

У П Р А Ж Н Е Н И Е № 3

ИЗМЕРВАНЕ И РЕГУЛИРАНЕ НА ТЕМПЕРАТУРА

I. Въведение

Съществува голямо разнообразие от методи, схемни решения и сензори за измерване и регулиране на температура.

С този макет може да се изследват термосъпротивление Pt100, силициев p-n преход (диод), термодвойка и термистор.

II. Описание на лабораторния макет

На платката има волтметър със светодиодна индикация и схеми на първични преобразуватели за терморезистори Pt100, за p-n преходи и за термодвойка. Освен това на платката има схема на терморегулатор за кварцово-стабилизиран генератор, със сензор за температурата термистор.

С подходящо превключване на мостчетата се реализират различни схеми на измерване.

Описание на отделните модули:

- Волтметър

Волтметърът е на базата на специализирана интегрална схема **ICL7107**. Той е от интегриращ тип - двутактов. При първия такт на интегратора се подава напрежението от измервателния вход, а през втория – опорното напрежение. Отношението на двата такта (като продължителност) показва отношението на двете напрежения. Показанието на волтметъра е $N=1000 \cdot (U_{in}/U_{ref})$.

Вариантът на тази схема с LCD индикация е в основата на голяма част от най-разпространените мултиметри. Подробни сведения за схемата може да се намерят в каталожните данни (datasheet) на **ICL7107**.

При повечето аналогово-цифрови преобразуватели (АЦП) входното и опорното напрежения трябва да имат обща маса. При **ICL7107** това не е необходимо

– достатъчно е U_{in} и U_{ref} да са в обхвата на захранващите напрежения. Това позволява по-голяма гъвкавост при проектиране на различни схеми за измерване.

Според избраната схема на свързване, в зависимост от положението на мостчетата, за опорно напрежение може да се използва вътрешното опорно напрежение на ICL7107 или напрежение от първичните преобразуватели.

Интегралната схема ICL7107 не управлява запетайките на индикацията. Ако е необходимо точката се превключва външно – на този макет с мостчета.

- Модул Pt100

Измерването на температура със сензор Pt100 се свежда до измерване на съпротивление. Това може да стане по някой от известните методи – като към резистора се включи генератор на ток и се измери напрежението върху него или като резисторът се включи в делител с еталонен резистор. Когато е необходимо отместване на характеристиката или трябва да се отчита разлика между две съпротивления се ползва мостова схема.

В това лабораторно упражнение сензорът е включен към мостова схема - фиг.1. Към захранващия диагонал на моста се подава напрежението между изхода на U2 и Common. Това напрежение може да се променя с потенциометъра PR4.

Напрежението в измервателния диагонал се получава като разлика между напреженията върху Pt100 и резистора R6-100Ω (съпротивлението на Pt100 при 0°C). При измерване по Фаренхайт R6 трябва да е с друга стойност (93 Ω) която отговаря на съпротивлението на Pt100 при 0°F.

С PR2 мостът се балансира при 0°C. Тази настройка е необходима за да се компенсира неточността на резисторите (обикновено толерансът им е 1%).

Опорното напрежение на волтметъра може да се получи:

- От вътрешното опорно напрежение на ICL7107 чрез делител и PR0.

- От резистор R2, свързан към сензора Pt100 (настройва се с PR1). Така се намалява влиянието на захранващото напрежение на моста върху точността на измерване.

- От резистор R2 (както в горния случай), но през съпротивителен делител R3 – PR3,R4. Така от напрежението върху R2, се изважда част от напрежението в измервателния диагонал (Pt100, R6), т.е опорното напрежение ще зависи от входното. Това въвежда нелинейност в измерването. При правилен подбор на делителя, до голяма степен, може да се компенсира нелинейността на сензора Pt100 (характеристиката на съпротивлението Pt100 от температурата е нелинейна).

Връзката към сензора е през клемата с три извода фиг.2. Двата са за Pt100, а третият се ползва при трипроводна схема на свързване за компенсация на съпротивлението на свързващите проводници.

III. Задачи за изпълнение:

1. Настройка на волтметъра. Това включва настройка на опорното напрежение и избор на мястото на запетайката. В тази задача за опорно напрежение се ползва вътрешният източник на интегралната схема ICL7107.

2. Да се измерят резистори със съпротивление от 0 до 200 Ω включени към вход за Pt100. Волтметърът (омметър) да се настрои за минимална грешка.

3. Измерванията от предишната точка да се направят, като за опорно напрежение на волтметъра се ползва напрежението върху резистор който е част от съпротивителния делител в който е сензорът Pt100. Сравняват се данните от двете измервания.

4. Измерване на температура. Схемата се превключва и настройва за измерване на температура. Прави се проверка на точността на измерване за температури в обхвати от -10 до 120° и от -50° до 200°C.

5. Измерване на температура с компенсация на нелинейността на сензора Pt100. Проверява се точността на измерване в обхват от -50° до 200°C . Данните се сравняват с резултатите от предишната задача.

6. Проверка на схемата за трипроводно свързване.

7. Измерване на температура с реален сензор Pt100 в обхвата от 0° до 100°C .

Предварителна подготовка (домашна работа).

1. Да се разучи интегралната схема **ICL7107** и принципната схема на макета;

2. Да се направи план за настройките и измерванията;

3. Да се подготви протокол, който ще се попълва в лабораторията;

4. Да се направят симулации на схемата, като се подберат оптимални стойности.

Тази точка е при желание.

Работа в лабораторията:

1. Да се разучи съответствието между схемата и печатната платка;

2. За всяка от задачите да се извършат измерванията;

3. Да се изчислят грешките в характеристиките и попълни протокола;

4. Да се направят изводи.

IV. Методични указания

При изпълнението на задачите мостовата схема в която е включен сензорът Pt100 се захранва от напрежението между изхода на операционния усилвател U2 и Common. **При всички задачи J7 е включен.**

1. За опорно напрежение на волтметъра, през мостчетата J1 и J2, се подава вътрешното опорно напрежение на **ICL7107** (между +5V и Common след делител). За входно напрежение, през мостчетата J5 и J8, се подава напрежението върху резистора Pt100.

- на входа да се включи съпротивителна декада (уред за прецизно задаване на съпротивления) и нагласят 100Ω ;

- да се подаде захранващо напрежение - включване на адаптера;

- с тримера PR4 захранващото напрежение на моста да се нагласи така, че напрежението на входа Pt100 да е 100mV ;

- с потенциометър PR0 да се нагласи показание $100,0 \pm 0,1$.

2. Положението на мостчетата е същото както в предишната задача.

- измерват се и се нанасят в таблица показанията на волтметъра за съпротивления от 0 до 200Ω през 20Ω ;

- от получените стойности се изчислява грешката и се начертава графиката на зависимостта съпротивление-показание;

- волтметърът се настройва за минимална грешка при измерване в целия обхват 0 до 200Ω ;

- променя се захранващото напрежение на моста (с PR4) и се оценява какво е влиянието му върху точността. Възстановява се стойността на напрежението – около 100mV върху Pt100.

3. В този случай опорното напрежение се подава от съпротивителния делител в който е включен резистора Pt100 – с мостчетата J3 и J4 (J1 и J2 се премахват);

- при тази задача се работи по подобен начин както в предишната. Разликата е, че опорното напрежение се променя с PR1;

- към входа Pt100 се включват 100Ω ;
- с потенциометъра PR1 се нагласява показание 100,0;
- правят се измервания както в предишната задача;
- изчислява се грешката при измерване;
- резултатите се сравняват с тези от предишната задача и се правят изводи;
- променя се захранващото напрежение на моста (с PR4) и се оценява какво е влиянието му върху точността. Сравняват се резултатите с тези от предишната задача и се правят изводи. Възстановява се стойността на напрежението – 100mV на Pt100.

4. При измерване на температура входно напрежение за волтметъра е напрежението от изхода на моста – разликата между напреженията върху Pt100 и компенсиращия резистор 100Ω – R6. J8 е изключен, J6 – включен. Стойностите на сензора Pt100 за различни температури се вземат от приложената таблица.

- на входа за сензора с декадата се задават 100Ω (0°C);
- с потенциометър PR2 се настройва показание 000.0;
- задава се съпротивление съответстващо на 100°C и с потенциометъра за опорно напрежение PR1 се нагласява показание 100.0;
- повтаря се измерването при 0°C (100Ω). Тези две настройки, макар и слабо, са взаимно-зависими и се правят докато се получат показания 000.0 и 100.0;
- задават се стойности от декадата съответстващи на температури от 0° до 120° през 10° и се записват показанията;
- изчислява се грешката;
- прави се донастройка за минимална грешка;
- горните настройки и измервания се правят и за стойности от -50° до 200° със стъпка 20° ;
- изчислява се грешката и се донастройва за да е минимална;
- променя се напрежението на моста (с PR4) и се определя влиянието върху точността;

- правят се изводи (след изчисления) в какъв обхват и с каква грешка може да се ползва сензор Pt100 без компенсация на нелинейността в характеристиката му.

5. В сравнение с предишната се добавя мостчето за корекция на нелинейността – J9. Така от опорното напрежение се изважда част от входното – въвежда се нелинейност. Смесълът на това е, с така въведената нелинейност с обратен знак, да се компенсира нелинейността в характеристиката на Pt100.

- настройва се термометърът при 0°C и 100°C;
- проверява се в средата на обхвата;
- настройва се нелинейността с PR3. Процесът изисква многократни настройки на 100°C (с PR1) и в средата на обхвата (с PR3);

- проверява се точността на работата на термометъра в целия обхват през 10°C. Ако отклонението в целия обхват е с един и същ знак и е по-голямо от 0.1°C настройката трябва да се направи отново;

- горните настройки се правят и за обхват -50°C до 200°C;
- правят се изводи (след изчисления) в какъв обхват и с каква грешка може да се ползва сензор Pt100 с тази компенсация на нелинейността.

6. Мостчетата са както при предишната задача. Ще се провери влиянието на съпротивлението на свързващите проводници когато сензорът е по-далече.

- термометърът трябва да е настроен;
- премахват се мостчета Jr1 и Jr2 които окъсяват резисторите имитиращи съпротивлението на свързващите проводници;

- проверява се точността на термометъра и данните се сравняват с тези от предишната задача;

- добавя се третият проводник и се превключва мостчето Jr3;
- отново се проверява точността на термометъра и се прави сравнение на резултатите с тези преди добавяне на третия проводник;

- възстановява се положението на Jr3 (състояние без компенсация - Jr1, Jr2 не са включени). Настройва се термометърът както в задача 4;

- проверява се точността на измерване;
- правят се изводи за трипроводната схема за компенсация.

7. Мостчетата са както в края на предишната задача (Jr3 в положение към клемата, Jr1 и Jr2 изключени). Вместо съпротивителна декада се включва сензор Pt100. Използват “еталони” за 0°C и за 100°C – топящ се лед и вряща вода съответно.

- сензорът се потапя в съда с топящ се лед, чака се докато показаниято спре да се променя. Записва се стойността и разликата спрямо 000.0;

- същото се прави и със съд с вряща вода. Записва се показаниято и се сравнява с контролен термометър;

- измерва се времеконстантата на сензора, като се премества от единия съд в другия и се измерва времето;

- изключва се подгряването на врящата вода. В процеса на изстиване се сравняват измерените стойности на контролния термометър и на макета.

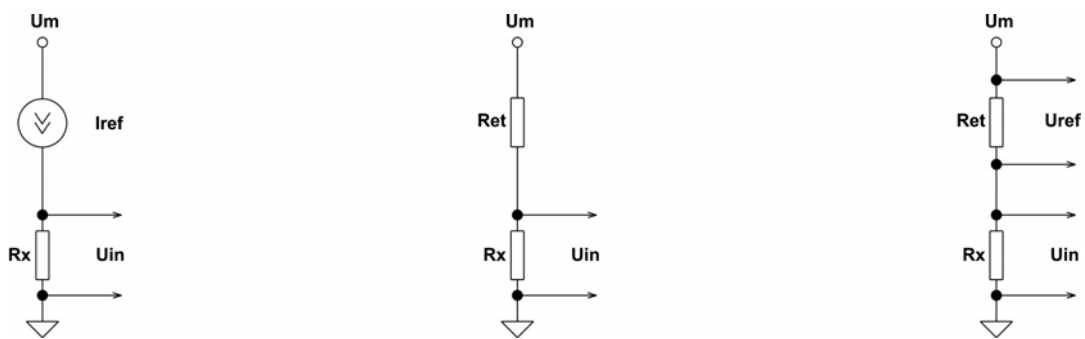
IV. Съдържание на протокола

1. Принципна схема на електронния термометър.
2. Резултатите от измерванията и изчисленията нанесени в таблици и като крайни резултати.
3. Изводи от проведеното упражнение.

V. Допълнителни разяснения

Показанието на волтметъра $N=U_{in}/U_{ref} \cdot 1000$ се определя от отношението на входното и опорното напрежение. Входното U_{in} може да е в обхвата от 0 до 2 (1,999) пъти U_{ref} . Така показанието може да е от 000 до ± 1999 . Опорното U_{ref} може да бъде в границите 0-2V. Запетайката не се управлява от интегралната схема.

Измерването на съпротивление може да става или като то се захранва с генератор на ток или като се включи в делител на напрежение – фиг. V-1.



фиг. V-1

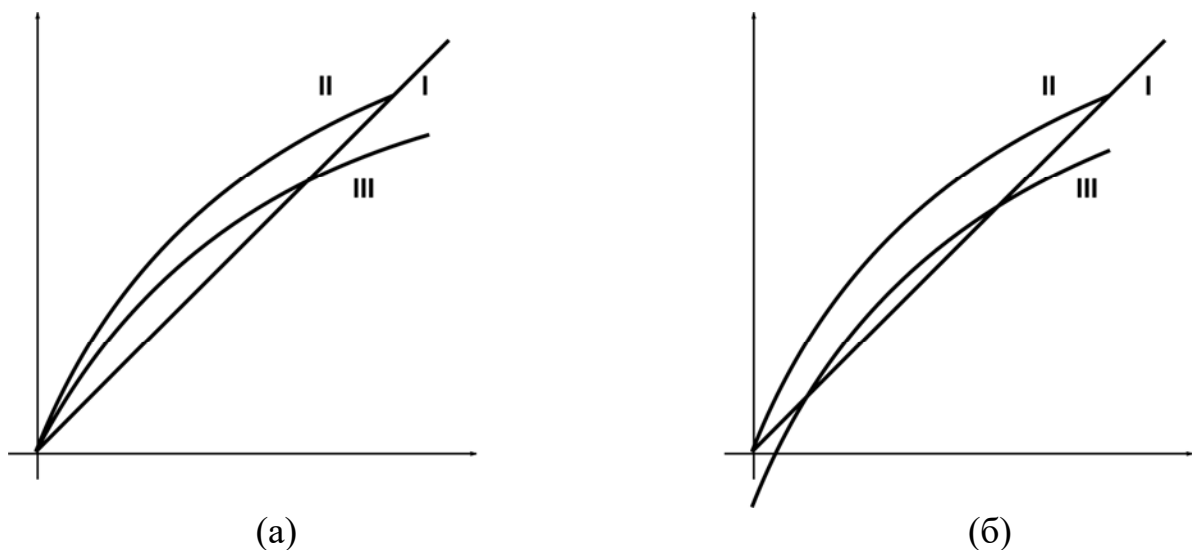
В първия случай, по закона на Ом, напрежението върху резистора е линейна функция на съпротивлението $U_{in}=I_{ref}.R_x$. Точността на измерването зависи от I_{ref} и от U_{ref} . Грешките на U_{ref} и I_{ref} са и грешки при измерването на R_x .

Във втория случай напрежението U_{in} се определя по следната формула: $U_{in}=U_m.R_x/(R_{et}+R_x)$. По тази формула се получава нелинейна зависимост между U_{in} и R_x защото R_x е и в числителя и в знаменателя. Ако $R_{et} \gg R_x$ характеристиката на схемата се доближава до генератор на ток ($R_{et} = \infty$) и грешката от нелинейност е по-малка. Тази схема се ползва защото е много по-проста от схемата с генератор на ток. Точността на измерването се определя от U_{ref} , U_m и R_{et} , от тяхната стабилност.

В третия случай напрежението U_{in} върху R_x и опорното напрежение U_{ref} се получават от U_m . Показанието на волтметъра N , след изразяване на U_{in} и U_{ref} , се получава по формулата $N=1000.R_x/R_{et}$. По този начин точността на измерване зависи само от R_{et} . Освен това няма нелинейност между показанието и R_x , няма и изискване $R_{et} \gg R_x$.

Когато един уред се настройва за минимална грешка в обхват, се има предвид отклонението от истинската стойност да е минимално. Обикновено то се измерва с относителна или абсолютна грешка и се изразява като $\pm d$ или $\pm d \%$. Когато грешката е само в едната посока (плюс или минус), тя може да се намали два пъти, като характеристиката се коригира така, че грешката да бъде и в положителна и в отрицателна посока – фиг.V-2 (а) и (б). Това става с подходяща настройка. В зависимост от възможностите за настройка на уреда характеристиката или се завърта около нулата (а) или премества (б). Всъщност във втория случай може да се прави и преместване и завъртане.

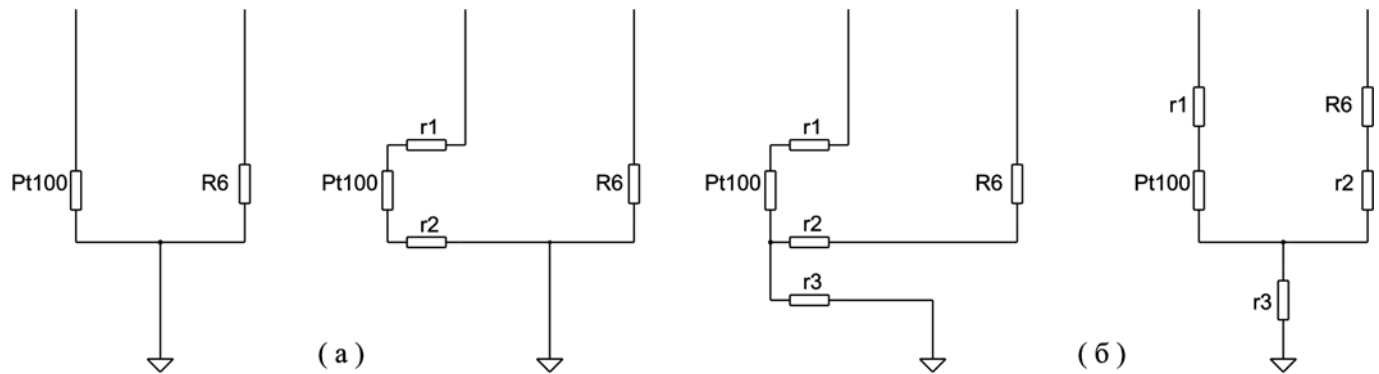
На фигурата I е идеалната характеристика, II е с настройка в началото и края на обхвата, а III след допълнително преместване на характеристиката. Така при измерване на съпротивление, случай тип (а), вместо настройка при 100Ω , се прави настройка при такава стойност, че в средата на обхвата и в края на обхвата грешката да е еднаква по стойност но с различен знак. При измерване на температура, случай от тип (б), вместо грешка $+5^\circ\text{C}$, след настройка, се получава грешка $\pm 2,5^\circ\text{C}$.



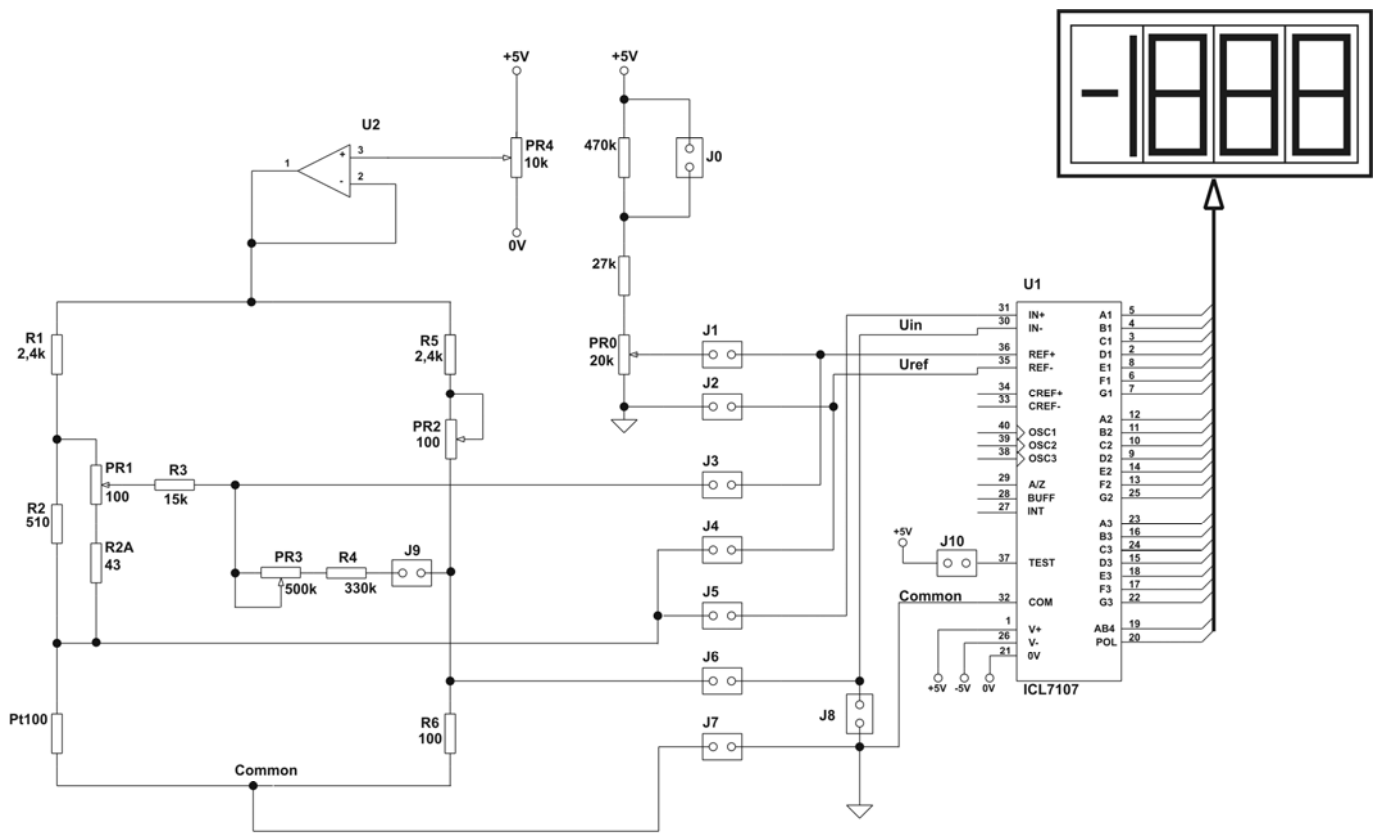
фиг. V-2

При измерване със съпротивителен сензор, който е отдалечен, към неговата стойност се добавя съпротивлението на свързващите проводници r_1, r_2 – фиг.V-3а.

Това води до грешка при измерването. При сензор Pt100 се отчитат няколко градуса повече от истинската температура. Ако уредът отново се настрои (със свързващите проводници) измерването ще с по-малка грешка. Проблемът е, че трябва във всеки конкретен случай и при смяна на проводниците да се прави настройка. Освен това настройката в промишлени условия не винаги е възможна. За да се намали влиянието на свързващите проводници се използва трипроводна схема на свързване фиг.V-3б. Общата точка на долните два резистора се “премества” непосредствено до сензора (Pt100). Така съпротивленията r_1 и r_2 се добавят в двете рамена на моста и доколкото са еднакви, взаимно се компенсират. Съпротивлението на третия проводник r_3 се явява последователно на мостовата схема което е еквивалентно на намаляване на захранващото напрежение – ако схемата на измерване не се влияе от захранването на моста, свързващите проводници не водят забележима грешка. Схемата най-вдясно е аналогична на тази до нея, но по-прегледно показва компенсацията.



фиг. V-3



Фигура 1