



# **Практическа електроника**

Част четвърта

**Електрически измервания.**

инж. Б. Чакъров – гр. Лом – 2.3.2018 г.

Темата за измерванията сама по себе си може да запълни книга... и не една, но тук ще се опитам да се вместя в един урок. Ще се съсредоточим предимно върху практическата употреба на мултиметъра и измерването на 3-те основни величини по Закона на Ом. След това ще разгледаме начина на изчисляване на волтметър и амперметър и тяхното влияние върху измерваната величина (грешките при измерване).

## 1. Работа с цифров мултиметър.

Комбинираният цифров уред за измерване на електрически величини се нарича Мултиметър и съдържа цифров блок, който показва измерената величина, Аналого-цифров преобразувател (АЦП или ADC на английски), Атенюатор (затихвател или делител) за измерване на различни напрежения, шунтове за различните обхвати за измерване на токове, допълнително устройство за измерване на съпротивления. На практика главното, което се вижда на лицевия панел на уреда е дисплея, голям въртящ се превключвател за обхватите и видовете измервания и клеми за измервателните сонди.

Дисплея няма какво да го обсъждаме – на него излиза цифровата стойност на величината и вероятно показва и измервателната единица V, Ом, A или кратните mV, mA, kOm.

Превключвател на обхватите и режимите на уреда:



Най-отгоре със зелено – 7 обхвата за измерване на съпротивления: от 200 ома до 200 МОма. Вдясно с бяло – постоянно напрежение от 200 mV до 1000 V и променливо напрежение от 200 mV до 750 V – с жълто. Измерител на транзистори. Капацитетмер за кондензатори – зелените обхвати долу. Ток постоянен и променлив от 2 mA до 20 A. И в момента превключвателят е поставен в позиция за измерване на вериги със звуков сигнал, или проверка на диоди или p-n преходи.

Най-долу са клемите за включване на измерителните сонди. Когато уредът има обхват за 10 или 20 ампера ток тези клеми са 4:



От ляво на дясно: 20A, mA, COM, VΩ

Много е важно да се спазват следните правила при измерване:

- Първо решавате какво ще измервате и превключвате на определения обхват и вид измерване. Ако стойността е съвсем неизвестна се започва от най-високия обхват, за да предотвратим претоварване на уреда.
- За измерване на съпротивления, вериги и p-n преходи сондите трябва да са включени: черната към COM, червената – към VΩ.
- За измерване на напрежение сондите трябва да са включени към същите клеми.
- За измерване на токове до 2 A червената сонда трябва да се премести на клемата mA.
- За измерване на токове от 2 до 20 A червената сонда трябва да се премести на клемата 20A.
- След като се приключи измерване на ток – незабавно трябва да се върне червената сонда на клемата VΩ. В противен случай ако в следващия момент решим да мерим напрежение – например на захранващ източник – фактически ще го дадем на късо и ще изгорим предпазителя на мултиметъра или дори самия мултиметър. (Предпазител има на клемата mA, но на клемата 20A няма предпазител.)

- Добрият волтметър трябва да има високо входно съпротивление за да не влияе на режимите на елементите в схемата, която се проверява – входното съпротивление на тези уреди е от порядъка на 1 – 10 МΩ. Волтметърът се включва винаги паралелно на устройството, чието напрежение искаме да измерим. С волтметър можете директно да мерите напрежения на токозахранващи устройства, батерии и акумулатори.
- Добрият амперметър трябва да има нищожно съпротивление, тъй като се включва **ВИНАГИ ПОСЛЕДОВАТЕЛНО** във веригата.

### **ВНИМАНИЕ!**

**НИКОГА НЕ СЕ ОПИТВАЙТЕ ДА ИЗМЕРИТЕ ТОКА НА ЗАХРАНВАЩ ИЗТОЧНИК, КАТО ВКЛЮЧИТЕ СОНДИТЕ КЪМ ПЛЮСОВАТА И МИНУСОВАТА КЛЕМА** - така ще го поставите в

режим на късо съединение с експлозивни и непредвидими последици. Това е и причината след всяко измерване на ток да връщате сондата в началното и положение. Ако я забравите в клемата за ток следващото измерване може да е съпроводено с гръм ☺

- В режим на омметър уредът захранва измервания резистор или друга верига с напрежение и измерва протичащия ток – след това изобразява стойността на съпротивлението на дисплея.
- Правило 1 – плюсьт на напрежението от уреда в режим на омметър е на червената сонда. Това има значение при проверка на диоди.
- Правило 2 – при измерване на обхватите над 20 kΩ не трябва с пръстите си да докосвате и двата края на измерваното устройство, респективно сондите, защото съпротивлението на тялото ви ще повлияе на резултата от измерването. Човешкото тяло има съпротивление от 100 kΩ до 1 M Ω в зависимост от влажността на кожата и други характеристики, така че ако мерите съпротивление 100 kΩ и включите паралелно на него и вашето – 100 kΩ - ще видите на дисплея двойно по-малка стойност от реалната.

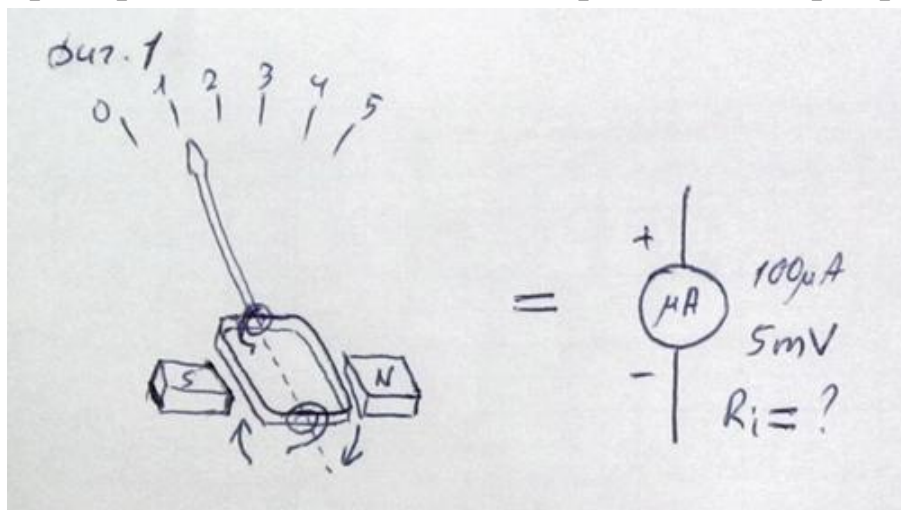
## 2. Аналогов (стрелкови) мултиметър.

Ще поговорим за едни по-стари технологии на мултиметрите. Едва ли ще ви се наложи да ги ползвате, но по-важното е, че на тяхна база ще разберете по-добре начините за измерване на токове и напрежения, както и влиянието, което оказва уреда на измерваната верига. Ще казвам „уред“, а това ще означава „Измервателен уред“.

Тези уреди са популярни сред радиолюбителите с името „стрелкови“ (с ударение на последното и) защото имат стрелка, която се движи и показва стойността на измерваната величина върху разграфена скала.

Уредите от този тип използват т.нар. Магнитоелектрична система. Тя представлява бобинка с много навивки от много тънък проводник, оформена като рамка, която е поставена в магнитно поле от постоянни магнити.

Измерваният ток протича през бобинката и неговото магнитно поле, взаимодействайки с постоянното от магнитите завърта рамката. За рамката е закрепена стрелка, и ъгълът на който се завърта стрелката е пропорционален на силата на протичащия през рамката ток.



Ако не протича ток стрелката стои в нулево положение. Ако протича максималният за системката ток – стрелката е отклонена в максимално положение.

Затова най-важните параметри на една такава измервателна системка са:

- Ток на максимално отклонение – токът, при който стрелката на системката е в максималното си положение;
- Напрежение на максималното отклонение – същото, но за напрежението;
- Вътрешно съпротивление  $R_i$  – активното съпротивление на бобинката – рамка.

Трите величини се подчиняват на закона на Ом.

Магнитоелектричната системка, която ще ползваме в нашия урок и задачите ще е със следните параметри (на практика такива бяха най-разпространените системки едно време):

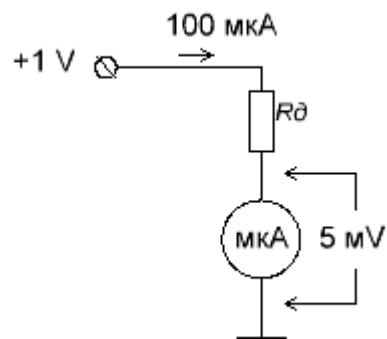
$$I_{\max} = 100 \mu\text{A} \text{ (микроампера)}$$

$$U_{\max} = 5 \text{ mV}$$

Съответно вътрешното съпротивление ще е  $R_i = 50 \Omega$

## 2.1 Волтметър

Очевидно с такава системка можем да мерим напрежение до 5 mV. Как обаче с нея да конструираме волтметър с обхват примерно 1 V? Най-простото решение е да включим последователно към системката допълнително съпротивление.



И сега ще трябва да го изчислим. Взимаме за база максималния ток за пълно отклонение на системката – този ток трябва да тече, когато на входа на нашия волтметър сме подали 1 V – т.е. максималното напрежение. Да изчислим общото съпротивление на волтметъра:

$$1\text{V}/0,0001\text{A} = 10\,000\ \Omega.$$

Сега от общото съпротивление трябва да извадим съпротивлението на системката, което беше 50 ома, за да получим стойността на допълнителното съпротивление.

Получаваме стойност 9950 Ома.

Тук е мястото да кажем, че за измервателните уреди се ползват много по-точни резистори – с толеранс 1% или дори 0,5 %, като за новите цифрови уреди тези допълнителни резистори са дори в интегрално изпълнение. Не случайно избрах волтметърът ни да е с обхват 1V – така веднага се вижда една от характеристиките на всеки волтметър – вътрешното му съпротивление, което се измерва в оме на волт. Очевидно нашият волтметър има вътрешно съпротивление 10 k $\Omega$ /V.

Нека изчислим допълнително съпротивление за друг обхват със същата системка – например за 100 V. Отново ползваме това напрежение заедно с максималния ток на системката и получаваме общо съпротивление 1 000 000 или 1 MΩ. Махаме съпротивлението на системката и получаваме стойността на допълнителното съпротивление – 999 950 ома.

Нека изчислим отново вътрешното съпротивление на нашия 100 V волтметър за 1 волт.  
 $1\ 000\ 000\ \text{ома} / 100\ \text{V} = 10\ 000\ \text{ома/V}$ .

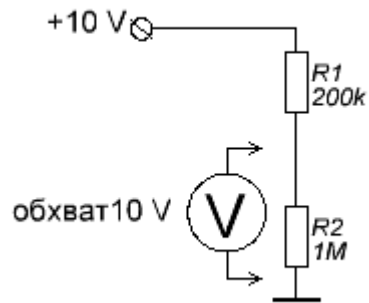
Т.е., както виждате, вътрешното съпротивление на волт от обхватите се получава едно и също и така много лесно може да се изчисли какво е реалното вътрешно съпротивление, което включваме към измерваната верига. Просто умножаваме параметъра kΩ/V по обхвата на който сме включили уреда.

С тази системка изчисляваме допълнителни съпротивления за обхвати на нашия волтметър за 5 V, 10 V, 50 V и 500 V. Резултатите са в долната табличка:

Обхват (Максимална измервана стойност)	R <sub>d</sub>	R <sub>i</sub> на уреда за този обхват
1 V	9 950 Ом (9,95 к)	10 000 Ом
5 V	49 950 Ом (49,95 к)	50 000 Ом
10 V	99 950 Ом (99,95 к)	100 000 Ом
50 V	499 950 Ом (499,95 к)	500 000 Ом
500 V	4 999 950 Ом (4,99995 М)	5 000 000 Ом



Защо е необходимо да знаем пълното вътрешно съпротивление на волтметъра, с който мерим нашите вериги?  
Вижте долната схема:



Имаме всички данни да изчислим пада на напрежение върху R2.

$$10\text{V}/1\,200\,000\ \Omega = 0,0000083\ \text{A}$$

$$0,0000083\text{A} \times 1\,000\,000 = \mathbf{8,3\ \text{V}}$$

Сега да измерим пада на напрежение върху R2, като включим паралелно към него нашия волтметър на обхват 10 V. Това означава, че паралелно на R2 включваме вътрешното съпротивление на нашия уред:

$$1/R_{\Pi} = 1/R_2 + 1/R_i$$

$$1/R_{\Pi} = 1/1\,000\,000 + 1/100\,000$$

$$R_{\Pi} = 90\,909\ \Omega$$

$$10\text{V}/(200\,000 + 90909) = 0,000034375\ \text{A}$$

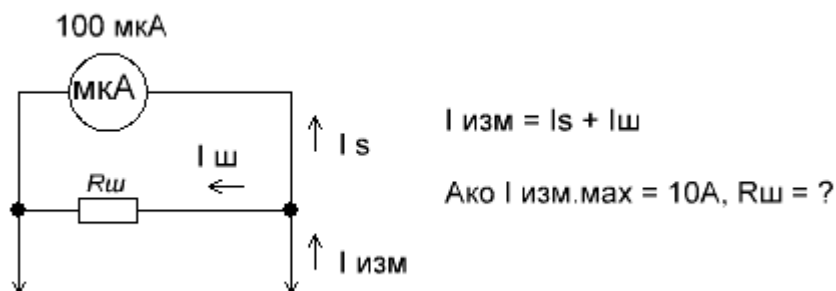
$$0,000034375 \times 90909 = \mathbf{3,125\ \text{V}}$$

Както виждате ползването на волтметър със сравнително ниско вътрешно съпротивление във високоомна верига дава значителна грешка при измерване – в случая над 5 волта разлика.

С тази задача видяхме колко е важно вътрешното съпротивление на измервателния уред и как то може да предизвика грешка при нашето измерване.

## 2.2 Амперметър

На базата на същата магнитоелектрична системка можем да конструираме и амперметър. Напомням – амперметърът се включва винаги последователно на веригите, които измерваме – никога паралелно. За да измерим различни токове с нашата системка трябва паралелно на нея да включваме различни резистори с много малко съпротивление. Резисторите, включени по този начин се наричат „шунтове” а затварянето на такава верига „шунтиране”. Вижте схемата:



Как да ги изчислим? Първо трябва да имаме предвид, че измерваният ток, съгласно I закон на Кирхоф, ще се разделя на две части. Едната ще тече през системката, а другата – през шунта.

И така – да си направим амперметър за максимален ток 10 А.

$I_{\max} = I_s + I_{\text{ш}}$  - максималният ток е равен на сбора от токовете в системката и шунта.

$$I_{\max} = 10 \text{ A}$$

$$I_s = 100 \mu\text{A} = 0,0001 \text{ A}$$

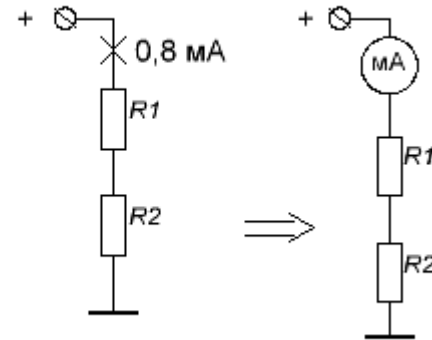
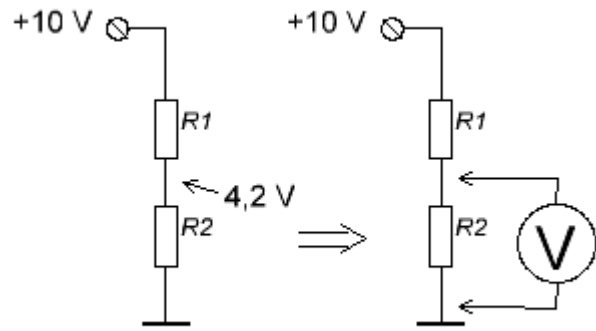
$$I_{\text{ш}} = I_{\max} - I_s = 9,9999 \text{ A}$$

$R_{\text{ш}} = U_{\max}/I_{\text{ш}}$  помнете, че максималното напрежение на максимално отклонената системка е 0,005 V или 5mV?

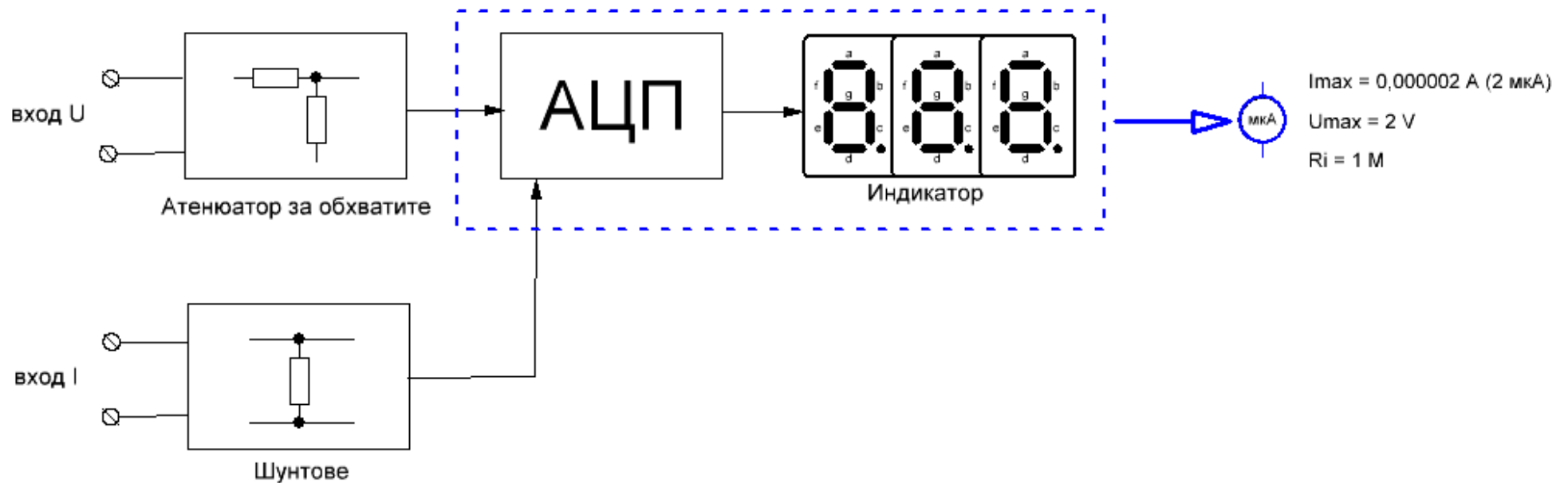
$$\text{Тогава } R_{\text{ш}} = 0,005/9,9999 = 0,0005 \Omega$$

Вътрешното съпротивление на нашия амперметър ще бъде равно на двете паралелно свързани съпротивления - на шунта и системката, и е приблизително 0,000488  $\Omega$ . Това е екстремно ниска величина – т.е. амперметрите имат нищожно вътрешно съпротивление, и колкото по-малко е то, толкова по-малко ще влияят на измерваната верига. Освен това този резултат може да ни покаже какво ще стане ако включим амперметъра паралелно на захранващ източник – това означава почти чисто късо съединение, съпроводено със светлинни, звукови и димни ефекти, съпровождащи изгарянето на амперметъра или захранващото устройство... или бушона в електрическото табло... всъщност в практиката си съм имал всичките тези случаи 😊

Чрез следващите схеми съм показал как се обозначават измерванията на напрежение и на ток във схемите и какво означава това на практика. За напрежение просто се допира със сондите на волтметъра към указаната точка и общия проводник. За измерването на тока обаче – прекъсва се веригата и амперметърът се включва последователно...



### 3. Цифрови измервателни уреди – волтметър и амперметър ... и мултиметър.



Вижте блоковата схема. Тя съдържа атенюатор – набор от допълнителни съпротивления за волтметъра, набор шунтове за амперметъра и в повечето случаи някои допълнителни устройства (малко по-сложни) за измерване на съпротивления, транзистори, кондензатори и др.

Измерваните напрежения след атенюатора или шунтовете се подават на Аналого-цифров преобразувател (АЦП), който дигитализира величината на входа. Логично след това е цифровият индикатор, който показва директно числовата стойност на измерваната величина.

Съвсем общо можем да приравним АЦП и цифровия индикатор към нашата системка – функцията, която изпълняват и двете устройства е еднаква.

Само че цифровата „системка” има малко по-добри параметри – типични стойности:

$$I_{\max} = 0,000002 \text{ A}$$

$$U_{\max} = 2 \text{ V}$$

$$R_i = 1 \text{ M}\Omega$$

Както виждате на цифрова база могат да се конструират волтметри с огромно входно (вътрешно) съпротивление – от порядъка на  $500 \text{ k}\Omega/\text{V}$  и дори повече, което прави грешките при измерване нищожни.

В следващия урок ще продължим с реактивните пасивни елементи: кондензатори и бобини и тяхното приложение в електронните схеми.