

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»  
Кафедра інженерії програмного забезпечення в енергетиці

Практична робота № 5  
з курсу: «*Основи Веб-програмування*»

**Виконала:**  
студентка 2-го курсу,  
групи ТВ-33  
Непомяща Валерія Олександрівна  
Посилання на GitHub репозиторій: <https://github.com/Valleriiaa/Basics-of-Web-programming-labs>

**Перевірив:**  
Недашківський О.Л.

Київ 2024/2025

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

### Теоретичний матеріал

Основною вимогою, що висувається до проектів ЕПС, є надійність електропостачання споживачів. Надійність електропостачання забезпечується вибором найбільш досконалих, відповідних умовам навколишнього середовища, електричних апаратів, силових трансформаторів, кабельно-провідникової продукції, відповідністю електричних навантажень в нормальних і аварійних режимах номінальним навантаженням цих елементів, використанням структурного резервування, пристроїв автоматики і релейного захисту.

#### 5.1.1. Показники надійності елементів та електропостачальних систем

Існує два підходи до оцінювання надійності ЕПС: перший – оснований на вимогах ПУЕ, другий – теоретичний. Ці підходи взаємопов'язані і практичні рекомендації ПУЕ основані на висновках теоретичного аналізу.

Надійність – властивість ЕПС виконувати задані функції зі збереженням експлуатаційних показників у межах, що регламентуються нормативними документами. Для простих об'єктів надійність забезпечується інтуїтивно на підставі досвіду, а для ЕПС така суб'єктивна оцінка часто недостатня.

Відмова – втрата робочої здатності елементів частини або усієї системи. Відмова буває повна і часткова, раптова і поступова, стійка і нестійка, явна і неявна, конструктивна, технологічна чи експлуатаційна.

Відновлення – це подія, яка полягає у підвищенні рівня робочої здатності шляхом проведення ремонтів або заміни обладнання.

Основним теоретичним показником надійності є:  $p(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи за час  $t$ . На практиці використовують такі практичні показники, як частота відмов  $\omega$ , частота ремонтів  $\mu$ , тривалість відновлення  $t_v$ , тривалість поточного ремонту  $t_p$ . Ці показники характеризують як окремі елементи ЕПС, так і систему в цілому.

Найненадійнішим елементом ЕПС є ЛЕП. На них припадає від 85 до 95 відсотків усіх вимкнень.



Основними причинами пошкоджень ПЛ є грозові перекриття ізоляції, ожеледь, вітер, вібрація проводів, падіння дерев, перекриття повітряних проміжків на будівельні машини. Так, середнє значення відмов ПЛ-110 кВ складає  $0,7 \text{ рік}^{-1}$  на 100 км (табл. 3.1). В грозовий період і у випадку ожеледі частота відмов різко зростає. Оскільки КЗ ПЛ часто самоліквідуються, то передбачається їх автоматичне повторне ввімкнення.

Основними причинами виходу з ладу КЛ є їх пошкодження будівельними машинами під час земляних робіт, старіння ізоляції, потрапляння вологи в кабель, пошкодження ізоляції гризунами. Електричні пробої переважно відбуваються на з'єднувальних муфтах, кінцевих заробках, вертикальних ділянках.

Таблиця 3.1 – Показники надійності ліній електропередачі

Елемент ЕПС	$\omega$ , $\text{рік}^{-1}$ на 1 км	$t_{\text{в}}$ , год.	$\mu$ , $\text{рік}^{-1}$ на 1 коло	$t_{\text{м}}$ , год.
ПЛ-110 кВ	0,007	10	0,167	35
ПЛ-35 кВ	0,02	8	0,167	35
ПЛ-10 кВ	0,02	10	0,167	35
КЛ-10 кВ (траншея)	0,03	44	1	9
КЛ-10 кВ (кабельний канал)	0,005	17,5	1	9

Основними причинами відмов силових трансформаторів є: порушення ізоляції обмоток через зовнішні й внутрішні перенапрути, наскрізні струми КЗ, дефекти виготовлення, старіння внаслідок перевантажень; пошкодження регулювальних пристроїв; пошкодження контактних з'єднань; пошкодження введів трансформаторів через перекриття ізоляції; зниження рівня оливи.

Основними причинами відмов вимикачів є: неспрацьовування приводів; обгорання контактів; зношування дутогасильних камер; заводські дефекти; помилкові дії персоналу при виконанні перемикачів. Однофазні замикання на землю в мережах 6-35 кВ супроводжуються горінням заземлювальних дуг (внаслідок недостатньої компенсації ємнісних струмів), що призводить до виникнення перенапруг, пробоїв ізоляції, руйнування ізоляторів. Показники надійності електрообладнання підстанцій наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Показники надійності електрообладнання підстанцій

Елемент ЕПС	$\omega$ , рік <sup>-1</sup>	$t_{\text{в}}$ , год.	$\mu$ , рік <sup>-1</sup>	$t_{\text{п}}$ , год.
Т-110 кВ	0,015	100	1	43
Т-35 кВ	0,02	80	1	28
Т-10 кВ (кабельна мережа 10 кВ)	0,005	60	0,5	10
Т-10 кВ (повітряна мережа 10 кВ)	0,05	60	0,5	10
В-110 кВ (елегазовий)	0,01	30	0,1	30
В-10 кВ (малооливний)	0,02	15	0,33	15
В-10 кВ (вакуумний)	0,01	15	0,33	15
Збірні шини 10 кВ на 1 приєднання	0,03	2	0,167	5
АВ-0,38 кВ	0,05	4	0,33	10
ЕД 6, 10 кВ	0,1	160	0,5	-
ЕД 0,38 кВ	0,1	50	0,5	-

### 5.1.2. Аналітичний метод розрахунку надійності ЕПС

Цей метод оснований на тому, що відмови є найпростішим потоком подій і ймовірність відмов визначається за формулою Пуассона. Між ймовірністю безвідмовної роботи і частотою відмов за найпростішого потоку відмов існує залежність

$$p(t) = e^{-\omega t}.$$

Розрізняють послідовне і паралельне з'єднання елементів ЕПС (рис. 3.1). Послідовне – таке з'єднання, коли відмова одного елемента приводить до відмови ЕПС в цілому. Паралельним називають з'єднання, коли вихід одного елемента не приводить до відмови системи.

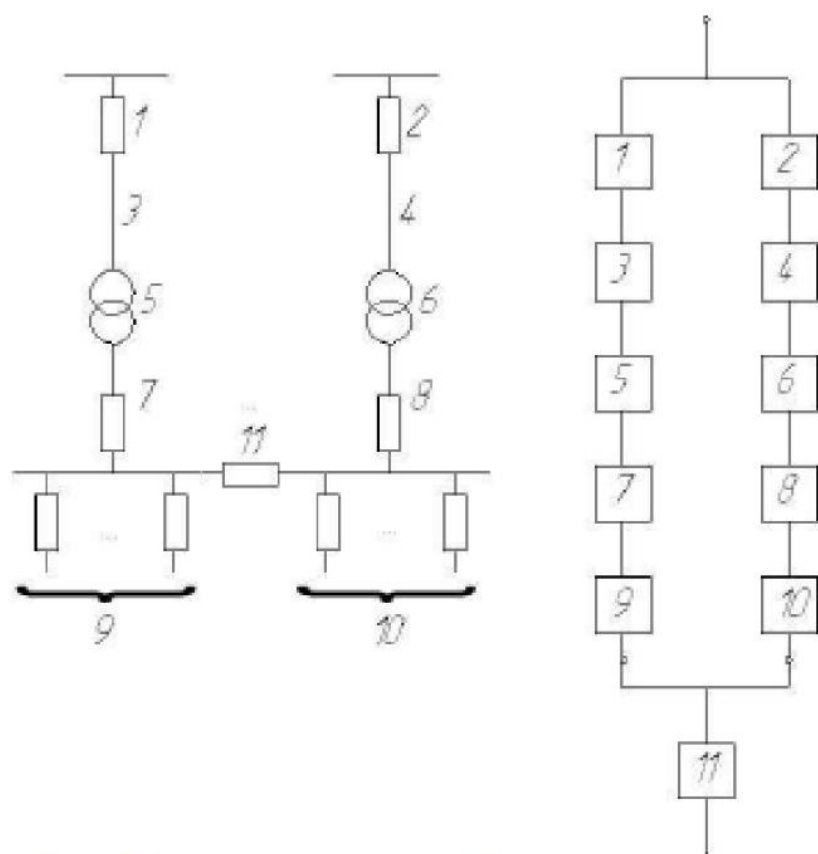


Рисунок 3.1 – Блок-схема двоколової системи електропостачання



У разі послідовного з'єднання декількох елементів частота відмов одноколової системи (одного кола системи) дорівнює сумі частот відмов її елементів:

$$\omega_{oc} = \sum_{i=1}^n \omega_i,$$

а середня тривалість відновлення –

$$t_{в. oc} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{вi} \omega_i}{\omega_{oc}},$$

де  $\omega_i, t_{вi}$  – частота відмов і тривалість відновлення окремих елементів.

Надзвичайно важливими є коефіцієнти аварійного та планового простоїв, які характеризують ймовірність знаходження системи в аварійному та плановому простоях. Для одноколової системи (без резервування) коефіцієнт аварійного простою (неготовності)

$$k_{a. oc} = \omega_{oc} t_{в. oc},$$

де  $\omega_{oc}$  – частота відмов одного кола системи, рік<sup>-1</sup>;

$t_{в. oc}$  – середня тривалість її відновлення в роках (якщо тривалість відновлення задана в годинах, то її необхідно поділити на 8760 год.).

Коефіцієнт планового простою одноколової системи

$$k_{п. oc} = 1,2 k_{п. i \max},$$

де  $k_{п. i} = \mu_i t_{пi}$  – значення коефіцієнта планового простою  $i$ -го елемента;

$\mu_i$  – частота планових ремонтів елементів;

$t_{пi}$  – тривалість планового ремонту елементів в роках (якщо тривалість планового ремонту задана в годинах, то її необхідно поділити на 8760 год.).

У разі паралельного з'єднання двох кіл частоту одночасної їх відмови знаходять за виразом

$$\omega_{дк} = \omega_1(k_{a2} + 0,5k_{п2}) + \omega_2(k_{a1} + 0,5k_{п1}),$$

а середню тривалість відновлення –

$$t_{в. دک} = \frac{t_{в1} t_{в2}}{t_{в1} + t_{в2}}.$$

Частота відмови двоколової системи з урахуванням секційного вимикача

$$\omega_{дс} = \omega_{дк} + \omega_{св},$$

де  $\omega_{св}$  – частота відмов секційного вимикача.

Коефіцієнт аварійного простою (неготовності) двоколової системи

$$k_{a. дс} = \omega_{дс} \cdot t_{в. дс}.$$

## Завдання:

Створіть Веб калькулятор для порівняння надійності одноколової та двоколової систем електропередачі та розрахунку збитків від перерв електропостачання у разі застосування однотрансформаторної ГТП у складі:

1. Порівняти надійність одноколової та двоколової систем електропередачі;
2. Розрахувати збитки від перерв електропостачання у разі застосування однотрансформаторної ГПП.

## Хід виконання:

Завдання складається з трьох основних файлів:

**script.js** – відповідає за обробку події натискання кнопки «Розрахувати», отримує введені значення, викликає необхідні функції для розрахунків і повертає результати у HTML.

**style.css** – містить стиль сторінки.

**index.html** – містить структуру веб-сторінки.

### Завдання 1:

```
function calculateReliability(e) {
    e.preventDefault();
    // Отримання вхідних даних для одноколової системи
    const w_breaker110 = +document.getElementById('breaker110').value;
    const w_line110 = +document.getElementById('line110').value;
    const w_transformer = +document.getElementById('transformer').value;
    const w_breaker10 = +document.getElementById('breaker10').value;
    const w_connection = +document.getElementById('connections').value;
    const numConnections = +document.getElementById('numConnections').value;

    // Час відновлення
    const t_breaker110 = +document.getElementById('t_breaker110').value;
    const t_line110 = +document.getElementById('t_line110').value;
    const t_transformer = +document.getElementById('t_transformer').value;
    const t_breaker10 = +document.getElementById('t_breaker10').value;
    const t_connection = +document.getElementById('t_connections').value;

    // Плановий простій
    const plannedOutage = +document.getElementById('plannedOutage').value;

    // Параметри двоколової системи
    const w_sectionBreaker = +document.getElementById('sectionBreaker').value;

    // Вивід
    const output = document.getElementById('reliability-result');

    // Розрахунок параметрів одноколової системи
    const w_oc = w_breaker110 + w_line110 + w_transformer + w_breaker10 + (w_connection * numConnections);
    const t_oc = (w_breaker110 * t_breaker110 + w_line110 * t_line110 + w_transformer * t_transformer +
        w_breaker10 * t_breaker10 + (w_connection * numConnections * t_connection)) / w_oc;
    const k_emergency_oc = (w_oc * t_oc) * Math.pow(10, -3);
    const k_planned_oc = 1.2 * (plannedOutage) * Math.pow(10, -3);
```



```

// Розрахунок параметрів двоколової системи
const w_dk = 2 * w_oc * (k_emergency_oc + k_planned_oc);
const w_ds = w_dk + w_sectionBreaker;
const t_ds = t_oc * 0.7; // Припущення
const k_emergency_ds = (w_ds * t_ds) * Math.pow(10, -3);
const k_planned_ds = k_planned_oc * 0.8; // Припущення

output.innerHTML = `
<h3>Одноколовая система</h3>
<p>Частота відмов:  $\{w\_oc.toFixed(3)\}$  рік-1</p>
<p>Середній час відновлення:  $\{t\_oc.toFixed(1)\}$  год</p>
<p>Коефіцієнт аварійного простою:  $\{k\_emergency\_oc.toExponential(2)\}$ </p>
<p>Коефіцієнт планового простою:  $\{k\_planned\_oc.toExponential(2)\}$ </p>

<h3>Двоколовая система</h3>
<p>Частота відмов:  $\{w\_ds.toFixed(4)\}$  рік-1</p>
<p>Середній час відновлення:  $\{t\_ds.toFixed(1)\}$  год</p>
<p>Коефіцієнт аварійного простою:  $\{k\_emergency\_ds.toExponential(2)\}$ </p>
<p>Коефіцієнт планового простою:  $\{k\_planned\_ds.toExponential(2)\}$ </p>

if (w_ds < w_oc) {
  output.innerHTML += '<p class="conclusion"><strong>Висновок:</strong> Двоколовая система електропередачі є значно надійнішою за однокол
} else {
  output.innerHTML += '<p class="conclusion"><strong>Висновок:</strong> Одноколовая система демонструє кращі показники надійності за двок
}
}

```

## Завдання 2:

```

function calculateLosses(e) {
  e.preventDefault();
  // Отримання вхідних даних
  const failureRate = +document.getElementById('failureRate').value;
  const recoveryTime = +document.getElementById('recoveryTime').value;
  const plannedOutageTime = +document.getElementById('plannedOutageTime').value;
  const maxLoad = +document.getElementById('maxLoad').value;
  const usageTime = +document.getElementById('usageTime').value;
  const emergencyLossRate = +document.getElementById('emergencyLossRate').value;
  const plannedLossRate = +document.getElementById('plannedLossRate').value;
  const output = document.getElementById('losses-result');

  // Розрахунок аварійного недовідпущення
  const emergencyUndersupply = failureRate * recoveryTime * maxLoad * usageTime;

  // Розрахунок планового недовідпущення
  const plannedUndersupply = plannedOutageTime * maxLoad * usageTime;

  // Розрахунок збитків
  const emergencyLosses = emergencyLossRate * emergencyUndersupply;
  const plannedLosses = plannedLossRate * plannedUndersupply;
  const totalLosses = emergencyLosses + plannedLosses;

  // Відображення результатів
  output.innerHTML = `
<p>Аварійне недовідпущення електроенергії:  $\{emergencyUndersupply.toFixed(0)\}$  кВт·год/рік</p>
<p>Планове недовідпущення електроенергії:  $\{plannedUndersupply.toFixed(0)\}$  кВт·год/рік</p>
<p>Загальні збитки від перерв:  $\{totalLosses.toFixed(0)\}$  грн/рік</p>
`
}

```

## Результат виконання на контрольному прикладі:

### Калькулятор для порівняння надійності систем електропередачі та розрахунку збитків від перерв електропостачання у разі застосування однотрансформаторної ГТП

Порівняння надійності систем

Збитки від перерв

#### Порівняння надійності одноколової та двоколової систем електропередачі

##### Одноколова система

Частота відмов елегазового вимикача 110 кВ (рік<sup>-1</sup>): 0.01

Частота відмов ПЛ-110 кВ (рік<sup>-1</sup>): 0.07

Частота відмов трансформатора 110/10 кВ (рік<sup>-1</sup>): 0.015

Частота відмов ввідного вимикача 10 кВ (рік<sup>-1</sup>): 0.02

Частота відмов одного приєднання 10 кВ (рік<sup>-1</sup>): 0.03

Кількість приєднань 10 кВ: 6

##### Час відновлення (год)

Час відновлення елегазового вимикача 110 кВ: 30

Час відновлення ПЛ-110 кВ: 10

Час відновлення трансформатора 110/10 кВ: 100

Час відновлення ввідного вимикача 10 кВ: 15

Час відновлення приєднання 10 кВ: 2

Максимальний плановий простій (год/рік): 43

##### Двоколова система

Частота відмов секційного вимикача 10 кВ (рік<sup>-1</sup>): 0.02

Розрахувати



### Одноколова система

Частота відмов:  $0.295 \text{ рік}^{-1}$

Середній час відновлення: 10.7 год

Коефіцієнт аварійного простою:  $3.16\text{e-}3$

Коефіцієнт планового простою:  $5.16\text{e-}2$

### Двоколова система

Частота відмов:  $0.0523 \text{ рік}^{-1}$

Середній час відновлення: 7.5 год

Коефіцієнт аварійного простою:  $3.92\text{e-}4$

Коефіцієнт планового простою:  $4.13\text{e-}2$

**Висновок:** Двоколова система електропередачі є значно надійнішою за одноколову

## Калькулятор для порівняння надійності систем електропередачі та розрахунку збитків від перерв електропостачання у разі застосування однострансформаторної ГТП

Порівняння надійності систем

Збитки від перерв

### Розрахунок збитків від перерв електропостачання у разі застосування однострансформаторної ГТП

Частота відмов трансформатора ( $\text{рік}^{-1}$ ): 0.01

Середній час відновлення (року): 0.045

Середній час планового простою: 0.004

Максимальне навантаження,  $P_M$  (кВт): 5120

Час використання максимального навантаження,  $T_M$  (год): 6451

Питомі збитки від аварійних вимкнень (грн./кВт·год): 23.6

Питомі збитки від планових вимкнень (грн./кВт·год): 17.6

Розрахувати

Аварійне недовідпущення електроенергії: 14863 кВт·год/рік

Планове недовідпущення електроенергії: 132116 кВт·год/рік

Загальні збитки від перерв: 2676019 грн/рік

## **ВИСНОВОК**

У результаті роботи було створено веб-калькулятор для аналізу надійності одноколових і двоколових систем електропостачання та оцінки збитків від перерв у подачі електроенергії.