

Міністерство освіти України
Криворізький технічний університет
Кафедра електропостачання та ресурсозбереження

«Надійність і діагностика СЕП»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Методичні вказівки для студентів спеціальності 7.090603
«Електротехнічні системи електроспоживання»

Укладач: ст. викладач кафедри ЕПР Пархоменко Р. О

Затверджено на засіданні
кафедри Електропостачання та
ресурсозбереження.

Протокол №__ від_____

Кривий Ріг
2009

УДК 621.311.1(074)

Методичні вказівки (конспект лекцій) по дисципліні «Надійність і діагностика систем електропостачання» (для студентів спеціальності 7.090603) / Уклад.: Р.О.Пархоменко. – Кривий Ріг : КТУ , 2008.

Містить лекції з теоретичними відомостями по дисципліні «Надійність і діагностика систем електропостачання»

Укладач : Р.О. Пархоменко

Рецензент: доцент, к. т. н. Е.С. Гузов

ЗМІСТ

1	ЛЕКЦІЯ № 1. ВВЕДЕННЯ.	3
2.	ЛЕКЦІЯ № 2. МОДЕЛІ ВІДМОВ СИСТЕМИ.	10
3.	ЛЕКЦІЯ № 3. ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА.....	15
4.	ЛЕКЦІЯ № 4. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИСОКОЮ НАПРУГОЮ.	30
13.	СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.	41

ЛЕКЦІЯ № 1. ВВЕДЕННЯ

Актуальність : ознайомлення з задачею вивчення курсу та засвоєння основних понять і визначень.

План :

- 1. Вступ.*
- 2. Основні поняття і визначення.*
- 3. Показники і характеристики надійності ел. пристроїв і систем.*
- 4. Комплексні параметри надійності.*
- 5. Питання для самоконтролю.*

Вступ.

Надійність (Н) СЕП – одна з актуальних проблем електроенергетики, тому підвищення надійності найбільш актуальне завдання. Надійність сучасних систем виробництва і розподілу ел. енергії значною мірою визначається надійністю ел. устаткування. Аварійні пошкодження, які супроводжуються пошкодженнями устаткування, приводять до порушення ел. постачання і значного економічного збитку. Ступінь необхідної надійності обумовлюється ремонтною придатністю ел. устаткування і мереж, категорією надійності ел. приладів і економічним збитком при порушенні ел. постачання. В той же час надійність СЕП визначається надійністю устаткування, схемо-конструктивними рішеннями, а також проведенням технічного огляду і ремонту. Проблема надійності в техніці викликала до життя такі напрями, як теорія надійності, фізика відмов, теорія міцності, технічна діагностика та ін.

Надійність СЕП.

Основні поняття і визначення.

Надійність – властивість об'єктів зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність правильно виконувати необхідні функції в заданому режимі і умові експлуатації, технічному огляді і ремонті, зберіганні і транспортуванні. Така властивість об'єкту – працездатність. Відмова – порушення працездатності.

Кажучи про об'єкти, можна мати на увазі конкретні об'єкти (ЛЕП), безліч конкретних об'єктів (АВ серії А), певний клас об'єктів, що відповідають заданій структурі і складу ел. пристроїв (П/с 110/35). Структура і взаємодія ел. пристроїв об'єкту визначають модель його надійності. У моделях надійності широко застосовуються поняття „елемент” і „система”.

Об'єкт, надійність якого розглядається незалежно від надійності його частин, а тільки залежно від його функціональної ролі і місця в системі – **елемент**.

Сукупність взаємозв'язаних елементів, які використовуються для виконання певного кола завдань, що мають єдине кероване функціонування – **система**.

Надійність СЕП – комплексна властивість, що включає безвідмовність, довговічність, ремонтну придатність, можливість збереження, стійкість, можливість управління режимами, живучість.

Безвідмовність – властивість об'єкту безперервна зберігати працездатність протягом шуканого часу.

Працездатність – стан об'єкту, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідає вимогам нормативно-технічної документації (НТД).

Довговічність – властивість об'єкту зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного огляду і ремонту. Граничний стан – такий стан, при якому його подальше використання недоцільне (неприпустимо).

Ремонтна придатність – властивість об'єкту, що полягає у пристосованості до попередження і виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень і підтримці і, відновленню працездатності шляхом технічного огляду і ремонту.

Відмова працездатності – подія, що полягає у переході об'єкту з одного рівня працездатності на інший, нижчий.

Відмова функціонування – подія, поміщена в переході з одного рівня функціонування на інший, нижчий.

Відмови поділяються на:

- конструктивні;
- технологічні;
- експлуатаційні;
- спричинені зношеністю об'єкта .

Відмови бувають:

- повна непрацездатність;
- часткова працездатність.

Непрацездатний стан – стан об'єктів, при яких вони нездатні виконувати всі задані функції.

У **робочому стані** об'єкт виконує задані функції.

Неробочий стан:

- попереджувальний ремонт;
- аварійний ремонт;
- залежний простій.

Робочий стан об'єкту включає два режими(1 та 2):

- 1- нормальний (забезпечується значення заданих параметрів режиму роботи і резервування у встановлених межах);
- 2- ремонтний (частина елементів об'єкту знаходиться в стані попереджувально-го ремонту /аварійного/);
- 3- аварійний (з моменту виникнення відмов елементів до моменту локалізації відмов);

4- після аварійний (перевірка; з моменту локалізації відмови до встановлення заданого режиму).

Можливість зберігання – властивість об'єкту зберігати значення безвідмовності, довговічності, ремонтної придатності під час зберігання і транспортування.

Стійкість – властивість об'єкту зберігати стійкість протягом деякого інтервалу часу.

Живучість – властивість системи протистояти значним збуренням режимів, не допускаючи їх ланцюгового розвитку і частого відключення. Зазвичай живучість забезпечується роботою РЗА.

Причина відмови устаткування і мереж – пошкодження і несправності.

Пошкодження в ел. енергетиці – руйнування ел. устаткування, поломка деталей, порушення цілісності ел. частин, порушення ізоляції.

Несправність в ел. енергетиці – розладнання механізмів без руйнування і псування.

Пошкодження і несправності можуть виникнути через дефектне устаткування, тобто через невідповідність його встановленим вимогам при випуску із заводу виробника (брак), через аварійні (нерозраховані) дії навколишнього середовища, по причині неправильного транспортування, наладки, техогляду і ремонту.

Відмова ел. енергетичних пристроїв у виконанні заданої функції (відмова функціонування) настає при відмові устаткування, відмові суміжних (вузлів) установок, відмові напівавтоматики, а також при нерозрахованих зовнішніх діях.

Рівень розладу при аваріях і порушеннях – **глибина**.

Показники і характеристики надійності

ел. пристроїв і систем.

Оскільки стан об'єкту (елементу системи) має випадковий характер, то для визначення показників надійності ел. апаратів застосовують математичну статистику.

Розрізняють одиночні і комплексні показники надійності. Їх значення як правило отримують за допомогою збору і обробки статистичної інформації надійності.

Одиночні показники надійності (індивідуальні, одиничні):

1. Вірогідність безвідмовної роботи $P(t)$ за розрахунковий час t . $P(t)$ – вірогідність того, що час роботи буде більше деякого часу T , тобто $P(t \geq T)$, $P(t=0)=1 \dots P(t=\infty)=0$.

На основі статистичних даних про відмови:

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

де: N – число елементів що знаходяться у випробуванні;

$n(t)$ – число елементів, що відмовили, за час t ;
 $N - n(t)$ – число тих, що залишилися в роботі.

З метою подальшого розуміння суті показників надійності розглянемо імовірнісні моделі відмов і надійності устаткування.

Математичний опис процесу виникнення відмов – модель відмов. Елементи, що відмовили, у більшості випадків відновлюються. Процес відновлення і профілактики устаткування не виключає повністю виникнення відмов ел. пристроїв, але в значній мірі зменшує їх вірогідність, тобто збільшує надійність.

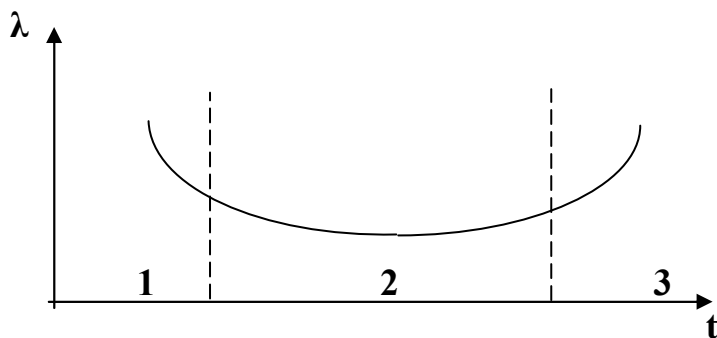
Математичний опис цих процесів – модель надійності.

Моделі відмов і моделі надійності використовуються для розрахунку показників надійності.

2. Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ – міра схильності елементів до відмов залежно від часу t .

$\lambda(t)$ – середнє число відмов в одиницю часу t .

Графік зміни інтенсивності відмов в перебігу експлуатації для більшості елементів СЕП має вигляд:



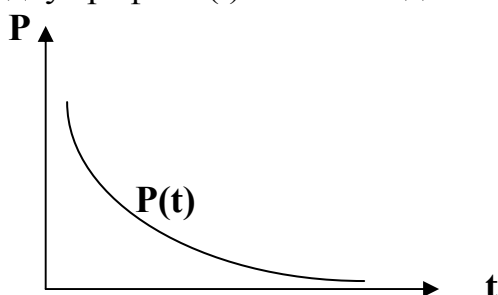
Графік $\lambda(t)$, U-образний – характеристика життя. На ньому весь інтервал робочого часу можна розбити на 3 періоди:

1 – $\lambda(t)$ має підвищене значення. Завжди є вироби з прихованим дефектом, які виходять з ладу автоматично. З цієї причини, перший інтервал - це період прироблення або період виживання дефектних виробів.

2 – період нормальної роботи. Характеризується постійним або приблизно-постійним значенням $\lambda(t)$.

3 – період старіння зносу елементів, деталей, вузлів.

Для більшості елементів СЕП, у яких переважають раптові відмови, безперервною математичною моделлю є експоненціальний розподіл. В цьому випадку графік $P(t)$ має вигляд:



При такому розподілі можна прийняти $\lambda(t) = \lambda$, тоді $P(t) = e^{-\lambda t}$, де t – проміжок часу, для якого визначається $P(t)$.

У разі, коли час відлічується дискретними одиницями, раптові відмови описуються моделлю геометричного розподілу. $P(t)$ в цьому випадку:

$$P(t) = e^{-px},$$

x – число комутацій.

Значення $\lambda(t)$ можуть бути визначені на підставі статистичних даних:

$$\lambda(t) = \frac{n(t, \Delta t)}{N(t) * \Delta t}$$

$n(t, \Delta t)$ – число елементів, що відмовили протягом часу, $t_{\text{набл.}} = t + \Delta t$;

$N(t)$ – число елементів справних у момент t ;

Δt – інтервал часу спостереження.

3. В розрахунок найбільших відмов вводять показник надійності, як параметр потоку відмов.

$w(t)$ – середнє число відмов елементу, що ремонтується, яке припадає на одиницю устаткування в одиницю часу, узятото для даного моменту часу:

$$w(t) = \frac{\sum m_i(t+\Delta t) - \sum m_i(t)}{N\Delta t}$$

N – число елементів;

$m_i(t+\Delta t)$, $m_i(t)$ – число відмов i -елемента за станом на даний момент часу ($\Delta t \ll t$).

Для II періоду кривої життя елементу можна прийняти $w(t) \approx w$.

Інтенсивність відмов λ фізично для II періоду життя кривої – практично співпадає з w , тобто $\lambda \approx w$. Тому в розрахунках використовують або λ , або w .

4. Напрацювання на відмову – середній час безвідмовної роботи між сусідніми відмовами. Напрацювання на відмову для різних періодів часу може бути знайдене як:

$$T_n = \frac{\sum T_{ni}}{n}$$

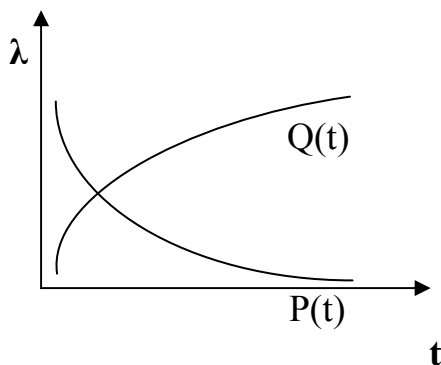
n – число відмов.

Середнє значення за даний період часу T може бути знайдене: $T_n = w^{-1}$.

5. Імовірність відмов:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$Q(t \rightarrow 0) \approx 0; Q(t \rightarrow \infty) \approx 1$$



6. Середній час відновлення елементу – середній час відновлення працездатного стану; визначається тривалістю відновлення і усунення однієї відмови.

Значення цього параметра знаходять експериментально на підставі статистики:

$$T_B = \frac{\sum T_{Bi}}{n}$$

Перерви в СЕП можуть відбуватися в результаті аварійних (вимушених) і планових відключень. Тому параметри надійності приводяться відповідно для вказаних видів перерв.

Комплексні параметри надійності.

1) **Коефіцієнт готовності** визначається імовірністю знаходження об'єкту у будь-який момент в стані працездатності:

$$K_G = \frac{T_p}{T_n + T_p} = \frac{T_n}{T_B + T_n}$$

2) **Коефіцієнт простою** визначається тією ж вірогідністю, тільки в стані непрацездатності:

$$K_{II} = \frac{T_n}{T_n + T_p} = \frac{T_B}{T_B + T_n}$$

Очевидне співвідношення вказаних коефіцієнтів $K_G + K_{II} = 1$.

Дані про параметри надійності різних елементів СЕП приведені в довідниках по проектуванню електропостачання (Блок; Тесленко; Гук).

Висновки: В результаті засвоєння матеріалу студенти повинні мати уяву про задачу вивчення курсу та засвоїти основні поняття і визначення.

Питання для самоконтролю.

1. Що таке надійність в техніці? Дайте визначення поняття надійність.
2. Що таке надійність СЕП та які властивості входять в це визначення?
3. Дайте визначення основним показникам надійності.
4. Що таке комплексні параметри надійності?

ЛЕКЦІЯ № 2. МОДЕЛІ ВІДМОВ СИСТЕМИ.

Актуальність : вивчення визначень та ознайомлення з моделями відмов системи.

План :

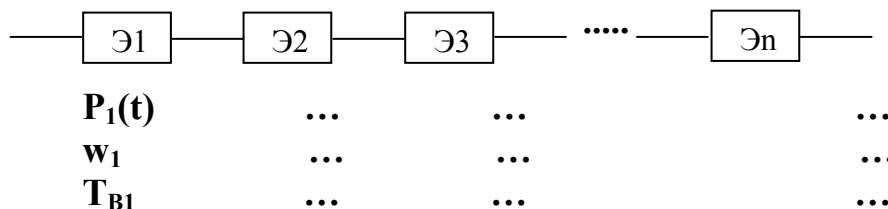
1. *Моделі відмов системи.*
2. *Моделі надійності ел. пристроїв з відновленням.*
3. *Моделі надійності ел. пристроїв (установок) з відновленням і профілактикою.*
4. *Аналітичний метод розрахунку надійності ел. постачання.*
5. *Питання для самоконтролю.*

Моделі відмов системи.

Будь-які технічні системи складаються з ряду елементів, частина з яких взаємозамінні, а частина не може резервувати один одного.

Наскільки б складною не була система, вона може бути представлена підсистемами, які представляють комбіноване з'єднання елементів (послідовне і паралельне). По значеннях показників надійності можна визначити надійність системи.

1. Простою системою, з точки зору теорії надійності, є такий комплект, при якому відмова одного елементу викликає відмову всієї системи, але при цьому не змінює надійність інших елементів. Таку структуру називають **системою з послідовним з'єднанням елементів**:



Імовірність $P(t)$ структури визначається як $P(t)$ всіх елементів у момент часу t .

Виразимо значення $P_i(t)$ з урахуванням експоненціального розподілу:

$$P_c(t) = \prod P_i(t) \quad (1)$$

$$P_c(t) = \exp(-t \sum w) \quad (2)$$

З (1) і (2) отримуємо фундаментальну властивість послідовної системи:
 $w_c = \sum w_i$

Середній час відновлення такої системи:

$$T_{BC} = \frac{\sum T_{Bi} * w_i}{\sum w_i}$$

Це середньозважена величина.

Коефіцієнт планового простою $K_{пл} * n_c$:

$$K_{пл} * n_c = 1,2K_{пi}$$

$$K_{пi} = \frac{\lambda_{плi} * T_{Bi}}{8760}$$

$$K_{гс} = \prod K_{гi}$$

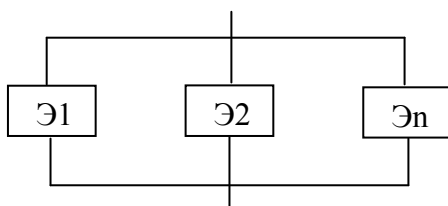
$$K_{апс} = \frac{\sum W_{ai} * T_{Bi}}{8760}$$

Тоді коефіцієнт $K_{Г}$ з умовою аварійності і планових простоїв:

$$K_{Г} = \frac{1 - (K_a * K_n)}{1 - K_n}$$

Структурою з послідовних з'єднань елементів – це послідовне з'єднання апаратів, TV, ЛЕП, а також схеми, що містять і комплекти реле, VS, VT. Структурою з послідовних елементів можна також моделювати надійність схеми з паралельним з'єднанням конденсаторів (ДБск), якщо вони не мають індивідуальних функцій, а також схем з паралельним з'єднанням відокремлювачів, вимикачів ланцюгів, що відходять від збірних шин.

2. Структура з паралельним з'єднання елементів моделюється паралельним з'єднанням ЛЕП, ТН, КБ з індивідуальними функціями, паралельної роботи декількох агрегатів (генераторів, насосів). Вид такої структури:



Для такої системи параметри надійності визначаються:

$$w_{с11} = \frac{\prod T_{Bi} * w_i}{\sum T_{Bi}}$$

$$w_{с11} = \frac{\prod (T_{Bi} * w_i)}{\sum T_{Bi}} * 8760^{1-n}$$

$$T_{BC11} = (\sum T_{Bi}^{-1})^{-1}$$

У окремому випадку для структури, що складається з двох паралельних з'єднань елементів в 1 і 2 параметри надійності системи будуть такими:

$$w_C \equiv w_1 * w_2 (T_{B1} * T_{B2}) \text{ чи } w_C \equiv w_1 * w_2 (T_{B1} * T_{B2}) * 8760^{-1}$$

$$T_{BC} \equiv \frac{T_{B1} * T_{B2}}{T_{B1} + T_{B2}}$$

Система, що складається з паралельних елементів в кожний момент часу може знаходитися в стані, що визначається числом працюючих і непрацюючих в даний момент часу елементів. У окремому випадку система з двох паралельних елементів в даний момент часу може знаходитися в чотирьох станах:

- 1 – обидва працюють;
- 2 – один у відмові, другий працює;
- 3 – перший працює, другий у відмові;
- 4 – обидва не працюють.

Вірогідність системи з двох елементів знаходиться:

$$P_1 P_2 + Q_1 P_2 + P_1 Q_2 + Q_1 Q_2 = 1$$

Система з паралельним з'єднанням елементів є резервованою системою, тобто відмову одну, декількох елементів не викличе відмова системи.

За способом резервованих елементів розрізняють:

- постійне резервування (у роботі – всі елементи системи). При цьому резервні елементи функціонують в тих же робочих умовах, що і решта.
- резервування заміщенням.

Резервування заміщенням – такий резерв коли резервні елементи вмикаються тільки після автоматичного вимикання елементів, що відмовили, тобто функціонування працюючих елементів передаються резервним тільки після відмови.

3. Структура зі змішаним з'єднанням елементів (поєднання послідовного і паралельного з'єднання). Визначення надійності еквівалентуванням елементів по формулах паралельного і послідовного з'єднання.

Моделі надійності ел. пристроїв з відновленням.

У система без резервування один елемент ел. пристрою (установки) може знаходитися в двох станах (робоче і неробоче). За відсутності резервування з відновленням підвищується надійність тільки відносно підвищення Кг. В цьому випадку $P(t)$ – без зміни.

У системах з одноразовим резервуванням (дублювання) виконується включення в паралельне з'єднання двох елементів. При відмові одного з них система залишається працездатною. Елемент, що відмовив, відновлюватиметься. Якщо за час його відновлення інший не відмовляє, то небезпечний режим проходить (безпечно).

Моделі надійності ел. пристроїв (установок) з відновленням і профілактикою.

Щоб по можливості віддалити момент відмови устаткування воно піддається профілактиці. Ел. пристрої з відновленням і профілактикою, що складаються з одного елемента у будь-який момент часу можуть знаходитися в одному з трьох станів:

1. працездатний;
2. аварійний простій відновлення;
3. плановий простій на профілактичне обслуговування.

Ел. пристрої з двох паралельних однакових елементів з відновленням і профілактикою можуть знаходитися в одному з п'яти станів:

1. обидва в роботі;
2. перший в аварійному стані, другий працює;
3. перший в профілактиці, другий працює;
4. один в профілактиці, другий – у аварійному стані;
5. обидва в аварії.

Аналітичний метод розрахунку надійності ел. постачання

При розгляді і порівнянні варіантів ел. постачання проводиться комплексна оцінка надійності. При цьому кожна лінія або приєднання розглядається в трьох станах:

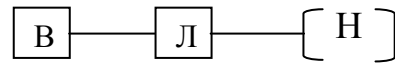
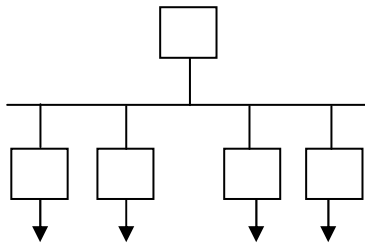
1. робочий;
2. відмова;
3. плановий ремонт.

При паралельному включенні в плановий ремонт може виводитися тільки одна ЛЕП (приєднання).

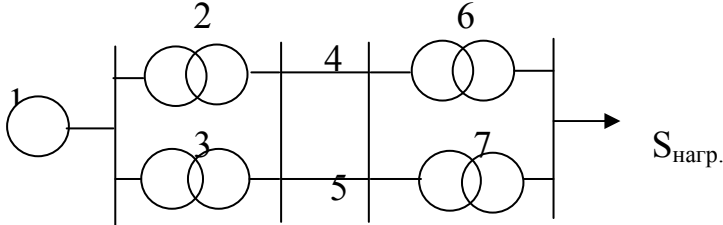
Оцінка надійності ведеться на підставі статистики, даних про параметри відмов елементів.

Перед розрахунком параметрів надійності СЕП на підставі схеми з'єднань заздалегідь складають структурно-логічну схему надійності системи, яка являє собою склад її елементів, їх зв'язки і взаємодії. Зв'язки між елементами схеми ел. постачання представляють у вигляді послідовного, паралельного, комбінованого з'єднань елементів. При цьому аналізується вираз для розрахунку надійності приведений для простих послідовних і паралельних структур: у випадку змішаних схем проводять поетапний еквівалентний розрахунок схеми у відомій структурі. При цьому слід мати на увазі, що паралельні, послідовні з'єднання в сенсі надійності можуть не співпадати зі схемами з'єднання в ел. схемах.

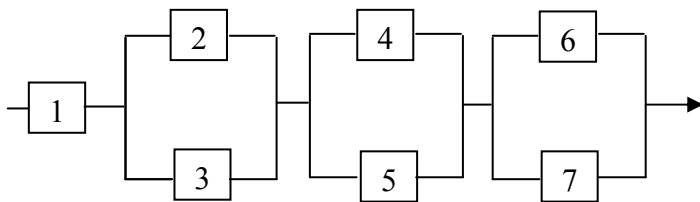
Є секція шин і від неї відходить n-приєднань. Розглянемо схему електропостачання у вигляді структурної логічної схеми надійності і застосування еквівалентного перетворення:



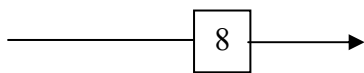
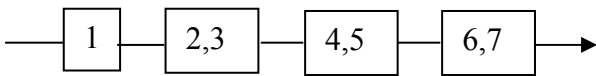
Розглянемо для початку схему електропостачання:



Будуємо структурну схему:



Перетворимо схему, використовуючи еквівалентні перетворення паралельних, а потім послідовних елементів:



Висновки: В результаті засвоєння матеріалу студенти повинні мати уяву про моделі відмов системи та аналітичний метод розрахунку надійності.

Питання для самоконтролю.

1. Що являє собою система з послідовним з'єднанням елементів, та як розраховуються для неї показники надійності?
2. Що являє собою система з паралельним з'єднанням елементів, та яким чином розраховуються для неї показники надійності?
3. Що являє собою система з комбінованим з'єднанням елементів, та як розраховуються для неї показники надійності?
4. Що таке модель надійності ел. пристроїв з відновленням?
5. Що таке модель надійності ел. пристроїв з відновленням і профілактикою?
6. В чому полягає аналітичний метод розрахунку надійності?

ЛЕКЦІЯ № 3. ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА.

Актуальність : ознайомлення з терміном « технічна діагностика», зі стратегіями технічної діагностики, її видами та системами і т.д.

План :

- 1. Надійність і технічне обслуговування устаткування.**
- 2. Технічна діагностика. Принципи побудови.**
- 3. Види і системи діагностики.**
- 4. Вірогідність діагностики.**
- 5. Пошук несправностей при діагностиці ел. обладнання.**
- 6. Прогнозування технічного стану ел. обладнання.**
- 7. Питання для самоконтролю.**

Надійність і технічне обслуговування устаткування

Надійність устаткування визначається його конструкцією. Але в процесі експлуатації у зв'язку зі старінням і зносом надійність устаткування знижується, тобто в ході експлуатації устаткування треба проводити роботу по підтримці необхідного технічного стану.

Розрізняють декілька видів тех. стану об'єкту:

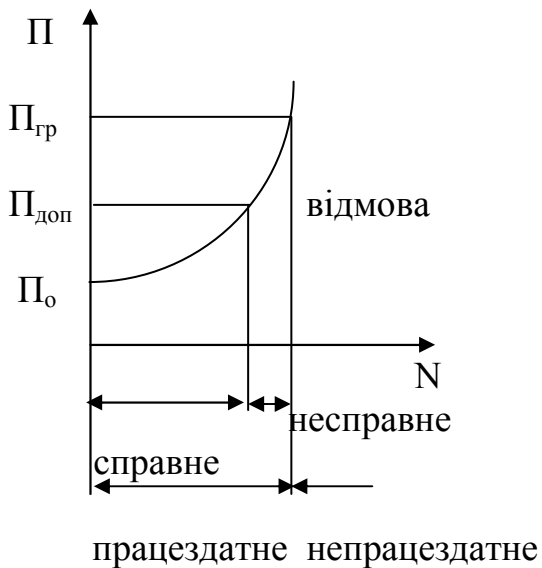
- справність(об'єкт повністю відповідає всім технічним вимогам);
- несправність(стан об'єкту при якому він не відповідає хоч би одній вимозі НТД);
- працездатність(стан об'єкту, коли технічним вимогам відповідають лише властивості, що характеризують здатність виконання заданих функцій);
- непрацездатність (об'єкт за наявності дефекту);
- правильне функціонування;
- неправильне функціонування.

Дефект – невідповідність механічним, реальним і дійсним властивостям.

Якщо об'єкт непрацездатний, то можливі два стани:

- можливість переходу у працездатний стан – пошкодження;
- перехід в непрацездатний стан – відмова.

Справний і несправний стан ел. устаткування є працездатними. Одним з основних заходів визначення справності, тобто здатності виконання заданих функцій, є встановлення граничних значень параметрів, що характеризують їх працездатність. При виході параметрів за граничне значення, об'єкт вважається таким, що відмовив (розглядається зміна тех. стану елемента, об'єкту, системи).



P – параметр;

$P_{гр}$ – граничне значення, відповідно;

$P_{доп}$ – допустиме значення, відповідно справності;

N – стан відмови.

В умовах експлуатації необхідно забезпечити мінімальний працездатний стан. Це покладається на систему технічного огляду і ремонту.

Система технічних оглядів і ремонтів ел. устаткування і мереж – комплекс цілеспрямованих робіт, що складаються з (виробничого технічного обслуговування) ВТО, міжремонтного профілактичного обслуговування і планово-запобіжного ремонту устаткування для заданих умов експлуатації з метою підтримки технічних і експлуатаційних характеристик ел. устаткування в допустимих межах.

Основне завдання технічного огляду – стежити за станом устаткування і підтримувати справність (працездатність). Завдання ремонту – відновлення справності (працездатності).

Мета технічного огляду і ремонту:

$$P(t) \rightarrow \max \quad w(t) \rightarrow \min$$

$$K_r \rightarrow \max \quad Z_{ТОіР} \rightarrow \min$$

Для будь-яких технічних систем, що знаходяться в експлуатації, повинні бути розроблені правила технічного обслуговування і ремонту. Від стратегій ТО і Р значно залежить надійність і тривалість технічного обслуговування і ремонту ел. устаткування і мереж.

Є багато різних стратегій ТО і Р. Серед них можна виділити:

1. **стратегія „not”** (наукова організація праці) (ТО устаткування призначається і проводиться періодично через визначений, заздалегідь встановлений, час. Момент проведення роботи ТО суворо регламентований і не залежить від числа позапланових ремонтів в період міжпланових ремонтів. Календарний час розраховується шляхом оптимізації споживачів статистикою, економічно-математичним моделюванням ТО).

2. по напрацюванню (ТО призначається по досягненню устаткуванням встановленого напрацювання. Напрацювання указується в годинах, циклах, кілометрах.) Системи ТОіР, засновані на виконанні робіт через заздалегідь встановлені інтервали часу. Напрацювання незалежно від технічного стану об'єкту забезпечує слабку взаємодію між зміною технічного стану об'єкту і терміном проведення ТОіР. Недоліки таких стратегій: великий час ТОіР, оскільки багато робіт є регламентними (розбір). Крім того існує недолік таких стратегій - встановлені значення міжремонтних періодів застосовуються до кожної одиниці конкретного ел. устаткування. Розглянуті стратегії ТО і Р, які передбачають проведення ремонту через усереднені періоди без точного визначення технічного стану є неефективними. Тому треба орієнтуватися на використання сучасніших стратегій, які забезпечують зменшення витрат ТО і Р при одночасному підвищенні надійності роботи ел. Устаткування.

3. по параметру (технічному стану) – прогрес найбільшої ефективності, при якій об'єм і зміст ТО і Р призначається відповідно до фактичного стану. Експлуатаційний контроль припускає, що мається спостережуваний параметр об'єкту, який прогнозує його відмову. Тому створення такої системи контролю можливе лише у разі, коли для кожного виду устаткування будуть виділені прогнозуючі параметри, визначені межі їх допустимого значення і розроблені методи їх параметрів. Суть стратегії – ремонтна тривала експлуатація (ремонт застосовується дискретно), яка визначає працездатність елемента (об'єкту). Використання системи ТО і Р можливо на основі використанні методів, їх порівняння, діагностування.

У типовому положенні про ТО і Р ел. устаткування перед підприємствами поставлено завдання по попередженню і зниженню відмов ел. устаткування. Для визначення оптимальних термінів ремонту ел. устаткування необхідно розробляти і упроваджувати методи і засоби числення для контролю за його технічним станом. З цією метою на підприємствах повинні бути забезпечені такі організаційні заходи:

- а) обробка режиму експлуатації з метою аналізу причин і характеру пошкоджень ел. устаткування;
- б) підготовка і розробка програм технічної діагностики;
- в) встановлення послідовності(діагностичні методи для різних ел. устаткувань);
- г) визначення можливостей наявних стандартів (необхідності розробки спеціальних контрольних-вимірювальних приладів для створення цифрових комплексів для кожного виду ел. устаткування.

Технічна діагностика. Принципи побудови.

Суть і завдання діагностичного устаткування.

Предмет технічної діагностики (ТД) включає дослідження технічного стану устаткування, вивчення ознак різного технічного стану, розробку методів їх визначення, а також принципів побудови і використання систем діагностування. Основна мета діагностування: визначити технічний стан об'єкту, своєчасно ви-

явити і виключити дефекти, тобто визначити їх наявність, характер і місцеположення.

Алгоритм діагностування – сукупність методів виконуваних з певною послідовністю для вирішення конкретних діагностичних завдань. По суті, за допомогою алгоритму визначається об'єм випробування об'єкту.

Програма діагностування – певна послідовність заходів щодо встановлення фактичного стану об'єкту і характеру його змін.

Система діагностування – певна організація взаємодії об'єкту і засобів діагностування.

Діагностуюча модель – аналогове (графоаналітичне) представлення основних властивостей технічних об'єктів. Діагностичні моделі мають відмінності для безперервних і дискретних об'єктів.

Для безперервних об'єктів на початку діагностування моделі використовують діагностичний пристрій і алгебру логіки.

Для дискретних об'єктів на початку діагностування моделі використовують теорію автоматів.

Значення діагностичних параметрів, визначених при контролі характеристик технічного стану об'єкту в даний момент часу (технічна оцінка).

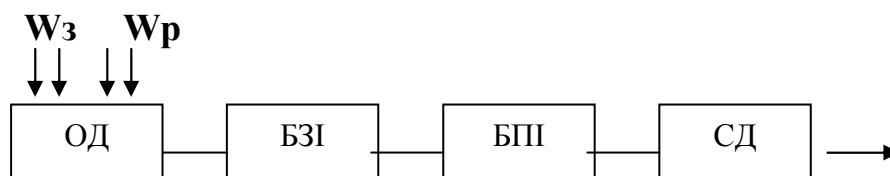
Браковочним критерієм є сукупність значень параметрів і інших ознак, достатніх для оцінки технічного стану і віднесення до діагностики, мають певний ефект.

У простому випадку, коли значення параметра однозначно пов'язане зі станом об'єкту, діагностування зводиться до порівняння вимірювань із встановленим граничним значенням, до браковочних нормативів.

ТД вивчає технічний стан різних об'єктів та розробляє методи їх визначення, а також принципи побудови та організацію використання систем діагностування.

Система діагностування – сукупність об'єктів діагностування, а також сукупність методів та засобів діагностування. Головна ціль ТД, тобто визначення технічного стану об'єкта з певною точністю, забезпечення найбільш економічної експлуатації обладнання при заданому рівні надійності та мінімізації витрат (тех. ремонту, часу, грошей) на проведення ТО і Р об'єкту. Технічний стан ел. обладнання змінюється в процесі експлуатації та залежить від режимів роботи та зовнішнього впливу. У зв'язку з цим параметри роботи, які характеризують стан об'єкту, є змінними величинами.

Узагальнену схему діагностування обладнання можна представити наступною структурою:



Wз- зовнішній вплив

Wр- робочий вплив

ОД- об'єкт діагностики

БЗІ- блок об'єму (блок збору інформації)

БПІ- блок прийому (блок переробки інформації)

СД- система діагностування

З ОД через БЗІ на БПІ надходять сигнали, які характеризують стан об'єкту. Аналіз змін цих ознак та параметрів здійснюється в СД, яка видає результат діагностики, тобто оцінки фактичного стану об'єкта.

Види і системи діагностики.

Система перевірки технічного стану об'єкту поділяється на 4 етапи:

1. дослідження об'єкту ; ТО і Р.
2. побудова алгоритму перевірки
3. розробка способів та засобів діагностики
4. дослідження властивостей та характеристик систем взагалі

В залежності від функціональних (конструктивних) особливостей ел. обладнання, способу впливу на об'єкт для визначення його тех. стану використовують 3 види діагностики :

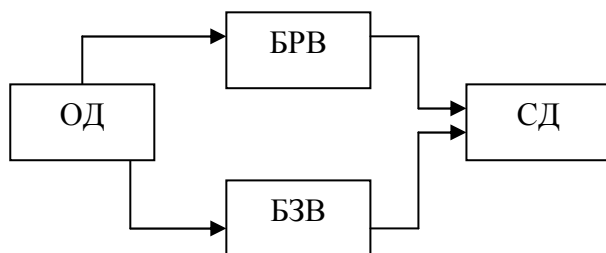
а) функціональна (ФТД)

б) тестова (ТТД)

в) комбінована (КТД)

ФТД здійснюється під час роботи (функціонування) ОД, на який надходить тільки робочий вплив. При такій системі діагностики вплив на об'єкт здійснюється в процесі роботи.

Узагальнююча структура сх. ФТД



В цьому випадку без перерви роботи через БРВ (блок робочого впливу) на СД надходить робочий сигнал. За характером зміни робочого сигналу в момент функціонування об'єкта (за "відповіддю" об'єкта) через БЗВ (блок зняття відповіді) по впливу на робочий сигнал судять про тех. стан об'єкту діагностики (ОД).

У якості засобів ФТД в основному використовуються вимірювальні пристрої.

Головна перевага ФТД: можливість діагностики об'єкту без перерви технологічного процесу, що забезпечує зниження часу ремонту і створює основу для безперервного контролю за тех. станом об'єкту.

Недоліки ФТД: виявляє правильне функціонування тільки в даний момент і тільки в даному режимі. При цьому можуть бути невиявлені несправності роботи об'єкту в інших режимах.

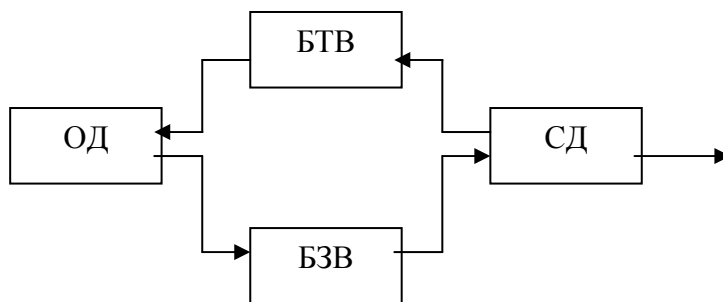
ФТД можна також вести в режимі імітування функціонування ел. обладнання. Для ел. обладнання ФТД – це його контроль без його вимкнення, тобто контроль під напругою. Використання таких методів суттєво підвищує ефективність контролю і здатність його автоматизації. Контроль за ел. обладнанням без відімкнення від мережі можна вести вимірюючи при цьому параметри об'єкту в процесі його функціонування.

Можливі 2 способи організації контролю за ел. обладнанням під напругою:

1. рання діагностика – виявлення ознак погіршення стану, які викликають зміни значення контролюючих параметрів
2. сигналізація граничних станів – виявлення ознак погіршення тех. стану, які є небезпечними з точки зору надійності роботи ел. обладнання.

ТТД здійснюється шляхом подачі на об'єкт спеціальних тестових впливів, які визначаються спец. програмою.

Узагальнююча структура схеми ТТД:



З СД через БТВ (блок тестового впливу) на ОД подається тестовий сигнал. За характером "відповіді" ОД, який прямує в СД через БЗВ судять про тех. стан цього об'єкту. В якості засобів вимірювання ТТД, крім засобів вимірювання аналогічних ФТД, потрібно джерело тестових впливів. Зміст та послідовність подачі тестових впливів вибирають виходячи з вимог точності і умов ефективності діагностики. ТТД проводять як в закритому стані ел. обладнання, так і під час його роботи. Однак в більшості випадків при ТТД припиняється робота об'єкту. Тому забезпечити безперервний контроль за його технічним станом фактично неможливо. Але при ТТД можна отримати більш повне визначення тех. стану ОД та домогтися більшої глибини та точності контролю.

В **КТД** використовується як робочий, так і тестовий вплив на об'єкт, тобто такі системи дають найбільш точне уявлення про об'єкт як при експлуатації, так і під час ремонту.

За ступенем автоматизації системи ТД поділяють на:

1. постійно діючі;
2. періодично діючі;
3. разової дії.

Разовий контроль використовується тільки за необхідністю отримання додаткової інформації. *Виходячи з вимог до діагностики головними етапами розробки діагностики ел. обладнання є:*

1. визначення елементів, які організують роботу ел. обладнання і які підлягають діагностиці;
2. визначення діагностичних параметрів та розробка методів діагностики;
3. визначення і розробка засобів для діагностики;
4. розробка технології діагностики;
5. пошук несправностей.

1.) Визначення елементів, які підлягають діагностиці. Вірний підбір діагностичних елементів – одне з важливих питань розробки систем діагностики. Дійсно, від цього підбору залежить напрямок і зміст роботи по визначенню параметрів розробки методів і засобів, технології діагностики, тобто в кінцевому рахунку – ефективність діагностики. Для визначення вузлів і елементів, які підлягають діагностиці звичайно збирають дані про відмову електрообладнання в умовах експлуатації. На підставі аналізу цих елементів та відмов визначається перелік елементів, які обмежують ресурс ел. обладнання. Діагностику ел. обладнання доцільно вести тільки при отриманні відповідного економічного ефекту, забезпечення безпеки експлуатації.

Ефективність діагностики визначається на підставі економічного ефекту :

$$Z = Z_{ei} - Z_{ed}$$

Збиток при розрахунку економічної ефективності діагностики рахують виходячи з простою робочих машин. Діагностика доцільна, якщо дотримується нерівність $Z_{ei} > Z_{ed}$, тобто приведені затрати при експлуатації об'єкту без використання діагностики більше приведених витрат при використанні діагностики.

2.) Визначення параметрів діагностики ел. обладнання. Ознаки дефектів об'єкту проявляються в застосуванні параметрів об'єкту, тобто при розробці методів діагностики. Складною задачею є визначення і встановлення оптимального набору діагностичних параметрів, їх компонентів і кількості у зв'язку з наявністю і ступенем розвитку дефектів.

Об'єкти діагностики діляться на 2 класи:

1. об'єкт безперервної дії (параметри якого змінюються в часі безперервно);
2. об'єкт дискретної дії (параметри якого змінюються в часі дискретно).

Для останнього об'єкту розглядаються 2 види відмов:

- а.) відмови функціонування
- б.) відмови в статичному стані

Значення діагностичних параметрів характеризує тех. стан об'єкту в даний момент часу, тобто задача діагностики включає в себе вимірювання сукупності параметрів діагностики, які несуть інформацію про стан об'єкту.

Параметри, величину яких вимірюють при діагностиці, характеризуються номінальним значенням, полем допусків, залежністю значень від зовнішнього середовища, закономірностями підсумовування в залежності від часу експлуатації. Для відношення об'єкту до відповідної групи станів необхідно встановити граничні значення параметрів. Ці значення є ознаками дефекту. Для виявлення передвідмовного стану позначаються попереджувальні допуски на діагностичні параметри.

Попереджувальний допуск – сукупність значень параметрів, які укладені між собою граничним та передвідмовним рівнем параметрів. Вихід параметру за граничний рівень означає відмову, а досягнення передвідмовного рівня – необхідність виконання ТО і Р.

За природою діагностичні параметри ел. обладнання, які підлягають вимірюванню, в більшості випадків представляють собою електричні величини, в меншій мірі – неелектричні величини.

При цьому всі електричні величини можна (доцільно) вимірювати, тому що виникає необхідність перетворення неелектричних і електричних величин в більш зручні для подальших вимірювань.

Застосовані при діагностиці параметри, які характеризують тех. стан об'єкту, можна класифікувати:

1. параметри, які виражені ел. величинами і дозволяють вимірювати їх значення безпосередньо ($R, L, C, U, T, P, F, \gamma$ і т. д);
2. параметри, які виражені ел. величинами, але потребують для вимірювання масштабні перетворення (за допомогою посилювачів, ТТ, ТН);
3. параметри, які виражені неелектричною величиною і потребують перетворення для вимірювання неелектричних величин в електричні.
 - Механоелектричні
 - а.) резистивні
 - б.) індуктивні
 - в.) ємнісні
 - г.) п'єзо
 - Термоелектричні
 - а.) термопара
 - б.) термоопір
 - Оптиелектричні
 - а.) фотодіод
 - б.) фотоелемент
 - Гальванічні

За інформативністю всі діагностичні параметри можна умовно поділити на 2 групи:

1. узагальнюючі (несуть велику кількість інформації і характеризують стан вузлів, елементів);
2. локальні (локальний параметр характеризує стан тільки одного об'єкту).

Природно, що найкращі для діагностики – узагальнюючі, тому що їх використання дозволяє спростити засоби діагностики, зменшити час вимірювання і обробки інформації.

Для оцінки тех. стану ел. обладнання можна виміряти десятки параметрів, але це потребує більше цифрових приладів та часу, що є неефективним, оскільки для вирішення задач необхідно вибрати оптимальне число параметрів, які забезпечують вірогідність результатів вимірювань для даного виду обладнання. Тому задача оцінки зводиться до рішення задачі оптимізації набору цих параметрів.

При цьому при різних діагностичних параметрах треба керуватися такими положеннями:

1. *вимога однозначності* - кожному значенню контролюючого параметру повинно відповідати тільки одне значення діагностичного параметра;
2. *вимога доступності і зручності вимірювання* - діагностичні параметри повинні відносно легко вимірюватись, за необхідністю малими засобами вимірювання;
3. *вимога широти області вимірювання* - діагностичні параметри повинні мати як можна більше діапазонів вимірювання, що дозволить підвищити точність вимірювання и вірогідність діагностики;

При різній номенклатурі діагностичних параметрів зазвичай проводять аналіз усіх параметрів, характерних технічному стану ел. обладнання, які не потребують перетворення (складних вимірювальних засобів).

При цьому віддається перевага параметрам, які мають функціональний зв'язок з тех. станом діагностичного елемента (об'єкта).

Вірогідність діагностики

Ціль експлуатаційного контролю в загальному випадку – визначення тех. стану об'єкту і прогнозування його змін, а також виявлення дефектів і визначення їх характеру. В результаті повинна бути встановлена можливість подальшої експлуатації об'єкту (необхідність його ремонту), похибка контролю повинна бути мінімальною.

Застосовані методи діагностики не забезпечують повної вірогідності оцінки тех. стану об'єкта. Результати вимірювань включають в себе похибки засобів вимірювання, додаткову похибку від умов експлуатації, похибку відліку, метода вимірювань.

Крім похибок вимірювань вірогідність оцінки тех. стану об'єкта (елементу) залежить від впливів перешкод.

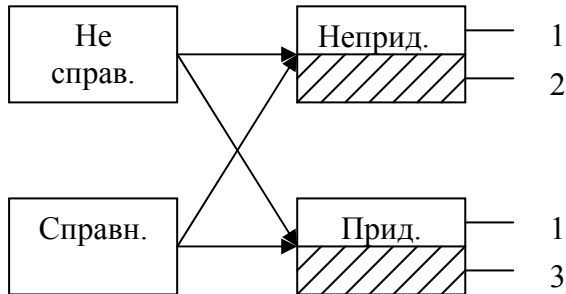
Перешкода – величина, яка викликає перекручений вплив на вимірювання.

Розрізняють 2 види помилок (контролю):

1. справний об'єкт (елемент) буде визнаний непридатним, таким що відмовив – це помилка першого роду – помилковий дефект.

2. несправний об'єкт буде визнаний справним – помилка другого роду – невиявлений дефект.

Графічне формування результату діагностики при такому двоальтернативному контролі можна представити :



1- вірогідний результат

2- від 1-го роду

3- від 2-го роду

Заштриховані площі відповідають ймовірностям отримання невірогідного результату (1-го, 2-го роду)

Помилка контролю призводить до різних наслідків. Якщо від 1-го роду тільки підвищується об'єм роботи, то від 2-го тягне за собою аварійне пошкодження обладнання.

Вірогідність методу діагностики визначається ступенем зв'язку технічних параметрів, які відображають його стан. Взагалі цей зв'язок - вірогідний (стохастичний зв'язок), а не функціональний. Крім того є неоднозначність зв'язку значень, які контролюються параметрами, зі станом об'єкту при різних видах дефектів, тобто створюються помилки діагностування.

Підвищити вірогідність діагностики можна шляхом використання для контролю декількох параметрів, які характеризують тех.. стан об'єкту.

Причому кожний параметр дає інформацію про певну характеристику об'єкту. Сукупність параметрів забезпечує підвищення вірогідності виявлення дефектів та можливість більш точнішої оцінки їх небезпеки.

Одним із джерел помилок діагностики є використання вимірюваних значень, які контролюються параметрами без приведення їх до нормальних умов (залежності характеристик ізоляції від температури та інших факторів).

Тому при діагностиці треба результати вимірювань приводити до однакових базисних умов у співставному вигляді). Помилки діагностики, які обумовлені похибкою вимірювань повинні враховувати всі відповідні види похибок.

Похибки:

- систематичні (виправляються, практично виключаються за рахунок виправлення $C = -\Delta$ – абсолютна похибка);
- випадкова (випадкову похибку виключити неможливо, але її можна значно знизити шляхом статистичної обробки багаторазових вимірювань).

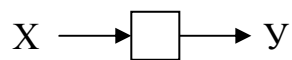
В експлуатаційній практиці враховується можливість виключення погрішності, точність діагностики як правило, визначається впливом зовнішніх факторів перешкод, специфічних для кожного виду вимірювань.

Перешкоди, які викликані паразитними струмами в сх. вимірювань та струми впливу. Паразитні струми (струми витоку) - виникають під дією напруги установки вимірювання та протікають через її вимірювальні об'єкти (елементи), минаючи при цьому об'єкт вимірювання. Ці струми протікають по так званим паразитним зв'язкам джерела напруги вимірювальної установки із елементами пристроїв вимірювання.

Струм впливу (струм наведення) – виникає під дією робочої напруги елементів установки, що містить об'єкт діагностики і протікає через вимірювальний елемент пристрою вимірювання. До них відносять струми промислової частоти і гармоніки, які протікають по елементам, зв'язкам.

Для зниження похибок, які обумовлені перешкодами, треба підвищити захист від перешкод на вимірювальних установках.

Крім перешкод та похибок, які впливають на результат діагностики важливою властивістю є чутливість методу вимірювання – це характеристика, яка представляє собою найменше виявлене вимірювання параметру, яке може слугувати для судження про зміну характеристик об'єкту діагностики. В простому випадку в якості чутливості використовують поняття " поріг чутливості" (те мінімальне X , при якому буде Y на виході)



$$S = \frac{dy}{dx} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \text{ - чутливість.}$$

Розробка методів та засобів діагностики ел. обладнання. Метод діагностики – сукупність тех. засобів, прийомів та способів, які дозволяють дати об'єкту висновок про ТО і Р.

В основі методу діагностики може бути покладений чи специфічний фіз. процес, який характерний для певного класу об'єкту, чи певний вид засобів вимірювання.

В основі використання дві групи методів діагностики відрізняються наступними діагностичними ознаками:

1. метод діагностики за параметрами робочих процесів, які безпосередньо характеризують стан об'єкту;
2. методи діагностики за параметрами супутніх процесів, які побічно характеризують стан об'єкту.

Загальні вимоги до розробки різних методів діагностики

а.) повинні бути прості та не потребувати для реалізації застосування та розробки складних діагностичних засобів;

б.) повинні забезпечувати потрібну вірогідність результатів діагностики;

- в.) не вимагати режимів роботи електрообладнання, які важко здійснити на практиці;
- г.) забезпечити скорочення часу та витрат, засобів на діагностику.

При діагностиці ел. обладнання використовують різні **засоби вимірювання:**

1. міри;
2. вимірювальне перетворення;
3. вимірювальні прилади;
4. вимірювальні установки (сукупність мір, вимірювальних перетворень, приборів та допоміжних установ, які дозволяють здійснити вимірювання);
5. вимірювально – інформаційні комплекси (в цих засобах вимірювання здійснюється обробка та логічні операції з вимірюваною інформацією).

Діагностика і прогнозування роботи ел. обладнання може здійснюватись за допомогою вимірювальних пристроїв ручного керування, пристроїв діагностики (вимірювальної установки), яка може здійснювати (періодичний) автоматичний контроль за тех. станом і сигналізувати про настання попереднього стану. Автоматичний діагностичний пристрій доцільно встановлювати для контролю за ел. обладнанням, відмови якого призводять до більшого збитку, а також за ел. обладнанням, доступ до якого утруднений (неможливий). В окремих випадках для унікального обладнання доцільно переходити до діагностики систем. В цьому випадку більшість записів ведеться автоматично та напівавтоматично. При цьому автоматично видається результат діагностики і прогнозу.

Засоби діагностики ел. обладнання доцільно розділяти за наступним принципом:

1. прості засоби для діагностики по обмеженому діагнозу узагальнених діагностичних параметрів, які дозволяють визначити загальний тех. стан електрообладнання. До таких засобів відносяться прості мобільні прилади (вимірювальний міст);
2. засоби для проведення повної діагностики і прогнозування, які дозволяють визначити тех. стан всіх елементів, які обмежують ресурс ел. обладнання.

Засоби діагностики умовно поділяють на:

- автоматизовані;
- автоматичні ручного управління.

Оптимізація різних засобів повинна забезпечувати мінімальну вартість стану об'єкту, мінімум витрат від похибок перевірки, а також техніко-економічну ефективність використовуваних засобів.

Пошук несправностей при діагностиці ел. обладнання.

Знаходження несправностей допоможе встановити причину відмов та встановити роботу здатність ел. обладнання з мінімальним и витратами. Пошук несправностей порівняно простого за конструкцією ел. обладнання не викликає труднощів. Для виявлення несправностей складного ел. обладнання та складних систем треба скласти алгоритм пошуку несправності, який дозволить визначити послідовність виконання операцій. При цьому повинні забезпечуватися мінімальні витрати часу і засобів на проведення пошуку.

Алгоритм пошуку виникнення несправності – сукупність перетворень та логічних умов.

В тех. діагностиці відомо значне число методів побудови алгоритмів пошуку несправності. Їх сутність - отримання максимально можливої інформації про тех. стан обладнання.

Процедура пошуку відмов – логічна процедура, яка може бути розділена на 3 етапи:

1. виділення симптому відмов (симптоми відмови ел. обладнання - запах горілої ізоляції і т.д.);
2. використання ознак допустимого нормативного функціонування із множини, в якій вид відмови можна визначити на підставі логічного аналізу станів шляхом оцінки засобів індикації;
3. виконання контрольних кроків перевірки елементів (виправлений - не виправлений).

Найбільш розповсюджені алгоритми пошуку несправностей:

1.) *послідовного функціонального аналізу* - заснований на визначенні функції контролюваного об'єкту

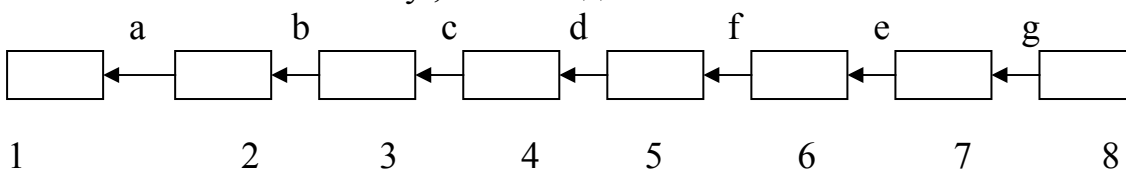
Переваги: простота, наочність результатів, які не вимагають докладної інформації.

Недоліки : послідовність пошуку несправностей неоптимальна.

2.) *половинного розбиття* - групова перевірка елементів. Система при кожному кроці перевірки ділиться на 2 рівні частини. Після послідовного ділення навпіл зменшуються групи, наближаючи їх до тієї, в якій є несправний елемент.

Проста побудова алгоритму пошуку – метод середньої точки, яка забезпечує максимум інформації, якщо ймовірність кожного елемента системи приблизно рівні.

Розглянемо систему , яка складається з 8 елементів:



На малюнку виділена серія точок перевірок, які необхідно випробувати при індивідуальній перевірці. Якщо процес перевірки побудувати згідно з методом середніх точок, то замість 7 достатньо буде 3-х перевірок (a, b(c), d(c)).

3.) *імовірно-часового* - випробування для об'єкту, в якому функціональні елементи зосереджені вільно. Він передбачає перевірку елементів за визначеному раніше заданому алгоритму. Спосіб оснований на випробуванні споживачів, який характеризує надійність елемента. Найбільш загальним методом перевірки є метод "час - ймовірність". При цьому випробовується чи $P(t)$ чи $Q(t)$ елемента, віднесені за часом:

$$\frac{P_1(t)}{t_1} > \frac{P_2(t)}{t_2} \dots > \frac{P_i(t)}{t_i}; t_1 t_i - \text{ час пошуку несправності } i\text{-того елемента.}$$

Прогнозування технічного стану ел. обладнання.

Прогнозування тех. стану об'єкту – процес пророкування зміни параметрів в майбутньому.

Необхідність прогнозу зміненого стану об'єкту особливо важлива для об'єктів, на яких дозволені відповідні функції і ціна яких достатньо велика. Проблема прогнозування тех. стану об'єкту виникає на всіх етапах створення об'єкту (проектування, виготовлення). Використання методів прогнозування в період експлуатації дає змогу обґрунтувати строки проведення профілактичних робіт.

Проблема прогнозування має фізичні і математичні аспекти.

Фізична побудова аспекту тех. стану об'єкту – основа, яка пояснює походження кількісних змін в об'єкті та можливість переходу в інший кількісний стан.

В будь яких об'єктах протікають процеси, які характеризують його деградацію.

Математичне рішення проблем прогнозування засновано на різноманітності математичного апарату, який залежить від розглянутої системи і закону розвитку деградації (детермінація). В багатьох випадках прогнозування здійснюється за допомогою використання залишкового ресурсу елемента (об'єкту). Для параметрів, абсолютне значення яких підвищується в процесі експлуатації ел.обладнання визначається коефіцієнтом технологічного ресурсу:

$$K_{тр} = \frac{П_{гр} - П_i}{П_{пр}} * 100\%$$

$П_i$ – поточне значення вимірюваного параметру,

$П_{гр}$ – граничне значення параметру.

Спосіб прогнозування тех. стану об'єкту суттєво залежить від періодичності діагностики. Розрізняють методи :

- **безперервний контроль** - використовується для складних відповідальних об'єктів (об'єктів з функціональною діагностикою). Застосування до елементів СЕП безперервний контроль здійснюється без відключення ел. обладнання від мережі. Для певного кроку послідовних діагностичних процедур використовують різні матем. вирази, які враховують значення контрольованого параметра.

Висновки: В результаті засвоєння матеріалу студенти повинні мати уяву про технічну діагностику, принципи її побудови і функціонування та інші питання, що з нею пов'язані.

Питання для самоконтролю.

1. Від чого залежить надійність устаткування?
2. Які види технічного стану об'єктів розрізняють?
3. Назвіть стратегії ТО і Р, та в чому вони полягають?
4. В чому полягає суть технічної діагностики?
5. Що таке система діагностування?
6. Дайте основні визначення предмету ТД?
7. Що впливає на вірогідність оцінки тех. стану об'єкта?
8. В чому полягає прогнозування технічного стану об'єкту?

ЛЕКЦІЯ № 4. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИСОКОЮ НАПРУГОЮ.

Актуальність: Технічна діагностика (ТД) розвивається на основі одного методологічного підходу до аналізу різних об'єктів. Але кожний клас об'єктів, в тому числі ел. обладнання та мережі СЕП своїми специфічними особливостями визначають вузлові проблеми і питання, які виникли при розробці методів та засобів діагностики.

План:

- 1. Дефекти, контрольовані явища і діагностичні параметри ел. обладнання високої напруги.**
- 2. Вимірювання діелектричних характеристик ізоляції конструкцій.**
- 3. Вимірювальні установки та схеми вимірювання α -к ізоляції.**
- 4. Вимірювання опору ізоляції.**
- 5. Вимірювання характеристик абсорбції ізоляції.**
- 6. Питання для самоконтролю.**

Дефекти, контрольовані явища і діагностичні параметри ел. обладнання високої напруги

Основні види обладнання СЕП (Т, АТ, пристрої захисту від перевантаження) суттєво відрізняються своїми функціями, умовами випробування, видом експлуатаційних впливів, характером типових дефектів.

Основні причини пошкоджень розглянутого ел. обладнання можна представити таблицею.

З таблиці видно, що різноманітність видів ел. обладнання і причин пошкоджень визначають різноманітність використаних методів і засобів діагностики (тобто немає універсальних засобів).

Вид ел.обладнання	Елементи конструкцій	Причини пошкоджень
Т , АТ	ізоляція	Зволоження, термічно-електричне руйнування, зміна функціональних властивостей, забруднення масла
	Обмотки і магнітопровід	Динамічна нестійкість при к.з, перегрів, виткові короткі замикання
QF	Контрольна система та її привод	Перегрівання, розрегулювання
ОПН і розрядники	Ізоляція	См. У Т і АТ
	Раб. НЛ резистивна, шунт. НЛ	Зношування , зволоження
	Іскровий проміжок	Зміна пробивної напруги джерела (збільш. зазору)

Надійність ел. обладнання високого тиску в значній мірі визначається працездатністю ізоляції. Старіння ізоляції – поступове не зворотне її погіршення, супроводжується повною втратою ізоляційних властивостей. Воно викликається рядом процесів, які зв'язані з ним хімічною, механічною, електричною взаємодією.

Хімічні процеси, які знижують властивості ізоляційних матеріалів: окислення та інші хім. реакції в агресивних середовищах (NH_3, O_3). Цьому сприяє присутність вологи та підвищення температури. Ізоляційні властивості знижуються під дією нагрівання, яке викликано зовнішніми причинами та діелектричними явищами в самій ізоляції (всередині ізоляції $\Delta P = U^2 W t g \sigma$ – вплив ел. поля). В результаті температурних впливів виникає зношування, яке супроводжується руйнуванням матеріалу, появою крихкості та зниженням ел. міцності.

Причини електричного характеру, які призводять до старіння ізоляції:

- вплив робочого струму
- вплив перенапруги може викликати іонізовані процеси (часткові розряди)

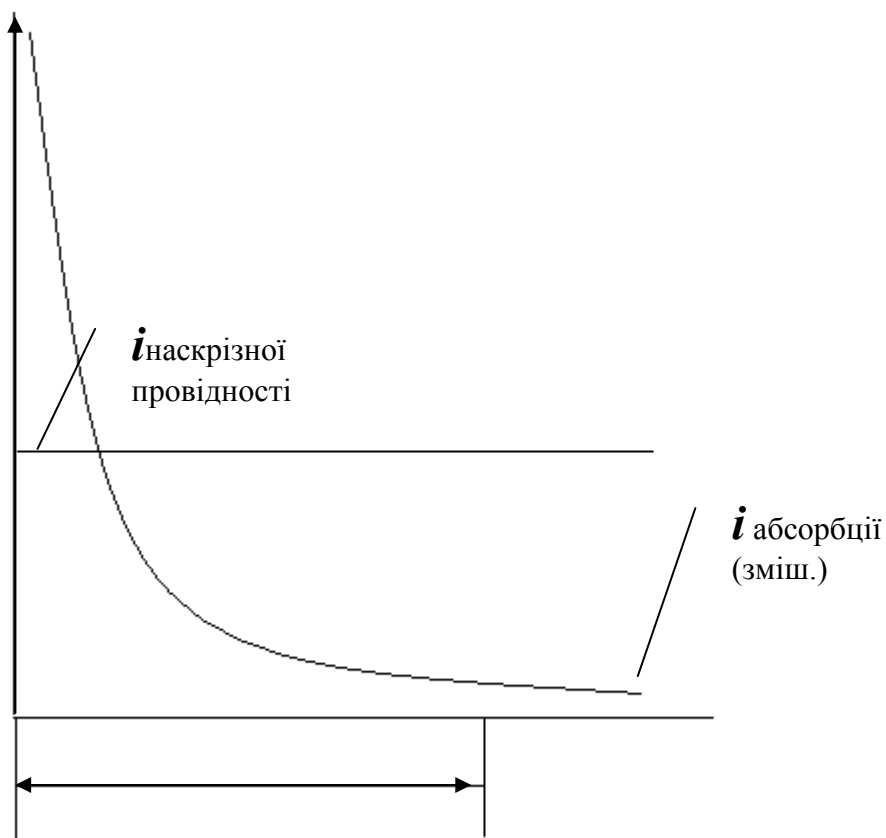
Механічний вплив: порушення цілісності матеріалів (розрив, розшарування). Це призводить до зниження ел. міцності ізоляції.

Ізоляційне (в окремому випадку ТМ) масло є одним з елементів ізоляції конструкцій. При окислюванні масло старіє, що призводить до появи органічних кислот, які не розчиняються в маслі (знаходяться у виді осаду). Наявність в маслі бульбашок сприяє виникненню окремих розрядів. Кінцевий вплив перелічених факторів на ізоляційну конструкцію – це зміна структури діелектриків, їх властивостей, та поява дефектів (пошкоджень).

Інші групи причин погіршення ізоляції зв'язані з повітрям. Процес порушення ізоляції суттєво підвищується при наявності вологості. Перегрів ізоляції призводить до зниження її механічної міцності, що створює умови для розвитку пошкоджень.

Зараз немає ще придатних до експлуатації прямих методів визначення вологості та ступеня старіння твердої ізоляції (використовуються побічні методи діагностики). Для цього використовується ряд параметрів ізоляції, значення яких визначає процеси, які відбуваються в діелектриках :

- поляризація (за рахунок електронів та іонів неполярних діелектриків - швидкі види діполей, полярних діелектриків – повільні види);
- абсорбція
- іонізація
- провідність



1 хв.

При перемінній напрузі та абсорбції буде постійне

Для діагностики використовують також залежності вказаних процесів від температури, прикладеної напруги, часу. Значна кількість дефектів виявляється по зміні функціональних властивостей масла та наявності в ньому продуктів розпаду матеріалів даної ізоляції.

Основні контролюючі явища в ізоляції та відповідність їм діагностичних параметрів можна представити в таблиці

Контролюючі явища	Діагностичні параметри
Зміна діелектричних х-к	Струм через ізоляцію, комплексна провідність, діелектричні втрати, ємність
Поява часткових розрядів	Імпульс U, I _{пп} (пробій), імпульс тиску в навколишньому середовищі
Зміна функціональних х-к ізоляційного масла	Ел. міцність, діелектричні втрати, колір, кислотне число, вологостійкість
Інші явища	

Кислотне число – кількість КОН в(г) на (1кг) масла.

До другої групи порушень відносять відмови функціонування, а також недопустимі нагріви провідних частин. Відмови функціонування, які викликані в основному механічними дефектами елементів конструкції характерні для комутаційних апаратів (QF, QS, QR, QK).

Головний спосіб оцінки працездатності та виявлення дефектів комутаційних апаратів – комплексне випробування, при якому перевірки та зміни, які характеризують готовність обладнання до нормальної роботи є обов'язковими. Розроблено багато чисельних методів діагностики, орієнтовано на виявлення окремих дефектів.

Вимірювання діелектричних характеристик ізоляції конструкцій

Діагностичний метод	Виявлені дефекти
Вимірювання опору ізоляції	Зволожені, забруднені
Вимір. комплексних провідів, ємність ізоляції, діел. провідність	Зволоження, місцеве руйнування частковими розрядами, погірш. характеристик масла
Вимірювання абсорбційних характеристик	Зволоження
Визначення функціональних характеристик масла	Старіння, перегрів, забруднення
Вимірювання часткових розрядів	Місцеві включення, ел.руйнування
Вимірювання втрат х.х.	Порушення ізоляції елементів магнітопроводу
Вимірювання U_k	Деформація обмоток (зміна геометрії)
Інші	

Контрольовані параметри

- поляризація
- ел. провідність
- діелектричні втрати

Основна характеристика, яка визначає ступінь поляризації діелектрика – це відносна діелектрична проникність (ϵ)

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_0}$$

Q -заряд при знаходженні між електродами діелектрика

$$Q = C \cdot U : \epsilon = \frac{C}{C_0}$$

Для контролю ізоляції конструкцій зручно розглядати ϵ , а с. Як відомо, діелектрики поділяють на неполярні та поляризовані. При цьому має місце декілька видів поляризації:

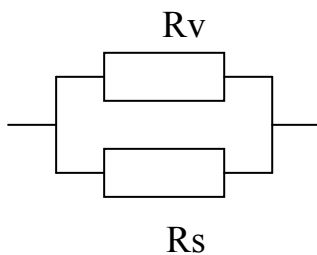
- електронна
- іонна
- дипольна
- міграційна

Види поляризації розрізняють за часом, який необхідний для її встановлення: час релаксації діелектрика – час, за який впорядковується диполь. Зняття напруги знижує в ϵ раз по відношенню до початкових значень ізоляції:

$$i = R_3 \cdot C = g \cdot U$$

Вимірювання ємності ізоляції, крім інформації про зміну структури діелектрика, яку викликано зміною процесу поляризації, дозволяє також побачити місцеві грубі дефекти. При докладанні до ізоляції конструкції напруги, через неї протікає струм. Поляризаційні процеси в діелектриках створюють струми зміщення. Струм зміщення різних видів уповільненої поляризації, спостерігається у технічних діелектриках за абсорбційного впливу. Електрична провідність діелектрика характеризується питомим об'ємом опору (g_i) по поверхні (S^3)

Стан ізоляції характеризується значенням струму провідності



Інтенсивність та тривалість абсорбційних процесів в ізоляції конструкцій визначається діелектричними характеристиками неоднорідних шарів. Дефекти, які змінюють ступінь її неоднорідності (збільшення, розшарування) змінюють хід процесу міжшарової поляризації; характеристики струму абсорбції - абсорбційні характеристики ізоляції. При цьому контрольовані параметри: I_{abc} і C_{abc} .

$\frac{dI_{abc}}{dt}$ - залежність від відношення параметрів пошкодженої ізоляції. Один з найбільш головних діагностичних параметрів – коефіцієнт абсорбції (у порівнянні ступеня абсорбції через 15 і 60 с):

$$K_{abc} = \frac{R_{60}}{R_{15}} = \frac{L_{abc60}}{L_{abc15}}$$

конденсатора в момент включення до джерела.

Крім того в якості діагностичного випробування інших параметрів, приймає участь зміна L_{abc} - коефіцієнт стану:

$$K_c = \frac{di_{abc}}{q_b \cdot dt}$$

q_b - емнісний заряд об'єкту; $q_0 = C_0 \cdot U$ - заряд, який з'являється на електродах.

При положенні U струм провідності ланцюга ізольованих конструкцій містить:

- безінерційний струм зміщення, який обумовлений різними видами поляризації (I_0);
- струм зміщення (i_m), який обумовлений процесами слабких видів поляризації;
- струм адекватної провідності (i_n), який обумовлений опором ізоляції, вільними носіями.

$$I_x = I_0 + I_m + I_n$$

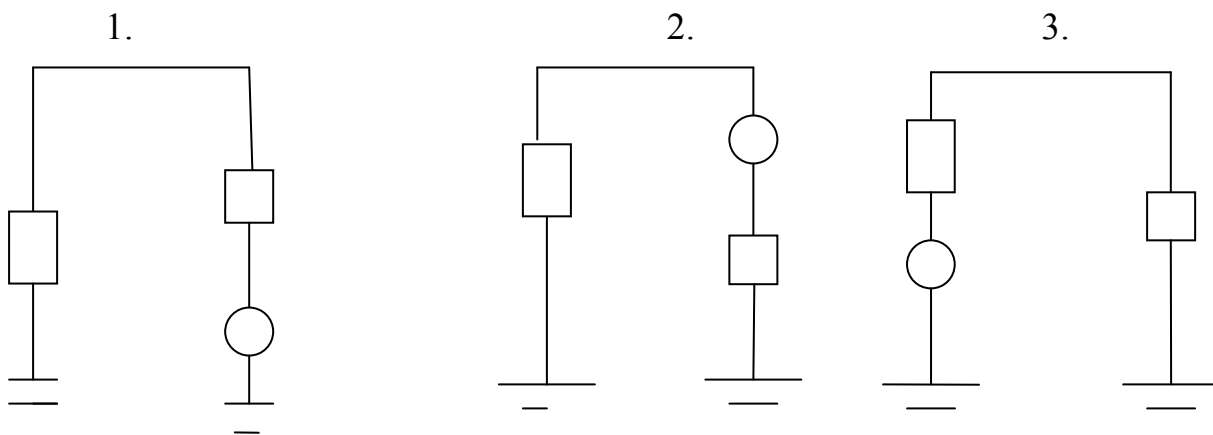
Втрати діелектричної потужності: $P_d = U^2 \cdot \text{ctg} \sigma$




Для кількості діагностичного контролю зазвичай використовуються значення $\text{tg} \sigma$, який не залежить від розміщення ізоляції конструкцій, але залежить від стану ізоляції (температура нагріву, відстань). Проте треба пам'ятати, що величина $\text{tg} \sigma$ дає середню об'ємну характеристику стану ізоляції. В основному вимірювання $\text{tg} \sigma$ дозволяє знайти загальні погіршення ізоляції, місцеві дефекти з допомогою $\text{tg} \sigma$ не виявляються.

Вимірювальні установки та схеми вимірювання х-к ізоляції.

Установка для вимірювання характеристик ізоляції ел. обладнання в загальному випадку складається із засобу вимірювання, джерела вимірювальної напруги і провідників для з'єднання їх з діагностичним об'єктом. Джерело напруги може бути зовнішнім (ТТД), а у випадку контролю ел. обладнання без виводу з експлуатації вимірюється $U = U_{\text{роб}}$ об'єкту. За місцем положення в ланцюгу вимірювальної установки розрізняють:

1. пряму
2. перевернуту
3. зворотну



-  -1- джерело напруги
 -2- діагностичний об'єкт
 -3- засіб вимірювання

Пряма – схема в якій засіб вимірювання знаходиться між виводом ізолюваного об'єкта і заземленням. Засіб вимірювання знаходиться під невеликим потенціалом відносно зменшення. Схема має найбільшу перешкодозамінюємість і використовується у всіх випадках, коли є можливість під'єднання до загальних виводів об'єкту.

Перевернута – схема з включенням засобу вимірювання в ланцюг між джерелом та об'єктом. Схема використовується для об'єкту, у якого один з виводів не може бути відімкнений від заземлення.

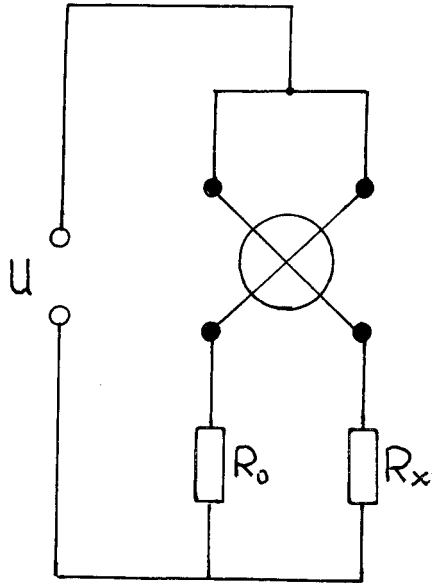
Недоліки : засіб вимірювання під високою напругою відносно землі.

Зворотна – схема з засобом вимірювання, який включений в ланцюг заземлення джерела. Схема також дозволяє здійснювати вимірювання об'єкту з одним заземленим виводом. Схема у зв'язку зі складністю конструкції засобу вимірювання практично не використовується.

Вимірювання опору ізоляції

Опір ізоляції визначається за значенням струму, що протікає через неї при постійно прикладеній напрузі. В основному вимірювання опору ізоляції здійснюється за допомогою мегомметра. Він побудований на 2-х принципах:

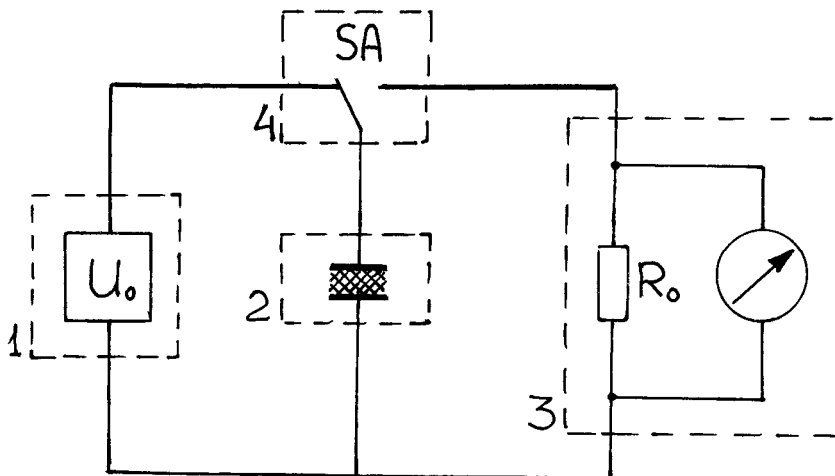
1. логометр МЕС
2. електронна схема



$$\alpha = f \frac{i_x}{i_0} \quad \text{мегомметром вимірюють } R_{зм.} \quad \left\{ K_{абс} \right\}$$

Вимірювання характеристик абсорбції ізоляції

Ведеться при постійно прикладеній до ізоляції напрузі. В основу покладена наступна схема для вимірювання струму абсорбції:



- 1- джерело напруги
- 2- об'єкт діагностики
- 3- вимірювальний прилад
- 4- комутатор

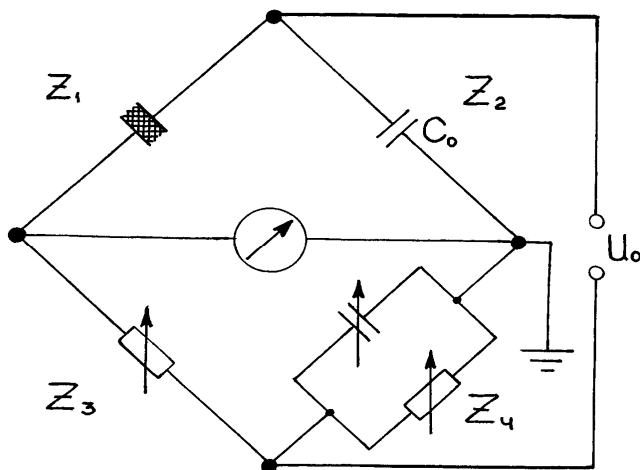
Попередньо розряджена джерелом напруги схема об'єкту комутатором SA скорочується і вимикається на вихід 3, який в заданий момент часу вимі-

рюється ΔU на R_0 . При малому значенні R_0 , вимірюється $U=I_{abc}$. Крім того, в момент заряду q_0 , для визначення K_c , який характеризується швидкістю зміни струму абсорбції проводять розрахунки за результатами 2-х кратного вимірювання значень струму через 0,0 і 0,1 після переключення. Тому значення K_c можна визначити :

$$K_c = \frac{\Delta i}{q_0 * \Delta t} = \frac{i_{abc} 0,06 - i_{abc} 0,1}{0,04 q_0}$$

Вимірювання C і $\text{tg}\sigma$ ізоляції

Найбільш широке розповсюдження отримала мостова схема. Вона застосовується для ланцюгів високої напруги.



Комплексний опір z мосту може бути представлений в алгебраїчній та експоненційній формі. Якщо використовувати експоненційну форму, то можна правильно сформулювати:

$$z_1 * z_4 = \gamma_2 - \gamma_3, \quad z_1, z_4 e^{-i(\gamma_1 - \gamma_4)} = z_2 * z_3 e^{-i(\gamma_2 - \gamma_3)}$$

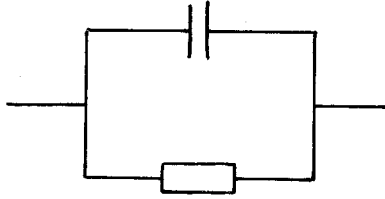
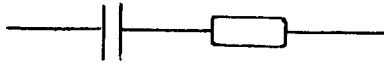
З виразу виходить 2 умови :

1. рівність (z) протилежних гілок : $z_1 z_4 = z_2 * z_3$
2. рівність фазових втрат: $\gamma_1 - \gamma_4 = \gamma_2 - \gamma_3$

Заземлення вершини мосту робить безпечним роботу, при живленні мосту від джерела.

Мостова схема складається із контрольованого об'єкту діагностики, який має C_x , $\text{tg}\sigma_x$; зразкового C_0 , ланцюга вирівнювання (2->1/-) (1->1/-), (3->1.-)

Умови рівності мосту застосовують до елементів схеми



1.-з низькими втратами

2.-з великими втратами

Для надійної ізоляції :

$$z1 = R_x + \frac{1}{j\omega C_x};$$

$$z3 = R_x;$$

$$z2 = \frac{1}{j\omega C_0};$$

$$z4 = Z_{екв}.$$

Після операції множення виділяють 2 рівні (для дійсної та уявної частини) $\text{tg}\sigma_x = R_x/C_x$

Для вимірювання C_x та $\text{tg}\sigma_x$ можна використовувати ватметр:

$$P_o = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \text{tg}\sigma$$

$$\text{tg}\sigma = \frac{P_o}{U^2 \cdot \omega \cdot C}$$

При малих σ $\text{tg}\tilde{\sigma} = \cos \gamma = P_d/V_i$

Діагностика ел. обладнання за робочими напругами

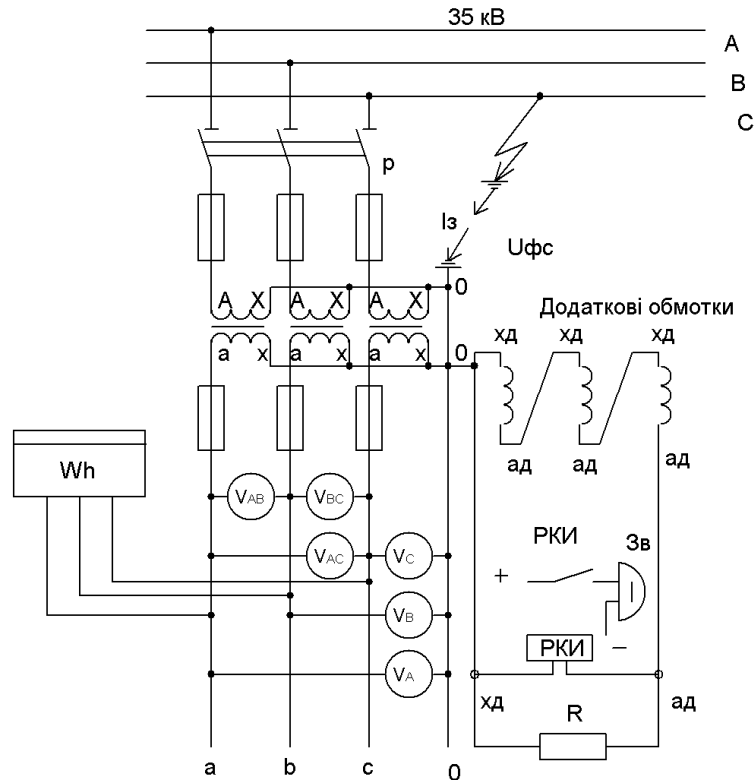
Підвищення ефективності контролю при зниженні витрат на його проведення можливе на основі контролю параметрів без вимкнення обладнання з використанням методів вимірювання, виконання контролю під робочою напругою об'єкту. Ефективність такого контролю підвищується як за рахунок підвищення частоти вимірювання, так і за рахунок того, що ізоляція при цьому випробовується в більш тяжких умовах.

Можливі 2 способи організації контролю ізоляції обладнання без його вимкнення:

1. періодичний (для виявлення погіршення стану ізоляції, яке викликає певні зміни значень контрольованих параметрів);

2. безперервний (виявлення суттєвих змін контрольованих параметрів та віддача сигналу з досягненням граничних значень).

Вже багато років у системах з ізолюваною нейтраллю (до 35 кВ включно) для контролю ізоляції мережі по відношенню до землі та визначення пошкодженої фази застосовують наступну схему з'єднання трансформатора напруги:



За допомогою цієї схеми можна вимірювати як міжфазні напруги, так і напруги фаз по відношенню до землі. Вона використовується для підключення лічильників, вольтметрів, реле напруги та деяких інших приладів. Визначення фази, що має замикання на землю, здійснюють по показанням фазних вольтметрів. При відсутності замикання на землю всі фазні вольтметри показують фазні напруги. При глухому (металевому) замиканні, наприклад, фази С на землю струм замикання на землю I_z проходить від точки замикання фази через землю до точки заземлення нейтралі. Первинні обмотки фаз А і В трансформатора напруги виявляються під лінійною напругою по відношенню до землі, а обмотка фази С – нуль. По нульовому показанню вольтметра визначають фазу замкнену на землю.

Робота мережі з ізолюваною нейтраллю при однофазному замиканні на землю у зв'язку з невеликим значенням струму I_z ($I_z = 0,1-50A$) допускається протягом 2 годин.

До зажимів а, b, c, 0 основних обмоток ЗНОМ-35 підключають один вольтметр з перемикачем, який забезпечує вимірювання будь-якої лінійної та фазної напруги. До зажимів ад – хд додаткових обмоток, з'єднаних в розімкнений «трикутник», в вершину «трикутника» підключають реле контролю ізоляції РКИ. В нормальному режимі роботи геометрична сума фазних напруг трифазної

системи, з'єднаної в «трикутник», повинна бути рівна нулю, тому на зажимах розімкненого «трикутника» $a_d - x_d$, між якими ввімкнено реле РКІ, приблизно рівна нулю і реле РКІ не збуджене. Коли одна з фаз первинної мережі, наприклад фаза С, замикається на землю, то внаслідок шунтування землею фази С первинної обмотки ТН на зажимах розімкненого « трикутника» з'являється напруга, рівна геометричній сумі напруг двох неушкоджених фаз. Збуджується реле РКІ та своїми контактами створює ланцюг на дзвоник Зв. Після цього вольтметром з перемикачем знаходять фазу з замиканням на землю.

Висновки: *В результаті засвоєння матеріалу студенти повинні мати уяву про питання пов'язані з ізоляцією, її старінням, принципи та засоби контролю її стану та інше.*

Питання для самоконтролю.

- 1. Назвіть основні види електрообладнання та засоби діагностики.*
- 2. Які причини електричного характеру призводять до старіння ізоляції ?*
- 3. Що таке абсорбція ізоляції ?*
- 4. Які шляхи підвищення якості контролю за технічним станом обладнання ви знаєте?*

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сви Павел Максович Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения -М.: Энергоатомиздат, 1992. – 236с.
2. Грабко В.В., Мокін В.І. Моделі та системи технічної діагностики високовольтних вимикачів. –Вінниця: Універсум – Вінниця, 1999 – 74с.