У П Р А Ж Н Е Н И Е N° 5

УРАВНОВЕСЕН МОСТ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА СЪПРОТИВЛЕНИЕ (ПРОВОДИМОСТ)

I. Теоретична постановка

Много често в устройствата за измерване и регулиране се използват мостови схеми. Класическата схема на четирираменен мост включва четири еднакви резистора единият от които R+ΔR се променя – фиг.1. Обикновено това е сензор с който се измерват различни величини, например температура. Напрежението в изхода на моста

фиг. 1

Ux е пропорционално на измерваната величина, но и на Uref.

Ако мостът, вместо с едно напрежение Uref, спрямо маса, се захрани с две +Uref/2 и –Uref/2 и когато R1=R2, напрежението в общата точка на R1 и R2 ще е 0V.

Така лявата част на моста става излишна и се получава схемата на фиг.2.

фиг. 2

Тя се нарича полумостова схема. Изходното напрежение е същото както при четирираменния мост и се измерва между общата точка на R3 и R4 и маса (0V). За улеснение Uref/2 е означено с Uref.

Изходното напрежение на моста се усилва, преобразува, измерва, регистрира и т.н. Схемите от фиг. 1 и 2 се наричат неуравновесени мостови схеми.

Има и друг начин на измерване - фиг.3. Изходното напрежение на моста Ux (след като се усили и преобразува) служи за промяна на съпротивлението Rk, докато Ux стане равно на 0V. Тогава Rk е равно на Rx (Rx = R+ΔR). Тази схема (метод на

фиг. 3

измерване) се нарича уравновесена мостова схема.

При неуравновесените мостови схеми грешката на измерването се получава от натрупването на грешките на отделните стъпала между моста и регистриращото устройство.

При уравновесените схеми грешката от измерването се определя преди всичко от характеристиката (грешката) на уравновесяващия елемент Rk.

В практиката се използват и двата вида мостови схеми – неуравновесените са по-прости, по-бързи и по-евтини. Уравновесените са по-точни но по-скъпи и по-бавни. Най-същественото им предимство е, че **напрежението което захранва моста не влияе върху точността на измерване**.

В това лабораторно упражнение се изследва уравновесена мостова схема. Като уравновесяващ елемент се използва 8-разряден ЦАП - MC1408L8. Този ЦАП е с токов изход - изходният му сигнал е ток. Стойността на тока се определя от опорното напрежение и кода който се подава на входове A1÷A8 – виж описанието на MC1408.

Внимание A1 е най-старшия бит (MSB), а A8 – най-младшия (LSB) !

Формулата за тока през ЦАП е $I_{ЦАП} = \frac{Uref}{R_{ET}} \cdot \frac{N}{2^n}$, където n е разрядността на ЦАП, а N е кодът който се задава на цифровите входове A1÷A8 ($N=0 \div 2^n-1$). За 8-разряден ЦАП 2^n е 256. Ако преобразуваме формулата за $I_{ЦАП}$ и заместим 2^n с 256 се получава: $\frac{R_{ET} \cdot 256}{N} = \frac{Uref}{I_{ЦАП}}$. Това отношение може да се разглежда като променлив резистор $R_{ЦАП}$, като стойността му се променя с N (0÷255).

Принципът на работата на моста може да се поясни с дадената схема – фиг.4. С ЦАП се задава такава стойност на тока, че да се получи равенство $I_R = I_{ЦАП}$.

Токът през резистора е: $I_R = \frac{Uref}{R_X}$, а токът през ЦАП $I_{ЦАП} = \frac{Uref}{R_{ET}} \cdot \frac{N}{256}$

фиг.4

Вижда се, че двата тока I_R и $I_{ЦАП}$ са пропорционални на Uref:

$$I_R = Uref / Rx \qquad I_{ЦАП} = Uref\ N / R_{ET} \,.\, 256$$

Когато мостът се уравновеси ($I_R = I_{ЦАП}$) се получава:

$$Uref / Rx = Uref \,.\, N / (R_{ET}.256) \rightarrow Rx = R_{ET} \,.\, 256 / N$$

т.е Uref не участва във формулата за изчисление на Rx и няма да влияе върху точността на измерване. Това, както бе казано по-горе, е едно от предимствата на уравновесените мостови схеми.

Мостът се уравновесява като се сменя кодът N. Висока точност на измерването се получава когато имаме максимум значещи разряди. За 8-разряден ЦАП това означава N да е от 128 до 255 (от 0,4% до 0,8% грешка).

В случая, ако R_{ET} е 2,5kΩ, с максимална точност ще се измерват само резистори от 2,5 до 5 kΩ, като резистори по-малки от 2,5kΩ изобщо няма да може да се измерват ($I_R > I_{ЦАПmax}$). За да се разшири обхватът на измерване в схемата са въведени делители на ток и превключвател на опорното напрежение.

Схемата на макета на уравновесен мост е дадена на фиг.5.

Опорното напрежение Uref се получава от шунтов стабилизатор TL431. Номиналното напрежение на TL431 е 2,5V като с външни резистори то може да се променя в широки граници. На схемата Uref се настройва с VR1 - 1kΩ. Напрежението към R_X се подава през инвертиращ буферен усилвател. Чрез превключвателя P1 се променя коефициентът на предаване на усилвателя и така се получават две стойности на напрежението – по абсолютна стойност едното е равно, а другото е 16 пъти по-малко от опорното Uref. Операционните усилватели OA2 и OA3 и полевите транзистори VT1 и VT2 в обратната връзка образуват делител на токове с коефициент, който се задава от управляемите превключватели P2, P3 и P4.

Така целият обхват се разширява значително и R_X се измерва с точност по-добра от 1,0% за стойности от няколко десетки Ω до няколко десетки кΩ.

За да не се претрупва схемата не са показани всички връзки към ЦАП (MC1408, както и към операционните усилватели.

Логическото състояние на входовете на ЦАП и на превключвателите се показват със светодиоди които светят при високо ниво – логическа 1.

За сравнение на $I_{ЦАП}$ и I_R* е използван компаратор – OA4. Ако $I_{ЦАП}$ е по-голям от I_R*, на входа на компаратора напрежението е отрицателно, на изхода имаме високо ниво и светодиодът OUT свети.

Светодиодът, освен като индикатор, се използва и като защита на логическия вход когато макетът се управлява с микроконтролер. Напрежението на изхода на компаратора е ±10V, а допустимото за микроконтролера е 5V.

Превключвателите P1 ÷ P4 са MOS ключове 74LVC1G3157GV с управляващо напрежение 5V.

Мостът може да се управлява по два начина – ръчно или с микроконтролер (например Ардуино).

В първия случай се ползва допълнителен модул с монтирани превключватели който се включва на куплунга X1. Когато се ползва микроконтролер перата на куплунга се свързват към портовете на контролера.

II. Задачи за изпълнение и указания за работа:

Предварителна подготовка (домашна работа):

1. Да се разучи принципната схема.
2. Да се съставят формули и се изчислят:

Uref - опорното напрежение за крайните положения на тримера VR1.

U1 - напрежението в изхода на OA1 за двете положения на P1.

U2 - напрежението върху резистора 2k (между дрейна на VT1 и +5V) за Rx=5кΩ при три положения на превключвателите - включени (затворени) P2, P2+P3 и P2+P3+P4.

I_R* - изходният ток, за Rx = 5кΩ ; P2 – затворен и P1 – в двете положения.

Rmin - минималната стойност на R_X която може да се измерва.

Rmax - максималната стойност на R_X която може да се измерва при грешка по-малка от 5%.

Токът I_R* се определя като токът I_R (през Rx) се умножи по коефициенти определени от състоянието на превключвателите P1÷P4.

Изчисляването на стойността Rmin става като се има предвид, че токът I_R е равен на U1 / Rmin, максималната стойност на $I_{ЦАП}$ = Uref / R_{ET} и съответно I_R* не може да надвишава $I_{ЦАП}$ (max).

Максималната стойност Rmax се изчислява чрез най-малкия ток който може да се зададе (измери) с точност 5%. Това се получава когато N е ≥ 20, т.е U1=Uref (P1=0) и P2=0, P3=0, P4=0.

Да се определи и стойността на Rx когато само A7 (LSB) на ЦАП е 1. Това определя прага на чувствителност на моста.

3. Да се напише обобщена формула за изчисление на Rx, като функция на състоянието на P1 ÷ P4 и на входовете на ЦАП A1÷A8 (числото N).

За да се състави формула трябва да се изчислят коефициентите на предаване по ток при различните състояния на превключвателите P1÷P4 и се изразят I_R* и I_R когато I_R*= $I_{ЦАП}$.

4. Да се анализират грешките при измерването – от стабилността на опорното напрежение, на резисторите, напрежението на несиметрия и т.н.

Необходимо е да се определи степента на влияние на всички фактори и изчисли конкретно за един – напр. на напрежението на несиметрия.

5. Да се състави алгоритъм на работа на моста.

Алгоритъмът за управление на моста се състои в изравняване на токовете I_R* и $I_{ЦАП}$. Всъщност се определят двете последователни стойности на N при които компараторът сменя състоянието си. За максимална точност (по-добра от 1%) тези стойности трябва да са от 128 до 255. Изключение прави най-високоомният обхват където грешката може да достигне 5%.

6. Да се подготви таблица която да се попълва при работа в лабораторията. Таблицата да включва всички измервания, като има място за нанасяне на изчислените и на измерените стойности, и на получената грешка.

Работа в лабораторията:

7. Да се установи съответствието между схемата и макета – разположение на контролните точки, тримерите за настройка и т.н.

8. Да се измерят захранващите напрежения +V, –V и 5V.

Макетът се захранва с AC/DC адаптер +12V. Номиналните стойности на напреженията в контролните точки са +12V, –12V, +5V и трябва да са в граници ±5%.

9. Да се нулира напрежението на несиметрия на операционните усилватели.

Напрежението между инвертиращия и неинвертиращия вход се нагласява да е 0mV. Тример-потенциометрите се намират непосредствено до операционните усилватели.

Напрежението на инвертиращия вход на OA1, OA2 и OA4 се измерва спрямо маса - GND. Волтметърът трябва да е на минимален обхват (200mV), а стойността на Rx - 5k. Положението на превключвателите P1÷P 4 и A1÷A 8 е без значение.

За нулиране на OA2 се измерва напрежението в единия край на Rx – този който е свързан към сорса S на VT1.

Нулирането на OA4 става при включено мостче J3 (J1 и J2 изключени). Измерва се напрежението в изхода на OA4 (точка OUT) и се настройва да е нула.

За нулиране на OA3 се измерва напрежението между двата му входа, като мостчета J1 и J3 са включени, а J2 изключено. След това се измерва как зависи напрежението на несиметрия на OA3 при последователно включване на P2, P2+P3 и P2+P3+P4. Обясняват се получените резултати.

10.Да се настрои Uref и измери U1. Да се проверят изчисленията.

Измерва се Uref за двете крайни положения на тример VR1. Получените стойности се сравняват с изчислените. След това Uref се настройва да е 5V.

Измерва се U1 в изхода на OA1 за двете положения на превключвателя P1. Измерването става на клемата на Rx.

11.Да се измерят коефициентите на предаване на делителя на ток при четири положения на превключвателите P2÷P4.

Включени са мостчета J1 и J3. Измерва се напрежението в т. OUT за четири положения на превключвателите:

- всички изключени;

- включен P2;

- включени P2+P3;

- включени P2+P3+P4.

12.Да се настрои и провери работата на ЦАП MC1408L8.

Включени са мостчета J2 и J3. Измерва се напрежението в т. OUT. За код N се задава 128 (A1=1, останалите = 0). С тримера VR_{ET} се настройва показание 1,000V, което е 1/2 от $I_{ЦАП}$ max.

Проверява се "тежестта" на всеки разряд от A7 до A1. Изчислява се грешката.

13.По съставения алгоритъм да се измерят три различни резистора.

Критерий за правилна работа на съставения алгоритъм е когато компараторът сменя състоянието си при подаване на две съседни стойности на N и при условие, че N е между 128 и 255.

14.Опитно да се установят Rmin и Rmax и да се сравнят с изчислените.

За Rmin - задава се максималната стойност на N и подходящо състояние на превключвателите.

За Rmax – задава се стойност 20 (десетично) на N и подходящо състояние на превключвателите.

15.Един и същи резистор да се измери при три стойности на опорното напрежение Uref.

Uref се променя (с VR1), като стойността не бива да надвишава 5,3V. Проверете какво става когато Uref стане 5,5V. На какво се дължи този ефект?

16.Всички измервания и изчисления да се нанесат в таблицата.

17.Да се направят изводи от резултатите.

DC 12V
DC/DC
12/12
+V
+12V
-12V
-V
78L05
+5V
X1
20
1
A1
A8 P1 P2 P3 P4
2 x 74HC14
+12V
1K
TL431
Uref
2,4K
2K
VR1
1K
1,0
+5V
P2
P3
P4
2K
1K
1K
1K
2K
1K
U2
VT1
NMOS
D
S
G
10K
DA2
10K
10K
DA3
10K
10K
VT2
PMOS
OUT
1K
J3
J1
J2
DA4
3,6K
OUT L
1K
OUT
2,4K
Rx
U1
Uref
160K
10K
P1
10K
15K
20K
DA1
-12V
2,5K
VRET
Uref
+5V
= 2,5K
A1 A8
A2 A7
A3 A6
A4 A5
A1
A8
8x2,4K

фиг.5

5V
+V
-V
P1 P2 P3 P4
OUT
GND
P4
P3
A1
A2
A3
A4
A5
A6
A7
A8
P1
P2
aimtec
AM1P-1212SZ
1613
FP0424SB
MM74HC14N
75W7L9FE3
SN74HC14N
MC1408L8
QQHW8804
306E
TOS M
GND
A1
A8
OUT