

## 1.1. Principiile Măsurărilor Electronice



### Introducere

Măsurările electronice reprezintă metodele, aparatele și calculele utilizate pentru măsurarea mărimilor electrice. Un *aparat* este un instrument care transformă o mărime fizică de interes (mărimea măsurată) într-o formă care poate fi înregistrată în mod corespunzător (măsurarea). De exemplu, un senzor de temperatură convertește temperatura (mărimea fizică) într-un semnal electric, care poate fi apoi măsurată și înregistrată în mod convenabil. În acest sens sunt folosite instrumente electronice care reprezintă aparate de măsurat ce permit măsurarea proprietăților echipamentelor electrice. Electronica reprezintă mediul pentru amplificarea, condiționarea, transmisia și comanda semnalului de la senzori. Măsurările Electronice prezintă principiile măsurărilor electrice, aparatelor și sistemelor de măsură utilizate (electronice), tendințele recente și principalele caracteristici ale procesului de măsurare.



### Obiective

Obiectivele cursului sunt:

- Sinteza principalelor caracteristici ale aparatelor utilizate în măsurări electronice.
- Analiza tendințelor actuale din sistemele de măsurare în medii industriale și în laboratorul de Măsurări Electronice.

În fiecare zi adunăm informații prin efectuarea măsurărilor, și de cele mai multe ori fără a conștientiza acest fapt. Când afirmăm că *“este frig astăzi”* descriem de fapt rezultatul unei măsurări efectuate de simțurile noastre (receptori). O astfel de măsurare este realizată în mod subiectiv-altcineva ar putea afirma în aceleași condiții că nu este frig. Dar, în general estimăm temperatura în raport cu temperatura de care ne amintim că ar fi cea de referință. Astfel că în acest mod am efectuat procesul de măsurare.

Mai mult decât atât, dacă vom afirma că *“Nu mă simt bine astăzi”* atunci descriem rezultatele analizei stării organismului nostru. Receptorii noștri au interpretat acești parametri: tensiunea arterială, temperatura corpului, pulsul, nivelul de adrenalină, etc. ca fiind incorecți. Sistemul de măsurare din corpul nostru funcționează în mod foarte asemănător ca sistemele de măsurare ale computerelor folosite, de exemplu, în industrie. Receptorii (senzorii) determină valoarea multor mărimi: lumină, sunet, miros, temperatură, etc. Rezultatele citirii sunt transmise creierului ca semnale electrice prin intermediul interfeței care constă din miliarde de fibre nervoase. Creierul nostru acționează ca unitatea centrală a calculatorului - controlează sistemul de măsurare și procesează toate semnalele de intrare. Trebuie menționat că organismul uman este un instrument excelent care poate regla temperatura – stabilizează temperatura corpului la  $36.6^{\circ}\text{C}$  cu o acuratețe de  $0.1^{\circ}\text{C}$ .

Măsurarea reprezintă estimarea unei mărimi cu o anumită valoare (cu incertitudine cunoscută) prin comparația cu unitatea standard. Această definiție simplificată (prin intermediul celor trei elemente subliniate) scoate în evidență cel mai important aspect al procesului de măsurare – această acțiune

este mereu prezentă în viața noastră. Practic, aproape întreaga activitate a vieții noastre este legată de măsurători, pentru că mereu comparăm diferite obiecte, evaluăm proprietățile lor, și calculăm mărimile lor.



#### Exemplu

De exemplu, atunci când plătim pentru cumpărături în supermarket folosind bani, această acțiune se numește măsurare. Teoretic toate elementele din definiția de mai sus sunt prezente. În cazul plății în numerar estimăm valoarea sumei; există o unitate standard (cuantă) de valoare - de exemplu, un euro sau un eurocent. Dacă suntem neatenți sau cu vederea slabă numărarea banilor va fi efectuată cu un anumit nivel de incertitudine.

Plata se poate realiza în mod tradițional. Dar se preconizează că, în viitor, în supermarketuri nu se vor mai găsi casieri. Toate produsele pot fi marcate (prin, de exemplu, semnătura magnetică codată) și senzorul de la poartă poate detecta toate elementele. Sistemul informatic determină costul și retrage suma necesară de bani direct din contul nostru bancar. Fiabilitatea și precizia unui astfel de sistem depinde foarte mult de calitatea senzorilor de câmp magnetic și de detecția semnăturii magnetice.

Măsurarea reprezintă baza cercetării științifice și industriale. Ea ne ajută să înțelegem fenomenele pe care le observăm în mediul nostru prin intermediul deducției și verificării experimentale. Aparatele și sistemele de măsurat constituie “uneltele” de măsurare. În prezent, echipamentele de măsură sunt aproape peste tot. Să ne uităm la automobile. Cu ceva timp în urmă un automobil obișnuit era echipat doar cu câteva aparate de măsurat – pentru detectarea nivelului de combustibil, viteza vehiculului, temperatura motorului.



#### Exemplu

Astăzi, zeci (sau deseori sute) de senzori diferiți sunt instalați în fiecare mașină nouă (Figura 1.1) - de la senzori importanți pentru siguranța pasagerilor (prin testarea vitezei de rotație a fiecărei roți din sistemul ABS), la senzori care pot memora în mod remarcabil poziționarea scaunelor (Robert Bosch 2002). Acționarea airbag-ului este controlată de către senzorii de stres. De multe ori, ștergătoarele de parbriz sunt comandate în conformitate cu intensitatea precipitațiilor. Mulți șoferi nu știu cum să dea cu spatele fără ajutorul detectoarelor cu ultrasunete care evidențiază barierele. Nu este o surpriză atunci când autovehiculul este echipat cu sistemul GPS (*Global Positioning System*) prin satelit. Numărul de senzori este atât de mare încât a fost necesară o interfață specială numită CAN (*Controller Area Network*), proiectată de Bosch pentru conectarea senzorilor inteligenți în aplicații auto. Senzorii moderni (cunoscuți ca senzori inteligenți) sunt dotați cu interfețe adecvate (Ethernet, CAN, RS-232) și este posibilă conectarea lor directă la rețeaua sistemului.

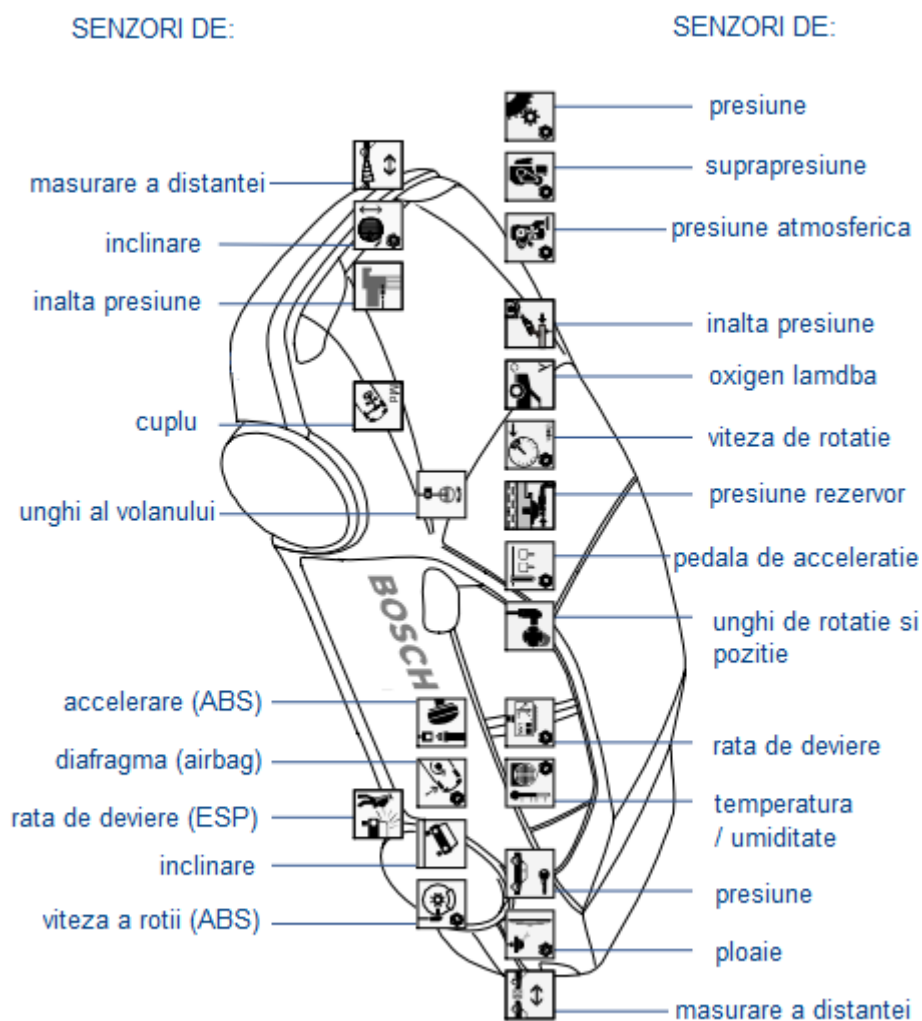


Fig.1.1 Senzori utilizați în aplicații auto (Bosch 2002)

Tehnicile de măsurare s-au schimbat foarte mult în ultimul timp. Datorită dezvoltării informaticii, microelectronicii și mecatronicii, o adevărată revoluție poate fi semnalată în ceea ce privește măsurările. De regulă, aparatele de măsurare sunt substituite cu sisteme de măsurare informatice mai flexibile și universale. Multe aparate de măsurare (cele mai multe dintre ele analogice) au dispărut de pe piață. În aplicații obișnuite numai câteva instrumente au rămas "aparate de măsurat" neschimbate, cum ar fi: multimetrul digital, osciloscopul digital și generatorul de undă arbitrară. Folosind aceste trei echipamente și o unitate de calculator, este posibilă implementarea multor sisteme de măsurare diferite. Tehnicile de măsurare moderne ar putea însemna doar că măsurările analogice sunt substituite cu cele digitale iar activitatea umană este complet înlocuită de calculator, dacă s-ar apela la o gândire simplă.

Pentru un **sistem de măsurare** tradițional (Figura 1.2), proprietățile obiectului investigat (de exemplu, un proces tehnologic sau fenomene fizice) au fost determinate cu diferite echipamente de măsurat, senzori, aparate indicatoare, punți de măsurare, etc. aflate de obicei chiar lângă obiectul testat. O astfel de organizare a aparatelor s-a datorat faptului că cele mai multe dintre acestea nu au avut interfețe de ieșire. Abordarea de mai sus se referă la măsurări electronice clasice.



Fig.1.2 Un sistem de măsurare “tradițional”

Instrumentele digitale care au apărut recent pe piață sunt echipate cu interfață de ieșire. Aparatele de măsurare moderne necesită cunoștințe legate de senzori, sisteme de achiziții de date și de procesarea semnalului digital!



#### Discuție



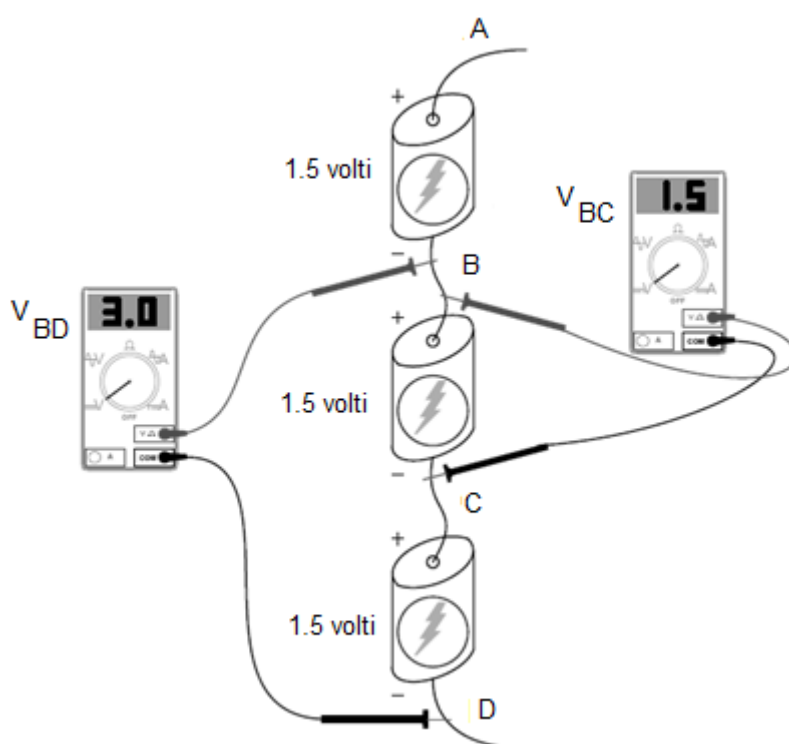
Aparatele de măsurat contemporane oferă performanțe de investigare mult mai bune decât înainte. În trecut incertitudinea de măsurare de 0,1% era considerată excelentă. Astăzi, există aparate digitale ieftine și de complexitate redusă care pot furniza incertitudini de măsurare de 0,05%. Totuși, aceste performanțe remarcabile pot duce la multe interpretări greșite. Lipsa de cunoștințe și experiență în efectuarea măsurărilor poate cântări foarte mult, în cazul în care incertitudinea unei măsurători trebuie definită. Se întâmplă foarte des ca măsurarea să fie realizată cu un instrument foarte precis iar rezultatul să fie afișat cu un număr de cifre care nu poate fi interpretat. Și acum un alt exemplu - cercetătorul sau studentul care utilizează instrumentul digital de calitate excelentă poate să creadă că incertitudinea dată de producător garantează aceeași incertitudine de măsurare, chiar dacă semnalul măsurat este afectat de zgomot și interferențe. Deși metodele și instrumentele de măsurare sunt în continuă dezvoltare și devin din ce în ce mai precise, totuși acest lucru nu ar trebui să permită cercetătorilor sau studenților să ignore analiza acurateții de măsurare - acest aspect este încă crucial pentru măsurări corecte.

### 1.1.1. Curentul continuu (C.C.)

Deoarece primele instrumente de măsurare studiate măsoară mărimi electrice C.C. (curent și tensiune continuă), este foarte important să fie înțelese principiile de bază ale electricității în C.C.

**Tensiunea** este cantitatea de energie potențială specifică disponibilă între două puncte din circuitul electric. Energia potențială este energia care este disponibilă pentru a produce lucru electric. Potențialul electric (tensiunea) și energia potențială au o proprietate comună, care totuși poate deruta: ambele mărimi sunt fundamental relative între două locații fizice.

Nu există nici un astfel de lucru ca precizarea cantității de energie potențială într-o singură locație. Cantitatea de energie potențială din orice sistem este întotdeauna relativă între două puncte diferite. Trebuie să cunoaștem poziția sarcinii electrice în raport cu punctul său de întoarcere înainte de a determina nivelul ei de tensiune.



Luăți în considerare o serie de baterii conectate conform figurii de mai sus:

Tensiunea măsurată direct între oricare două puncte de-a lungul unei singure baterii va fi 1.5 volți:

$$V_{AB} = 1.5 \text{ volți}$$

$$V_{BC} = 1.5 \text{ volți}$$

$$V_{CD} = 1.5 \text{ volți}$$

Dacă, totuși, vom extinde măsurarea pe mai multe baterii folosind conexiunile cu voltmetrul, atunci voltmetrul va indica mai mult de 1.5 volți:

$$V_{AC} = 3.0 \text{ volți}$$

$$V_{BD} = 3.0 \text{ volți}$$

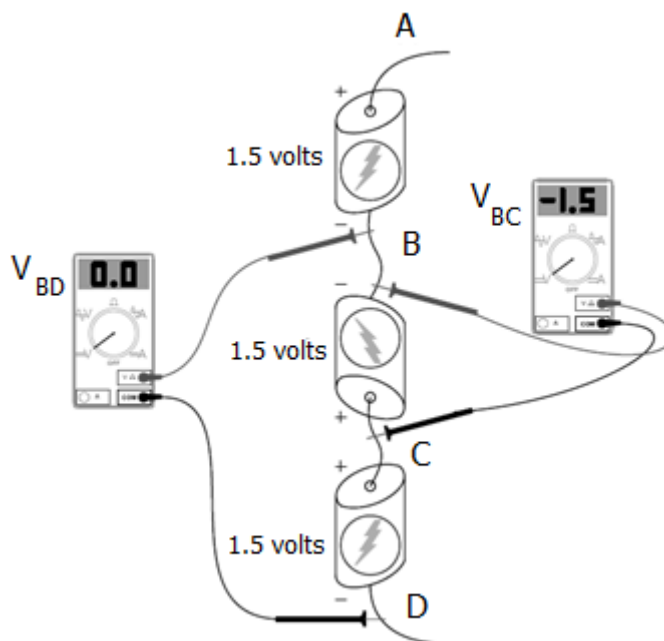
VAD = 4.5 volți

Nu există nici un astfel de lucru ca "tensiune" într-un singur punct al circuitului. Conceptul de tensiune are înseamnăte numai între perechi de puncte din circuit.



### Observații

Lucrurile devin interesante când conectăm două surse de tensiune în diferite configurații. Luați în considerare următorul exemplu, cu o ilustrație similară cu cea precedentă exceptând faptul că bateria din mijloc a fost inversată:

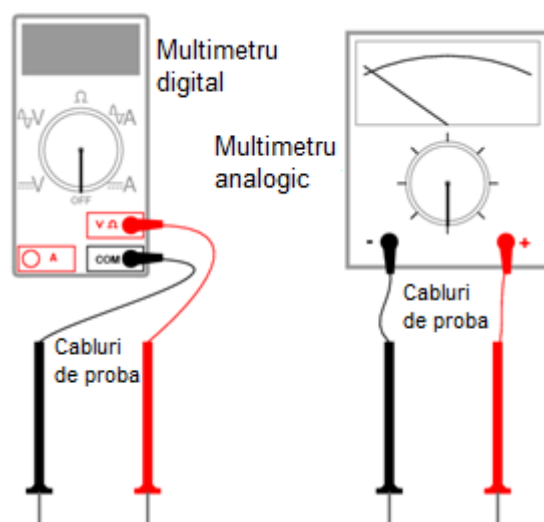


Se folosesc semnele "+" și "-" lângă capetele bateriilor.

Aceste semne arată polaritatea tensiunii fiecărei baterii. De asemenea, se observă cum citirile de pe voltmetru sunt acum diferite. Se poate observa un exemplu de potențial negativ pentru bateria din mijloc, conectată în opoziție cu celelalte două baterii.

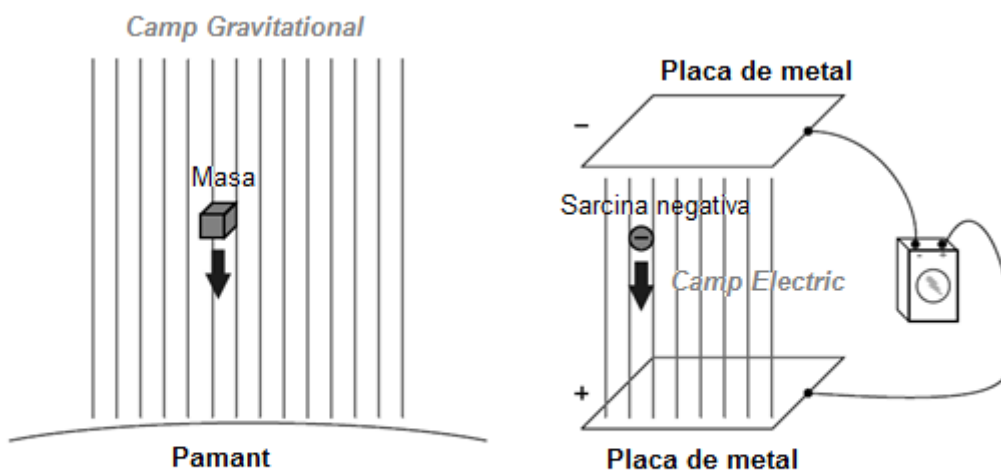
În timp ce bateriile de sus și jos "ridică" sarcinile electrice pentru un potențial mai mare (mergând de la punctul D la A), bateria de mijloc scade potențialul de la punctul C la B. Din acest motiv este importantă instalarea mai multor baterii în același mod pentru a alimenta dispozitive bazate pe baterii, cum ar fi aparatele de radio și lanternele. Tensiunile bateriilor ar trebui să fie adăugate pentru a furniza mai mult decât cerințele dispozitivului. În cazul în care una sau mai multe baterii sunt inversate, potențialul va fi pierdut în loc să fie câștigat, iar aparatul nu va fi furnizat cu tensiune suficientă.

O atenție deosebită trebuie acordată modului de folosire a voltmetrului, deoarece polaritatea contează. Toate voltmetrele sunt standardizate cu două culori pentru cablurile de probă: roșu și negru. Pentru a avea sens indicația voltmetrului, în special semnul pozitiv sau negativ al indicației, trebuie să înțelegem ce înseamnă cele două culori folosite pentru cablurile de probă (vezi figura de mai jos).



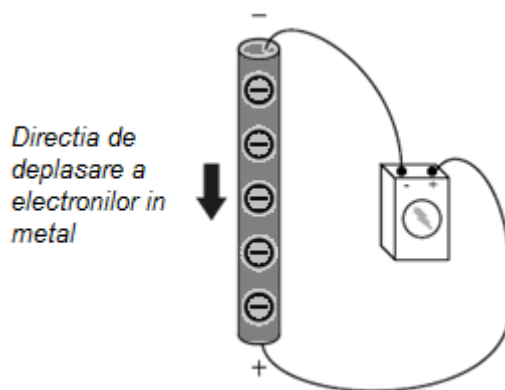
Conectarea acestor cabluri la diferite puncte din circuit ne va spune dacă există un creștere sau o scădere de potențial de la un punct (negru) la alt punct (roșu).

**Curentul** este numele pe care îl dăm mișcării sarcinilor electrice de la un punct de potențial ridicat la un punct de potențial scăzut. Tot ce avem nevoie pentru a forma un curent electric este o sursă de potențial (tensiune) și niște sarcini electrice care sunt libere să se deplaseze între polii acestui potențial. De exemplu, dacă legăm o baterie la două plăci metalice, am putea crea un câmp electric între aceste plăci, asemănător cu câmpul gravitațional, cu excepția că acesta acționează doar asupra obiectelor încărcate electric, în timp ce gravitația acționează asupra oricărui obiect care are masă. O sarcină liberă situată între aceste plăci ar putea "cădea" pe una dintre plăci în timp ce că o masă ar cădea pe o masă mai mare:



*O sarcina electrica va "cadea" in campul electric la fel cum un corp cu masa va cadea in campul gravitațional*

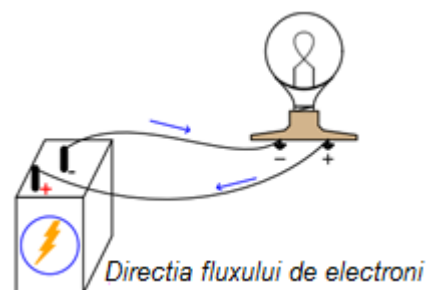
În cazul în care polii unei surse de tensiune sunt uniți pe o porțiune continuă de metal, **electronii liberi** din metal, se vor depărta către polul pozitiv (deoarece electronii au o sarcină negativă, sarcinile opuse se vor atrage între ele):



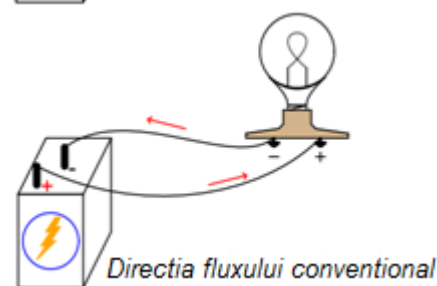
Dacă sursa de tensiune este alimentată continuu cu energie chimică, energie mecanică, sau o altă formă de energie, electronii liberi vor descrie o buclă continuă în jurul acestei căi circulare. Această cale neîntreruptă este cunoscută sub numele de *circuit electric*.

Când Benjamin Franklin a emis teoria sa legată de electricitate cu un singur fluid, a definit "pozitiv" și "negativ" ca surplus și respectiv deficit de sarcină electrică.

De fapt, ipoteza sa era exact opusul adevărului pentru conductori metalici, în care electronii sunt purtătorii de sarcină dominanți. Acest lucru înseamnă că într-un circuit electric alcătuit dintr-o baterie și un bec, electronii se deplasează încet dinspre partea negativă a bateriei, prin fire metalice, prin bec, către partea pozitivă a bateriei → a se vedea figura din dreapta

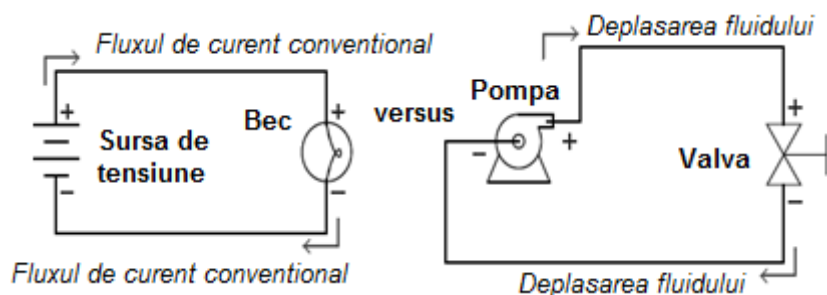


Din nefericire, oamenii de știință și inginerii s-au obișnuit cu ipoteza falsă a lui Franklin cu mult înainte ca adevărata natură a curentului electric în conductori metalici să fie descoperită. Notația lor preferată indică cum curentul electric care curge de la polul pozitiv al sursei, prin sarcină, revenind la polul negativ al sursei → a se vedea figura din dreapta



#### Observații

Această relație dintre semnele de polaritate pentru tensiune și curgerea convențională a curentului este mai intuitivă decât notația pentru fluxul de electroni, pentru că amintește de presiunea fluidului și direcția de curgere:

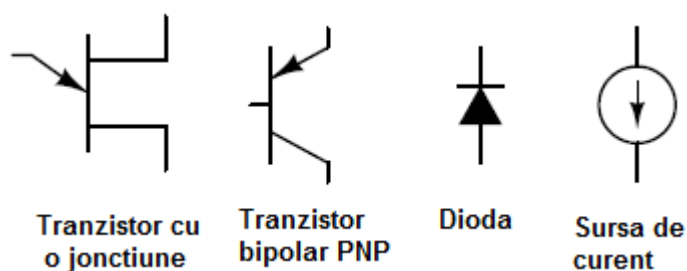


Dacă folosim semnul "+" pentru a reprezenta o presiune mai mare, iar semnul "-" pentru o presiune mai mică, acest lucru are sens deoarece fluidul ar trebui să treacă de la portul pompei de presiune înaltă, prin "circuitul" hidraulic, înapoi la



portul pompei de presiune joasă. Cu alte cuvinte, notația pentru curgerea convențională validează intenția inițială a lui Franklin de modelare a curentului, văzut ca un fluid, chiar dacă mai târziu s-a dovedit a fi greșită în cazul conductorilor metalici unde electronii sunt purtătorii de sarcină dominanți.

Această convenție are o tradiție așa de lungă în domeniul ingineriei electrice că a rămas dominantă în ciuda descoperirii electronilor. Inginerii, care creează simbolurile utilizate pentru a reprezenta dispozitivele electronice pe care le inventează, au ales în mod constant să deseneze săgeți pentru direcția de curgere convențională, mai degrabă decât pentru cea de electroni. În următoarele simboluri, capetele de săgeată arată în direcția în care purtătorii de sarcină pozitivă s-ar deplasa (de fapt în direcția opusă urmată de electroni):



Orice tehnician electronist vă va spune să utilizați notația de curgere a electronilor. Deci, trebuie să ne imaginăm că **electronii se deplasează împotriva săgeților dispozitivelor**. Probabil vă veți întreba de ce acest lucru contează. Țineți minte că oamenii din domeniu încă nu s-au decis care convenție este mai bună. De fapt, nu contează, atâta timp cât fiecare își alege convenția sa și nu se abate de la gândul inițial!

Există însă multe argumente în favoarea utilizării curgerii convenționale a electronilor. Cele mai importante sunt:

- Notația convențională se potrivește cu săgețile dispozitivelor; nu este necesar “să mergi împotriva săgeții” când curentul este urmărit în circuit.
- Notația convențională este standardul folosit de producători (manuale de referință, ghiduri de depanare, fișe tehnice, etc.)

Așadar, tensiunea reprezintă măsura energiei potențiale disponibile sarcinilor electrice. **Curentul reprezintă înaintarea uniformă a sarcinilor electrice ca răspuns la o tensiune.**

Tab. 1.1 Simboluri și unități pentru mărimi electrice C.C.

Mărime	Simbol algebric	Unitate	Abreviere
Tensiune	V (sau U, sau E)	Volt	V
Curent	I	Amper (sau Amp)	A
Rezistență	R	Ohm	$\Omega$

Putem avea o tensiune fără a avea un curent (adică un *circuit deschis*), dar nu putem avea un curent fără a avea mai întâi o tensiune pentru a-l susține (adică un *scurtcircuit*!). Curentul fără tensiune ar fi echivalent cu propunere fără forță de motivare. Când sarcinile electrice se deplasează printr-un material cum ar fi un metal, acestea vor întâlni în mod natural opoziție sau frecare, la fel cum fluidul care se deplasează printr-o conductă va întâlni în mod inevitabil frecare. Există un nume pentru această frecare care apare la mișcarea sarcinilor electrice: rezistență. Ca și tensiunea și curentul, rezistența are propria unitate specială de măsură: ohmul. În acest moment, ar fi bine să trecem în revistă și să comparăm simbolurile și unitățile folosite pentru tensiune, curent și rezistență (Tabelul 1.1)

Georg Simon **Ohm** a definit rezistența ca raportul matematic dintre tensiunea aplicată și curentul care rezultă:

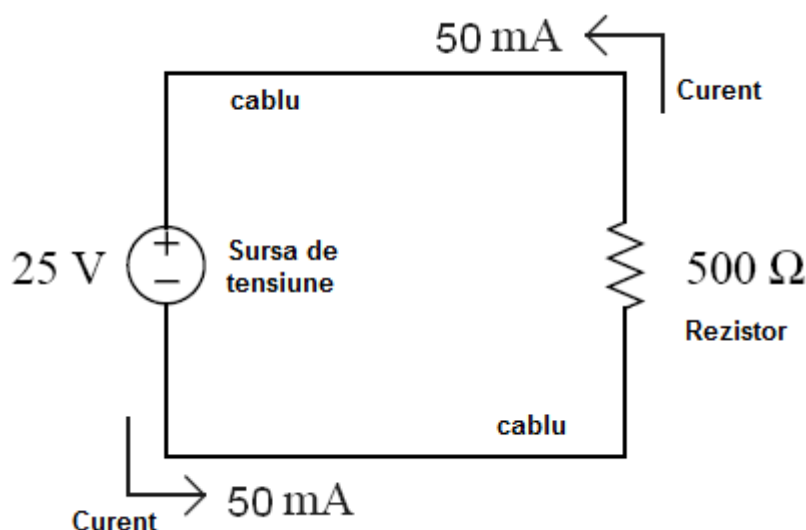
$$R = \frac{V}{I}$$

Exprimată în cuvinte, rezistența este cât de multă tensiune este necesară pentru a forța o anumită rată de curent printr-un material conductor. Multe materiale au rezistențe relativ stabile, în timp ce altele nu. Dispozitive numite rezistori sunt fabricate și vândute, posedând o valoare foarte precisă de rezistență, cu scopul de a limita curentul din circuit (printre altele).



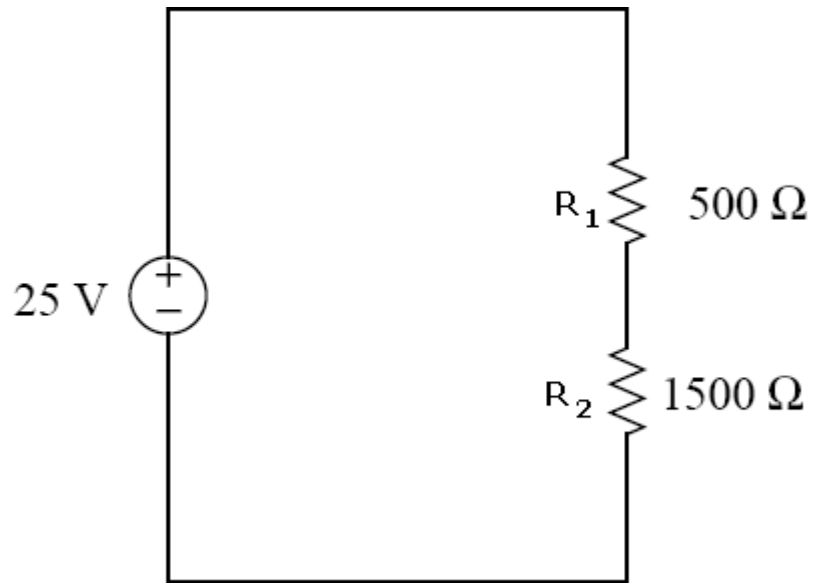
#### Exemplu

Iată un exemplu în care Legea lui Ohm este în acțiune: calculați curentul într-un circuit cu o sursă de tensiune de 25 V și o rezistență totală de 500 ohmi. Luând cei 25 de volți care se împart la 500 de ohmi, ar trebui să obținem 0.05 Amperi, sau 50 de miliamperi (50 mA).



Notă: săgețile arată direcția în care se mișcă electronii.

Dacă circuitul în cauză are doar o sursă de tensiune, o rezistență, și o singură cale de curent, atunci nu pot exista confuzii. Cu toate acestea, dacă ne uităm la un circuit mai complex, există riscul de a apărea confuzii:



Ce rezistență folosim pentru a calcula curentul din acest circuit? Oare împărțim cei 25 de volți la 500 de ohmi așa cum am făcut data trecută, sau împărțim la 1500 ohmi, sau facem altfel? Răspunsul la această întrebare se obține prin identificarea tensiunilor și curenților.

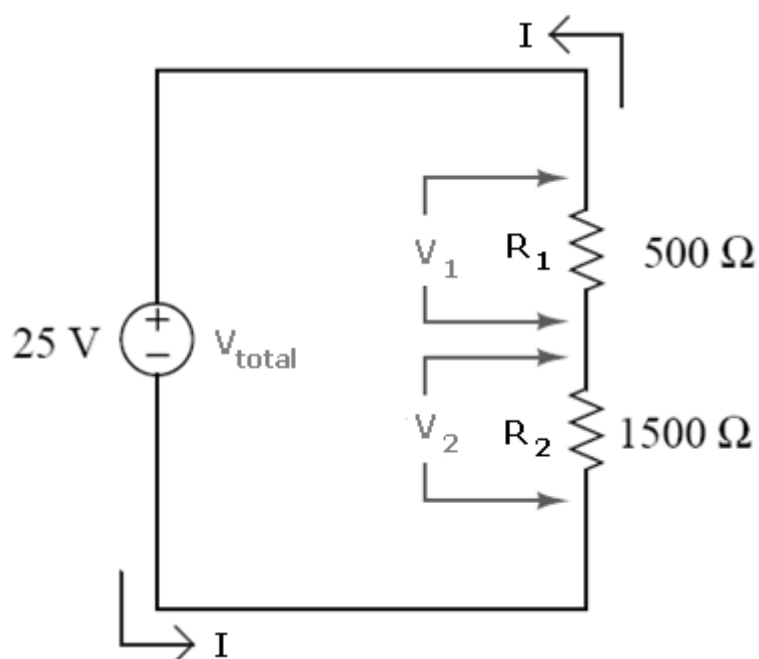
Știm că potențialul de 25 de volți va fi aplicat de-a lungul totalului celor două rezistențe  $R_1$  și  $R_2$ , și deoarece nu există o singură cale pentru curent ele trebuie să împartă același curent. Astfel, avem de fapt trei tensiuni ( $V_1$ ,  $V_2$ , și  $V_{total}$ ), trei rezistențe ( $R_1$ ,  $R_2$ , și  $R_{total}$ ), și numai un curent ( $I$ ).

Pornind de la ecuația Legii lui Ohm în formă inițială ( $R = V / I$ ) pentru a calcula  $V$ , trei ecuații vor rezulta pentru acest circuit:

$$V_{total} = I \cdot R_{total} = I(R_1 + R_2)$$

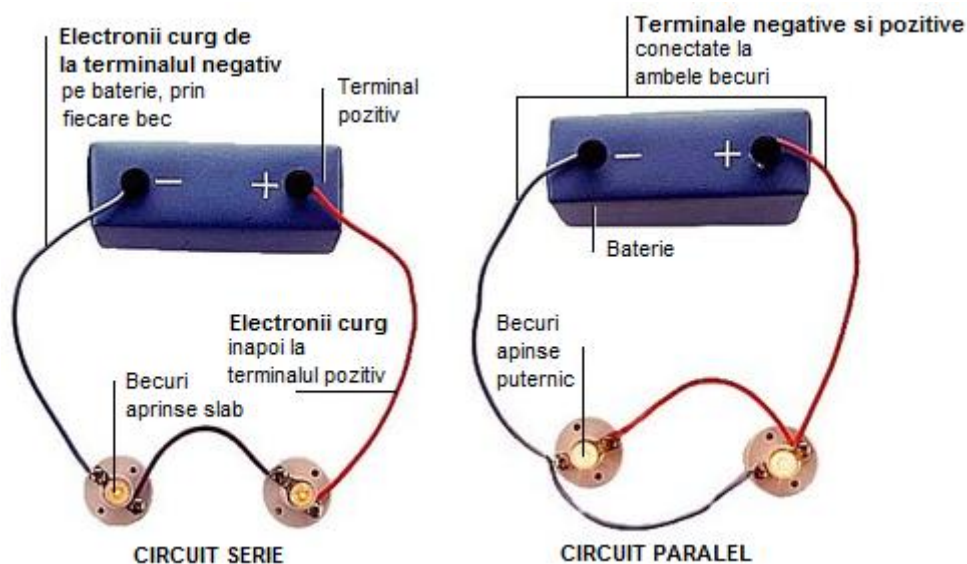
$$V_1 = I \cdot R_1$$

$$V_2 = I \cdot R_2$$

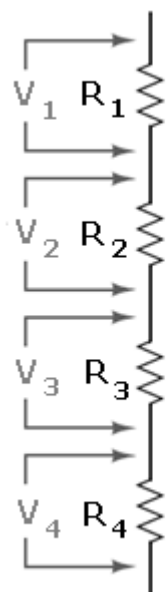


Astfel, curentul din acest circuit este de 12.5 milliamperi (12.5 mA), tensiunea pe rezistorul  $R_1$  este de 6.25 volți, iar tensiunea pe rezistorul  $R_2$  este de 18.75 volți.

Pe lângă Legea lui Ohm, avem un întreg set de reguli care descriu modul în care tensiunile, curenții, și rezistențele sunt corelate în circuitele formate din mai multe rezistențe. Aceste reguli se împart în mod egal în două categorii: circuite în serie și în paralel. Cele două tipuri de circuit sunt prezentate mai jos:



Circuitele **serie** se caracterizează printr-o singură cale de curent, iar acest lucru înseamnă că la echilibru curentul trebuie să fie aceeași în toate punctele din circuit.



*Tensiunea se adauga la total*

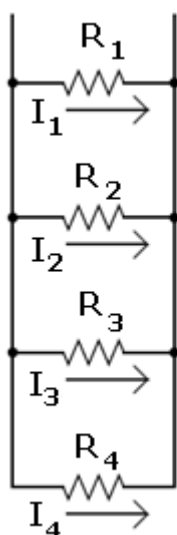
$$V_{total} = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

*Curentul este acelasi peste tot*

$$I_{total} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

*Rezistentele se adauga la total*

$$R_{total} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



*Tensiunea este aceeași peste tot*

$$V_{total} = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

*Curentii se adauga la total*

$$I_{total} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

*Adaugarea rezistentelor reduce rezistenta totala*

$$R_{total} = (R_1^{-1} + R_2^{-1} + \dots + R_n^{-1})^{-1}$$

De asemenea, suma tuturor tensiunilor de pe dispozitivele de sarcină (rezistențe) trebuie să fie egală suma totală a tuturor tensiunilor de sursă, iar rezistența totală a circuitului va fi suma tuturor rezistențelor individuale.

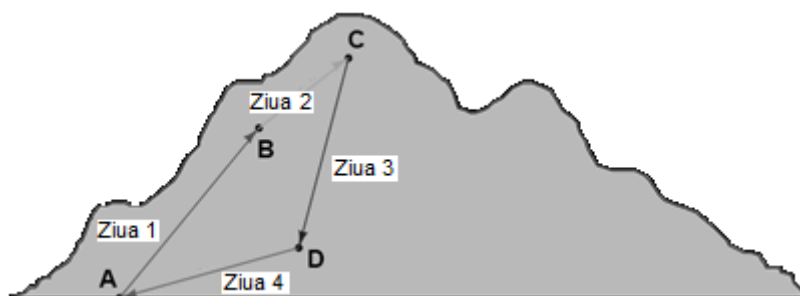
Caracteristica definitorie a unui circuit în **paralel**, este în schimb că toate componentele împart **aceleași două puncte echipotențiale**. "Echipotențial" înseamnă pur și simplu "la același potențial", așa cum ar trebui să fie punctele de-a lungul unui conductor neîntrerupt. Suma tuturor curenților componenți trebuie să fie egală cu curentul total din circuit, iar rezistența totală va fi mai mică decât cea mai mică rezistență individuală:

Două principii extrem de importante în circuitele electrice au fost enunțate de Gustav Robert Kirchhoff în anul 1847, cunoscute sub numele de Legile lui **Kirchhoff**. Cele două legi se referă la tensiunea și respectiv curentul din circuitele electrice. **Legea Tensiunii** afirmă că suma algebrică a tuturor tensiunilor într-o buclă închisă este egală cu zero. Un alt mod de a exprima această lege este de a spune că pentru fiecare creștere de potențial trebuie să existe o scădere egală, dacă vom porni din orice punct de circuit și vom face o buclă înapoi la același punct de plecare.



## Explicații

O analogie pentru Legea Tensiunii (Kirchhoff) se referă la o drumeție pe munte. Să presupunem că începem de la baza muntelui și ajungem la o altitudine de 1.500 de metri pentru a stabili tabăra peste noapte. Apoi, a doua zi pornim de la tabăra și parcurgem în continuare alți 1.000 de metri.



Decidem că am urcat suficient pentru două zile, stabilim tabăra din nou și rămânem noaptea. În ziua următoare parcurgem 1900 de metri către a treia locație și campăm din nou. În a patra zi revenim la punctul de plecare inițial de la baza muntelui. Putem rezuma aventura noastră de drumeție printr-o serie de creșteri și scăderi de altitudine cum ar fi:

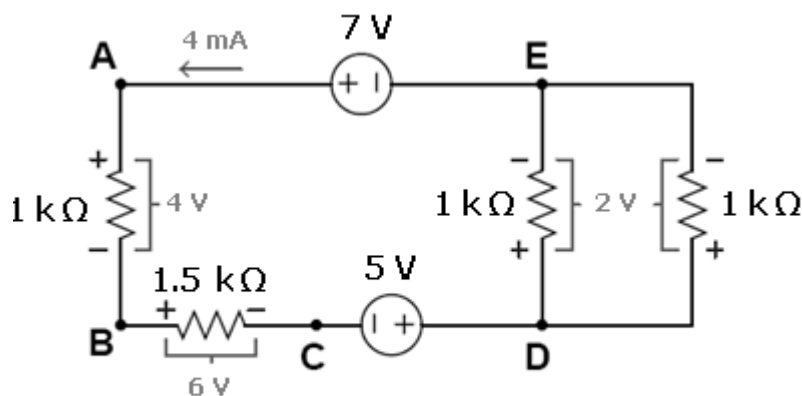
Ziua	Calea	Câștig/Pierdere alt.
Ziua 1	AB	+1.500 metri
Ziua 2	BC	+ 1.000 metri
Ziua 3	CD	- 1900 metri
Ziua 4	DA	- 600 metri
(Total)	ABCD	0 metri

Dacă vom urmări zilnic câștigul sau pierderea în termeni algebrici (se menține semnul, fie pozitiv sau negativ), vom vedea că suma totală este zero (și chiar așa și trebuie) dacă ne întoarcem la punctul de plecare.



## Exemplu

Aplicăm acest principiu într-un circuit real, unde curentul total și căderile de tensiune au fost deja calculate.



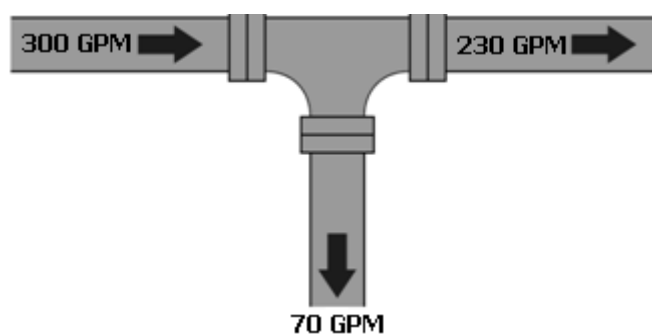
*Sageata indica directia conventionala de curgere a curentului*

Dacă urmărim calea ABCDEA, vom vedea că suma algebrică a tensiunii în această buclă este zero. Putem chiar urmări un drum care nu parcurge toate conductoarele și nu include toate componentele circuitului, cum ar fi EDCBE, și vom vedea că suma algebrică a tuturor tensiunilor este tot zero:

Calea	Câștig/pierdere tensiune	Calea	Câștig/pierdere tensiune
AB	- 4 volți	ED	+ 2 volți
BC	- 6 volți	DC	- 5 volți
CD	+ 5 volți	CB	+ 6 volți
DE	- 2 volți	BE	- 3 volți
EA	+ 7 volți	EDCBE	0 volți
ABCDEA	0 volți		

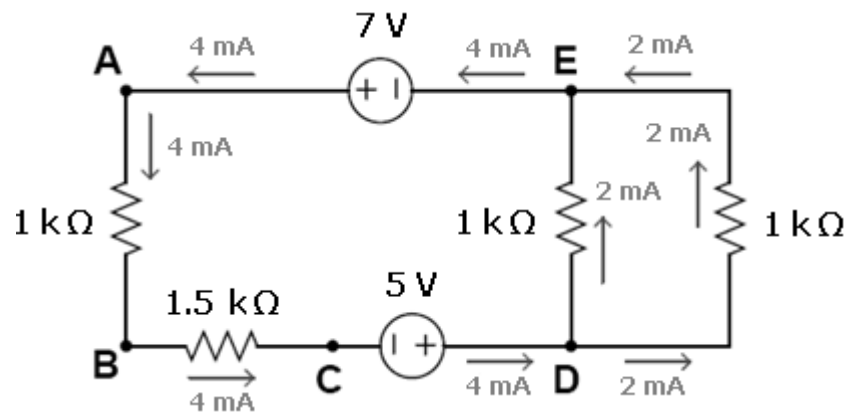
Legea tensiunii reprezintă aseseori un subiect dificil de abordat, tocmai deoarece tensiunea este în sine un concept greu de înțeles. Amintiți-vă că nu există conceptul de tensiune într-un singur punct; mai degrabă, tensiunea este o mărime diferențială. Pentru a fi coerenti trebuie să ne referim la o pierdere sau la un câștig de potențial între două puncte când vorbim de tensiune.

*Legea Curentului* (Kirchhoff) este un concept mai ușor de înțeles: suma algebrică a tuturor curenților din punctul de joncțiune (nod) este egală cu zero. Un alt mod de a exprima această lege este de a spune că pentru fiecare intrare a electronului în nod, are și o ieșire. O analogie pentru această lege se referă la apa care curge în sau iese din T. Atâta timp cât nu există scurgeri în acest sistem de conducte, fiecare picătură de apă care intră în T trebuie să fie compensată prin ieșirea din T:



**Exemplu**

Aplicăm acest principiu într-un circuit real, unde curenții au fost deja calculați:



În nodurile unde doar două fire sunt alăturate (cum ar fi punctele A, B și C), cantitatea de curent care intră în nod este exact egală cu cea care iese ( $4\text{ mA}$ , în fiecare caz). În nodurile unde trei fire se alătură (cum ar fi punctele D și E), vom vedea un curent mai mare și doi curenți mai mici (un curent de  $4\text{ mA}$ , față de doi  $2\text{ mA}$  curenți de  $2\text{ mA}$ ), ale căror direcții sunt alese astfel încât suma celor doi curenți mai mici formează curentul mai mare.