

# METODĂ DE MĂSURARE FĂRĂ CONTACT A TEMPERATURILOR ÎNFĂȘURĂRILOR MAȘINILOR ELECTRICE

## CONTACTLESS METHOD FOR TEMPERATURE MEASUREMENTS OF ELECTRICAL MACHINES WINDINGS

Nicolai VĂLCOV

COMITETUL ELECTROTEHNIC ROMÂN  
ROMANIAN ELECTROTECHNICAL COMMITTEE

**Rezumat:** Măsurarea directă a temperaturilor de lucru ale înfășurărilor mașinilor electrice este dificilă datorită, în special, restricțiilor legate de accesarea acestora. Lucrarea de față prezintă o metodă de măsurare a temperaturilor înfășurărilor mașinilor electrice, bazată pe dependența de temperatură a rezistenței electrice a înfășurării respective. Schema utilizată conține un circuit de măsurare în curent continuu a rezistenței, utilizând un convertor analog-digital și un calculator personal.

**Cuvinte cheie:** mașini electrice, temperaturi înfășurări, măsurări rezistențe, automatizări măsurări.

**Abstract:** It is difficult to make a direct measurement of the working temperatures of the electrical machines windings, especially, due to their restricted access in operation. The present paper proposes a method for temperature measurement of the electrical machines windings, based on the temperature dependence of the winding electrical resistance. The scheme used for measurements contains a d.c. circuit for resistance measurement, including an analog-to-digital converter and a personal computer. The data acquisition and processing are done by using a selfmade computer program, the whole measuring process being full automated.

**Key words:** electrical machines, windings temperatures, resistance measurements, measurement automation.

### 1. INTRODUCERE

Temperatura de lucru a rezistenței unei înfășurări se realizează pe baza relației (1):

$$\Delta\theta = \frac{R_c - R_r}{R_r} (\alpha + \theta_r) + \theta_r - \theta_m \quad (1)$$

unde:

$R_r$  - rezistența înfășurării în starea rece;

$R_c$  - rezistența înfășurării în starea caldă;

$\theta_r$  - temperatura ambiantă în starea rece

$\theta_m$  - temperatura ambiantă în starea caldă;

$\Delta\theta$  - diferența dintre temperatura înfășurării și temperatura ambiantă în starea caldă;

$\alpha$  - 234,5 (pentru Cu) și 225 (pentru Al).

Măsurarea rezistenței înfășurării în starea rece se face înainte de pornirea mașinii electrice, la o valoare staționară a temperaturii mediului ambiant.

Măsurarea rezistenței înfășurării în starea caldă se face, în funcție de regimul de funcționare, la stabilizarea termică (în cazul regimurilor de lungă durată sau intermitente) sau la terminarea duratei de funcționare (în cazul regimului de scurtă durată).

### 1. INTRODUCTION

The working temperature of the resistance of a winding is realized based on the equation (1)

$$\Delta\theta = \frac{R_c - R_r}{R_r} (\alpha + \theta_r) + \theta_r - \theta_m \quad (1)$$

where:

$R_r$  is the resistance of the winding in cold state;

$R_c$  - resistance of the winding in warm state;

$\theta_r$  - ambient temperature in cold state;

$\theta_m$  - ambient temperature in warm state;

$\Delta\theta$  - the difference between the temperature of winding and the ambient temperature in warm state;

$\alpha$  - 234,5 (for Cu) and 225 (for Al).

The measurement of the resistance of winding in cold state is performed before turning on the electrical machine, at a stationary value of the ambient temperature.

The measurement of the winding's resistance in the warm state is performed depending on the function regime, at thermal stabilization (in the case of long or intermittent regimes) or at the end of the functioning time (in the case of short time regime).

Determinarea respectivă se efectuează după deconectarea mașinii electrice de la rețea, oprirea completă a acesteia și conectarea în schema de curent continuu utilizată la măsurarea rezistenței înfășurării. Se efectuează prima măsurare cât mai repede posibil, după care se continuă seria de măsurări la intervale de timp egale, obținându-se prin extrapolare valoarea rezistenței la „momentul zero” reprezentat de deconectarea de la rețeaua de alimentare a mașinii electrice respective.

Deși metoda se poate utiliza, în principiu, în varianta manuală, varianta automată bazată pe utilizarea unui calculator personal prezintă avantaje evidente în ceea ce privește calitatea măsurării – rapiditate, exactitate, reproductibilitatea măsurării, etc. Valorile măsurate ale rezistenței se logaritmează și se reprezintă grafic în funcție de timp. Se construiește, prin metoda pătratelor minime, dreapta care trece prin punctele experimentale și la intersecția dreptei cu axa ordonatelor se obține, prin extrapolare, valoarea  $\log R_c$  și, de aici, rezistența în stare caldă  $R_c$ .

Folosind relația (1) se calculează temperatura de funcționare a înfășurării :

$$\theta_c = \theta_m + \Delta\theta \quad (2)$$

## 2. SCHEMA BLOC

Metoda de măsurare se bazează pe utilizarea calculatorului personal, adoptându-se schema bloc din figura 1, în care semnalul  $u_1$  măsoară tensiunea la bornele rezistenței necunoscute  $R_x$  iar căderea de tensiune  $u_2$  pe rezistența de măsură  $r$  măsoară curentul prin rezistența necunoscută. Pentru determinarea valorii rezistenței  $R_x$  se utilizează relația :

$$R_x = r \frac{u_1}{u_2} \quad (3)$$

din care rezultă că rezistența  $R_x$  depinde numai de valoarea rezistenței  $r$  și de raportul semnalelor  $u_1$  și  $u_2$ .

Dependența mărimii măsurate de raportul a două semnale analogice exprimă una din proprietățile esențiale ale schemei din punctul de vedere al calității măsurării – independența de toți factorii, care afectează în aceeași măsură, cele două semnale analogice, cum sunt tensiunea de alimentare, variația etalonării datorată modificării factorului de conversie analog – digitală ș.a.

După cum se observă din figura 1, cele două semnale analogice se aplică la intrările unui dispozitiv de conversie analog-digitală CAD [2], legat de un calculator personal CP.

The determination is performed after disconnecting the electrical machine from the electrical power, after complete stop of the machine and its connection in the used direct current scheme for measuring the resistance of the winding. The first measurement is performed as soon as possible, after that, series of measurements are carried on at equal time intervals, obtaining thus, by extrapolation, the value of the resistance at ‘zero time’, represented by the moment of disconnection of the respective electrical machine.

Although the method may, in principle, be used in the manual way, its automated based on the use of a PC has obvious advantages in respect with the quality of measurement – speed, accuracy, reproducibility of measurements, etc. The measured values of resistance are logarithmated and graphically represented against the time. Using minimum square method, the line linking the experimental points is established by extrapolation. At the intersection between the constructed line and the ordinate, the values of  $\log R_c$  and  $R_c$  are obtained.

Using the equation (1), one calculates the temperature of winding functioning:

$$\theta_c = \theta_m + \Delta\theta \quad (2)$$

## 2. BLOC SCHEME

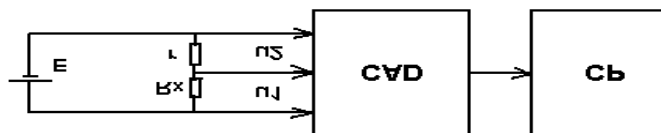
The measurement method relies on the use of the PC, in accordance with the bloc scheme presented in figure 1, where the  $u_1$  signal measures the voltage at the borne of the unknown resistance  $R_x$  and the voltage drop  $u_2$  on the measuring resistance  $r$  measures the current passing through the unknown resistance. To determine the value of the resistance  $R_x$  the equation (3) is used:

$$R_x = r \frac{u_1}{u_2} \quad (3)$$

from where it results that the resistance  $R_x$  only depends on the value of the resistance  $r$  and on the ratio between  $u_1$  and  $u_2$  signals.

The dependence of the measured quantity on the ratio of two analogic signals express one of the main properties of the scheme from the measurement quality point of view – the independence from all factors affecting in the same way the two analogic signals, such as voltage supply and the variance of calibration due to the modification of the analog-digital conversion factor and so on.

As one may note from the figure 1, the two analogic signals are applied at the entrance of an analog-digital conversion device, CAD [2], connected to a PC.



**Fig. 1.** Schema bloc a sistemului de achiziție și prelucrare a datelor.  
**Fig. 1.** The bloc scheme of the data acquisition and treatment system.

Dispozitivul de conversie analog-digitală este alcătuit din două module – modulul de conversie AD tip I-7017 și convertorul RS-232 ÷ RS-485, cu următoarele caracteristici tehnice [4]:

Modulul de conversie AD tip I-7017.

- tensiune de intrare:  $\pm 150$  mV,  $\pm 500$  mV,  $\pm 1$  V;
- protecție supratensiune:  $\pm 35$  V;
- rată de eșantionare: 10 evenim/s;
- lărgime de bandă: 13,1 Hz;
- exactitate:  $\pm 0,1\%$ ;
- derivă de zero:  $\pm 0,02$  mV;
- consum: 2 W / 10 ÷ 30 V.

Convertorul RS-232 ÷ RS-485 tip I-7520.

- protecție supratensiune: 3000 V
- repeto: > 1200 m;
- consum: 1,2 W / 24 V.

Calculatorul personal utilizat în schema bloc din figura 1 are următorii parametri de bază:

- frecvența procesorului: 3 GHz
- memoria cu acces aleatoriu: 256 MB
- memoria discului fix: 120 GB

### 3. PROGRAMUL DE CALCUL

Pentru achiziția și prelucrarea datelor s-a utilizat un program de calcul de concepție proprie. Programul conține etapele de achiziție, de prelucrare și de afișare a datelor [3]. Programul de achiziție asigură preluarea semnalelor digitale de la portul de intrare în calculator și stocarea acestora într-un fișier rezervat acestui scop. De aici informația se transferă în alte fișiere, unde se află programele de prelucrare și afișare corespunzătoare.

Programul de achiziție utilizat conține următoarele comenzi (date):

- portul de conectare;
- numărul canalului pentru achiziție;
- intervalul de eșantionare;
- fișierul de salvare a datelor (alegerea fișierului);
- startul achiziției (automate);
- startul achiziției (pas cu pas);
- stopul achiziției (automate).

Programul de calcul a valorilor rezistențelor la cald și la rece și de determinare a temperaturii de lucru a rezistenței a fost realizat folosind subrutinele

The analog-digital conversion device consists of two modules – the AD conversion module, I-7017 type and the converter RS-232 ÷ RS-485, having the following technical characteristics [4]:

For the AD conversion module, I-7017 type:

- input voltage:  $\pm 150$  mV,  $\pm 500$  mV,  $\pm 1$  V;
- protection against super-voltage:  $\pm 35$  V;
- sampling rate: 10 evenim/s;
- bandwidth: 13,1 Hz;
- accuracy:  $\pm 0,1\%$ ;
- zero drift:  $\pm 0,02$  mV;
- power: 2 W / 10 ÷ 30 V;

For the converter RS-232 ÷ RS-485, I-7520 type:

- protection super-voltage: 3000 V;
- repeater: > 1200 m;
- power: 1,2 W / 24 V.

The personal computer used in the bloc scheme presented in Figure 1 has the following main features:

- processor frequency: 3 GHz;
- RAM: 256 MB;
- HDD: 120 GB.

### 3. CALCULATION PROGRAM

For data acquisition and processing, a selfmade calculation program was used. The program includes the acquisition, process and display steps [3]. The acquisition program assures the collection of the digital signals from the input port into the PC and their storage in a special dedicated file. From here the piece of information is transferred in other files, where lie the appropriate processing and display programs.

The acquisition program used contains the following commands (data):

- the connection port;
- the number of the channel for acquisition;
- sampling interval;
- the file for data saving (the chose of the file);
- the acquisition start (automate);
- the acquisition start (step by step);
- the purpose of acquisition.

The program for calculating the values of resistance at warm and cold state, and for determining the working temperature of the resistance was developed using the existing subroutines of MICRO-

programului MICROSOFT EXCEL din sistemul de operare WINDOWS și conține trei etape distincte:

- a) etalonarea schemei de măsurare a rezistențelor;
- b) măsurarea rezistenței înfășurării la rece;
- c) măsurarea valorilor rezistenței după perioada de încălzire și deconectarea de la rețeaua de alimentare.

Sistemul funcționează automat, afișând parametrii de ieșire, reprezentați de valoarea temperaturii și incertitudinea de măsurare asociată.

#### 4. CONCLUZII

Utilizând metoda prezentată în cele de mai sus s-a măsurat, pentru ilustrare, temperatura de lucru a înfășurării motorului monofazic cu condensator al unui ventilator de masă.

S-au obținut următoarele rezultate:

- durata perioadei de funcționare a ventilatorului: 45 minute;
- temperatura mediului ambiant: 25 °C;
- temperatura înfășurării motorului: 81 °C;
- incertitudinea de măsurare (pentru un nivel de încredere de 95%): 1,5 °C.

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] SR EN 60335-1 – Securitatea aparatelor electrice pentru uz casnic și scopuri similare. Partea 1 - Prescripții generale, Septembrie, 2004
- [2] Vlaicu C. – Sisteme digitale de măsurare, Editura U.P.B., București, 1997
- [3] Craig J.C., Webb J. – Visual Basic 5.0, *Manualul programatorului*, Editura Teora, București, 1998
- [4] SENSOTEC Catalogue, Columbus, Ohio, 2002

---

#### **Revizia științifică a articolului:**

*Marius NEAGU*, doctor inginer, șef laborator INM

#### **Despre autor:**

Doctor în fizică, cercetător principal la Comitetul Electrotehnic Român, secretar al Comitetului Național pentru Comisia Electrotehnică Internațională, Splaiul Unirii 313, tel.021-346.72.11.

---

SOFT EXCEL, included in the WINDOWS operation system. The program contains three distinct steps:

- a) calibration of the measurement scheme for resistances;
- b) measurement of the values of winding resistance at cold state;
- c) measurement of the values of resistance after the warming period and disconnection from the supply network.

The system automatically works, displaying the output parameters, represented by the value of temperature and the associated measurement uncertainty.

#### 4. CONCLUSIONS

Using the above presented method, for demonstration purposes, the working temperature of the mono-phase engine winding, with condenser of a table ventilator was measured.

The following results were obtained:

- the function period of the ventilator: 45 minutes;
- the ambient temperature: 25 °C;
- the temperature of the engine winding: 81 °C;
- measurement uncertainty (for a confidence level of 95 %): 1,5 °C.

#### REFERENCES

- [1] SR EN 60335-1 – Securitatea aparatelor electrice pentru uz casnic și scopuri similare. Partea 1 - Prescripții generale, Septembrie, 2004
- [2] Vlaicu C. – Sisteme digitale de măsurare, Editura U.P.B., București, 1997
- [3] Craig J.C., Webb J. – Visual Basic 5.0, *Manualul programatorului*, Editura Teora, București, 1998
- [4] SENSOTEC Catalogue, Columbus, Ohio, 2002

---

#### **Scientific revue:**

*Marius NEAGU*, doctor, head of laboratory INM.

#### **About the author:**

Doctor in physics, main researcher with the Romanian Committee for Electrotechnics, secretary of the National Committee for the International Commission for Electrotechnics, Splaiul Unirii 313, tel.021-346.72.11.

---

## **REGULI DE PREZENTARE A ARTICOLELOR PENTRU REVISTA „METROLOGIE”**

### ***PRECIZĂRI GENERALE***

- Lucrările trimise spre publicare trebuie să reprezinte contribuții originale ale autorului. Responsabilitatea pentru exactitatea afirmațiilor științifice, a calculelor și a rezultatelor experimentale prezentate revine autorilor.
- Au prioritate lucrările trimise spre publicare însoțite de o recomandare semnată de o personalitate științifică recunoscută în domeniu, privind calitatea conținutului științific și a prezentării, nivelul de interes pentru cititori, originalitatea lucrărilor.
- Redacția își rezervă dreptul de a nu publica materialele pe care le consideră necorespunzătoare. Manuscrisele nepublicate nu se înapoiază autorilor.

### ***REGULI DE REDACTARE A ARTICOLELOR***

- Articolele vor avea între minim 2 pagini și maxim 6 pagini, vor fi tehnoredactate pe calculator, folosind editorul de texte MICROSOFT WORD sub WINDOWS, cu caractere Times New Roman, corp de literă 11, și vor fi trimise redacției pe dischetă însoțite de un exemplar tipărit. Desenele și imaginile vor fi în alb-negru, încorporate în articol și, de asemenea, într-un fișier separat pe dischetă. Fișierele vor fi verificate înainte de a fi trimise la redacție cu un program antivirus recent pentru a se detecta eventuale fișiere infectate cu viruși.
- Articolele trebuie să fie însoțite de rezumate de maximum 100 cuvinte, în limbile română și engleză și de o listă de cuvinte cheie.
- Autorii vor indica numele și prenumele, titlurile științifice, funcția, locul de muncă, adresa și telefonul și vor anexa o scurtă prezentare a activității profesionale personale (maxim 10 rânduri).
- Nu se admit prescurtări, în afară de cele recunoscute și de largă utilizare.
- Scrierea și utilizarea denumirilor și a simbolurilor mărimilor și unităților de măsură precum și a multiplilor și submultiplilor acestora și, de asemenea, a valorilor mărimilor fizice se vor face în conformitate cu recomandările BRML publicate în revista „METROLOGIE” nr. 3-4 / 2001.
- Indicarea materialului bibliografic se va face complet: autor, titlu în limba originală, ediția, numărul volumului, locul publicării, editura, anul apariției, iar la reviste se va indica, în plus, numărul și anul publicării, pagina inițială și cea finală.
- Referințele bibliografice vor fi marcate în text prin indicarea numărului de ordine al lucrării, încadrat în paranteze drepte.

***Pentru detalii suplimentare contactați redacția la adresa:  
INSTITUTUL NAȚIONAL DE METROLOGIE, Șos. Vitan-Bârzești nr. 11, sect. 4,  
cod poștal 042122, București, tel. 4021-3345520.***