

УДК 621.313

**Мадьяров В. Г.**

к.т.н., доцент,  
професор кафедри теоретичної електротехніки  
та електричних вимірювань,

**Кацев С. Ш.**

к.т.н., доцент,  
доцент кафедри теоретичної  
електротехніки та електричних вимірювань,

**Кухарчук В. В.**

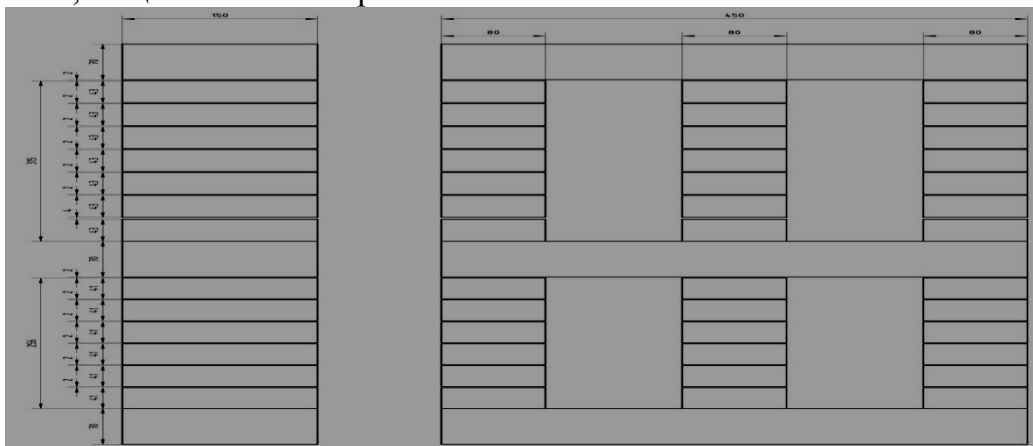
д.т.н., професор,  
професор кафедри теоретичної електротехніки  
та електричних вимірювань,  
Вінницький національний технічний університет

### **КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК МАГНІТОПРОВІДІВ МАГНІТОЗВ'ЯЗАНИХ LCL-ФІЛЬТРІВ ДЛЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

В системах інвертування сонячних електростанцій для підтримання в припустимих межах коефіцієнту гармонік струму навантаження оптимальним є використання LCL-фільтрів, які, зазвичай, виконуються у вигляді тристрижньової магнітної системи, що має магнітний зв'язок між індуктивностями різних фаз. В роботі [1] визначалася оптимальна індуктивність фільтру виходячи з умови мінімізації коефіцієнту гармонік струму. Наступним кроком є розробка математичної моделі та алгоритму автоматизованого розрахунку магнітопроводів та їх програмна реалізація.

#### **Конструктивні особливості магнітопроводів LCL-фільтрів**

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.



**Рис. 1. Бічна та фронтальна проекція магнітопроводу LCL-фільтру  
Математична модель автоматизованого розрахунку  
магнітопроводів та її програмна реалізація**

Вхідними даними для математичної моделі є:

- крива намагнічування певної марки сталі, яка інтерпольована поліномом  $H = a1 \cdot B + a2 \cdot B^3 + a3 \cdot B^5 + a4 \cdot B^7$ ;
- глибина  $a$ , ширина  $b$ , коефіцієнт заповнення  $k_3$  та довжина  $l_1$  стрижня магнітопроводу;
- довжина половини ярма магнітопроводу  $l_{я}$ ;
- повітряні зазори  $\delta$  та їх кількість  $n$ ;
- коефіцієнти  $k_1$  та  $k_2$  враховують вип'ячування магнітного потоку поблизу повітряних проміжків;
- струм навантаження  $I_n$  та значення оптимальної індуктивності  $L_1$ .

На першому кроці розрахунку визначається потокозчеплення  $\Psi = I_n L_1$ , індукції магнітного поля  $B_1$ ,  $B_2$  в стрижнях  $l_1$ ,  $l_2$  та за інтерполяційним поліномом знаходимо напруженості магнітного поля  $H_1$ ,  $H_2$ .

Потім визначаємо кількість витків котушки за виразом  $w = \frac{\Psi}{B_1 S}$  та магніторухливу силу за виразом  $F = Iw$ .

Нарешті знаходимо магнітну напругу  $U_m$  за виразом

$$U_m = H_1(l_1 - n\delta) + H_2(l_2 - n\delta) + H_2 l_{я} + \left( \frac{B_1 \delta}{\mu_0} + \frac{B_2 \delta}{\mu_0} \right) (n-1) + \left( \frac{B_1 \delta k_1}{\mu_0} + \frac{B_2 \delta k_2}{\mu_0} \right).$$

Всі ці операції виконані в середовищі Excel.

Оскільки для магнітних кіл має бути виконана умова  $F = U_m$ , корегуючи початкові індукції за допомогою процедури «Поиск решения», знаходимо необхідні конструктивні параметри магнітопроводу. Фрагмент програми зображено на рис. 2.

|    | A            | B               | C          | D              | E              | F              | G              | H            | I            | J            | K           | L         | M               | N           | O        |
|----|--------------|-----------------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-----------|-----------------|-------------|----------|
| 1  | <b>Ін, А</b> | <b>L1, мкГн</b> | <b>Ψ</b>   | <b>B1м, тл</b> | <b>B2м, тл</b> | <b>H1, А/м</b> | <b>H2, А/м</b> |              |              |              |             |           |                 |             |          |
| 2  | 1000         | 60              | 0,06       | 0,744323       | 0,372161472    | 7,683493214    | 1,538241979    |              |              |              |             |           |                 |             |          |
| 3  |              | 0,00006         | 0,06       | 0,5263158      | 0,263157901    |                |                |              |              |              |             |           |                 |             |          |
| 4  |              | 60,00000132     |            |                |                |                |                |              |              |              |             |           |                 |             |          |
| 5  | <b>A1</b>    | <b>A2</b>       | <b>A3</b>  | <b>A4</b>      | <b>a, м</b>    | <b>b, м</b>    | <b>k3</b>      | <b>l1, м</b> | <b>l2, м</b> | <b>lя, м</b> | <b>δ, м</b> | <b>μ0</b> | <b>S, кв. м</b> | <b>c, м</b> | <b>n</b> |
| 6  | 2,117699     | 57,1987445      | -50,308916 | 23,3721231     | 0,15           | 0,08           | 0,95           | 0,315        | 0,315        | 0,45         | 0,002       | 1,3E-06   | 0,0114          | 0,02        | 8        |
| 7  |              |                 |            |                |                |                |                |              |              |              | δ1, м       |           |                 | c1, м       |          |
| 8  | <b>W</b>     | <b>F</b>        | <b>Um</b>  | <b>Δ, %</b>    | <b>Δmax, %</b> |                |                |              |              |              | 0,004       |           |                 | 0,015       |          |
| 9  | 9,9999998    | 10000           | 9921,4248  | 0,78575195     | 5              |                |                |              |              |              |             |           |                 |             |          |
| 10 | 10           |                 |            |                |                |                |                |              |              |              |             |           |                 |             |          |
| 11 |              |                 |            |                |                |                |                |              |              |              |             |           |                 |             |          |
| 12 |              |                 |            |                |                |                |                |              |              |              |             |           |                 |             |          |
| 13 | <b>φ1</b>    | <b>φ2</b>       | <b>G0</b>  | <b>Gs1</b>     | <b>Gs2</b>     | <b>Gs3</b>     | <b>Gs4</b>     | <b>Gs7</b>   | <b>G1</b>    |              |             |           |                 |             |          |
| 14 | 1,5707963    | 3,141592654     | 6          | 0,078          | 0,21988068     | 0,0208         | 0,058634848    | 0,00288      | 6,766151055  |              |             |           |                 |             |          |
| 15 |              |                 |            |                |                |                |                |              |              |              |             |           |                 |             |          |
| 16 | <b>k1</b>    | <b>Gs5</b>      | <b>Gs6</b> | <b>G2</b>      | <b>k2</b>      |                |                |              |              |              |             |           |                 |             |          |
| 17 | 0,8867671    | 0,10994034      | 0,039      | 6,61721072     | 0,906726453    |                |                |              |              |              |             |           |                 |             |          |
| 18 |              |                 |            |                |                |                |                |              |              |              |             |           |                 |             |          |

**Рис. 2. Фрагмент програми оптимізації фільтру LCL**

Автоматизований розрахунок конструктивних параметрів магнітопроводу фільтру дає можливість забезпечити необхідні габаритні розміри за умови заданих струму навантаження та оптимальній індуктивності.

#### **Список літератури**

1. Кацив 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.

**УДК 656.01**

**Марков В. В.**

к. т. н., доцент, професор ОНМУ  
професор кафедри експлуатації флоту і  
технології морських перевезень  
Одеський національний морський університет

**Онищенко С. П.**

д. е. н., професор  
професор кафедри експлуатації флоту і  
технології морських перевезень  
Одеський національний морський університет

**Павлова Н. Л.**

к. т. н.  
доцент кафедри експлуатації портів і  
технології вантажних робіт  
Одеський національний морський університет

### **РИНОК ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКИХ ПОСЛУГ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ COVID-19: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

Поширення коронавірусної хвороби COVID-19 викликало глобальну економічну кризу з різними наслідками для транспорту і торгівлі. Вагомі зміни внесла пандемія COVID-19 й у діяльність транспортно-експедиційних компаній, порушивши стандартні відносини між виробниками і споживачами. Так, закриття кордонів між країнами та введення режиму самоізоляції спричинило значне скорочення виробничих потужностей. Запровадження карантинних заходів вплинуло на діяльність транспортних компаній, зокрема, крім обмеження руху вантажного транспорту, відбулося скорочення клієнтів цього сегменту ринку [1].

Сучасний стан ринку транспортно-експедиторських послуг продиктований наслідками пандемії. Так, під час карантинних обмежень портові склади та термінали виявилися перевантаженими, оскільки швидкість обробки вантажів в портах значно знизилась. Транспортним компаніям доводиться освоювати нові маршрути та варіанти перевезення вантажів, щоб уникнути простою через несвоєчасну роботу портів. Ще одним з наслідків пандемії є не прогнозоване зростання ставок фрахту. В умовах, коли організовувати перевезення стало складніше, вартість експедиторських послуг, цілком закономірно, зросла [2].

Слід зазначити, що в період пандемії COVID-19 відбулося скорочення персоналу компаній галузі у зв'язку із зниженням загального навантаження,