

STUDIUL SENZORILOR DE TEMPERATURĂ

Scopul lucrării

- studiul caracteristicilor de temperatură ale termocuplului, termistorului și termometrului rezistiv
- înțelegerea necesității amplificării tensiunii furnizate de un termocuplu
- observarea rolului temperaturii de referință în măsurarea temperaturii cu termocuplul
- studiul modului de liniarizare a caracteristicii de temperatură a unui termometru rezistiv, respectiv termistor

Materiale necesare

- computer
- programul Micro-cap 12
- programul Scidavis

Metodologia efectuării lucrării

a) Termometrul rezistiv (RTD, Resistance Temperature Detector)

a.1) Ridicarea caracteristicii de temperatură a termometrului rezistiv

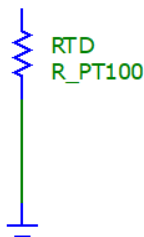
În lucrarea de față vom studia un termometru rezistiv de tip Pt100. Pentru modelarea unui termometru rezistiv în Micro-Cap vom folosi un rezistor a cărui rezistență R va avea forma:

$$R(T) = R_0(1 + AT + BT^2)$$

unde $R_0 = 100 \Omega$ este rezistența senzorului la 0°C , $A = 3.908 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, iar $B = -5.775 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-2}$. Astfel, vom folosi două comenzi .DEFINE pentru a defini rezistența termometrului, R_PT100 , respectiv pentru a defini parametrul T_EXP (temperatura). Rezistența rezistorului RTD va fi egală cu valoarea parametrului R_PT100 .

- se realizează montajul de mai jos în Micro-cap 12.
- se realizează analiza DC a circuitului variind parametrul T_EXP între 0 și 150°C cu un pas de 1°C și se reprezintă grafic rezistența RTD în funcție de temperatura T_EXP .

```
.DEFINE R_PT100 100*(1+3.908*1e-3*T_EXP-5.775*1e-7*T_EXP*T_EXP)
.DEFINE T_EXP 0
```



- comentați asupra liniarității dependenței $R(T)$ măsurate.
- determinați sensibilitatea senzorului în $\Omega/^\circ\text{C}$.
- determinați rezoluția senzorului dacă rezistența acestuia se măsoară cu un ohmmetru ce are o precizie de 1Ω .

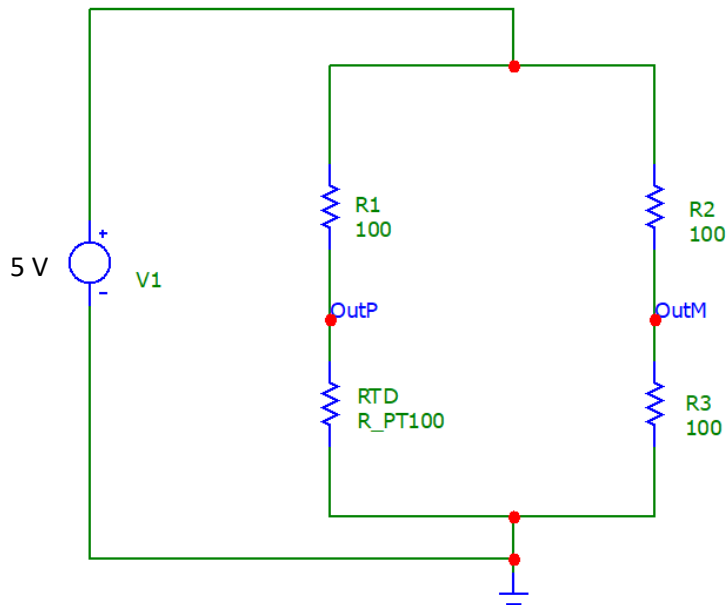
a.2) Traductor de temperatură cu termometru rezistiv în punte

În cele ce urmează vom realiza un traductor de temperatură cu RTD. Pentru aceasta vom conecta termometrul într-o punte cu alte trei rezistențe egale cu 100Ω .

- se realizează montajul de mai jos în Micro-cap 12.

- se realizează analiza DC a circuitului variind parametrul T_EXP între 0 și 150 °C cu un pas de 1 °C și se reprezintă grafic tensiunea de ieşire a punţii, $VOUT$, în funcţie de temperatura T_EXP .

```
.DEFINE R_PT100 100*(1+3.908*1e-3*T_EXP-5.775*1e-7*T_EXP*T_EXP)
.DEFINE T_EXP 0
.DEFINE VOUT V(OutP)-V(OutM)
```



- comentați asupra liniarității caracteristicii $VOUT = f(T_EXP)$.
- determinați sensibilitatea traductorului în $V/°C$.
- determinați rezoluția traductorului dacă tensiunea de ieşire este măsurată cu un milivoltmetru ce are o precizie de 5 mV.

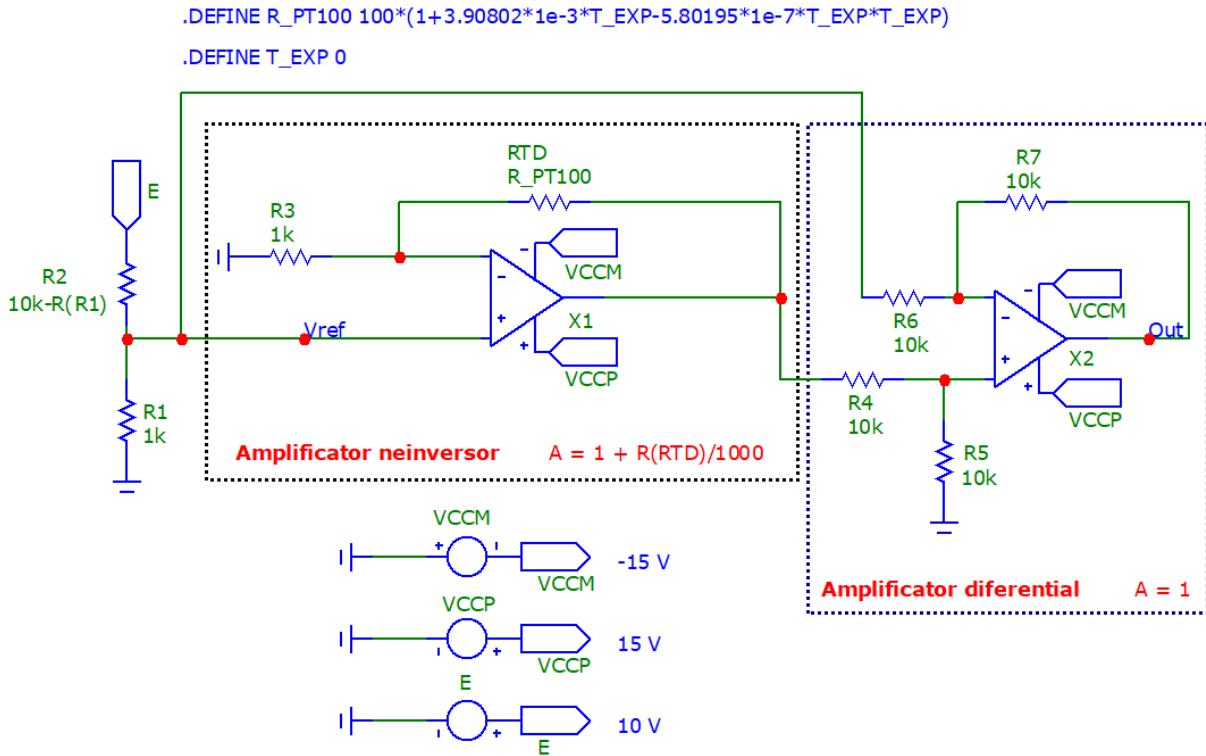
a.3) Traductor de temperatură liniar cu termometru rezistiv

Răspunsul unui traductor de temperatură cu termometru rezistiv poate fi liniarizat folosind două amplificatoare operaționale de tip LT1001AC. În simularea de față vom folosi modelul ideal al amplificatorului operațional. Schema de mai jos conține un amplificator operațional în conexiune neinversoare, urmat de un amplificator diferențial. La intrarea amplificatorului neinversor se aplică o tensiune de referință de 1 V, factorul de amplificare al conexiunii fiind direct proporțional cu rezistența termometrului rezistiv. Mai departe, din tensiunea de ieşire a amplificatorului diferențial este scăzută valoarea tensiunii de referință, rezultând la ieşire o tensiune direct proporțională cu rezistența termometrului și implicit cu temperatura:

$$V_{OUT} = \frac{R_{RTD}}{1000} V_{REF}$$

Sensibilitatea traductorului poate fi reglată prin variația tensiunii de referință, deci prin variația rezistenței R1.

- se realizează montajul de mai jos în Micro-cap 12.
- se realizează analiza DC a circuitului variind parametrul T_EXP între 0 și 150 °C cu un pas de 1 °C pentru patru valori diferite ale rezistenței R1: 1, 3, 6 și 9 kΩ.
- se reprezintă pe același grafic dependențele $V(OUT) = f(T_EXP)$ pentru cele patru valori diferite ale rezistenței R1.
- comentați asupra liniarității caracteristicilor $V(OUT) = f(T_EXP)$.
- determinați sensibilitatea traductorului în $V/°C$ pentru cele 4 valori ale lui R1.
- determinați rezoluția traductorului pentru cele 4 valori ale lui R1 dacă tensiunea de ieşire este măsurată cu un milivoltmetru ce are o precizie de 5 mV.



b) Termistorul (NTC, Negative Temperature Coefficient)

b.1) Ridicarea caracteristicii de temperatură a termistorului

Dependența de temperatură a rezistenței unui termistor poate fi scrisă folosind următoarea relație:

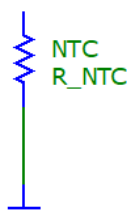
$$R = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

unde R_0 este rezistența termistorului la temperatura T_0 (de regulă 25 °C), iar β este constanta termistorului și se măsoară în K. De regulă constanta β este dată pentru un domeniu de temperatură. În lucrarea de față vom studia un termistor ce are $R_0 = 4.7 \text{ k}\Omega$ (25 °C) și o constantă $\beta = 3560$, valabilă pentru domeniul de temperatură 25 - 100 °C. Pentru simularea unui termistor vom folosi un rezistor, NTC, a cărui rezistență, R_{NTC} , e parametrizată folosind formula de mai sus cu comanda .DEFINE. Vom defini temperatura atât în K cât și în °C pentru a putea compara caracteristicile senzorilor studiați. **Atenție! În formula de mai sus temperatura trebuie introdusă în K.**

- se realizează montajul de mai jos în Micro-cap 12.
- se realizează analiza DC a circuitului variind parametrul T_EXP între 25 și 100 °C cu un pas de 1 °C și se reprezintă grafic rezistența termistorului în funcție de temperatura T_EXP .
- comentați asupra liniarității dependenței $R(T)$ măsurate

```

.DEFINE T_EXP 25
.DEFINE T_KELVIN T_EXP+273
.DEFINE R_NTC 4700*exp(3560*(1/T_KELVIN-1/298))
    
```



b.2) Liniarizarea răspunsului în temperatură pentru termistor

Caracteristica de temperatură a termistorului poate fi liniarizată dacă se conectează o rezistență de liniarizare în paralel cu termistorul. Liniarizarea termistorului se face întotdeauna pe un domeniu de temperatură specificat. Valoarea rezistenței de liniarizare pe domeniul de temperatură între T_1 și T_3 se alege astfel:

$$R_{LIN} = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 - 2R_1 R_3}{R_1 + R_3 - 2R_2}$$

unde R_1 și R_3 reprezintă rezistența termistorului la temperatura T_1 , respectiv T_3 , iar R_2 reprezintă rezistența termistorului la temperatura din mijlocul intervalului de liniarizare, T_2 :

$$T_2 = \frac{T_1 + T_3}{2}$$

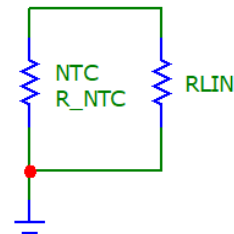
În cele ce urmează vom liniariza răspunsul termistorului în domeniul de temperatură 25 – 100 °C. S-a introdus parametrul R_NTC_LIN care reprezintă rezistența echivalentă $R_{NTC} \parallel R_{LIN}$.

- se notează valorile rezistenței termistorului măsurate anterior pentru cele trei temperaturi: $R_1(25 \text{ °C})$, $R_3(100 \text{ °C})$ și $R_2(62.5 \text{ °C})$.
- se calculează valoarea rezistenței de liniarizare, R_{LIN} .
- se realizează montajul de mai jos în Micro-Cap 12.
- se realizează analiza DC a circuitului variind parametrul T_EXP între 25 și 100 °C cu un pas de 1 °C și se reprezintă grafic parametrul R_NTC_LIN în funcție de temperatura T_EXP .
- comentați asupra liniarității dependenței $R(T)$ măsurate.
- determinați sensibilitatea termistorului liniarizat în $\Omega/^\circ\text{C}$.
- determinați rezoluția termistorului dacă rezistența este măsurată cu un ohmmetru ce are o precizie de 1 Ω .

```
.DEFINE T_EXP 25
.DEFINE T_KELVIN T_EXP+273

.DEFINE R_NTC 4700*exp(3560*(1/T_KELVIN-1/298))

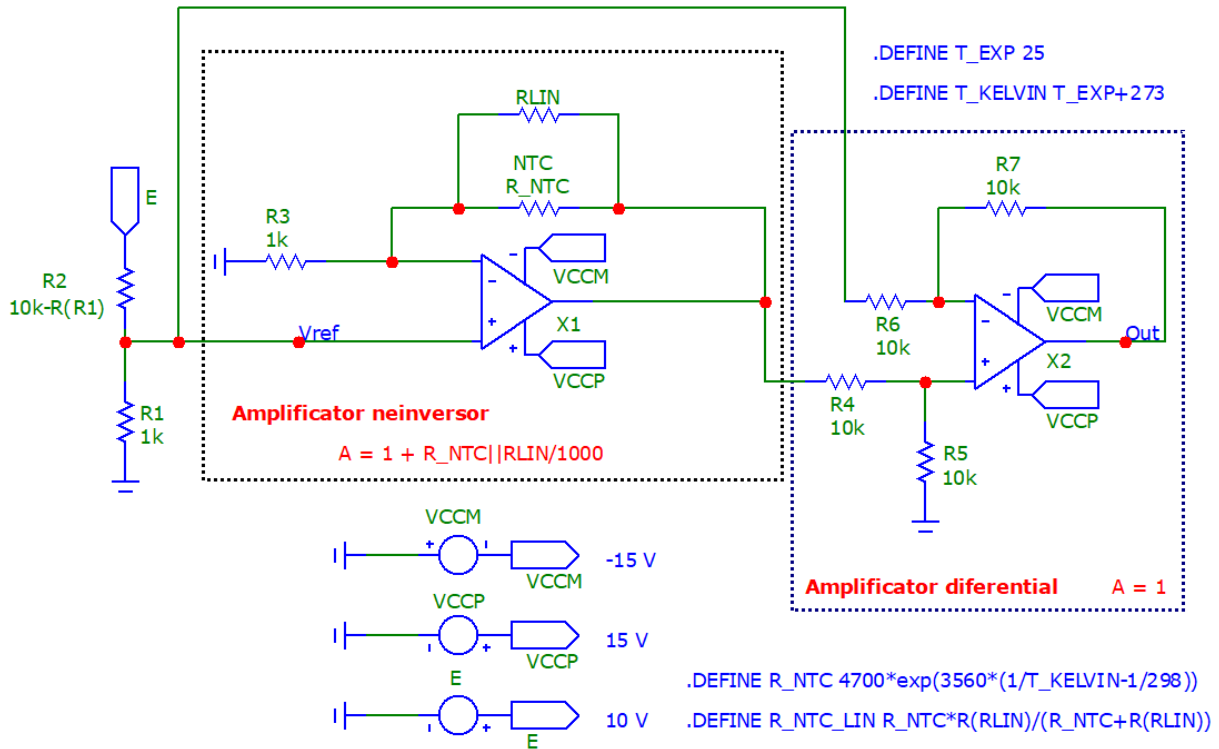
.DEFINE R_NTC_LIN R_NTC*R(LIN)/(R_NTC+R(LIN))
```



b.3) Traductor de temperatură liniar cu termistor

Pentru realizarea unui traductor de temperatură cu termistor vom folosi montajul realizat în secțiunea (a.3) înlocuind termometrul rezistiv cu gruparea paralel formată din termistor și rezistorul de liniarizare.

- se realizează montajul de mai jos în Micro-cap 12.
- se realizează analiza DC a circuitului variind parametrul T_EXP între 25 și 100 °C cu un pas de 1 °C pentru patru valori diferite ale rezistenței R_1 : 1, 3, 6 și 9 k Ω .
- se reprezintă pe același grafic dependențele $V(OUT) = f(T_EXP)$ pentru cele patru valori diferite ale rezistenței R_1 .
- comentați asupra liniarității caracteristicilor $V(OUT) = f(T_EXP)$.
- determinați sensibilitatea traductorului în $V/^\circ\text{C}$ pentru cele 4 valori ale lui R_1 .
- determinați rezoluția traductorului pentru cele 4 valori ale lui R_1 dacă tensiunea de ieșire este măsurată cu un milivoltmetru ce are o precizie de 5 mV.



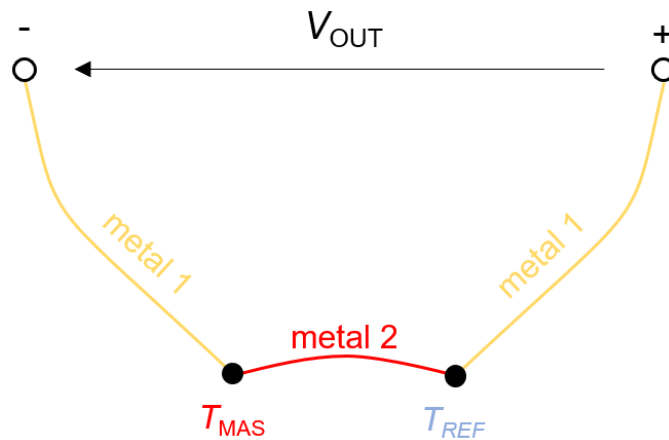
c) Termocuplul

c.1) Ridicarea caracteristicii de temperatură a termocuplului

Un termocuplu este compus din două joncțiuni realizate între fire din metale diferite. Principiul de funcționare al termocuplului se bazează pe efectul Seebeck – vezi explicația detaliată în curs. Tensiunea de ieșire a termocuplului poate fi scrisă în felul următor:

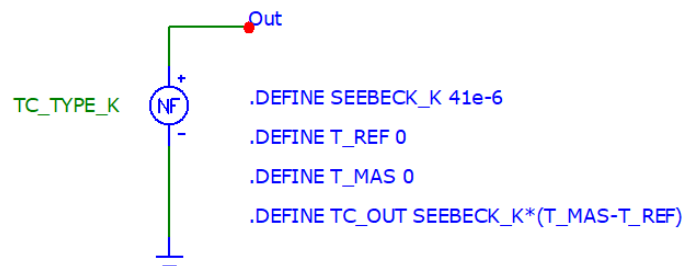
$$V_{OUT} = (S_1 - S_2)(T_{MAS} - T_{REF}) = S_{12}(T_{MAS} - T_{REF})$$

unde S_1 și S_2 reprezintă coeficienții Seebeck ai metalului 1, respectiv 2, S_{12} reprezintă coeficientul Seebeck al termocuplului, T_{MAS} reprezintă temperatura joncțiunii de măsură, iar T_{REF} reprezintă temperatura joncțiunii de referință.



În cele ce urmează vom studia caracteristica de temperatură a termocuplului de tip K (cromel-alumel), care are un coeficient Seebeck $S_{12} = 41 \mu V/^\circ C$ (parametrul *SEEBECK_K*). Pentru modelarea termocuplului putem folosi o sursă de tensiune a cărei tensiune de ieșire, TC_OUT , are forma relației de mai sus. S-a introdus un parametru nou, T_REF , ce reprezintă temperatura de referință a termocuplului.

- se realizează montajul de mai jos în Micro-Cap 12.
- se realizează analiza DC a circuitului variind parametrul T_MAS între 0 și 150 °C cu un pas de 1 °C pentru $T_{REF} = 0$ °C, respectiv $T_{REF} = 25$ °C, reprezentând grafic tensiunea de ieşire a termocuplului, $V(Out)$, în funcţie de parametrul T_MAS .
- comentaţi asupra liniarităţii caracteristicilor măsurate.
- explicaţi diferenţele dintre cele două caracteristici pe baza noţiunilor de la curs/seminar.
- determinaţi sensibilitatea termocuplului în $\mu V/^{\circ}C$.
- determinaţi rezoluţia termocuplului dacă pentru măsurarea tensiunii de ieşire folosim un milivoltmetru ce are o precizie de 5 mV.



c.2) Traductor de temperatură cu termocuplu

Pentru realizarea unui traductor de temperatură cu termocuplu este nevoie de amplificarea tensiunii de ieşire a termocuplului. Pentru construcţia traductorului vom folosi termocuplul de tip K studiat mai sus şi un amplificator de instrumentaţie de tip AD620.

- se realizează montajul de mai jos în Micro-Cap 12.
- calculaţi valoarea câştigului, respectiv a rezistenţei de gain, R_G , astfel încât traductorul să aibă o rezoluţie de cel puţin 1 °C, ținând cont de faptul că pentru măsurarea tensiunii avem la dispoziţie un milivoltmetru cu precizie de 5 mV.
- se realizează analiza DC a circuitului variind parametrul T_MAS între 0 și 150 °C cu un pas de 1 °C pentru $T_{REF} = 0$ °C, reprezentând grafic tensiunea $V(Out)$ în funcţie de parametrul T_MAS .
- determinaţi sensibilitatea traductorului în $mV/^{\circ}C$.

