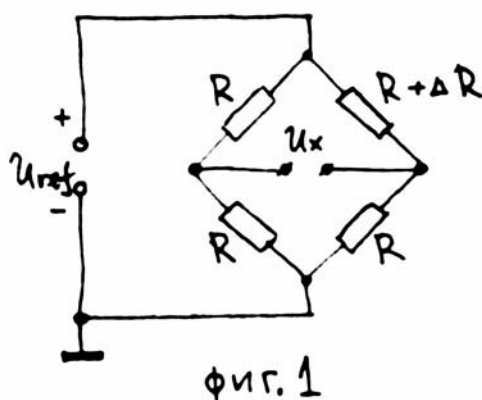


# У П Р А Ж Н Е Н И Е №1

## УРАВНОВЕСЕН МОСТ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА СЪПРОТИВЛЕНИЕ (ПРОВОДИМОСТ)

### I. Теоретична постановка

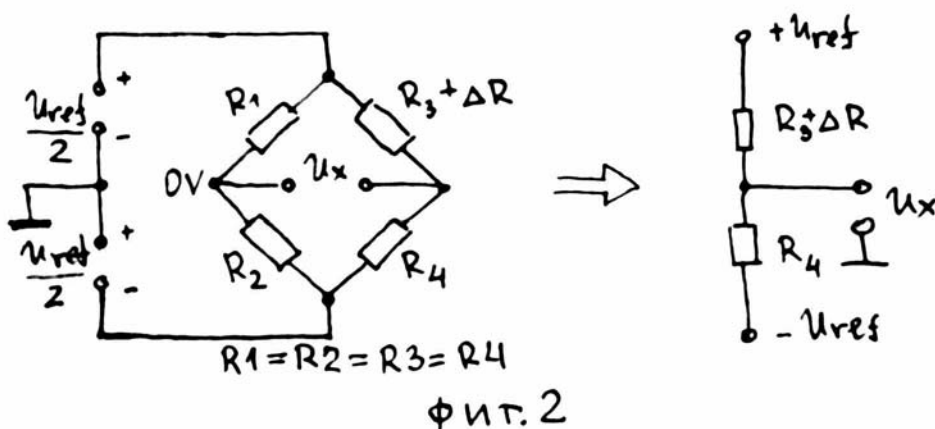
Много често в устройствата за измерване и регулиране се използват мостови схеми. Класическата схема на четирираменен мост включва четири еднакви резистора единият от които  $R+\Delta R$  се променя – фиг.1. Обикновено това е сензор с който се измерват различни величини, например температура. Напрежението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



$U_x$  е пропорционално на измерваната величина, но и на  $U_{ref}$ .

Ако мостът, вместо с едно напрежение  $U_{ref}$ , спрямо маса, се захрани с две  $+U_{ref}/2$  и  $-U_{ref}/2$  и когато  $R_1=R_2$ , напрежението в общата точка на  $R_1$  и  $R_2$  ще е  $0V$ .

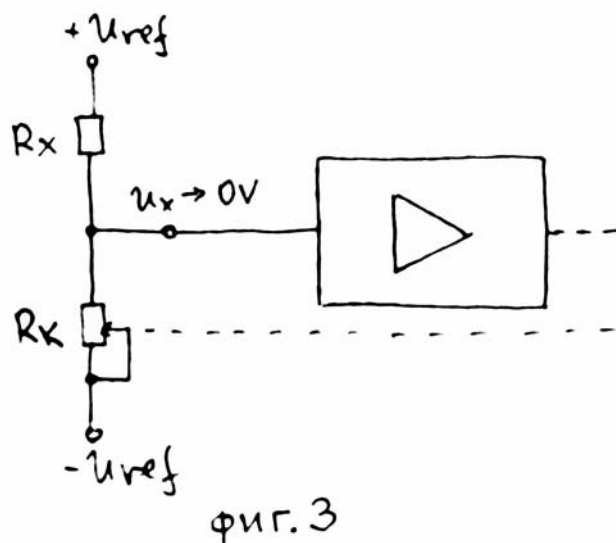
Така лявата част на моста става излишна и се получава схемата на фиг.2.



Тя се нарича полумостова схема. Изходното напрежение е същото както при четирираменния мост и се измерва между общата точка на  $R_3$  и  $R_4$  и маса ( $0V$ ). За улеснение  $U_{ref}/2$  е означено с  $U_{ref}$ .

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  $U_x$  (след като се усили и преобразува) служи за промяна на съпротивлението  $R_k$ , докато  $U_x$  стане равно на  $0V$ . Тогава  $R_k$  е равно на  $R_x$  ( $R_x = R + \Delta R$ ). Тази схема (метод на



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  $R_k$ .

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 А1÷А8 – виж описанието на MC1408.

**Внимание А1 е най-старшият бит (MSB), а А8 – най-младшият (LSB) !**

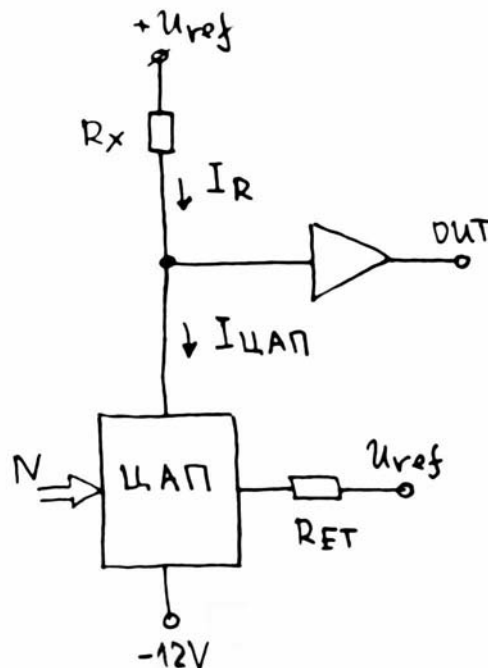
Формулата за тока през ЦАП е 
$$I_{\text{ЦАП}} = \frac{U_{\text{ref}}}{R_{\text{ЕТ}}} \cdot \frac{N}{2^n}$$
, където  $n$  е разрядността на

ЦАП, а  $N$  е кодът който се задава на цифровите входове А1÷А8 ( $N=0\div 2^n-1$ ). За 8-разряден ЦАП  $2^n$  е 256. Ако преобразуваме формулата за  $I_{\text{ЦАП}}$  и заместим  $2^n$  с 256 се

получава: 
$$\frac{R_{\text{ЕТ}} \cdot 256}{N} = \frac{U_{\text{ref}}}{I_{\text{ЦАП}}}$$
. Това отношение може да се разглежда като променлив резистор  $R_{\text{ЦАП}}$ , като стойността му се променя с  $N$  ( $0\div 255$ ).

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  $I_R = I_{\text{ЦАП}}$ .

Токът през резистора е:  $I_R = \frac{U_{\text{ref}}}{R_X}$ , а токът през ЦАП  $I_{\text{ЦАП}} = \frac{U_{\text{ref}}}{R_{\text{ЕТ}}} \cdot \frac{N}{256}$



Фиг. 4

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

$$I_R = U_{ref} / R_x \quad I_{ЦАП} = U_{ref} N / R_{ЕТ} \cdot 256$$

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

$$U_{ref} / R_x = U_{ref} \cdot N / (R_{ЕТ} \cdot 256) \rightarrow R_x = R_{ЕТ} \cdot 256 / N$$

т.е  $U_{ref}$  не участва във формулата за изчисление на  $R_x$  и няма да влияе върху точността на измерване. Това, както бе казано по-горе, е едно от предимствата на уравновесените мостови схеми.

Мостът се уравнива 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  $R_{ЕТ}$  е  $2,5k\Omega$ , с максимална точност ще се измерват само резистори от 2,5 до  $5k\Omega$ , като резистори по-малки от  $2,5k\Omega$  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  $U_{ref}$  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  $U_{ref}$  се настройва с  $VR1 - 1k\Omega$ . 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  $U_{ref}$ . 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  $\Omega$  до няколко десетки  $k\Omega$ .

За да не се претрупва схемата не са показани всички връзки към ЦАП (МС1408, 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  $I_{\text{ЦАП}}$  и  $I_{\text{R}}^*$  е използван компаратор – ОА4. Ако  $I_{\text{ЦАП}}$  е по-голям от  $I_{\text{R}}^*$ , 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  $\pm 10\text{V}$ , а допустимото за микроконтролера е  $5\text{V}$ .

Превключвателите P1 ÷ P4 са MOS ключове 74LVC1G3157GV с управляващо напрежение  $5\text{V}$ .

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:

$U_{\text{ref}}$  - опорното напрежение за крайните положения на тримера VR1.

$U_1$  - напрежението в изхода на ОА1 за двете положения на P1.

$U_2$  - напрежението върху резистора  $2\text{k}$  (между дрейна на VT1 и  $+5\text{V}$ ) за  $R_x = 5\text{k}\Omega$  при три положения на превключвателите - включени (затворени) P2, P2+P3 и P2+P3+P4.

$I_{\text{R}}^*$  - изходният ток, за  $R_x = 5\text{k}\Omega$ ; P2 – затворен и P1 – в двете положения.

$R_{\text{min}}$  - минималната стойност на  $R_x$  която може да се измерва.

$R_{\text{max}}$  - 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  $R_x$ ) се умножи по коефициенти определени от състоянието на превключвателите  $P1 \div P4$ .

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

Максималната стойност  $R_{max}$  се изчислява чрез най-малкия ток който може да се зададе (измери) с точност 5%. Това се получава когато  $N \geq 20$ , т.е  $U1=U_{ref} (P1=0)$  и  $P2=0, P3=0, P4=0$ .

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

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

За да се състави формула трябва да се изчислят коефициентите на предаване по ток при различните състояния на превключвателите  $P1 \div P4$  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 изчисленията 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  $\pm 5\%$ .

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

Напрежението между инвертиращия и неинвертиращия вход се нагласява да е  $0mV$ . Триммер-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  $R_x$  -  $5k$ . Положението на превключвателите P1÷P 4 и A1÷A 8 е без значение.

За нулиране на OA2 се измерва напрежението в единия край на  $R_x$  – 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 мостчетата 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  $U_{ref}$  и измери  $U_1$ . Да се проверят изчисленията.

Измерва се  $U_{ref}$  за двете крайни положения на тример VR1. Получените стойности се сравняват с изчисленияте. След това  $U_{ref}$  се настройва да е  $5V$ .

Измерва се  $U_1$  в изхода на OA1 за двете положения на превключвателя P1. Измерването става на клемата на  $R_x$ .

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

Включени са мостчетата 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 ( $A_1=1$ , 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  $R_{min}$  и  $R_{max}$  и да се сравнят с изчислените.

За  $R_{min}$  - задава се максималната стойност на N и подходящо състояние на превключвателите.

За  $R_{max}$  – задава се стойност 20 (десетично) на N и подходящо състояние на превключвателите.

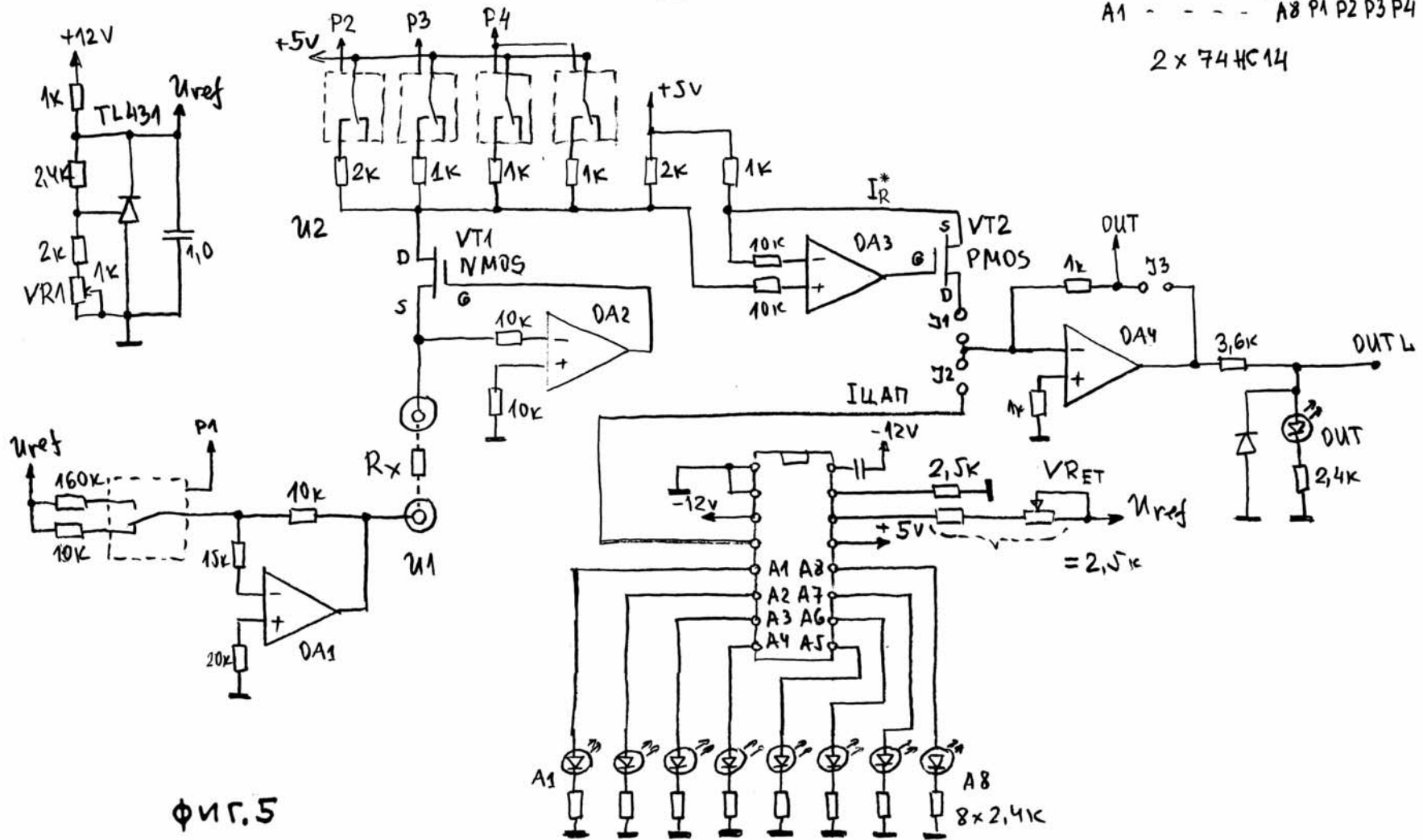
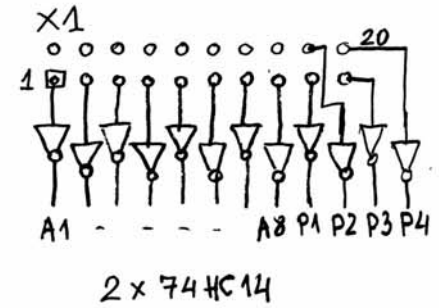
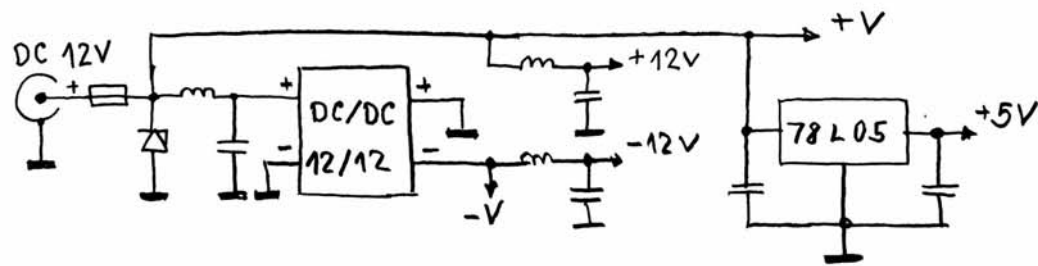
15. Един и същи резистор да се измери при три стойности на опорното напрежение  $U_{ref}$ .

$U_{ref}$  се променя (с  $VR_1$ ), като стойността не бива да надвишава 5,3V. Проверете какво става когато  $U_{ref}$  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.





Фиг. 5

