▶ Будуть сформульовані принципи аналізу показників надійності розподільних електричних мереж, які складаються із елементів, що описуються різними законами розподілу ймовірнісної величини.
- ▶ Будуть розроблені методи та алгоритми пошуку раціональних місць встановлення вакуумних реклоузерів в розподільних мережах енергосистем з метою підвищення надійності та економічності електропостачання



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

