

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5. Мобільний калькулятор для порівняння надійності однофазової та двохфазової систем електропередачі та розрахунку збитків від перерв електропостачання у разі застосування одностанційної ГТП.

ЗМІСТ

| | |
|--|---|
| ПРАКТИЧНА РОБОТА №5. Мобільний калькулятор для порівняння надійності однофазової та двохфазової систем електропередачі та розрахунку збитків від перерв електропостачання у разі застосування одностанційної ГТП. | 1 |
| 5.1. Теоретичний матеріал | 1 |
| 5.1.1. Показники надійності елементів та електропостачальних систем | 1 |
| 5.1.2. Аналітичний метод розрахунку надійності ЕПС | 4 |
| 5.1.3. Оцінювання збитків від перерв електропостачання | 6 |
| 5.2. Завдання 1 | 8 |
| 5.2.1. Контрольний приклад | 8 |
| 5.3. Склад і вимоги до оформлення звіту з виконання роботи | 8 |
| Література | 8 |

5.1. 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 ω , частота ремонтів μ , тривалість відновлення $t_{\text{в}}$, тривалість поточного ремонту $t_{\text{р}}$. 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 | ω , рік ⁻¹ на 1 км | $t_{\text{в}}$, год. | μ , рік ⁻¹ на 1 коло | $t_{\text{п}}$, 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 регульовальних пристроїв; пошкодження контактних з'єднань; пошкодження введів трансформаторів через перекриття ізоляції; зниження рівня оливи.

Основними причинами відмов вимикачів є: неспрацьовування приводів; обгорання контактів; зношування дугогасильних 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 | ω , рік ⁻¹ | $t_{\text{в}}$, год. | μ , рік ⁻¹ | $t_{\text{п}}$, 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.

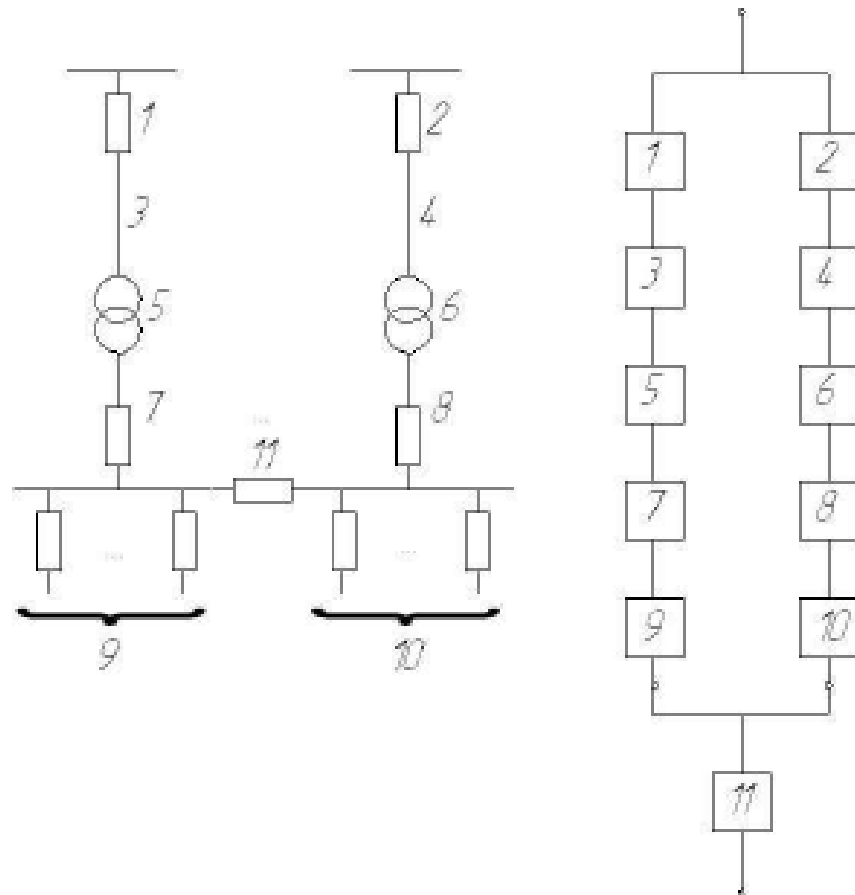


Рисунок 3.1 – Блок-схема двоколової системи електропостачання

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 –

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

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)

$$k_{а.ос} = \omega_{ос} t_{в.ос},$$

де $\omega_{ос}$ – частота відмов одного кола системи, рік⁻¹;

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

Коефіцієнт планового простою одноколової системи

$$k_{п.ос} = 1,2 k_{п.i \max},$$

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

μ_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

$$\omega_{дк} = \omega_1(k_{а2} + 0,5k_{п2}) + \omega_2(k_{а1} + 0,5k_{п1}),$$

а середню тривалість відновлення –

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

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

$$k_{а.дс} = \omega_{дс} t_{в.дс}.$$

Приклад 3.1 Порівняти надійність одноколової та двоколової систем електропередачі. Одноколова система містить: елегазовий вимикач 110 кВ, ПЛ-110 кВ довжиною 10 км, трансформатор 110/10 кВ, ввідний вимикач 10 кВ і 6 приєднань 10 кВ. Двоколова система складається з двох ідентичних одноколових і секційного вимикача 10 кВ.

Розв'язування. Частота відмов одноколової системи:

$$\omega_{oc} = \sum_{i=1}^n \omega_i = 0,01 + 0,07 + 0,015 + 0,02 + 0,03 \cdot 6 = 0,295 \text{ рік}^{-1}.$$

Середня тривалість відновлення:

$$t_{в.ос} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{вi} \omega_i}{\omega_{oc}} = \frac{0,01 \cdot 30 + 0,07 \cdot 10 + 0,015 \cdot 100 + 0,02 \cdot 15 + 0,18 \cdot 2}{0,295} = 10,7 \text{ год.}$$

Коефіцієнт аварійного простою одноколової системи

$$k_{a.ос} = \frac{\omega_{oc} \cdot t_{в.ос}}{8760} = \frac{0,295 \cdot 10,7}{8760} = 3,6 \cdot 10^{-4}.$$

Коефіцієнт планового простою одноколової системи

$$k_{п.ос} = 1,2 \cdot k_{п.мах} = 1,2 \cdot \frac{43}{8760} = 58,9 \cdot 10^{-4},$$

де $k_{п.мах} = 1 \cdot 43 = 43$ год. – найбільше значення коефіцієнта планового простою (визначене в даному випадку для силового трансформатора).

Частота відмов одночасно двох кіл двоколової системи:

$$\omega_{дк} = 2 \cdot 0,295 \cdot (3,6 \cdot 10^{-4} + 58,9 \cdot 10^{-4}) = 36,9 \cdot 10^{-4} \text{ рік}^{-1}.$$

Частота відмов двоколової системи з урахуванням секційного вимикача

$$\omega_{дс} = \omega_{дк} + \omega_{св} = 36,9 \cdot 10^{-4} + 0,02 = 0,0237 \text{ рік}^{-1}.$$

Отже, надійність двоколової системи електропередачі є значно вищою ніж одноколової.

5.1.3. Оцінювання збитків від перерв електропостачання

Техніко-економічне порівняння варіантів передбачає однаковість таких технічних показників, як, наприклад, надійність електропостачання. У разі відмінності технічних показників необхідним є зведення варіантів до однакового технічного ефекту (правило «тотожності ефекту»).

Порівняння варіантів з різною надійністю за правилом «тотожності ефекту» здійснюється двома методами:

а) прямий метод – передбачає визначення додаткових витрат для досягнення значення технічного показника іншого варіанта і ввімкнення їх до капітальних або щорічних витрат базового варіанта;

б) непрямий метод – визначення ймовірних збитків за рахунок недостатнього значення технічного показника.

Для аналізу економічності ЕПС з різними показниками надійності використовують переважно другий підхід.

Збитки залежать від раптовості перерви, її тривалості і глибини. Математичне сподівання збитків від переривання електропостачання може бути визначене за виразом

$$Z_{\text{пер}} = \omega \cdot Z_{\text{пер}}(0) + \omega \cdot t_{\text{в}} \cdot Z(t),$$

де $Z_{\text{пер}}(0)$ – прямі збитки від самого факту переривання електропостачання; $Z(t)$ – прямі і додаткові збитки, які залежать від тривалості перерви електропостачання; ω – частота відмов; $t_{\text{в}}$ – тривалість відновлення після відмови.

Збитки від переривання електропостачання можна оцінити за спрощеною формулою [1]

$$Z_{\text{пер}} = Z_{\text{пер.а}} M(W_{\text{нед.а}}) + Z_{\text{пер.п}} M(W_{\text{нед.п}}),$$

де $Z_{\text{пер.а}}$, $Z_{\text{пер.п}}$ – питомі складові збитків від, відповідно, аварійного і планового недовідпущень електроенергії; $M(W_{\text{нед.а}})$, $M(W_{\text{нед.п}})$ – математичні сподівання середньорічних аварійного і планового недовідпущень електроенергії.

Питомі показники збитків від переривання електропостачання промислових підприємств наведені в [1].

Математичне сподівання аварійного і планового недовідпущень електроенергії знаходять з формул:

$$M(W_{\text{нед.а}}) = k_{\text{а}} P_{\text{м}} T_{\text{м}}; \quad M(W_{\text{нед.п}}) = k_{\text{п}} P_{\text{м}} T_{\text{м}},$$

де $k_{\text{а}}$, $k_{\text{п}}$ – коефіцієнти аварійного і планового простоїв.

Для двоколової системи (з резервуванням) планове недовідпущення електроенергії відсутнє, а середньорічне аварійне недовідпущення електроенергії практично дорівнює нулю.

Приклад 3.2 Розрахувати збитки від перерв електропостачання у разі застосування однотрансформаторної ГПП, якщо питомі збитки від переривання електропостачання складають: $Z_{\text{пер.а}} = 23,6$ грн./кВт·год. – у разі аварійних вимкнень; $Z_{\text{пер.п}} = 17,6$ грн./кВт·год. – у разі планових вимкнень.

Розв’язування. Математичне сподівання аварійного недовідпущення електроенергії становить

$$M(W_{\text{нед.а}}) = \omega t_{\text{в}} P_{\text{м}} T_{\text{м}} = 0,01 \cdot 45 \cdot 10^{-3} \cdot 5,12 \cdot 10^3 \cdot 6451 = 14900 \text{ кВт·год.}$$

де $\omega = 0,01 \text{ рік}^{-1}$; $t_{\text{в}} = 45 \cdot 10^{-3} \text{ року}$ – частота відмов і середній час відновлення трансформатора напругою 35 кВ [1].

Математичне сподівання планового недовідпущення електроенергії

$$M(W_{\text{нед.п}}) = k_{\text{п}} P_{\text{м}} T_{\text{м}} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 5,12 \cdot 10^3 \cdot 6451 = 132400 \text{ кВт-год.}$$

де $k_{\text{п}} = 4 \cdot 10^{-3}$ – середній час планового простою трансформатора напругою 35кВ [1].

Математичне сподівання збитків від переривання електропостачання

$$\begin{aligned} M(Z_{\text{пер}}) &= Z_{\text{пер.а}} \cdot M(W_{\text{нед.а}}) + Z_{\text{пер.п}} \cdot M(W_{\text{нед.п}}) = \\ &= 23,6 \cdot 14900 + 17,6 \cdot 132400 = 2682000 \text{ грн.} \end{aligned}$$

5.2. Завдання 1

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

1. Порівняти надійність одноколової та двоколової систем електропередачі (див. Приклад 3.1.);
2. Розрахувати збитки від перерв електропостачання у разі застосування однострансформаторної ГТП (див. Приклад 3.2.).

5.2.1. Контрольний приклад

Порядок розрахунку розглянемо на контрольному прикладі.

1. Дані, що відомі на початку розрахунку і задаються користувачем та алгоритм розв'язування: див. Приклад 3.1.
2. Дані, що відомі на початку розрахунку і задаються користувачем та алгоритм розв'язування: див. Приклад 3.2.

5.3. Склад і вимоги до оформлення звіту з виконання роботи

Звіт з виконання роботи має містити:

1. Короткий теоретичний матеріал;
2. Опис програмної реалізації з необхідними поясненнями та скріншотами програмного коду;
3. Результати перевірки на контрольному прикладі;
4. Висновок.

Література

1. Бурбело, М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків : навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 204 с.
2. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С. Д. Волобринский, Г. М. Каялов, П. И. Клейн, Б. С. Мешель. – Л. : Энергия, 1971. – 264 с.
3. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / [под ред. А. А. Федорова]. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – Т.1 – 580 с., 1987. – Т.2 – 591с.

4. Указания по расчету электрических нагрузок (РТМ 36.18.32.4-92). – М. : ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992.