

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЗАРЯДНОЇ ЄМНОСТІ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ВІД КЛІМАТИЧНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Борсук Д. І., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. Визначення режимних параметрів електричної системи є однією з найважливіших інженерних задач, що розв'язується як на стадії проектування, так і на стадії експлуатації в рамках диспетчерської діяльності. При розрахунках ustalених режимів електричних систем необхідно враховувати велику кількість фізичних явищ та процесів, які відбуваються при передачі та розподілі електричної енергії. Для систем великої розмірності врахування зазначених явищ є вельми складним, навіть із застосуванням сучасних обчислювальних засобів. Таким чином набуває актуальності питання про можливість спрощення математичних моделей та нехтування проявами деяких фізичних явищ.

Мета роботи. Метою роботи є визначення припустимості нехтування зміною зарядної ємності повітряних ліній електропередачі в залежності від кліматичних умов експлуатації.

Матеріали і результати досліджень. Погонна зарядна ємність повітряної лінії визначається відповідно до геометричних розмірів лінії, а саме:

- відстаней між фазними проводами;
- відстаней між фазними проводами та поверхньою землі; відповідно до виразу (1) [1]:

$$C_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{\ln\left(\frac{2 \cdot h_g \cdot D_g}{R \cdot D'_g}\right)} \quad (1)$$

де ε_0 – діелектрична проникність вакууму;

ε_r – відносна діелектрична проникність повітря;

h_g – середньгеометрична висота розташування центру мас проводу в прогоні;

D_g – середньгеометрична відстань між фазними проводами;

D'_g – середньгеометрична відстань між фазними проводами та їх дзеркальними відображеннями;

R – радіус проводу.

У виразі (1) наведена формула для визначення погонної ємності ПЛЕП за габаритної стріли провисання. Відповідно до поставленої мети, необхідно визначити залежність погонної ємності від температури. Для цього потрібно вивести залежність погонної ємності від стріли провисання. Така залежність матиме наступний вигляд:

$$C_0(f) = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{\ln\left(\frac{2 \cdot h_g(f) \cdot D_g}{R \cdot D'_g(f)}\right)} \quad (2)$$

Стріла провисання, в свою чергу, залежить від температури оточуючого середовища, вітрових навантажень та відкладення ожеледі на проводі. Така залежність може бути отримана при розв'язанні рівняння стану проводу у прогоні [2] відносно стріли провисання. Це неповне кубічне рівняння має наступний розв'язок:

$$f(t) = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p(t)^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p(t)^3}{27}}}, \quad (3)$$

де $q = -\frac{3 \cdot \gamma \cdot l^4}{64 \cdot E}$; $p(t) = \frac{3 \cdot \gamma_0 \cdot l^4}{64 \cdot E \cdot f_0} - \frac{3}{8} \alpha \cdot l^2 \cdot (t - t_0) - f_0^2$;

γ – питома навантаження від власної ваги проводу;

l – довжина прогону;

E – модуль пружності проводу;

γ_0, f_0, t_0 – питома навантаження, стріла провисання та температура проводу вихідного кліматичного режиму;

α – коефіцієнт лінійного теплового здовження.

Від стріли провисання та, відповідно, температури, залежать величини h та D . Висота розташування центру мас проводу в прогоні:

$$h_i(t) = h_i - \frac{2}{3} f(t), \quad (4)$$

$$h_g(t) = \sqrt[3]{h_1(t) h_2(t) h_3(t)} \quad (5)$$

де h_i – висота закріплення i -го проводу на опорі;

$f(t)$ – стріла провисання за (3);

$i=1, 2, 3$ – номер фазного проводу;

t – температура проводу.

Середньгеометрична відстань між фазними проводами та їх дзеркальними відображеннями визначається індивідуально для кожної опори з врахуванням (4).

Отже, з виразу (2), враховуючи (3), (4), (5) можна записати залежність погонної ємності ПЛЕП від температури:

$$C_0(t) = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{\ln\left(\frac{2 h_g(t)}{R} \cdot \frac{D_g}{D'_g(t)}\right)} \quad (6)$$

Для досягнення поставленої мети було прийнято до розгляду три типові лінії:

- класу номінальної напруги 110 кВ виконана проводом АС-150/24 з використанням опор ПБ 110–5 із довжиною прогону 200 м;
- класу номінальної напруги 330 кВ виконана проводом 2хАС-300/39 з використанням опор П 330-3 із довжиною прогону 400 м;
- класу номінальної напруги 750 кВ виконана проводом 5хАС-300/66 з використанням опор ПП 750-1 із довжиною прогону 450 м.

Для оцінки можливості нехтування зміною стріли провисання визначатиметься величина відносної похибки:

$$\delta = \frac{C_g - C_i}{C_g} 100, \%$$

де C_g – погонна ємність лінії за габаритної стріли провисання;

C_i – погонна ємність за поточної температури (або стріли провисання).

Наведемо графіки залежностей погонної ємності ПЛЕП від температури та стріли провисання, а також побудуємо графіки залежності похибки визначення погонної ємності на рисунках 1, 2, 3. Жовта пряма на графіках відповідає ємності ПЛЕП за габаритної стріли провисання.

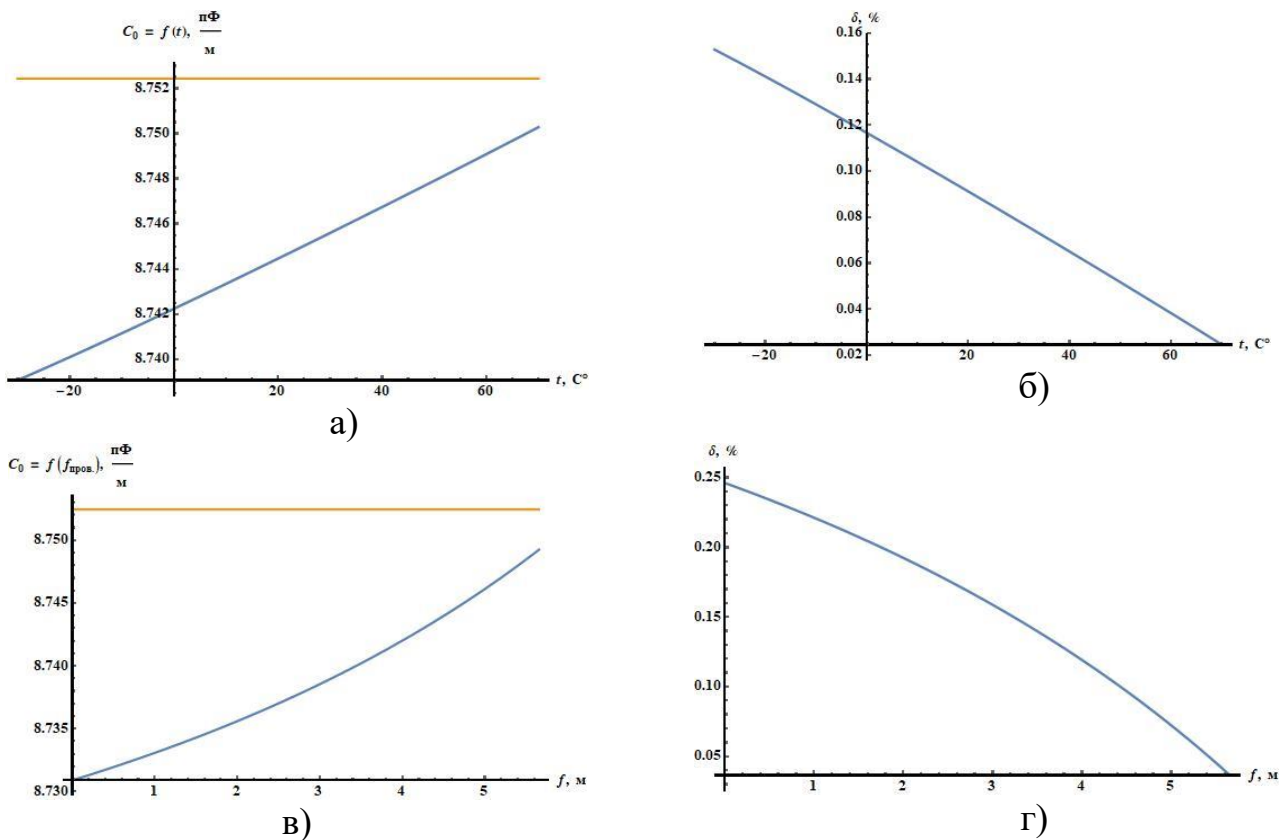
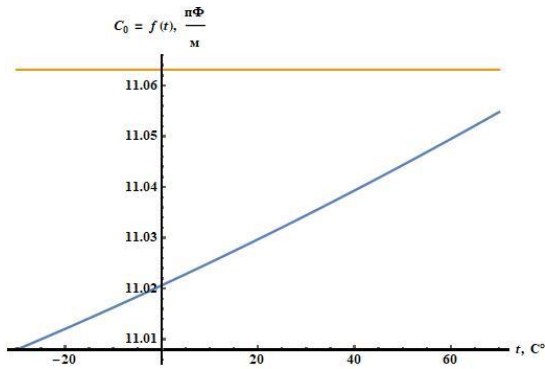
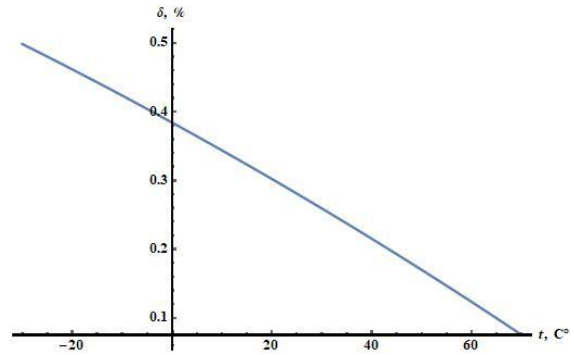


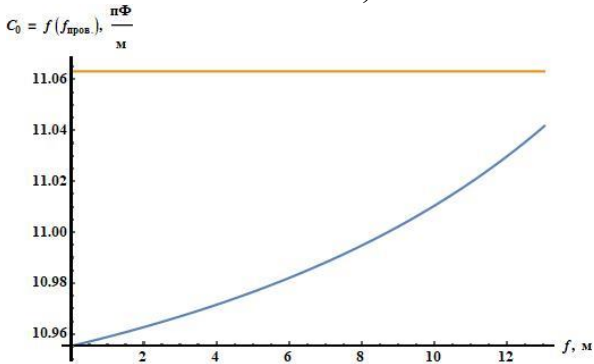
Рисунок 1 – Графіки залежностей для лінії 110 кВ:
 а) залежність $C(t)$; б) відносна похибка визначення $C(t)$;
 в) залежність $C(f)$; г) відносна похибка визначення $C(f)$.



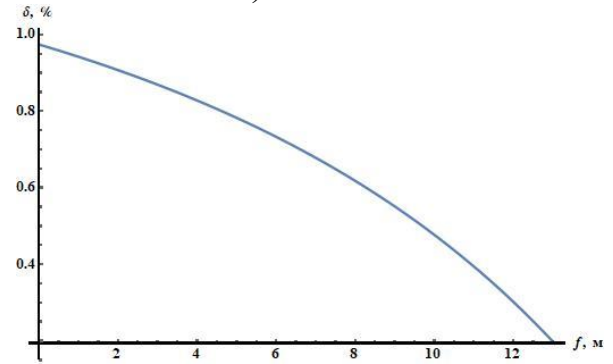
а)



б)

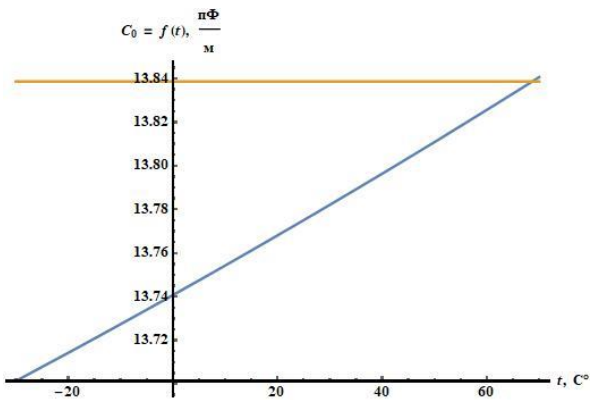


в)

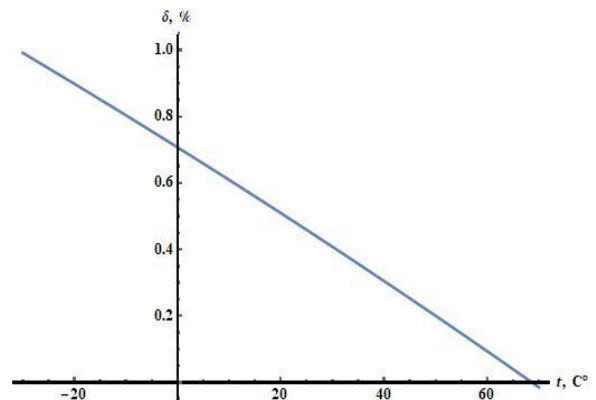


г)

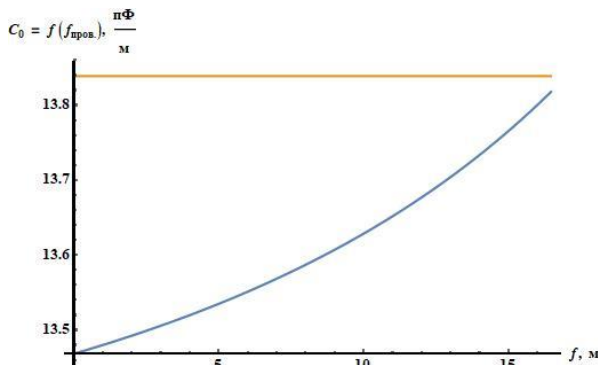
Рисунок 2 – Графіки залежностей для лінії 330 кВ (продовження):
 а) залежність $C(t)$; б) відносна похибка визначення $C(t)$;
 в) залежність $C(f)$; г) відносна похибка визначення $C(f)$.



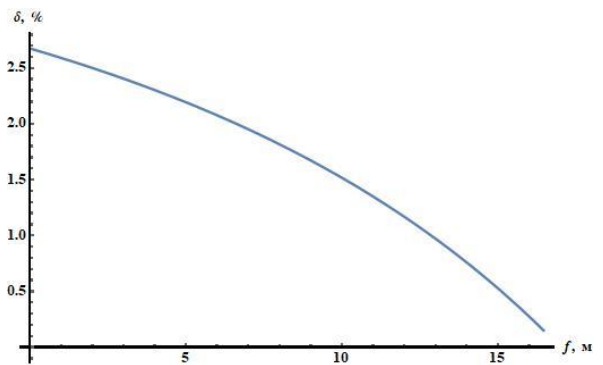
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3 – Графіки залежностей для лінії 750 кВ:

- а) залежність $C(t)$; б) відносна похибка визначення $C(t)$;
в) залежність $C(f)$; г) відносна похибка визначення $C(f)$.

З отриманих графіків можна визначити наступне. Для всього діапазону робочих температур погонна ємність ПЛЕП зростає дуже повільно (від 0,024-0,14 пФ/м, для класів 110-750) та майже лінійно. Максимальна похибка визначення погонної ємності залежно від температури складає 0,16%; 0,5%; 1% для ПЛ класів 110, 330 та 750 кВ, відповідно.

Для діапазону можливих стріл провисання для відповідної лінії погонна ємність дуже повільно зростає (від 0,022-0,38 пФ/м, для класів 110-750) за нелінійним законом. Максимальна похибка визначення погонної ємності залежно від стріли провисання складає 0,25%; 0,98%; 2,6% для ПЛ класів 110, 330 та 750 кВ, відповідно.

Висновки. Результати такого дослідження показують, що кліматичні фактори та, як наслідок, зміни стріли провисання слабо впливають на погонну ємність ПЛ. Це дозволяє з достатньою точністю нехтувати цими явищами при визначенні параметрів схем заміщення повітряних ліній електропередач. Похибка, що виникне при такому нехтуванні співмірна з класами точності (похибками) вимірювальних приладів, що вимірюють параметри режимів електричних мереж, а тому використання в розрахунках погонної ємності визначеної за габаритною стрілою провисання є цілком допустимим.

Перелік посилань

1. Електричні мережі та системи: підручник / В. В. Кирик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. – 324 с.
2. Кацадзе, Т. Л. Основи механічних розрахунків повітряних ліній електропередавання [Електронний ресурс]: підручник / Т. Л. Кацадзе; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 77,58 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 334 с.