

А.В. Решетняк

(Україна, Кременчуцький державний політехнічний університет),

В.Г. Гонтар, Д.С. Соловійов

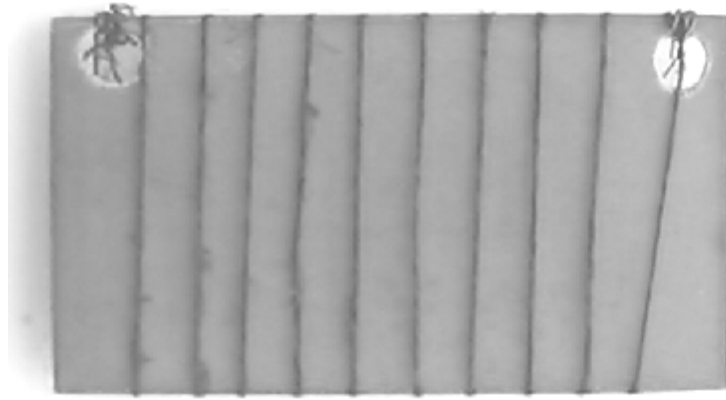
(Україна, Кременчуцький вагонобудівний завод)

ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ОБМОТОК ЗА ДОПОМОГОЮ ВУГЛЕЦЕВОЇ НИТКИ

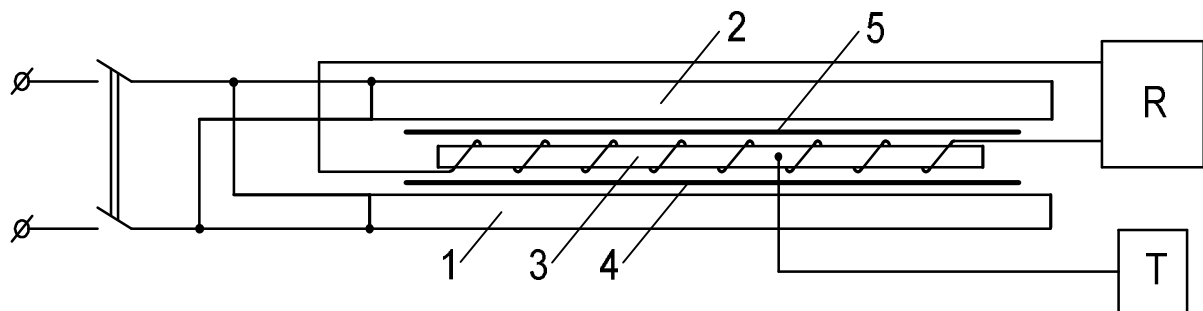
Підтримувати температуру ізоляції на розрахунковому рівні виключно важливо: перевищення її вкорочує термін служби обладнання, а зниження – означає недовикористання його. Воно може морально застаріти раніше, ніж буде зношена ізоляція. Наприклад, для номінального добового зносу ізоляції трансформатора температура найбільш нагрітої його частини повинна дорівнювати 98°C [1]. При збільшенні температури на кожні 6°C термін служби ізоляції зменшується в 2 рази (за 6-ти градусним правилом), а при зменшенні – термін збільшується, але в обох випадках це недоцільно з економічних причин, тому що номінальний термін служби обладнання – $15\div 20$ років – і на цей термін розраховані зазначені вище 98°C . Але як вимірювати температуру найбільш нагрітої частини обмотки? Для цієї мети використовують теплові перетворювачі – термоелектричні, терморезистивні і позисторні [2, 3]. Дія перших полягає у виникненні термоелектрорушійної сили на межі двох різнорідних провідників або напівпровідників, а других і третіх – на зміні електричного опору при зміні температури. Перелічені датчики для виміру температури в обмотках трансформаторів, дроселів, електричних машин не завжди придатні:

- § металевими датчиками від вібрації може пошкодитись ізоляція проводів, тобто вони знижують надійність обладнання; іноді такі датчики займають об'єм, якого бракує;
- § датчиками точкового типу температура вимірюється тільки в обмеженій зоні, яка знаходиться безпосередньо біля датчика.

Широке використання в техніці знайшли вуглецеві композити – завдяки різним унікальним властивостям: великій механічній міцності, термостійкості, незмочувальності [4]. Вуглецеві композити виготовляють у різноманітних формах, зокрема, у вигляді ниток діаметром $0,2 - 0,5$ мм. Такі нитки витримують температуру до 1000°C , при чому їхній опір з підвищенням температури зменшується. Нами запропоновано використовувати вуглецеву нитку для виміру температури обмоток [5]. Даних про температурний коефіцієнт ВН у літературі нами не знайдено, тому для його визначення нами був виготовлений нагрівальний термостат і зразок вуглецевої нитки діаметром $0,2$ мм і довжиною 1 м, яка була намотана на текстолітову пластину згідно рисунку 1,а. Пластина з ВН була розміщена в термостаті так, як це зображено на рис. 1,б: зверху і знизу нагрівальні елементи 1 і 2, між ними пластина 3 з вуглецевою ниткою та ізоляційними прокладками 4 і 5. Зверху та з боків розташовано утеплення.



а



б

Рис. 1. Пластина з вуглецевою ниткою і термостат: фото пластини (а); термостат, у якому розміщена пластина (б)

Температура та опір вимірювались мультиметрами T і R . Після підключення до джерела живлення температура в термостаті під дією нагрівачів 1 і 2 підвищувалась до 160°C , тобто до значення, яке можливе в обмотках трансформаторів і електричних машин. Результати одного з вимірів наведені в таблиці.

Залежність опору вуглецевої нитки довжиною 1 м і діаметром 0,2 мм від температури

Температура, $^{\circ}\text{C}$	0	20	30	40	50	60	70	80
Опір, Ом	1092	1062	1048	1035	1023	1013	1004	994
Температура, $^{\circ}\text{C}$	90	100	110	120	130	140	150	160
Опір, Ом	985	977	970	963	957	952	948	944

За даними таблиці була побудована залежність опору ВН $R_{ВН}$ від температури T (рис. 2).

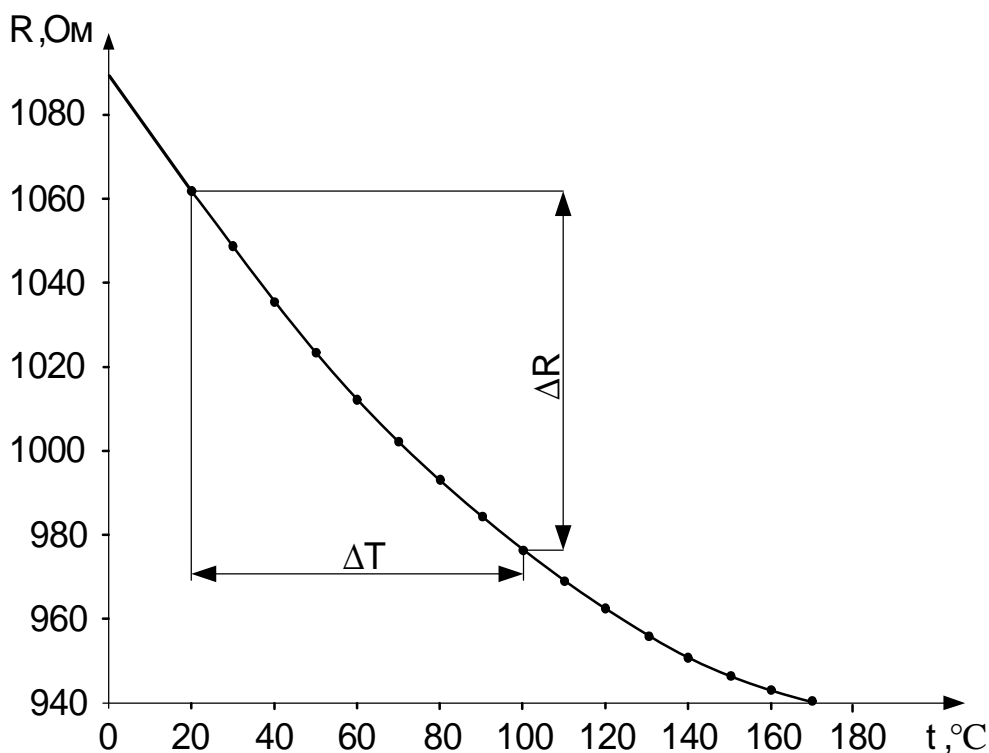


Рис. 2. Залежність опору вуглецевої нитки діаметром 0,2 мм і довжиною 1 м від температури

Нескладно цю залежність визначити математично, щоб потім розрахувати значення T за R_{BH} . Але в зоні від 40 до 100°C цю залежність, з невеликою похибкою, можливо вважати лінійною з температурним коефіцієнтом (рис. 2)

$$\alpha = \frac{\Delta R_{BH}}{\Delta T} = \frac{1036 - 983}{100 - 40} = 0,88 \text{ Ом}/^\circ\text{C}.$$

При такому значенні α температуру ВН в зоні від 40 до 100°C можливо визначити як

$$T = 40 + 0,88 |R_{BH} - 1036|.$$

Для виміру температури обмотки дроселя або трансформатора вуглецеву нитку необхідно намотати в зоні, де температура очікується найбільшою – і в цьому є перевага виміру температури за допомогою ВН у порівнянні з точковими датчиками.

Відомо, що температура у внутрішній частині котушки розподілена так, як показано на рис. 3, де τ_1 , τ_2 і τ_M – перевищення температури у внутрішній, зовнішній та середній частинах котушки, тобто на відстанях r_1 , r_2 та r_M від її осі.

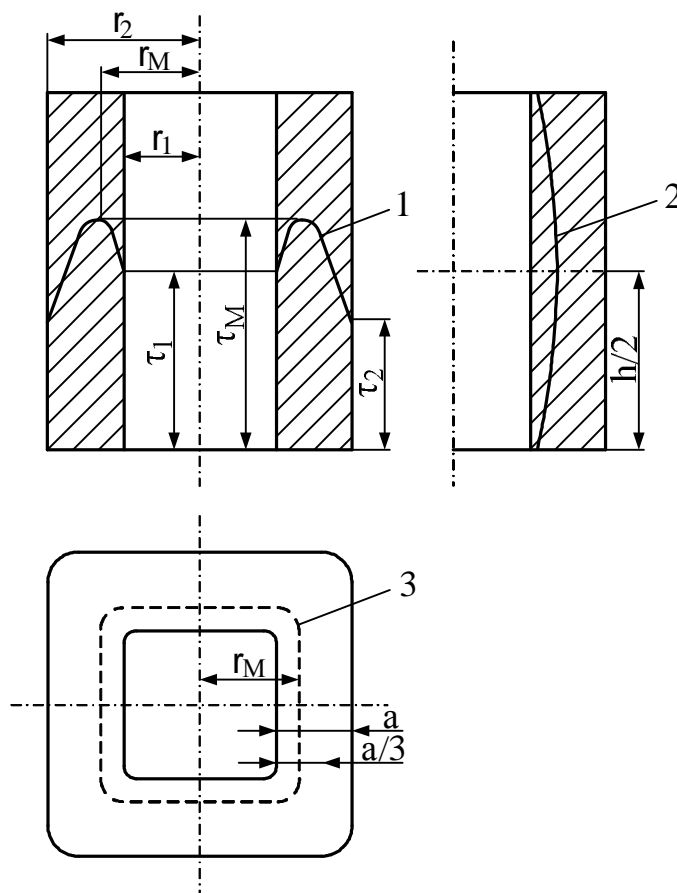


Рис. 3. Розподіл температури по внутрішній частині котушки:
 1 – в залежності від відстані від середньої частини котушки;
 2 – по довжині котушки на відстані r_M від осі, в середній її частині;
 3 – лінія найбільшої температури при вигляді на котушку зверху

Розподіл температури котушки по її довжині в зоні на відстані r_M від осі показано на рис. 3 (крива 2). Із кривих 1 і 2 зрозуміло, що для виміру температури котушки в зоні, де ця температура найбільша, ВН необхідно намотати в середній частині котушки, як це зображено кривою 3, тобто на відстані r_M від осі котушки. Виміри показали, що з невеликою похибкою це значення повинно бути таким, щоб нитка була розташована на відстані $1/3$ товщини котушки від її внутрішньої частини. Схема намотки ВН зображена на рис. 4.

Зазвичай ВН намотується на первинній обмотці трансформатора (між двома прокладками). Намотка повинна бути біфілярною, як це видно з рис. 4, щоб не наводилась ЕРС. Кінці ВН закріплюються на щоках котушки в точках 4 і 5 (рис. 4,б). На рис. 4,а приведене фото котушки з розміщенням ВН у внутрішній частині обмотки, на яку нанесена ізоляційна прокладка і далі намотується частина обмотки, яка залишилась. Якщо це трансформатори, то ВН краще розмістити між первинною та вторинною обмотками. Після намотки вторинних обмоток ВН буде знаходитись усередині.

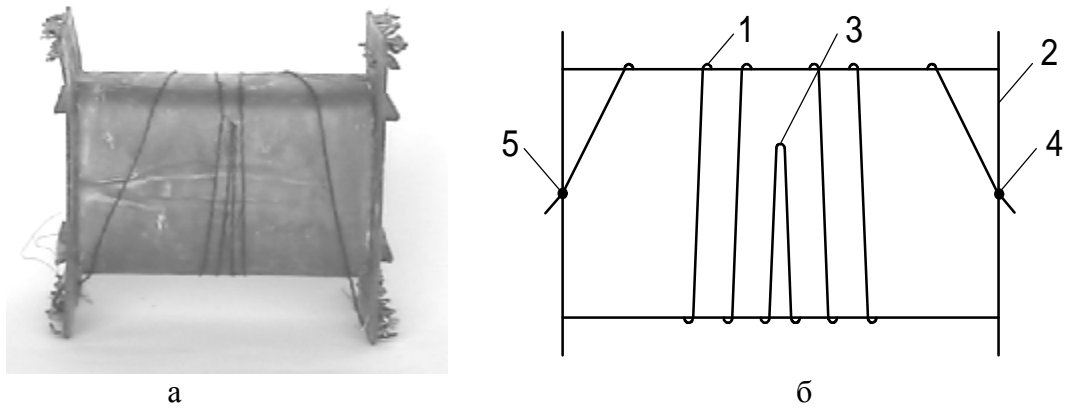


Рис. 4. Розміщення ВН на первинній обмотки котушки:
 а) фото котушки; б) схема намотки ВН на котушці:
 1 – ВН; 2 – каркас котушки; 3 – місце перегину нитки;
 4 і 5 – місця закріплення кінців ВН на щоках котушки

Для перетворення опору ВН в температурний показник можливо використовувати цифровий міст згідно з рис. 5, де U – напруга живлення; R_A , R_B , R – резистори мосту; R_X – опір ВН; ПП – пристрій порівняння; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ПТВ – цифровий пристрій відображення температури.

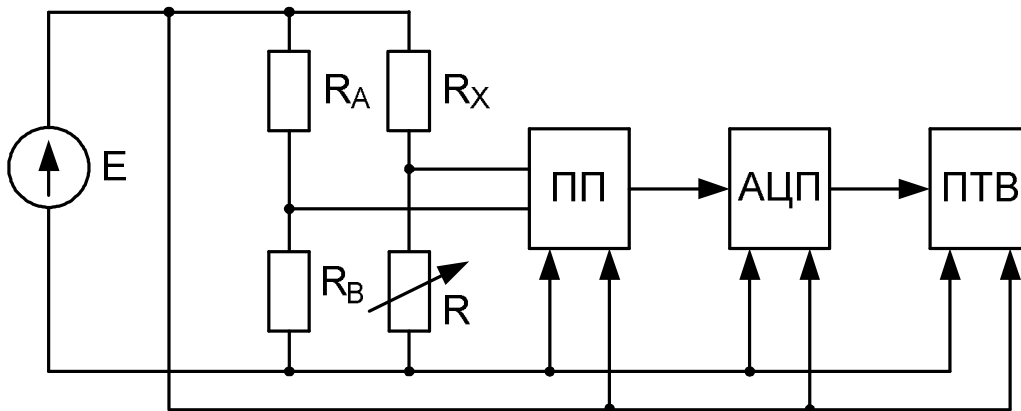


Рис. 5. Блок – схема пристрою перетворення опору ВН (R_X) в цифровий показник температури

Зазначимо, що потужність опорів R_A , R_B , R незначна: по величині вони вибираються приблизно рівними $R_{ВН}$, наприклад, 1000 Ом. При напрузі живлення 10 В потужність одного резистора, наприклад:

$$P_A = \left(\frac{U}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{R_A} = \frac{25}{1000} = 0,025 \text{ Вт.}$$

Резистори такої потужності можливо розмістити в габаритах мікросхеми пристрою перетворювача.

Відомо, що основною причиною виходу з ладу статорних обмоток електричних машин є місцевий перегрів. Вимір температури за допомогою точкових

датчиків не дозволяє контролювати її по всьому об'єму обмотки. Тому більш доцільно для цієї мети використовувати вуглецеві нитки, розміщуючи їх в пазах: на дні паза або безпосередньо в обмотці. Для закріплення виводів ВН можливо використовувати кільцевий ізолятор, наприклад, з листового текстоліту, закріпивши його на торцевій частині статора, як це показано на рис. 6.

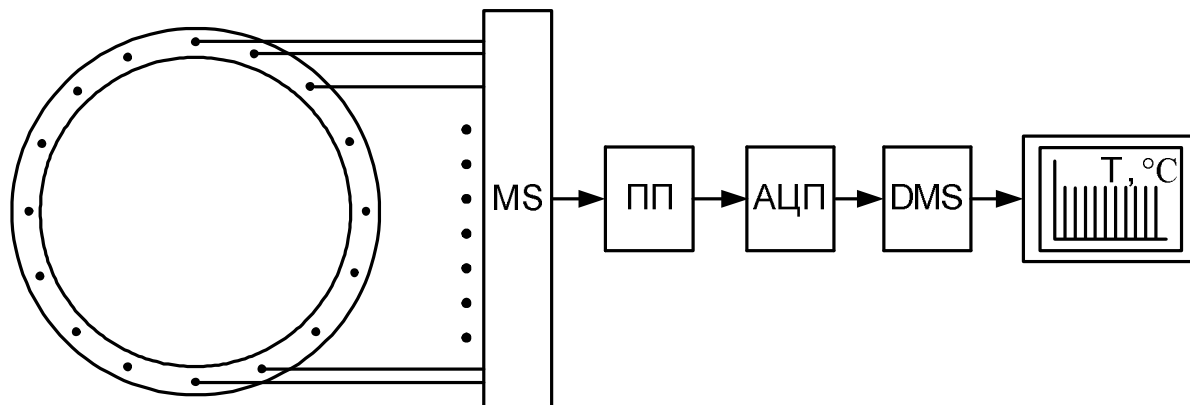


Рис. 6. Функціональна схема підключення ВН до комп'ютера для виміру температури всередині обмоток статора АД

Кінці вуглецевих ниток необхідно закріпити до лепестків на ізоляторі і далі монтажним проводом вивести за межі двигуна (один провід – загальний). На місці встановлення індикатора монтується електронний комутатор, пристрій перетворення ПП, АЦП і панель відображення температури в кожному із пазів двигуна. Якщо для цієї мети використовується комп'ютер, то можливо накопичувати дані вимірів у функції часу, щоб за спеціальним алгоритмом розпізнавати причину перегріву обмотки в пазі (місцевий чи загальний).

Висновки. Вимірювання температури всередині обмоток електричних машин та апаратів з використанням вуглецевих ниток дає більш достовірні результати, ніж за допомогою точкових вимірювань – гальванічних елементів, терморезисторів і позисторів. Вуглецеву нитку необхідно розмістити у тій частині обмотки, де очікується найбільш висока температура. Якщо це обмотка трансформатора або дроселя, то ВН необхідно намотати в середній частині котушки на відстані 1/3 від внутрішньої її частини. Для виміру температури обмоток статора асинхронного двигуна вуглецеву нитку необхідно розмістити в кожному пазу і далі через електронний комутатор і схему узгодження підключити до пристрою відображення температури. Використання для виміру температури обмоток вуглецевих ниток підвищить надійність роботи електрообладнання.

Список літератури

1. Грудинский П.Г., Мандрыкин С.А., Улицкий М.С. Техническая эксплуатация основного электрооборудования станций и подстанций. – М.: Энергия, 1974. –576 с.
2. Поліщук Є. Метрологія та вимірювальна техніка. – Львів: Вид-во “Бескид Біт”, 2003. – 538 с.
3. Кузнецов Р.С., Строганов Н.И. Позисторная защита электродвигателей.// Электротехника.– 1980. – №12. – с. 26-28.

4. Колесников С.А., Тонищев В.Г., Костаков В.И. Электропроводность углеродных композиционных материалов на основе углеродных тканей.//Материаловедение. – 1997. – №5. – с. 18-26.
5. Декларацийний патент на корисну модель 24089. G01K 13/00. Решетняк А.В., Некрасов А.В., Гонтар В.Г., Соловйов Д.С. Спосіб виміру температури всередині обмоток статорів електричної машини і котушок трансформатора та дроселя. – №24089; Заявл. 25.09.2006; Опубл. 25.06.2007, Бюл.; 10, 2006 р.