

PRZEMYSŁAW PRUSINKIEWICZ, ZBIGNIEW PRUSINKIEWICZ

## CYFROWA METODA POMIARU SUM TEMPERATUR.

Instytut Informatyki Politechniki Warszawskiej  
i Zakład Gleboznawstwa Instytutu Biologii UMK w Toruniu

Do pomiaru temperatur gleby coraz powszechniej stosowane są termometry elektryczne, wyposażone zazwyczaj w rejestratory. Analiza zarejestrowanej krzywej, reprezentującej przebieg temperatury w funkcji czasu, umożliwia m. in. łatwe określenie jej wartości ekstremalnych (oraz chwil, w których te wartości zostały osiągnięte). Trudności sprawia natomiast określenie wartości średnich (dziennych, dekadowych, miesięcznych itd.) oraz tzw. sum temperatur, odgrywających dużą rolę w badaniach fizjologicznych, ekologicznych i innych.

Sumy temperatur są zdefiniowane następująco:

$$\Sigma_1(T_0) = \int_{t_1}^{t_2} [T(\tau) - T_0] d\tau \quad (1)$$

lub

$$\Sigma_2(T_0) = \int_{t_1}^{t_2} [T(\tau) - T_0] \cdot h(T(\tau) - T_0) d\tau \quad (2)$$

gdzie:

$t_1, t_2$  — chwile rozpoczęcia i zakończenia pomiaru ( $t_1 < t_2$ ),

$T(\tau)$  — temperatura w chwili  $\tau$ ,

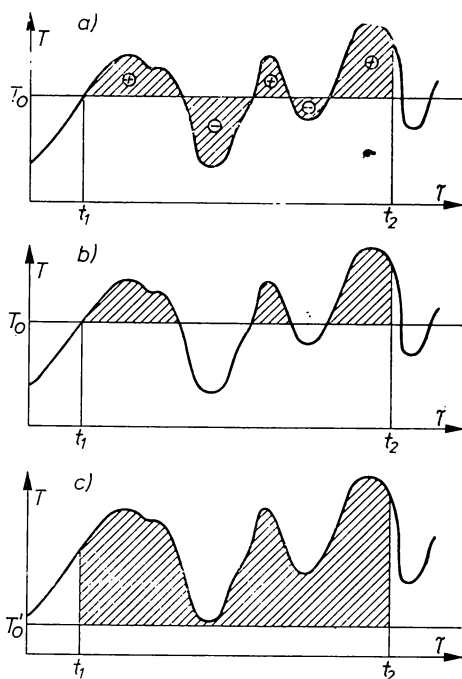
$T_0$  — temperatura progowa,

$h(x)$  — funkcja skoku jednostkowego:

$$h(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq 0 \\ 1 & \text{dla } x > 0 \end{cases} \quad (3)$$

We wzorze (2) jako  $x$  podstawiono  $T(\tau) - T_0$ .

Interpretację graficzną wielkości  $\Sigma_1$  i  $\Sigma_2$  przedstawiono na rys. 1. Na wykresie 1c pokazano, że jeżeli temperatura progowa  $T'_0$  jest mniejsza od minimalnej temperatury  $T_{\min}$ , zaobserwowanej w przedziale czasu  $(t_1, t_2)$ , to sumy temperatur  $\Sigma_1$  i  $\Sigma_2$  są sobie równe ( $\Sigma_1 = \Sigma_2$ ).



Rys. 1. Przykładowy przebieg temperatury w funkcji czasu. Zakreskowane pole jest proporcjonalne do:

- a)  $\Sigma_1(T_0)$ ,
- b)  $\Sigma_2(T_0)$ ,
- c)  $\Sigma_1(T'_0) = \Sigma_2(T'_0)$  ( $T'_0 < T_{\min}$ )

Temperature as a function of time-example. The shaded areas are proportional to:

- a)  $\Sigma_1(T_0)$ ,
- b)  $\Sigma_2(T_0)$ ,
- c)  $\Sigma_1(T'_0) = \Sigma_2(T'_0)$  ( $T'_0 < T_{\min}$ )

Określenie sum temperatur (lub wartości średnich) na podstawie zapisów rejestratora wymaga uciążliwego planimetrywania powierzchni podfunkcyjnych (zakreskowanych na rys. 1). Aby uniknąć związanych z tym niedogodności, już od dość dawna poszukuje się metod bezpośredniego pomiaru sum temperatur. Pierwszą taką metodę, noszącą nazwę „licznika elektrolitycznego”, zaproponował T a m m [5, 6]. Istotę metody stanowi eudiometryczny pomiar objętości gazu wydzielanego podczas elektrolizy. Jeżeli w obwód elektryczny elektrolizera włączony jest platynowy termometr oporowy, to objętość ta zależy od sumy temperatur  $\Sigma_1$ . Inny wariant tej metody, z wykorzystaniem termistorów i kulometru rtęciowego, opracowany został niedawno przez C o l e m a n a i W e i g e r t a [2], a ulepszony przez B r o w n a [1]. Powszechnie znany jest także zaproponowany w 1940 r. przez P a l l m a n n a, E i c h e n b e r g e r a i H a s l e r a [4] sposób, w którym do pomiaru „sumy temperatur” wykorzystano polarymetryczny pomiar inwersji roztworu sacharozy w buforze cytrynianowym o pH 2,90. W metodzie tej chodzi jednak o sumy ważone, gdyż współczynnik proporcjonalności między temperaturą a szybkością inwersji roztworu sacharozy rośnie wykładniczo wraz ze wzrostem temperatury. Taka „suma” nie odpowiada więc definicjom ujętym we wzorach (1) i (2).

W niniejszej pracy przedstawiono cyfrową metodę pomiaru sum temperatur  $\Sigma_2$ . Jeżeli badaną wielkością jest suma temperatur  $\Sigma_1$ , to należy zmierzyć sumę temperatur  $\Sigma_2(T'_0)$ , gdzie  $T'_0$  jest dowolnie obraną tem-

peraturą progową nie większą od temperatury minimalnej  $T_{\min}$ , a następnie wyznaczyć  $\Sigma_1(T_0)$  ze wzoru:

$$\Sigma_1(T_0) = \Sigma_2(T'_0) - (T_0 - T'_0) \cdot (t_2 - t_1) \quad (T'_0 \leq T_{\min}) \quad (4)$$

Na rys. 2 przedstawiono schemat blokowy układu pomiarowego. W układzie tym można wyróżnić trzy bloki:



Rys. 2. Schemat blokowy układu pomiaru sum temperatur

$R_x$  — opornik termometryczny,  $K$  — konwerter rezystancja—częstotliwość,  $L$  — licznik impulsów i blok wyświetlania wyniku

Block diagram of the system of measurement of sums of temperatures

$R_x$  — thermometric resistor,  $K$  — resistance-to-frequency converter,  $L$  — decade counter and result display

- opornik termometryczny  $R_x$ ,
- konwerter rezystancja—częstotliwość  $K$ ,
- licznik impulsów i blok wyświetlania wyniku  $L$ .

Rezystancja opornika termometrycznego jest liniową funkcją mierzonej temperatury  $T$ . Częstotliwość fali prostokątnej na wyjściu konwertera jest liniową funkcją rezystancji, włączonej na jego wejście. W konsekwencji częstotliwość jest wprost proporcjonalna do różnicy temperatur  $T - T_0$ , a liczba impulsów, zliczonych przez licznik  $L$ , jest wprost proporcjonalna do sumy temperatur.

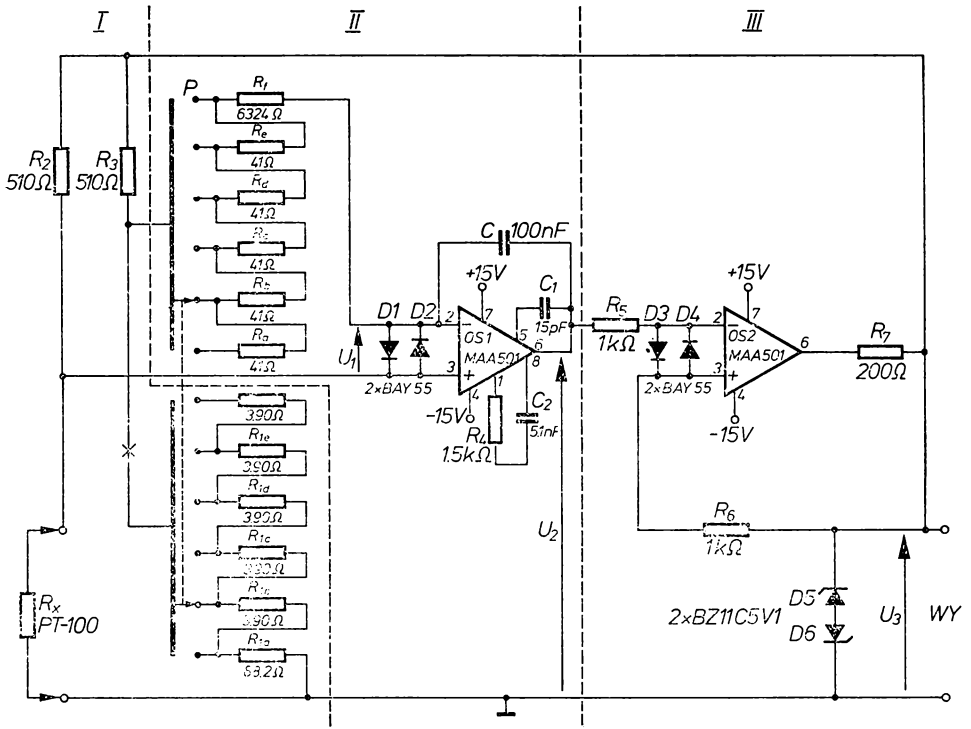
W omawianej metodzie zasadniczą rolę odgrywa konwerter rezystancja—częstotliwość. Powinien on posiadać następujące cechy:

- liniową zależność częstotliwości od mierzonej temperatury dla  $T > T_0$ ;
- stałe napięcie na wyjściu dla  $T \leq T_0$ ;
- małe częstotliwości przebiegów wyjściowych (kilka Hz);
- mały prąd płynący przez opornik termometryczny  $R_x$  (do 2 mA);
- możliwość łatwej zmiany temperatury progowej  $T_0$ ;
- możliwość łatwej kompensacji impedancji linii, łączącej opornik termometryczny z konwerterem;
- niezależność parametrów do wahań napięcia zasilającego i temperatury otoczenia;
- prostotę konstrukcji.

Schemat ideowy konwertera rezystancja—częstotliwość, zaprojektowanego w oparciu o wymienione założenia, przedstawiono na rys. 3.

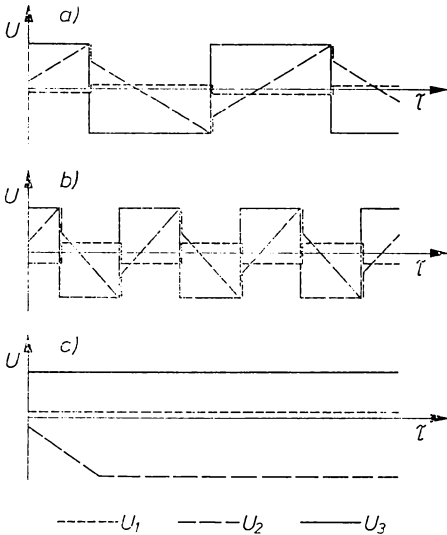
W skład konwertera wchodzi:

- I niezrównoważony mostek Wheatstone'a,
- II układ całkujący,
- III przerzutnik Schmitta.



Rys. 3. Schemat ideowy konwertera rezystancja-częstotliwość  
Circuit diagram of the resistance-to-frequency converter

Działanie układu dla temperatur  $T > T_0$  można objaśnić następująco (rys. 4a, b).



Rys. 4. Przebiegi czasowe w układzie konwertera dla trzech wartości mierzonych temperatur

a)  $T_1 > T_0$ , b)  $T_2 > T_1 > T_0$ , c)  $T_3 < T_0$

Waveforms in the converter for three values of temperature measured

a)  $T_1 > T_0$ , b)  $T_2 > T_1 > T_0$ , c)  $T_3 < T_0$

Niech  $U_3$  oznacza napięcie na wyjściu przerzutnika Schmitta (rys. 3). Napięcie niezrównoważenia mostka Wheatstone'a jest wówczas równe

$$U_1 = -U_3 \left( \frac{R_x}{R_2 + R_x} - \frac{R_1}{R_1 + R_3} \right) \quad (5)$$

Napięcie  $U_1$  jest przyłożone na wejście układu całkującego, wobec czego napięcie  $U_2$  zmienia się z szybkością

$$\frac{dU_2}{d\tau} = -\frac{U_1}{RC} \quad (6)$$

Po zrównaniu się napięć  $U_2$  i  $U_3$  następuje zmiana znaku napięcia  $U_3$  na przeciwny. W konsekwencji zmienia się na przeciwny znak napięcia  $U_1$  oraz występuje skok napięcia  $U_2$  o wartość:

$$\Delta U_2 = -2U_3 \frac{R_x}{R_x + R_2} \quad (7)$$

Okres fali prostokątnej na wyjściu konwertera jest równy

$$\frac{1}{f} = 2 \cdot \frac{2U_3 + \Delta U_2}{\frac{dU_2}{d\tau}} = 4RC \cdot \frac{1 - \frac{R_x}{R_x + R_2}}{\frac{R_x}{R_2 + R_x} - \frac{R_1}{R_1 + R_3}} \quad (8)$$

Stąd po przekształceniach:

$$f = \frac{1}{4RC} \cdot \frac{R_x R_3 - R_1 R_2}{R_2 (R_1 + R_3)} \quad (9)$$

Po podstawieniu wartości elementów podanych na rys. 3 i uwzględnieniu charakterystyki opornika termometrycznego PT-100 [3], wzór (9) przybiera postać:

$$f[\text{Hz}] = \frac{1}{4} \frac{\text{Hz}}{\text{deg}} (T - T_0) [\text{deg}]. \quad (10)$$

Za pomocą przełącznika  $P$  można ustawić jedną z następujących wartości temperatur progowych  $T_0$ :  $-30^\circ\text{C}$ ,  $-20^\circ\text{C}$ ,  $-10^\circ\text{C}$ ,  $0^\circ\text{C}$ ,  $+10^\circ\text{C}$ ,  $+20^\circ\text{C}$ .

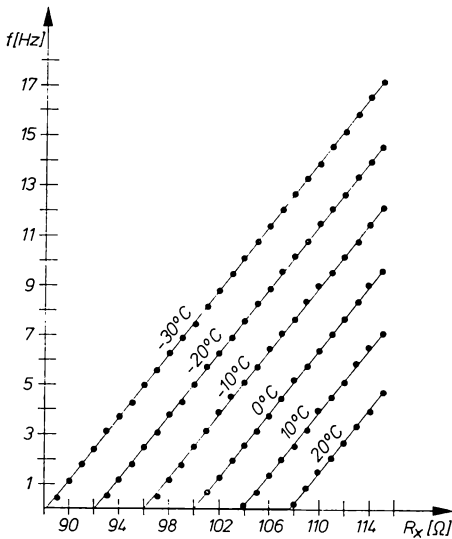
Dla temperatur  $T < T_0$  napięcie  $U_3$  na wyjściu konwertera jest stałe (dodatnie lub ujemne). Przykładowo, jeżeli napięcie  $U_3$  jest dodatnie (rys. 4c), to napięcie  $U_1$  jest również dodatnie (zgodnie ze wzorem (5)) i napięcie  $U_2$  na wyjściu układu całkującego maleje aż do momentu nasycenia wzmacniacza OS1. W dowolnej chwili  $U_3 > 0$  i  $U_2 < 0$ , a zatem zrównanie się napięć  $U_2$  i  $U_3$ , warunkujące wystąpienie skoku napięcia  $U_3$  na wyjściu konwertera, jest niemożliwe.

W celu skompensowania rezystancji linii łączącej opornik termo-

metryczny z konwerterem należy w punkcie oznaczonym na rys. 3 krzyżkiem włączyć opornik o rezystancji równej rezystancji linii. Układ wymaga zastosowania dwóch napięć zasilających:  $-15$  i  $+15$  V. Amplituda fali prostokątnej na wyjściu konwertera zawiera się w granicach  $5 \div 6$  V (zależy od zastosowanych egzemplarzy diod D5 i D6).

Maksymalny prąd płynący przez opornik termometryczny  $R_x$  jest mniejszy od 1 mA, w związku z czym błąd pomiaru temperatury wywołany samogrzaniem  $R_x$  jest pomijalnie mały [3].

Opisany układ spełnia wszystkie postawione założenia. W szczególności odznacza się małą zależnością parametrów od napięcia zasilania i temperatury otoczenia, gdyż (teoretycznie) częstotliwość jest wyznaczona przez wartości liniowych elementów pasywnych [wzór (9)]. Charakterystykę  $f(R_x)$ , obrazującą zmierzoną zależność częstotliwości fali prostokątnej na wyjściu prototypowego egzemplarza konwertera od rezystancji wejściowej  $R_x$ , przedstawiono na rys. 5. Egzemplarz prototypowy



Rys. 5. Zmierzona charakterystyka  $f(R_x)$  prototypowego egzemplarza konwertera rezystancja-częstotliwość

Experimental characteristics  $f(R_x)$  of a prototype of the resistance-to-frequency converter

umożliwia pomiar sumy temperatur  $\Sigma_2$  z dokładnością lepszą od  $\pm 0,2 (t_2 - t_1)$  [ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}$ ].

Możliwości wykorzystania opisanego układu mogą zostać łatwo rozszerzone przez wprowadzenie prostych modyfikacji:

1. Po szeregowym połączeniu  $n$  oporników termometrycznych rozmieszczonych w kilku punktach pomiarowych układ może być wykorzystany do bezpośredniego pomiaru średniej sumy temperatur wszystkich punktów pomiarowych.

2. Zastąpienie liniowego opornika termometrycznego  $R_x$  elementem o charakterystyce wykładniczej pozwala (po odpowiednim dobraniu rezystorów  $R$  i  $R_1$ ) na pomiar ważonych „sum temperatur”. W szczególności

mogą to być wielkości identyczne ze zdefiniowanymi przez P a l l m a n n a i wsp. [4].

3. Jeżeli jako opornik termometryczny zastosuje się element o ujemnym nachyleniu charakterystyki, to mierzona będzie suma temperatur mniejszych od temperatury progowej  $T_0$ .

4. Zastąpienie opornika termometrycznego  $R_x$  fotorezystorem pozwala na bezpośredni pomiar całki z natężeniem oświetlenia po czasie (ważne w badaniach ekologicznych i fizjologicznych).

5. Niewielka zmiana układu elektrycznego i zastąpienie licznika impulsów na wyjściu konwertera miernikiem częstotliwości pozwala wykorzystać urządzenie do cyfrowego pomiaru temperatury.

Opisane zalety przedstawionego urządzenia pozwalają wyrazić opinię, że znajdzie ono szerokie zastosowanie w terenowych stacjach gleboznawczych, ekologicznych, klimatologicznych, a także w pracowniach fizjologicznych itp.

#### LITERATURA

- [1] Brown J. M.: A device for measuring the average temperature of water soil or air. Ecology 1973, 6, 1397—1399.
- [2] Coleman D. C., Weigert R. C.: A simple, inexpensive temperature integrator. Bioscience 1967, 17, 481—482.
- [3] Grelewicz A.: Ocena różnych typów termometrów elektrycznych stosowanych do pomiaru i rejestracji temperatur gleby. Roczn. glebozn. 25, 1974, 3, 247—257.
- [4] Pallmann H., Eichenberger E., Hasler A.: Eine neue Methode der Temperaturmessung bei ökologischen oder bodenkundlichen Untersuchungen. Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft 50, 1940, 337—362.
- [5] Tamm E.: Vergleichende Temperaturmessungen in der Zone des Pflanzenklimas. Landwirtsch. Jahrbücher. 83, 1936, 457—554.
- [6] Tamm E.: Die Pflanzenklimastation des Instituts für Acker und Pflanzenbau. Zeitschr. Die Ernährung der Pflanze 35, 1939, 257—265.

П. Прусинкевич, З. Прусинкевич

#### ЦИФРОВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СУММЫ ТЕМПЕРАТУР

Институт информатики, Варшавская политехника  
и Лаборатория почвоведения института биологии,  
Университет им. Н. Коперника в Торуні

#### Резюме

Суммарные и средние величины температур принадлежат к основному виду характеристик применяемых в экологических и физиологических испытаниях. Однако их измерение очень затруднительно, так как наиболее часто при-

меняемым методом является планиметрирование поверхности ограниченной кривой, согласно записи хода температур на ленте регистратора.

В статье представлен метод и аппаратура для непосредственного измерения суммы температур. Предлагаемая электронная система состоит из следующих основных частей:

- платинового термометрического резистора,
- конвертера резистанс-частота,
- счетчика импульсов.

Частота прямоугольной волны у выхода из конвертера является пропорциональной к электросопротивлению входа, а это сопротивление пропорционально температуре. В результате число импульсов отмеченное на счетчике пропорционально сумме температур.

Статья содержит схему конвертера и точную опись его функционирования.

P. PRUSINKIEWICZ, Z. PRUSINKIEWICZ

## DIGITAL METHOD FOR THE MEASUREMENT OF SUMS OF TEMPERATURES

Institute of Computer Science, Warsaw Technical University  
Department of Soil Science, Institute of Biology, N. Copernicus-University  
of Toruń

### S u m m a r y

Sums of temperatures and mean values of temperatures are basic quantities in ecological and physiological research. However, their measurements are rather difficult as the method most frequently used is based on the planimetry of the surface under the curve obtained from the temperature recorder.

This paper presents a digital method for the direct measurement of sums of temperatures. A corresponding device contains three basic elements:

- platinum resistor as an electric thermometer,
- resistance-to-frequency converter,
- decade counter with result display.

The frequency at the output of the converter is proportional to its input resistance, and the resistance of the platinum thermometric elements is proportional to the temperature, so the number of pulses counted by the counter is proportional to the sum of temperatures.

The diagram of the resistance-to-frequency converter and a detailed description of its work are given.

*Mgr inż. Przemysław Prusinkiewicz*  
*Instytut Informatyki*  
*Politechniki Warszawskiej*  
*00-665 Warszawa, Nowowiejska 15—19*