

# ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΜΕΤΑΔΟΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΞΟΔΟ ΣΕ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΑ

Λαμπρινή Ν. Πλατή & Τάσος Μανάρας  
ALGOSYSTEMS S.A. – ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ,  
Ν. ΠΛΑΣΤΗΡΑ 46, 171 21 Ν. ΣΜΥΡΝΗ, ΑΘΗΝΑ  
e-mail: [lplati@algosystems.gr](mailto:lplati@algosystems.gr)

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία περιγράφει τη διαδικασία, τις απαιτήσεις σε εξοπλισμό και τον τρόπο διακρίβωσης μεταδοτών θερμοκρασίας (temperature transmitters) με έξοδο σε αναλογικό σήμα (mA ή Volts) συνδεδεμένων με αισθητήριο θερμοκρασίας.

Η διαδικασία και ο υπολογισμός της αβεβαιότητας βασίζεται στην Οδηγία DKD-R 5-1 2003. Για τη μέτρηση της εξόδου των μεταδοτών θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται πρότυπα ψηφιακά όργανα με δυνατότητα μέτρησης mA και Volts.

Η διακρίβωση ενός μεταδότη θερμοκρασίας μπορεί να γίνει είτε στο Εργαστήριο Διακρίβωσης είτε επιτόπου στις εγκαταστάσεις του πελάτη.

Η αβεβαιότητα μπορεί να διατυπωθεί σε ηλεκτρικές μονάδες  $\mu\text{A}$  ή mV και σε μονάδες θερμοκρασίας ( $^{\circ}\text{C}$ ), κάνοντας τις κατάλληλες μετατροπές, σύμφωνα με το span και το εύρος εξόδου του κάθε μεταδότη.

Τέλος, παρουσιάζεται ένα αναλυτικό παράδειγμα προσδιορισμού και υπολογισμού των παραγόντων αβεβαιότητας για μεταδότες θερμοκρασίας.

*Λέξεις-Κλειδιά: Μεταδότης Θερμοκρασίας, Αβεβαιότητα, DKD-R 5-1 2003.*

## Abstract

This work presents the procedure, the equipment needed and the calibration methods of temperature transmitters with analog signal output (in mA or Volts), connected to a temperature sensor.

The procedure and the uncertainty calculation are based on the DKD-R 5-1 2003 Guideline. The temperature transmitters' output is measured via standard digital devices of Algosystems SA that measure current and voltage.

The calibration of a temperature transmitter can be performed in the Temperature and Relative Humidity Laboratory, as well as at the customer's premises.

The expanded uncertainty can be expressed in electrical units ( $\mu\text{A}/\text{mV}$ ) and in temperature units ( $^{\circ}\text{C}$ ). The conversion is made according to the transmitter's span and output range.

Finally, a detailed example of the calibration of a temperature transmitter with its uncertainty budget is presented in the paper.

*Keywords: Temperature Transmitter, Uncertainty, DKD-R 5-1 2003.*

## 1. Εισαγωγή

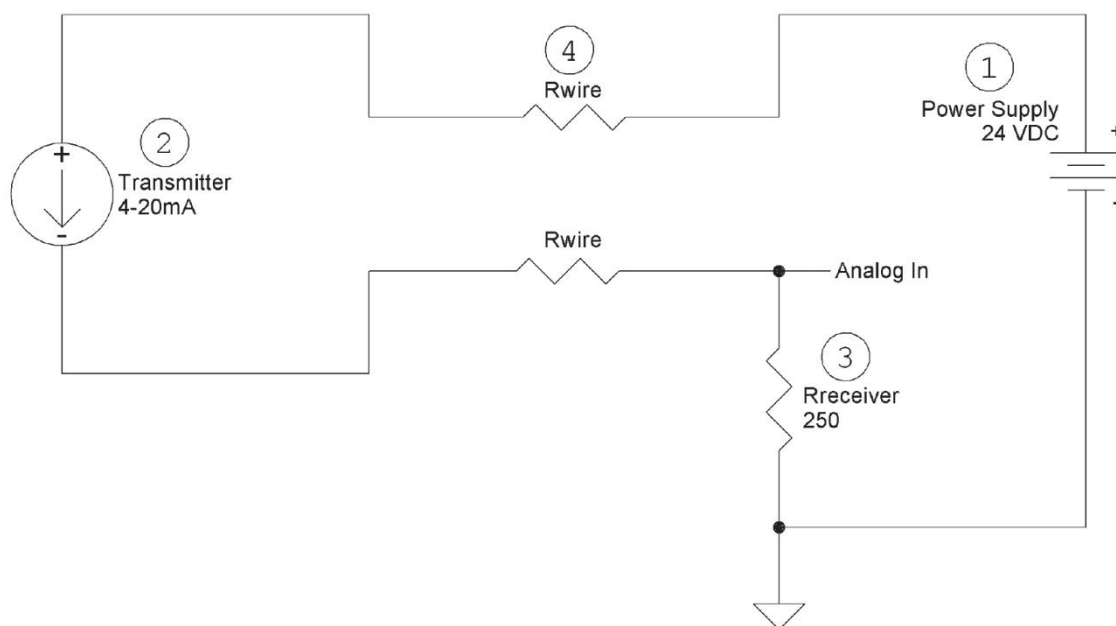
Η εργασία βασίζεται στην Οδηγία DKD-R 5-1 2003 “Calibration of Resistance Thermometers” και, ειδικότερα, στην παράγραφο A.5 “Calibration of a resistance thermometer with connected transmitter”.

Η εργασία αυτή περιγράφει τον τρόπο διακρίβωσης μεταδοτών θερμοκρασίας (temperature transmitters) με έξοδο σε αναλογικό σήμα (mA ή Volts) συνδεδεμένων με αισθητήριο θερμοκρασίας.

Οι περισσότεροι μεταδότες θερμοκρασίας έχουν έξοδο 4-20 mA, 0-10 V ή 0-1 V.

Η αρχή λειτουργίας ενός μεταδότη θερμοκρασίας με έξοδο 4-20 mA έγκειται στη μετατροπή της τιμής της θερμοκρασίας σε ένα ηλεκτρικό σήμα 4 mA έως 20 mA, και αυτό να το μεταδίδει στον τελικό αποδέκτη, ο οποίος λαμβάνει το ηλεκτρικό σήμα και το μετατρέπει σε θερμοκρασιακή ένδειξη. Η διακρίβωση του μεταδότη γίνεται με βάση την προαναφερθείσα κλίμακα του ηλεκτρικού σήματος.

Στο Σχήμα 1 φαίνεται ένας βρόχος ρεύματος με έναν μεταδότη 4-20 mA και εξωτερική πηγή συνεχούς τάσης 24 V.



Σχήμα 1: Σχηματικό διάγραμμα βρόχου ρεύματος με μεταδότη 4-20 mA

## 2. Μεθοδολογία

Για τη διακρίβωση μεταδοτών θερμοκρασίας με έξοδο σε αναλογικό σήμα σε mA, χρησιμοποιείται πρότυπο ψηφιακό όργανο (Process Calibrator) με δυνατότητα μέτρησης σε mA και ανάλυσης 1  $\mu$ A ή καλύτερη, όπως τα κάτωθι:

Πίνακας 1: Πρότυπος εξοπλισμός μέτρησης / παραγωγής ρεύματος και τάσης

Κατασκευαστής	Μοντέλο
ALTEK	934
EUROTRON	MicroCal 10
DRUCK	Genii dpi 620

Τα ίδια όργανα χρησιμοποιούνται και για μεταδότες θερμοκρασίας με έξοδο σε αναλογικό σήμα σε Volts, με δυνατότητα μέτρησης V και ανάλυση 1 mV ή καλύτερη. Ένα πολύμετρο ακριβείας (π.χ. FLUKE 287) μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί για την ανάγνωση σε Volts.

Εάν πρόκειται για επιτόπου διακρίβωση (στον πελάτη), η διακρίβωση του μεταδότη μπορεί να γίνει είτε σε κάποιο πρότυπο φορητό φουρνάκι (dry block calibrator) είτε στο περιβάλλον που βρίσκεται ήδη ο μεταδότης, εάν δεν είναι εφικτό να αποσυνδεθεί.

Εάν πρόκειται για διακρίβωση εντός του Εργαστηρίου Διακρίβωσης, η διακρίβωση του μεταδότη μπορεί να γίνει είτε σε κάποιο πρότυπο φορητό φουρνάκι ή στον πρότυπο περιβαλλοντικό θάλαμο.

Επίσης, για τη λειτουργία του εκάστοτε μεταδότη είναι απαραίτητη η τροφοδοσία του με συνεχή τάση 7 V<sub>DC</sub> έως 30 V<sub>DC</sub>. Η τροφοδοσία είτε γίνεται με εξωτερική πηγή είτε μέσω του παραπάνω πρότυπου εξοπλισμού μέτρησης και παραγωγής τάσης και ρεύματος.

## 3. Πειραματικό Μέρος

### 3.1 Διαδικασία Μέτρησης

Για να αποφευχθεί τραυματισμός ή καταστροφή του οργάνου, πρέπει να γίνεται επαλήθευση της συνδεσμολογίας του μεταδότη σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του.

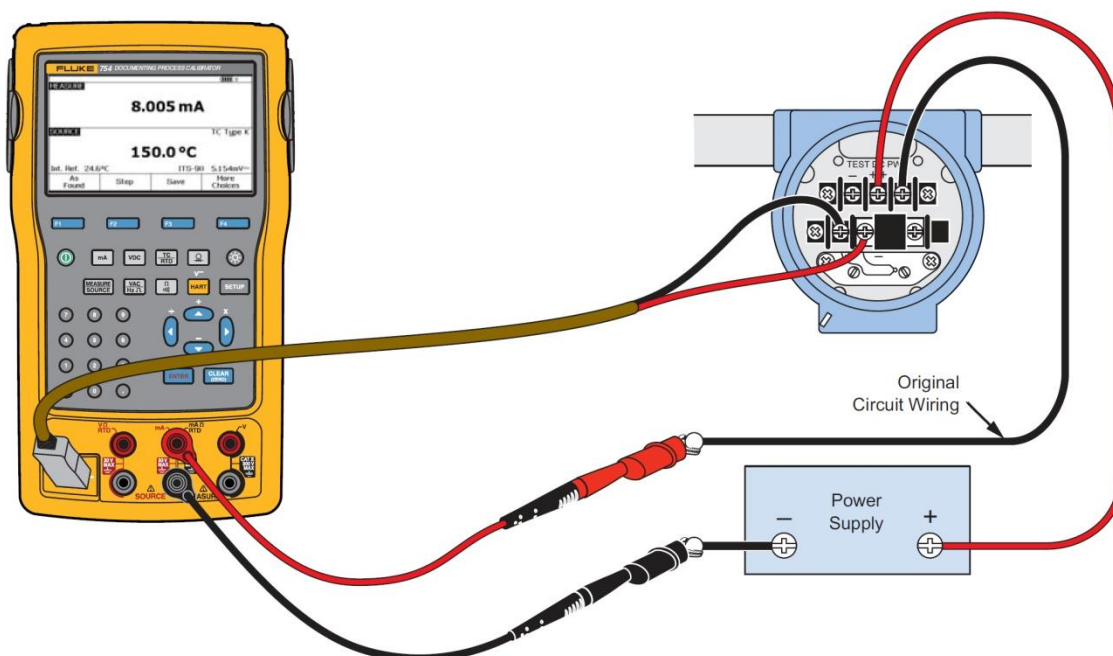
Για να μετρηθεί η θερμοκρασία του μεταδότη, ακολουθούμε την ακόλουθη διαδικασία.

Καταρχήν, μπορούμε να πάρουμε μια δοκιμαστική τιμή εξόδου σε mA ή V στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ώστε να δούμε εάν έχουμε συνδέσει σωστά το μεταδότη και εάν αυτός λειτουργεί αναμενόμενα (εάν έχει την αναμενόμενη έξοδο σε mA ή σε V).

Σε κάθε θερμοκρασία ελέγχου του μεταδότη, καταγράφονται τέσσερις μετρήσεις (σε mA ή V) αφού επιτευχθεί θερμοκρασιακή σταθερότητα στο πρότυπο φουρνάκι.

Κατόπιν, οι τιμές αυτές θα μεταφραστούν σε τιμές θερμοκρασίας ανάλογα με την κλίμακα του μεταδότη υπό διακρίβωση.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα παράδειγμα μεταδότη θερμοκρασίας με έξοδο σε αναλογικό σήμα (4-20 mA) εύρους 100..300°C. Ο αισθητήρας θερμοστοιχείου τύπου K είναι τοποθετημένος σε πρότυπο ξηρό φουρνάκι στους 150°C. Η πρότυπη συσκευή μέτρησης ρεύματος δείχνει 8.005 mA που αντιστοιχεί ακριβώς σε 150.06 °C.



Σχήμα 2: Μεταδότης θερμοκρασίας με έξοδο σε mA, συνδεδεμένος με αισθητήριο τύπου K

### 3.2 Αποτελέσματα Μέτρησης

Πίνακας 2: Αποτελέσματα Μέτρησης

Θερμοκρασία Διακρίβωσης	Ρεύμα εξόδου του μεταδότη	Θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο ρεύμα εξόδου του μεταδότη
150.0 °C	8.005 mA	150.06 °C

### 3.3 Υπολογισμός Αβεβαιότητας

Έστω ότι η διακρίβωση αφορά τον παραπάνω μεταδότη θερμοκρασίας με εύρος θερμοκρασίας 100-300°C (span 200°C) και με έξοδο σε αναλογικό σήμα 4-20 mA. Η διακρίβωση υλοποιείται συγκριτικά με τη χρήση πρότυπης θερμοαντίστασης Pt100 χρησιμοποιώντας ως μέσο θερμοκρασίας ένα πρότυπο φουρνάκι (dry block calibrator) στους 150°C.

Μετά τη θερμοκρασιακή σταθεροποίηση εντός του dry block calibrator, οι τιμές που καταγράφονται σε χρονικό διάστημα τεσσάρων (4) λεπτών είναι οι παρακάτω:

Πίνακας 3: Αποτελέσματα Μέτρησης

	Πρότυπη Τιμή από Pt100 (Standard Value)	Τιμή υπό διακρίβωση Οργάνου (UUT)	
	(°C)	(mA)	(°C)
1	150.1	8.004	150.05
2	150.1	8.005	150.06
3	150.1	8.006	150.08
4	150.1	8.005	150.06

Ο υπολογισμός της αβεβαιότητας βασίζεται στον παρακάτω τύπο:

$$i(t_x) = i_{Am} + \delta i_{AK} + \delta i_{AD} + \delta i_{Ares} + \delta i_{Um} + \delta i_{EW} + c_i \delta T_{Stab} + c_i \delta T_{Hom} + c_i \delta T \quad (1)$$

Όπου:

$i_{Am}$  : Μετρούμενη ένταση από την πρότυπη διάταξη μέτρησης ρεύματος. Υπολογίζεται η αβεβαιότητα τύπου A από την τυπική απόκλιση της μέσης τιμής από τέσσερις ενδείξεις.

$\delta i_{AK}$  : Αβεβαιότητα από το πιστοποιητικό διακρίβωσης του οργάνου μέτρησης ρεύματος.

$\delta i_{AD}$  : Αβεβαιότητα από την απόκλιση-μετατόπιση του οργάνου μέτρησης ρεύματος σε σχέση με το προηγούμενο πιστοποιητικό διακρίβωσής του.

$\delta i_{Ares}$  : Αβεβαιότητα από την ανάλυση της συσκευής μέτρησης ρεύματος.

$\delta i_{Um}$  : Αβεβαιότητα από την επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Προκύπτει από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή του εκάστοτε μεταδότη. Εάν δεν υπάρχουν τεχνικά στοιχεία, θεωρούμε την τιμή των 5  $\mu$ A ως ικανοποιητική.

$\delta i_{EW}$  : Αβεβαιότητα από την επίδραση της αντίστασης εισόδου λόγω των ηλεκτρικών συνδέσεων. Προκύπτει από τις προδιαγραφές του κατασκευαστή του εκάστοτε μεταδότη. Εάν δεν υπάρχουν τεχνικά στοιχεία, θεωρείται ίση με 8  $\mu$ A, τιμή που αντιστοιχεί σε μια ικανοποιητική εκτίμηση της επίδρασης των απωλειών φορτίου από τα καλώδια σύνδεσης.

- $\delta T_{Stab}$  : Αβεβαιότητα από την επίδραση της θερμοκρασιακής σταθερότητας εντός του μέσου (dry block calibrator) που γίνεται η διακρίβωση.
- $\delta T_{Hom}$  : Αβεβαιότητα από την επίδραση της αξονικής θερμοκρασιακής ομοιογένειας εντός του μέσου (dry block calibrator) που γίνεται η διακρίβωση.
- $\delta T$  : Αβεβαιότητα από τον πρότυπο αισθητήρα (πρότυπη θερμοαντίσταση Pt100 ή πρότυπο θερμοστοιχείο τύπου S) που τοποθετείται μέσα στο πρότυπο φουρνάκι ή το θάλαμο, όπου τοποθετείται ο μεταδότης υπό διακρίβωση.
- $c_i$  : Συντελεστής ευαισθησίας του μεταδότη θερμοκρασίας. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι ίσος με  $80 \mu A/^{\circ}C$ , που προκύπτει από το θερμοκρασιακό εύρος και το σήμα εξόδου (4-20 mA) του μεταδότη.

### 3.4 Ισοζύγιο Αβεβαιοτήτων

Οι παράγοντες που συνεισφέρουν στην αβεβαιότητα παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Ισοζύγιο Αβεβαιοτήτων

				Output Value: <b>8.005</b> mA			
Quantity	Symbol	Estimate	Expanded Uncertainty	Probability distribution	Divisor	Sensitivity Coefficient	Uncertainty Contribution
Indication - Amperemeter, Standard Deviation	$i_{Am}$	8.005 mA	0.8 $\mu A$	Normal	1.732051	1.0	0.5 $\mu A$
Calibration of the Amperemeter	$\delta i_{AK}$	0.000 mA	2.0 $\mu A$	Normal	2	1.0	1.0 $\mu A$
Drift of the Amperemeter	$\delta i_{AD}$	0.000 mA	2.0 $\mu A$	Rectangular	1.732	1.0	1.2 $\mu A$
Resolution of the Amperemeter	$\delta i_{Ares}$	0.000 mA	0.5 $\mu A$	Rectangular	1.732	1.0	0.3 $\mu A$
Ambient Influences on the transmitter	$\delta i_{UM}$	0.000 mA	5.0 $\mu A$	Rectangular	1.732	1.0	2.9 $\mu A$
Retroaction of input Resistance / Load Loss	$\delta i_{EW}$	0.000 mA	8.0 $\mu A$	Rectangular	1.732	1.0	4.6 $\mu A$
Calibration Item, ALGO-0367, Stability	$\delta T_{Stab.}$	0.00 $^{\circ}C$	0.15 $^{\circ}C$	Normal	2	80.0 ( $\mu A/^{\circ}C$ )	6.0 $\mu A$
Calibration Item, ALGO-0367, Axial Temp. Homogeneity	$\delta T_{Hom.}$	0.00 $^{\circ}C$	0.40 $^{\circ}C$	Normal	2	80.0 ( $\mu A/^{\circ}C$ )	16.0 $\mu A$
Temperature-Standard Sensor, Pt100	$\delta T$	0.00 $^{\circ}C$	0.06 $^{\circ}C$	Normal	2	80.0 ( $\mu A/^{\circ}C$ )	2.40 $\mu A$
Signal Current	$K(t_x)$	8.005 mA					18.17 $\mu A$
<b>EXPANDED UNCERTAINTY: <math>U = k \times u(V_x) = 2 \times u(V_x)</math></b>							36.34 $\mu A$

### 3.5 Παρουσίαση του αποτελέσματος διακρίβωσης

Η διευρυμένη αβεβαιότητα μέτρησης για το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι 36.34  $\mu\text{A}$  που αντιστοιχούν σε 0.46°C (συντελεστής ευαισθησίας 80  $\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ )

Η ένδειξη του μεταδότη θερμοκρασίας είναι 150.06°C  $\pm$  0.5°C.

Η αναφερόμενη αβεβαιότητα μέτρησης βασίστηκε σε κανονική αβεβαιότητα, πολλαπλασιαζόμενη με τον συντελεστή κάλυψης  $k=2$ , παρέχοντας ένα επίπεδο εμπιστοσύνης 95 % περίπου.

### 4. Βιβλιογραφία (διαθέσιμη στο διαδίκτυο)

- **DKD-R 5-1 Guideline**, “Calibration of Resistance Thermometers”.  
Σύνδεσμος: [http://www.dkd.eu/dokumente/Richtlinien/dkd\\_r\\_5\\_1\\_e.pdf](http://www.dkd.eu/dokumente/Richtlinien/dkd_r_5_1_e.pdf)
- Fluke 744, Documenting Process Calibrator-HART.  
Σύνδεσμος:  
[http://www.fluke.com/fluke\\_web/manualsdownload\\_web2.asp?location=741b743bumeng0100.pdf&Manual\\_Ver\\_ID=221&language=English&UserLanguage=en&Supplement=false](http://www.fluke.com/fluke_web/manualsdownload_web2.asp?location=741b743bumeng0100.pdf&Manual_Ver_ID=221&language=English&UserLanguage=en&Supplement=false)