

# ВПЛИВ ЯВИЩА ВЗАЄМНОЇ ІНДУКЦІЇ НА СПАД НАПРУГИ В ОБМОТКАХ МАГНІТОЗВ'ЯЗАНИХ LCL-ФІЛЬТРІВ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

В роботі було досліджено вплив явища взаємної індукції на спад напруги в обмотках магнітозв'язаних LCL-фільтрів сонячних електростанцій. При розрахунках визначили, що реальний спад напруги в обмотці буде в півтора рази більший. І з цього випливає що потрібно враховувати при розрахунках електричних кіл з LCL-фільтрами явище взаємної індукції між обмотками.

**Ключові слова:** LCL-фільтр, спад напруги, власна та взаємна індукція.

## Abstract

The paper investigated the effect of the phenomenon of mutual induction on the voltage drop in the windings of magnetically coupled LCL-filters of solar power plants. During the calculations, it was determined that the real voltage drop in the winding will be one and a half times greater. And from this it follows that the phenomenon of mutual induction between the windings must be taken into account when calculating electric circuits with LCL-filters.

**Keywords:** LCL-filter, voltage drop, own and mutual induction.

## Вступ

В системах інвертування сонячних електростанцій для підтримання в допустимих межах коефіцієнту гармонік струму навантаження оптимальним є використання LCL-фільтрів, які, зазвичай, виконуються у вигляді тристрижневої магнітної системи, що має магнітний зв'язок між індуктивностями різних фаз. В роботі [1,2] були розроблені математична модель та алгоритм автоматизованого розрахунку магнітопроводів та їх програмна реалізація.

## Результати дослідження

Магнітопроводи LCL-фільтрів для сонячних електростанцій зазвичай функціонують в режимі значних струмів (що вимірюються кілоамперами), тому вони характеризуються досить суттєвими струмами Фуко і, як наслідок, значним нагрівом. Для зменшення цих негативних наслідків та лінеаризації веберамперної характеристики доцільно конструювати магнітопроводи з декількома повітряними проміжками, як це показано на рис. 1.

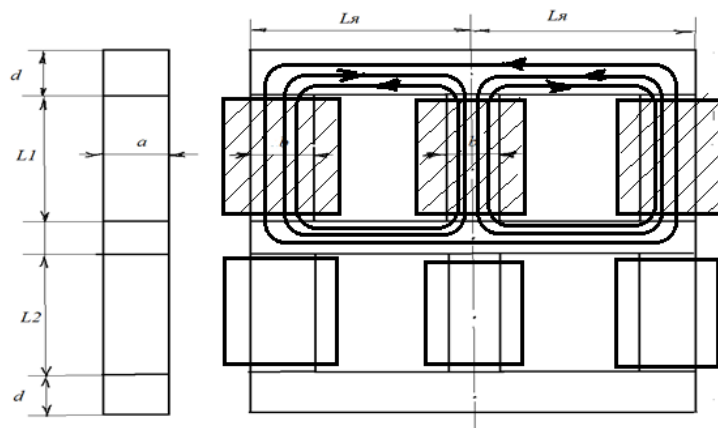


Рисунок 1 – Бічна та фронтальна проекція магнітопроводу LCL-фільтру з напрямками магнітних потоків

Вхідними даними для математичної моделі є:

- крива намагнічування певної марки сталі, яка інтерпольована поліномом

$$H = a1 \cdot B + a2 \cdot B^3 + a3 \cdot B^5 + a4 \cdot B^7;$$

- $L1=L2$  – довжина стрижня магнітопроводу
- $Lя$  – довжина половини ярма магнітопроводу
- $a$  – глибина стрижня
- $b$  – ширина стрижня
- $d$  – висота ярма
- $\delta$  – проміжок між стрижнем та ярмом
- струм навантаження  $I_n$  та значення оптимальної індуктивності  $L_1$ .

При розрахунку спадів напруги в обмотках LCL-фільтрів звичайно враховують спади напруги в індуктивностях обмоток (активним опорам можна нехтувати) але не враховують вплив струмів сусідніх фаз за рахунок явища взаємної індукції. Коефіцієнт взаємної індукції з досить високою ступеню точності може бути прийнятий рівним половині індуктивності відповідної обмотки  $M=L/2$ . При цьому враховується незначний спад магнітної напруги в ярмі магнітопроводу, що вирівнює взаємні потоки між крайніми та середніми стрижнями. Саме тому взаємне потокозчеплення обмоток буде дорівнювати половині їх власного потокозчеплення при умові симетричного навантаження фаз.

Спад напруги в  $k$ -тій обмотці фільтра за рахунок власного струму:

$$U_{Lk} = I_k j\omega L_k \quad (1)$$

Враховуючи те, що власний та взаємний потоки направлені на зустріч один одному (зустрічне з'єднання обмоток) і зсув по фазі на  $2\pi/2$  між струмами сусідніх фаз з урахуванням магнітного зв'язку між котушками отримаємо:

$$U_{Lk} = I_k j\omega L_k - a^2 I_k j\omega M - a I_k j\omega M \quad (2)$$

де  $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$  – оператор оберту.

Враховуючи, що  $M=L/2$

$$U_{Lk} = I_k j\omega L - \frac{a^2 I_k j\omega L}{2} - \frac{a I_k j\omega L}{2} = \frac{I_k j\omega L(2 - a^2 - a)}{2} \quad (3)$$

або

$$U_{Lk} = \frac{I_k j\omega L(3 - 1 - a^2 - a)}{2} = \frac{3I_k j\omega L}{2} \quad (4)$$

Це означає, що реальний спад напруги в обмотці буде в півтора рази більший.

### Висновок

При розрахунку електричних кіл з LCL-фільтрами слід враховувати явище взаємної індукції між обмотками.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Каців С. Ш., Мадьяров В. Г. Визначення оптимальних параметрів магнітозв'язаних LCL-фільтрів для сонячних електростанцій. – Сучасний рух науки: тези доп. XIII міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 18-19 жовтня 2021 р. – Дніпро, Україна, 2021. – 254 с.
2. Мадьяров В. Г., Каців С. Ш., Кухарчук В. В. конструктивні особливості та автоматизований розрахунок магнітопроводів магнітозв'язаних LCL-фільтрів для сонячних електростанцій. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. частина 2. Полтава (10 листопада 2021 р.)

*Джумський Дмитро Олегович* — студент групи ЕЕ-216, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dimon.dthymkiy@gmail.com.

Науковий керівник: **Мадьяров Вячеслав Губейович** — канд. техн. наук, доцент, професор кафедри комп'ютеризованих електро-механічних систем та комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vmadyarov1952@gmail.com.

**Dmytro Olegovich Dzhumskiy** — student of group EE-21b, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dimon.dthymskiy@gmail.com.

Academic supervisor: **Vyacheslav Gubeyovych Madyarov** — candidate of technical sciences, associate professor, professor of the department of computerized electro-mechanical systems and complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vmadyarov1952@gmail.com.