

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Електричні системи і мережі»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Електромеханіка)***

За темою № 10 - Основи оптимізації режимів електроенергетичних систем і мереж

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1.

Розробник:

Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, викладач вищої категорії, Шокарьов Д.А.

Рецензенти:

- 1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю. М.*
- 2. К.т.н., професор, завідувач кафедрою електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Лазуренко О.П.*

План лекції:

1. Поняття надійності та її основні показники.
2. Розрахунок надійності СЕП.
3. Приклади розрахунку надійності в системах електропостачання.
4. Питання для самоконтролю.

Література:

Основна література:

1. Матвійчук А. Я. Електротехніка: навчально-методичний посібник/ Матвійчук А. Я., В. Л. Стінянський; Вінницький державний педагогічний університет ім. М.Коцюбинського. – Вінниця, 2017. -270 с.
2. Мілих В. І. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для здобувач вищої освіти ів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
3. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи / Третє видання, доповнене та перероблене. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 540 с.

Допоміжна література:

1. Шестеренко, В. Є. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування / Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. — Київ, 2015. — 424 с.
2. Електричні системи та мережі. Методичні вказівки до виконання курсового проектування районної електричної мережі для здобувач вищої освіти ів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». /Укл.: А.П. Свірідов, Т.В. Величко – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – 80 с.
3. Козлов В. Д. Електрична частина станцій та підстанцій аеропортів: підручник / В. Д. Козлов, В. П. Захарченко, О. М. Тачиніна; за заг. ред. В. Д. Козлова.– К.: НАУ, 2018. – 312 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. Офіційний сайт Міністерство енергетики України <http://mpe.kmu.gov.ua/>
2. Сервер Верховної Ради України. – Режим доступу : www.rada.gov.ua.

1. Поняття надійності та її основні показники

Надійність електропостачання повинна обов'язково враховуватися при виборі варіантів і структур.

Надійність СЕП визначають як схемні рішення, так і надійність елементів, які входять в систему.

Спочатку розглянемо основні терміни і показники надійності:

Надійність – властивість системи (об’єкта, елемента) виконувати задані функції з встановленими параметрами.

Коли система виконує свої функції, вона називається працездатною.

Порушення працездатності називається відмовою.

Серед кількісних показників надійності відмітимо наступні:

1. Вірогідність безвідмовної роботи $P(t)$;
2. Вірогідність відмови $Q(t)$;
3. Інтенсивність потоку відмов λ ;
4. Параметр потоку відмови ω ;
5. Напрацювання на відмову T_n ;
6. Середній час поновлення T_v (інколи τ)

Оскільки стан елементів системи випадковий, то показник надійності визначається із застосуванням апаратів теорії вірогідності і математичної статистики.

1) Вірогідність безвідмовної роботи характеризує вірогідність, того що за деякий час t роботи до відмови буде час не менше $t \geq T$.

$P(t)$ може бути найдена експериментально із:

$$P(t) = \frac{N_0 - N(t)}{N_0},$$

де: N_0 - число елементів які знаходяться під наглядом (на випробуванні)
 $N(t)$ – число елементів, що відмовили за час t
 $N_0 - N(t)$ число елементів, що не відмовили за час t .

2) Вірогідність відмови - $Q(t) = 1 - P(t)$.

Для більшості елементів СЕП переважають раптові відмови, а вірогідність безмовної роботи розподіляються за експоненціальним законом:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

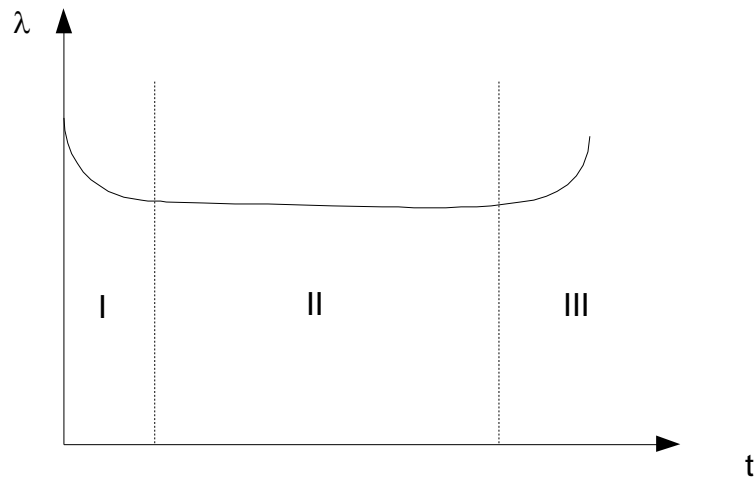
де λ – інтенсивність потоку відмов.

3) Під λ розуміють відношення середнього числа відмов за одиницю часу до кількості спостерігаємих елементів (які випробовуються):

$$\lambda = \frac{N(t) / \Delta t}{N_0} = \frac{N(t)}{\Delta t \cdot N_0}$$

λ є мірою схильності елемента до відмов в залежності від часу $\lambda(t)$.

Залежність $\lambda(t)$ носить назву характеристики життя системи (об’єкта, елемента). Для більшості електричних елементів характеристика життя виражається у вигляді U-образної кривої.



- 1 – зона (ділянка) приробітки,
 2 – зона нормальної роботи ($\lambda(t) = \text{const}$),
 3 – зона зношення і старіння.

4) в практиці інженерних розрахунків застосовують:

$$\lambda \approx \omega$$

ω – інтенсивність потоку відмов для зони 2

5) Напрацювання на відмову $T_H = \frac{1}{\omega}$.

6) Час поновлення $T_B = \frac{N \cdot T_H}{n}$,

де: N – число елементів,
 n – число відмов за час спостереження .

$$T_B = \frac{N \cdot T_H}{n} = \frac{\sum t_{Bi}}{n} ,$$

де: t_{Bi} - час ремонту або оперативного переключення (з урахуванням часу пошуку несправності).

- Розглянуті перед цим показники надійності носять назву одиничних показників надійності, крім них в розрахунках використовують комплексні показники надійності.

Серед комплексних показників розглянемо 2 із них:

1. Коефіцієнт готовності - представляє собою відношення періоду роботи до суми часу роботи і простою:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_P}{T_P + T_{II}} = \frac{T_H}{T_H + T_B} .$$

2. Коефіцієнт примусового (аварійного) простою

$$K_{BP} = 1 - K_{\Gamma} = \frac{T_B}{T_H + T_B} .$$

2 Розрахунок надійності СЕП.

СЕП складається із багатьох елементів і ланок, тому оцінка надійності виконується в залежності від способу з'єднання цих елементів і ланок.

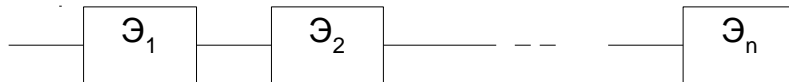
При цьому під способом з'єднання розуміють не електричну схему, а структурно-логічну схему надійності.

Якщо не була складна СЕП, в ній завжди можна виділити області (ділянки) з послідовним або паралельним з'єднанням елементів.

В цьому зв'язку розглянемо методику розрахунку систем з двома простими структурами: послідовної і паралельною.

Розглянемо найпростіші структури надійності.

1. Структура з послідовним з'єднанням елементів.



Ця схема характеризується тим, що при виході з ладу хоч би одного із елементів виходить з ладу вся система.

Вірогідність безвідмовної роботи для такої структури

$$P_C^{(n)}(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (1)$$

$$Q_C^{(n)}(t) = 1 - P_C^{(n)}(t)$$

Оскільки для більшості електротехнічних елементів вірогідність безвідмовної роботи описується експоненціальним законом:

$$P_i(t) = \exp(-t\omega_i) = e^{-t \sum_{i=1}^n \omega_i}, \quad (2)$$

$$P_C^{(n)}(t) = \exp\left(-t \sum_{i=1}^n \omega_i\right). \quad (3)$$

Враховуюючи вираз (1) і (3) можна записати:

$$\omega_C^{(n)} = \sum_{i=1}^n \omega_i, \text{ або } \lambda(t) = \lambda_1(t) + \dots + \lambda_n(t).$$

За середній час поновлення системи із n послідовних елементів приймається так зване середньозважене значення, яке виражається:

$$T_{B.C.}^{(n)} = \omega_C^{-1} \sum_{i=1}^n \omega_i T_{Bi}.$$

Коефіцієнт готовності такої системи

$$K_{GC}^{(n)} = \prod_{i=1}^n K_{Gi}.$$

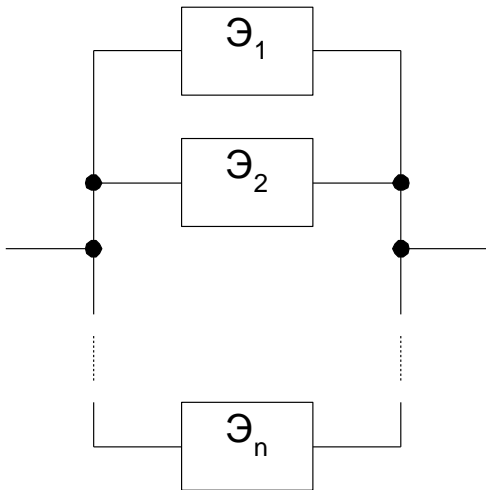
Напрацювання на відмову

$$T_{H.C.}^{(n)} = \frac{1}{\omega_C^{(n)}}.$$

Оцінити надійність (вірогідної безвідмовної роботи для розглядаємої системи) можна наступним чином:

$$P_C^{(n)} = e^{-\omega_C^{(n)} t}.$$

2. Структура з паралельними з'єднанням елементів.



Ця система працює, коли працює хоча б один елемент.

Не зупиняючись на висновках, запишемо основні відношення для оцінки параметрів надійності такої системи.

Вірогідність безвідмовної роботи:

$$P_c^{(m)}(t) = 1 - \prod_{i=1}^m Q_i(t).$$

Для структури, складеної із m паралельно з'єднаних елементів, інтенсивність відмови системи представляє собою добуток:

$$\omega_c^m = \left(\prod_{i=1}^m \omega_i \cdot T_{Bi} \right) \left(\sum_{i=1}^m T_{BCi}^{-1} \right),$$

Ця формула використовується, якщо ω заданий в (ч^{-1}) .

Час відновлення

$$T_{B.C.}^{(m)} = \left(\sum_{i=1}^m T_{BCi}^{-1} \right)$$

Коефіцієнти готовності

$$K_{ГС}^{(m)} = 1 - K_{a.n.c.}^{(m)},$$

$$K_{a.n.c.}^{(m)} = \prod_{i=1}^m K_{ani}.$$

У випадку довільної структурної логічної схеми (при комбінованому з'єднанні елементів) здійснюється перетворення (еквівалентування) вихідних схем до простіших, для яких відомі розрахункові формули надійності.

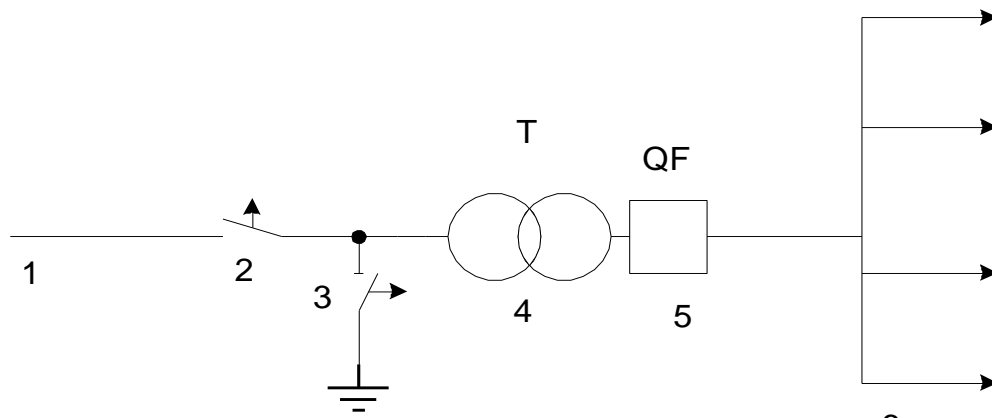
3 Приклади розрахунку надійності в системах електропостачання.

Розглянемо приклади розрахунку надійності в системах електропостачання (СЕП):

Маємо схему ділянки електричної мережі, яка складається з:

- 1 – ВЛ 110кВ
- 2 – ОД відділювач
- 3 – КЗ короткозамикач
- 4 – Т трансформатор
- 5 – QF вимикач
- 6 – СШ секція шин

а) схема однолінійна:



б) структурно-логічна схема:



N	Назви	ω	Tв,ч
1	ВЛ 110кВ	0,07	5
2	ОД(QS)110кВ	0,017	29,4
3	КЗ(QK)110кВ	0,013	28
4	Трансформатор 110/6кВ	0,0046	56,5
5	Вимикач 6кВ(QF)	0,006	15
6	Секція шин (СШ) 6кВ	0,028	2

При переведенні річного фонду часу в години використовується коефіцієнт 8760.

В зв'язку з вказаними у формулі $\omega_c^{(m)} = (*)$, а якщо $\omega_c^{(m)}$ в (год⁻¹), то її треба помножити на $(8760)^{(1-m)}$.

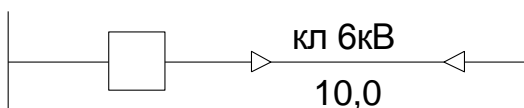
Відмова РУ мрже відбутися в наступних випадках:

1. Відмова шин РУ $\omega_{ш} = \omega_{ш}^0 N_{пр}$ (приєднань)

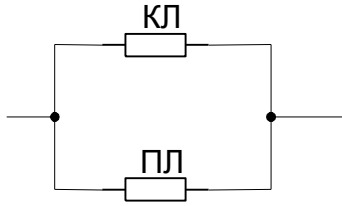
$\omega_{ш}^0$ - питома інтенсивність відмови на одне приєднання

1. Відмова вимикача або РЗА (релейний захист і автоматика) приєднання.

Приклад: Визначити показники надійності схеми для живлення навантаження по КЛ або ВЛ.



Надійністю вимикачів і РУ знехтувати.



Приклад 1: (послідовне з'єднання елементів).

Розраховувати надійність батареї із 10 конденсаторів, вважаючи, що при пробі одного із них, батарея виходить із ладу, тобто спостерігається відмова. Інтенсивність відмови для конденсаторів $\lambda = 0,01$ 1/год; інтенсивність відмови батарей:

$$\lambda_{\sigma} = \sum_{i=1}^{10} 0,01 = 0,1.$$

Вірогідність безвідмовної роботи протягом року:

$$P_{\sigma}(1) = e^{-0,1} = 0,9048.$$

Вірогідність відмови:

$$Q_{\sigma}(1) = 1 - e^{-0,1} = 0,0952.$$

Розглянемо тепер батарею в комплекті з плавким запобіжником ($\lambda_{\text{ПЛ}} = 0,24$).

Інтенсивність відмови комплекту:

$$\lambda_K = \lambda_{\sigma} + \lambda_{\text{ПЛ}} = 0,1 + 0,024 = 0,124,$$

звідки:

$$P_K(t) = e^{-0,124} = 0,882;$$

$$Q_K(t) = 1 - e^{-0,124} = 0,118.$$

Приклад 2: (паралельне з'єднання елементів)

Схема містить два однакових елемента, що працюють паралельно, кожний з параметром потоку відмов $\omega = 0,0005$ 1/год.

Вірогідність безвідмовної роботи кожного елемента для 200 часової роботи дорівнює:

$$P(t) = e^{-0,0005 \cdot 200} = 0,90484.$$

Знайдемо, наскільки підвищиться надійність при паралельному постійному приєднанні другого такого ж елемента.

Вірогідність відмови:

$$Q_{\Sigma}(t) = Q^2(t) = (1 - 0,90484)^2 = 0,000862,$$

тоді вірогідність того, що відмовить не більше ніж один елемент:

$$P(t) = 1 - 0,000862 = 0,999138,$$

тобто надійність підвищилася з 90% до 99,9%.

Середнє напрацювання на відмову групи із двох паралельних елементів:

$$T_{cp.n} = \frac{3}{2\omega} = \frac{3}{2 \cdot 0,0005} = 3000ч ,$$

в той час як для кожного із них:

$$T_{cp.n} = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{0,0005} = 2000ч .$$

4 Питання для самоконтролю

1. Поняття надійності та її основні показники.
2. Розрахунок надійності СЕП.
3. Приклади розрахунку надійності в системах електропостачання.