Фізико-математичні науки

УДК 004.94

Мірошник Костянтин Артурович
магістрант кафедри передачі електричної енергії
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
Мирошник Константин Артурович
магистрант кафедры передачи электрической энергии
Национального технического университета
«Харьковский политехнический институт»
Miroshnyk Kostiantyn
Master of the Department of Electric Power Transmission of the
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА MATHCAD ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЛЕП
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАМНОЙ СРЕДЫ MATHCAD ДЛЯ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ ЛЭП
APPLICATION OF MATHCAD SOFTWARE ENVIRONMENT FOR CALCULATION OF PARAMETERS OF TRANSMISSION LINES

Анотація. *У статті розглянуто використання програмного середовища Mathcad для розрахунку електричних параметрів ЛЕП.*

Ключові слова: *метод дзеркальних відображень, розрахунок параметрів ЛЕП, програмне середовище Mathcad.*

Аннотация. *В статье рассмотрено применение программной среды Mathcad для расчёта электрических параметров ЛЭП.*

Ключевые слова: *метод зеркальных отображений, расчёт параметров ЛЭП, программная среда Mathcad.*

Summary. *The article describes the using of Mathcad software environment for the computation of the electric parameters of electricity transmission lines.*

Key words: *the method of mirror charges, computation of the parameters of electricity transmission line, Mathcad software environment.*

Теоретичні відомості

Метод дзеркальних відображень

Для розрахунку електростатичних полів, особливо обмежених провідною поверхнею правильної форми або в яких є геометрично правильної форми межа між двома діелектриками, широко застосовується розрахунковий прийом, який називають методом дзеркальних відображень.

Як зазначено у [4] цей метод дозволяє помітно полегшити обчислення, виключивши з них провідне середовище шляхом заміни його дротом з відповідними параметрами (заряд тієї ж величини, що і заряд реального дроту, але протилежного знаку), що є дзеркальним відображенням реального дроту у поверхні розділу середовищ. У програмному середовищі Mathcad подальші розрахунки виконуються за допомогою функції користувача CE. У результаті обчислень було отримано наступні показники: номер дроту з максимальним зарядом, значення максимального заряду, номер дроту з максимальною напруженістю, максимальне значення напруженості на дроті, ємність фази А, ємність фази В, ємність фази С, робоча ємність ЛЕП, хвильовий опір ЛЕП та натуральна потужність ЛЕП. Це дало змогу отримати оціночні значення вищезазначених параметрів.

Однак, проектування ЛЕП є надзвичайно важливим та відповідальним процесом, тому, зазвичай, є необхідним не тільки знаходження більш точних значень зазначених характеристик ЛЕП, а й визначення багатьох інших їх параметрів. Це досягається шляхом урахування більшої кількості вхідних даних про конструктивне виконання ЛЕП, наприклад, таких як дійсна висота підвісу дроту, стріла його провисання, довжина прольотів між

опорами ЛЕП, та багато інших. Для цього **к**афедрою передачі електричної енергії НТУ «ХПІ» було розроблено функцію користувача у програмному середовищі Mathcad, у якій було реалізовано урахування вказаних параметрів ЛЕП.

Так, для врахування нерівномірності провисання дроту по довжині прольоту та забезпечення більш об'єктивного розрахунку було розроблено функцію Hpod, текст якої наведено далі.

$$
\begin{aligned}
&\mathrm{Hpod}(F,Hpp,Lpr,a,d,no,ro,U) := \\
&\quad hg \leftarrow 1 \\
&\quad N \leftarrow \frac{Lpr}{hg} \\
&\quad \text{for } i \in 1..N \\
&\qquad k_i \leftarrow \frac{-Lpr}{2} + (i-1) \\
&\qquad H_i \leftarrow (k_i)^2 \cdot \frac{F}{\left(\frac{Lpr}{2}\right)^2} + \left(Hpp - \frac{1}{3}F\right) \\
&\qquad He \leftarrow H_i \\
&\qquad G \leftarrow CE(a,He,d,no,ro,U) \\
&\qquad rez_{i,1} \leftarrow d \\
&\qquad rez_{i,2} \leftarrow no \\
&\qquad rez_{i,3} \leftarrow He \\
&\qquad rez_{i,4} \leftarrow G_1 \\
&\qquad rez_{i,5} \leftarrow G_2 \\
&\qquad rez_{i,6} \leftarrow G_3 \\
&\qquad rez_{i,7} \leftarrow G_4 \\
&\qquad rez_{i,8} \leftarrow G_5 \\
&\qquad rez_{i,9} \leftarrow G_6 \\
&\qquad rez_{i,10} \leftarrow G_7 \\
&\qquad rez
\end{aligned}
$$

Рис. 1. Текст функції користувача Hpod, реалізованої у середовищі Mathcad

(розробка автора)

$$CA \leftarrow \frac{\sum_{i=1}^{N} rez_{i,8}}{N}$$

$$CB \leftarrow \frac{\sum_{i=1}^{N} rez_{i,9}}{N}$$

$$CC \leftarrow \frac{\sum_{i=1}^{N} rez_{i,10}}{N}$$

$$Co \leftarrow \frac{CA + CB + CC}{3}$$

$$zv \leftarrow \frac{3436.4}{Co}$$

$$Pn \leftarrow \frac{U^2}{zv \cdot 10^{-3}}$$

$$rez_{N+1,11} \leftarrow CA$$

$$rez_{N+1,12} \leftarrow CB$$

$$rez_{N+1,13} \leftarrow CC$$

$$rez_{N+1,14} \leftarrow Co$$

$$rez_{N+1,15} \leftarrow zv$$

$$rez_{N+1,16} \leftarrow Pn$$

$$rez$$

Продовження Рис. 1. Текст функції користувача Hpod, реалізованої у середовищі Mathcad *(розробка автора)*

Оскільки зв'язок між висотою підвісу дроту та еквівалентної висотою визначається за формулою: $Hp = He + \frac{2}{3}F$, де Нр – висота підвісу, Не – еквівалентна висота, F – стріла провисання дроту, а залежність висоти провисання дроту по довжині прольоту можна описати за допомогою гіперболи, то завдання розрахунку в цьому випадку зводиться до визначення коефіцієнтів гіперболічного рівняння та відстані від дроту до землі по довжині прольоту з заданим кроком.

Вказані задачі вирішуються функцією Hpod на вхід якої подаються наступні параметри: стріла провисання дроту (F), висота підвісу дротів на опорах (Hpp), довжина прольоту між сусідніми опорами ЛЕП (Lpr), крок розщеплення фази (a), відстань між осями фаз (d), число складових у фазі (no), радіус дроту поділений на 20 (ro), номінальна напруга ЛЕП (U).

Дана функція виконує розрахунок відстані між фазним дротом і землею і передає його на вхід функції CE, описаної у [4]. У результаті виконується розрахунок ємностей фаз і робочої ємності лінії, хвильового опору і величини потужності на кожній з ділянок. Після чого дані параметри усереднюються.

У якості прикладу визначимо електричні характеристики ЛЕП з наступними конструктивними параметрами: крок розщеплення фази (a) = 40 см, стріла провисання дроту (F) = 7,5 м, висота підвісу дротів на опорах (Hpp) = 20 м, довжина прольоту між сусідніми опорами ЛЕП (Lpr) = 420 м, відстань між осями фаз (d) = 12 м, число складових у фазі (no) = 3, радіус дроту поділений на 20 (ro) = $\frac{27,5}{20} = 1,375$ мм, номінальна напруга ЛЕП (U) = 500 кВ.

```
PR := | a ← 40
      | F ← 7.5
      | Hpp ← 20
      | Lpr ← 420
      | ro ← 1.375
      | U ← 500
      | no ← 3
      | d ← 12
      | T ← Hpod(F,Hpp,Lpr,a,d,no,ro,U)
      | T
```

Рис. 2. Ввід вхідних даних *(розробка автора)*

На виході функції маємо матрицю з числовими значенням параметрів ЛЕП на кожному кроці ітерації. У даному прикладі для довжини прольоту 420 метрів було виконано 420 ітерацій, отже було отримано значення

характеристик ЛЕП у 420 точках розташованих через 1 м по всій довжині прольоту (за необхідності можна збільшувати кількість ітерацій для визначення ще більш точних значень параметрів, або зменшувати їх для прискорення розрахунку).

PR =

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3	20	9	$1.574 \cdot 10^{-6}$	5	22.307	11.449	12.522	11.449
2	3	19.929	9	$1.574 \cdot 10^{-6}$	5	22.307	11.45	12.522	11.45
3	3	19.858	9	$1.575 \cdot 10^{-6}$	5	22.307	11.451	12.522	11.451
4	3	19.787	9	$1.575 \cdot 10^{-6}$	5	22.307	11.452	12.522	11.452
5	3	19.717	9	$1.575 \cdot 10^{-6}$	5	22.307	11.453	12.522	11.453
6	3	19.647	9	$1.575 \cdot 10^{-6}$	5	22.308	11.455	12.522	11.455
7	3	19.578	9	$1.575 \cdot 10^{-6}$	5	22.308	11.456	12.522	11.456
8	3	19.508	9	$1.575 \cdot 10^{-6}$	5	22.308	11.457	12.522	11.457
9	3	19.439	9	$1.575 \cdot 10^{-6}$	5	22.308	11.458	12.522	11.458
10	3	19.371	9	$1.576 \cdot 10^{-6}$	5	22.308	11.46	12.522	11.46
11	3	19.303	9	$1.576 \cdot 10^{-6}$	5	22.308	11.461	12.522	11.461
12	3	19.235	9	$1.576 \cdot 10^{-6}$	5	22.308	11.462	12.522	11.462
13	3	19.167	9	$1.576 \cdot 10^{-6}$	5	22.308	11.463	12.522	11.463
14	3	19.1	9	$1.576 \cdot 10^{-6}$	5	22.308	11.465	12.522	11.465
15	3	19.033	9	$1.576 \cdot 10^{-6}$	5	22.308	11.466	12.522	11.466
16	3	18.967	9	$1.577 \cdot 10^{-6}$	5	22.308	11.467	12.522	...

i := 1 .. 420

Рис. 3. Вивід результатів розрахунку *(розробка автора)*

Тут, відповідно до номерів стовбців:

2 – кількість складових у фазі (n);

3 – відстань від фазного дроту до землі (H), м;

4 – загальна кількість складових в усіх фазах ЛЕП ($N_{\sum}$);

5 – значення максимального заряду (Qmax), Кл;

6– номер дроту з максимальним зарядом (Iq = 5 - середній дріт середньої фази);

7 – максимальне значення напруженості на дроті (Емах), кВ/см;

8 – ємність фази А (Ca), мкФ;

9 – ємність фази В (Cb), мкФ;

10 – ємність фази С (Cc), мкФ;

Виконаємо порівняльний аналіз результатів розрахунку з урахуванням поточнюючих параметрів і без нього.

Таблиця 1

Порівняння значень розрахованих параметрів ЛЕП з урахуванням поточнюючих параметрів і без нього

	Без урахування	**З урахуванням, максимальне значення (посередині прольоту)**
Ємність фази А, мкФ	11,573	11,682
Ємність фази В, мкФ	12,187	12,557
Ємність фази С, мкФ	11,573	11,682
Натуральна потужність лінії, МВт	856,9	856,902

Як можна помітити, завдяки врахуванню додаткових характеристик конструкції ЛЕП значення параметрів дещо змінилися, та стали більш наближеними до реальних показників.

Отриманні данні також дають змогу для більш наглядного сприйняття результатів розрахунку побудувати наступні залежності: відстані між фазним дротом і землею (еквівалентна висота підвісу дроту Не), ємностей фаз, максимальної напруженості і максимального заряду від довжини прольоту лінії.

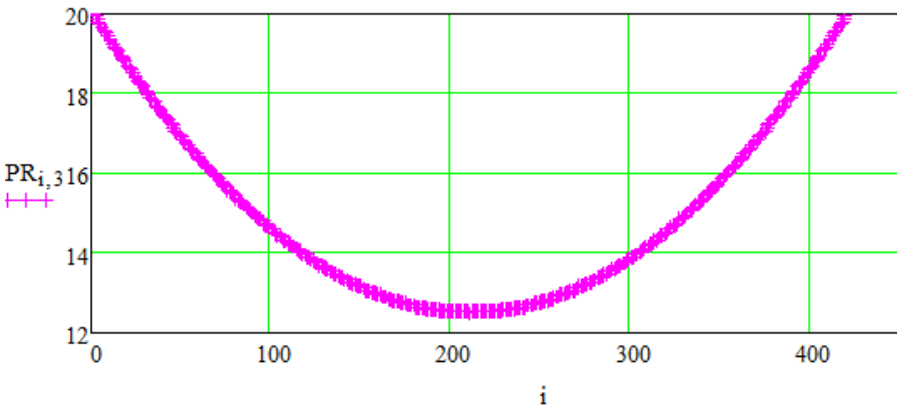


Рис. 4. Залежність відстані між фазою і землею (еквівалентна висота підвісу дроту Не) від довжини прольоту лінії

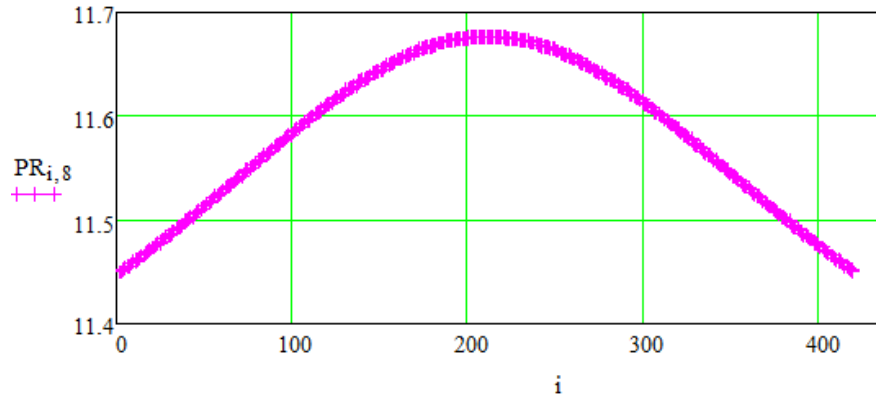


Рис. 5. Залежність ємності фази А від довжини прольоту лінії

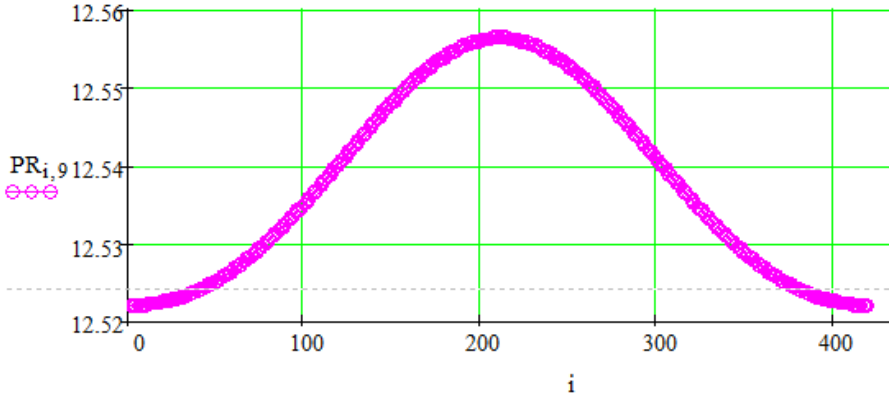


Рис. 6. Залежність ємності фази В від довжини прольоту лінії

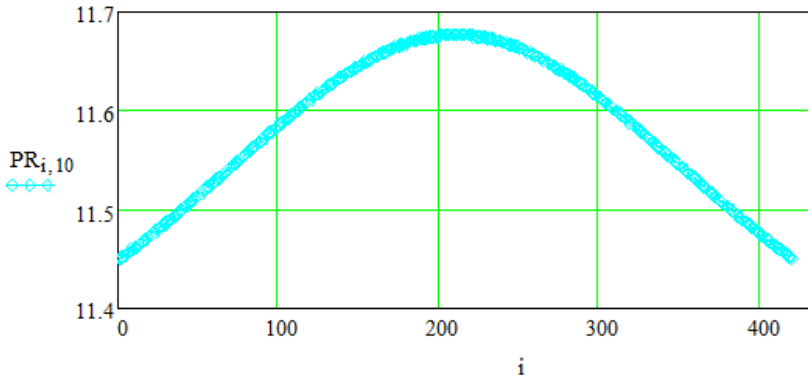


Рис. 7. Залежність ємності фази С від довжини прольоту лінії

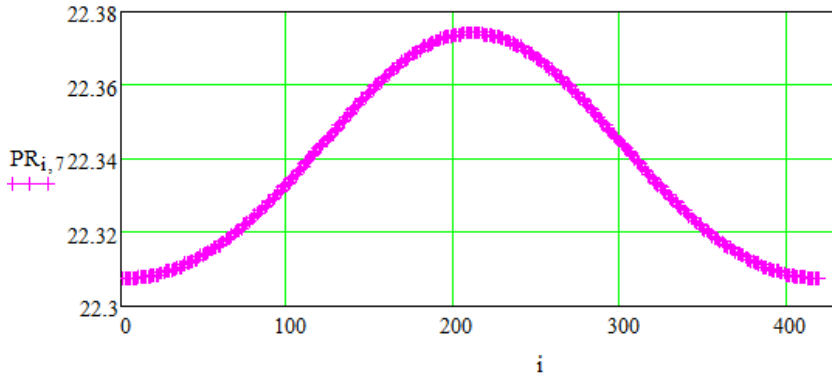


Рис. 8. Залежність максимального значення напруженості від довжини прольоту лінії

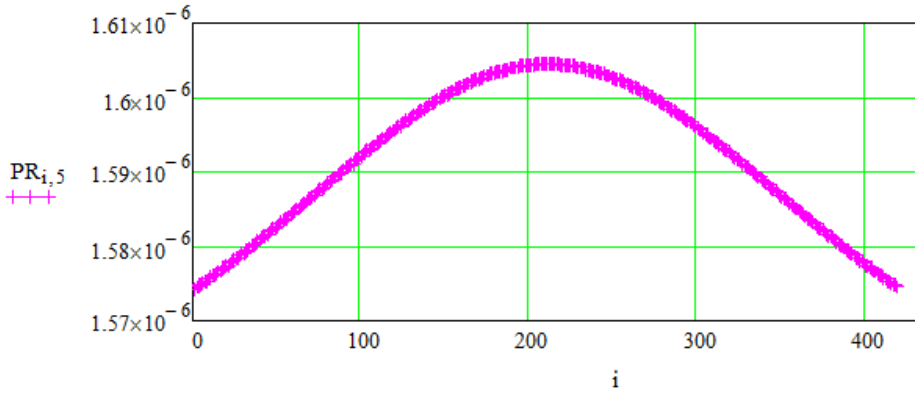


Рис. 9. Залежність максимального значення заряду від довжини прольоту лінії

Отримані значення цілком відповідають параметрам реальних ЛЕП схожого конструктивного виконання.

Висновок. Завдяки врахуванню більшої кількості параметрів ЛЕП було отримано уточнені значення потужності, напруги і ємностей, а також їх розподіл по довжині лінії. Запропонована функція користувача дозволяє просто, ефективно та з достатньо високою точністю проводити розрахунки електричних та деяких механічних характеристик повітряних ліній електропередачі виходячи з їх конструктивних параметрів.

Література

1. Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие/ Л.А. Потапов. – Брянск: БГТУ, 2009. – 200 с.
2. Теоретична електротехніка (теорія електромагнітного поля). Ч.1: Навчальний посібник./ К.К. Кім. – СПб .: Петербурзький державний університет шляхів сполучення, 2011. - 60 с.
3. Теоретические основы электротехники. Основы теории электромагнитного поля: Учеб. пособие./ Зима Т.Е., Зима Е.А. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 198 с.
4. Мірошник К.А. Розрахунок параметрів ЛЕП методом дзеркальних відображень у програмному середовищі Mathcad [Електронний ресурс] / Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». - №8. – 2017 URL: http://www.inter-nauka.com/issues/2017/8/2599