Тема №4: Електричні машини постійного струму

Тема: Межа температури нагріву електричних машин в залежності від класу ізоляції

Мета: Ознайомитися з поняттям межі температури нагріву. Навчитися визначати межі температури нагріву електричних машин в залежності від класу ізоляції

Опрацювання теоретичного матеріалу

Під час роботи електричних машин, трансформаторів, апаратів, кабелів та іншого устаткування, виникають втрати енергії, які перетворюються на тепло. Тепло підвищує температуру обмоток, активної сталі контактних з'єднань, конструктивних деталей, і також розсіюється в довкілля. Нагрівання устаткування обмежує його потужність, і є головною причиною старіння ізоляції, тобто зниження її електричної та механічної міцності.

Основний вплив на нагрівостійкість устаткування має нагрівання ізоляційних матеріалів, що застосовуються в електричних машинах, трансформаторах і апаратах.

Граничне значення температур нагрівостійкості характеризуються основними групами ізоляційних матеріалів, які належать до певного класу і встановлюються відповідно до ГОСТ 1516.3-96. Класи ізоляцій наведені в табл.

Клас	*У*	*А*	*Е*	*В*	*F*	*Н*	*С*
Тривало допустима температура, ^{0}С	90	105	120	130	155	180	понад 180

ПРИМІТКА

Клас У	– волоконні матеріали з целюлози, бавовни і натурального шовку, не просочені і не занурені в рідкий ізоляційний матеріал.
Клас А	– волоконні матеріали з целюлози, бавовни або натурального і штучного шовку, в робочому стані просочені або занурені в рідкий ізоляційний розчин.
Клас Е	– синтетичні органічні матеріали (плівки, волокна, смоли та ін.)
Клас В	– матеріали на основні слюди, азбесту і скловолокна, вживані з органічними зв'язувальними та просочувальними складовими.
Клас F	– матеріал на основі слюди, азбесту і скловолокна, в поєднанні з синтетичними зв'язувальними та просочувальними складовими.
Клас Н	– матеріал на основі слюди, азбесту і скловолокна, вживані і поєднані з кремнійорганічними зв'язуювальними та просочувальними складовими.
Клас С	– слюда, керамічні матеріали, скло, кварц, або їх комбінації, вживані без зв'язувальними або з неорганічними і елементоорганізаційними складовими.

Якщо температура витримується в межах, відповідних одному класу ізоляції, то забезпечується нормальний термін роботи устаткування (15 – 20 років).

Форсовані режими скорочують нормальні терміни і навпаки – систематичні недовантаження призводять до недовикористання матеріалів: ***устаткування морально застаріває і виникає необхідність у його заміні раніше, ніж зноситься ізоляція***.

У генераторів класу В, залежно від вживаного методу вимірювань, температури системи охолодження (непряма або безпосередня), тиску водню і інших чинників температура для обмоток ротора рівна 100 – 130 °С, для обмоток статора 105 – 120 °С. Обмеження максимальних температур обмоток машин, пояснюється можливістю появи місцевих перегрівів, а також умовами роботи просочувального компаунда, температура розм'якшення якого 105 – 110 °С. У трансформаторів і автотрансформаторів норми встановлені з таким розрахунком, щоб середня гранична температура обмоток у найжаркішу пору року не піднімалася вище 105 – 110 °С. Відповідно до цього, допустиме перевищення температури окремих частин трансформатора над температурою охолоджувального середовища обмежене наступними межам: обмотки 65 °С, поверхні магнітопровода і конструктивних елементів 75 °С.

СТАРІННЯ ІЗОЛЯЦІЇ

Під дією температури ізоляція старіє, тобто зношується і змінюється її структура, втрачаються електричні та механічні властивості.

Термін роботи залежить від того, за якої температури і скільки часу за такої температури працює ізоляція.

Прийнято називати номінальним терміном той, який отримується під час роботи ізоляції в нормальних умовах, тобто якщо б машини або трансформатори працювали за номінальної потужності, напруги і температури довкілля.

Залежність старіння ізоляції від температури почала вивчатись ще 150 років тому. Було запропоновано восьмиградусне правило, згідно з яким термін роботи ізоляції знижується вдвічі під час збільшення температури ізоляції на 8 ^{0}C. Відповідно вдвічі збільшується зношення ізоляції.

Аналіз досліду експлуатації довів, що необхідно прийняти шестиградусне правило: під час ***кожного збільшення температури на 6 ^{0}C зношення ізоляції знижується в 2 рази***. Це значить, що під час роботи ізоляції з постійною температурою в 100 ^{0}C термін дії роботи дорівнює 16 рокам. За температури в 106 ^{0}C він знизиться до 8 років, а за температури 112 ^{0}C – 4 роки.

Така залежність спостерігається в інтервалі температур 80 – 150 ^{0}C.

За температури нижче 80 ^{0}C процес зносу ізоляції повільний на стільки, що ним можна знехтувати, за температури вище 150 ^{0}C він протікає швидше.

Зношення ізоляції виражається такою залежністю:

$$\mathbf{N = A \bullet e^{-\alpha \upsilon}}$$

де: **N** – термін роботи ізоляції;

A – постійна часу, що дорівнює терміну роботи при **0** ^{0}C (від $7{,}5 \cdot 10^4$ до $1{,}5 \cdot 10^4$ років);

e – коефіцієнт, що становить :

- ► за шестиградусного правила = **0,112**;
- ► при восьмиградусному правилі = **0,0865**;

υ – температура, при якій працює ізоляція.

Методи і засоби вимірювання температури трансформаторів і електричних машин

Рис. 2.1. Термометр

Тепловий контроль полягає в забезпеченні чергового персоналу інформацією про тепловий стан устаткування. Залежно від методу вимірювань контролюються місцеві і середні температури і їх перевищення.

Є три методи вимірювань:

1. Термометра – застосовується для вимірювання місцевих температур. При цьому використовуються ртутні, спиртові і толуолові скляні термометри, що занурені в спеціальні гільзи, герметично вмонтовані в кришки і кожухи устаткування. Ртутні термометри мають вищу точність, але застосовувати їх в умовах електромагнітних полів не рекомендується через похибку, вноситься додатковим нагріванням ртуті вихровими струмами.

Рис. 2.2. Термометри опору

2. Опору – заснований на визначені зміни опору металевого провідника від його температури

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_0(1+y\upsilon_1)}{R_0(1+y\upsilon_2)} = \frac{1+y\upsilon_1}{1+y\upsilon_2}$$

де: $\mathbf{R_1}$ – опір при 0 °С;

$\mathbf{R_2}$ – опір, виміряний за відсутності струму і температури провідника, рівній температурі довкілля;

v– опір, виміряний за сталого значення температури;

Рис. 2.3. Термопара

y – температурний коефіцієнт опору.

Значення опорів $\mathbf{R_1}$ і $\mathbf{R_2}$, вимірюються за методом амперметра і вольтметра.

У працюючих генераторів і синхронних компенсаторів засобом для дистанційного вимірювання температур обмотки і сталі статора, а також

температур охолоджуючого повітря і водню – є термометри опору, в яких використана та ж залежність значення опору провідника від температури. Конструкції термометрів опору різноманітні.

3. Термопари. Для вимірювання температури використовується термоелектричний ефект, тобто залежність ЕРС в колі від різниці температур спаю і вільних кінців двох різнорідних провідників.

Термопари приєднують до вимірювальних приладів компенсаційного типу, потенціометрів постійного струму і автоматичних потенціометрів, які заздалегідь градуюють.

Нагрівання неізольованих провідників і контактів

Електричний струм в ланцюзі нагріває провідники і контакти з'єднання. Кількість теплоти, що виділяється за 1 секунду в контактному з'єднанні пропорційна:

$$I^2 \cdot R_k$$

де: $\mathbf{R_k}$– перехідний опір контакту, тобто опір у місці переходу з однієї контактної поверхні на іншу.

Дослідами доведено, що значення $R_к$ плоского контакту залежить від питомого опору і твердості металу, якості обробки і чистоти контактних поверхонь, а також від тиску, що здавлює контактні частини. Встановлено також, що опір не залежить від загальної площі дотичних поверхонь, оскільки електричний контакт між ними завжди утворюється лише окремими точками, розміри яких, як правило, невеликі. Зі збільшенням тиску, збільшується число контактних точок, через це значення перехідного опору зменшується.

Перехідний опір контактного з'єднання під час збільшення температури знаходиться за формулою:

$$R_k = R_{k1}\left[1+\frac{2}{3}\gamma\left(t_2-t_1\right)\right]$$

де: $\mathbf{t_1}$– початкова температура контакту;

$\mathbf{t_2}$– температура, для якої визначається опір контакту;

$\boldsymbol{\gamma}$– температурний коефіцієнт опору матеріалу контакту;

$\mathbf{R_{k1}}$– перехідний опір контакту при $\mathbf{t_1}$.

Найбільші температури нагріву контактних з'єднань не мають перебільшувати значень, які вказані в табл.

Частини апаратів та КРУ	*Найбільша температура нагріву, ^0C*		*Збільшення температури над температурою навколишнього середовища, ^0C*	
	в повітрі	*в маслі*	*в повітрі*	*в маслі*
Струмоведучі (за виключенням контактних з'єднань) і не струмоведучі металеві частини: • неізольовані і не дотичні з ізоляційними матеріалами	120	—	85	—
• дотичні з трансформаторним маслом	—	90	—	90
Контактні з'єднання з міді, алюмінію або їх сплавів(з'єднання болтами, гвинтами, заклепками і іншими способами, що забезпечують жорсткість):				
• без покриття	80	80	45	45
• з покриттям оловом	90	90	55	55
• з гальвоничним покриттям срібла	105	90	70	55

Вимірювання і контроль температури нагрівання контактів

Вимірювання температури нагрівання контактних з'єднань виконується переносним електротермометром, що є компактним неврівноваженим мостом, в одне з плечей якого включений мідний термометр опору. Живлення моста виконується від сухої батареї. Прилад кріпиться до ізолюючої штанги. Під час вимірювання головка температурного датчика торкається контакту і через 20 – 30 ^{0}C температура контакту визначається за шкалою приладу, включеного в діагональ моста.

Систематичний контроль за нагріванням контактів в експлуатації виконується за допомогою термоплівкових вказівників багатократної дії термосвічок і термовказівників з легкоплавким припоєм.

Термоплівкові вказівники у вигляді вузьких смужок наклеюють на металеві частини, які утворюють контактне з'єднання. У інтервалі температур 70 – 100 ^{o}C термоплівка змінює колір з червоного в чорний. Під час охолодження контакту чорний колір переходить у червоний. За кольором термоплівки визначають температуру нагрівання контакту.

Періодичні перевірки нагрівання контактних з'єднань виконують за допомогою термосвічок, що мають різні температури плавлення. Експлуатаційний комплект складається з 5 свічок з температурою плавлення 50, 80, 100, 130 і 160 ^{o}C. Свічкою, закріпленою на ізолюючій штанзі, торкаються окремих елементів

контакту. За температури нагрівання обстежуваної частини контакту, рівній температурі плавлення матеріалу свічки, кінець її плавиться.

Спостереження за нагріванням контактів, недоступних для вимірювання за допомогою штанг, виконують за вказівниками нагрівання одноразової дії з легкоплавким припоєм. Два шматки мідного дроту спаюються припоєм з температурою плавлення 95 – 160 °С. Один кінець дроту закріплюють під болт з'єднувального затискача, а інший, зігнутий в кільце, є вказівником.

Домашнє завдання

- Опрацювати теоретичний матеріал
- Дати відповідь на питання: (5 питань на вибір)

1. До чого призводить нагрівання електричного устаткування?
2. Що таке старіння ізоляції?
3. Що називають шестиградусним правилом?
4. Як перевіряють якість ізоляції збільшеним опором?
5. Як перевіряють якість ізоляції по діелектричним втратам?
6. Обґрунтуйте метод вимірювання температури електричних машин термометром.
7. Обґрунтуйте метод вимірювання температури електричних машин опором.
8. Обґрунтуйте метод вимірювання температури термопарою.
9. Як здійснюється контроль за нагріванням контактів?
10. Яких правил потрібно дотримуватись при проведенні ремонтних робіт з роз'ємними затискачами?