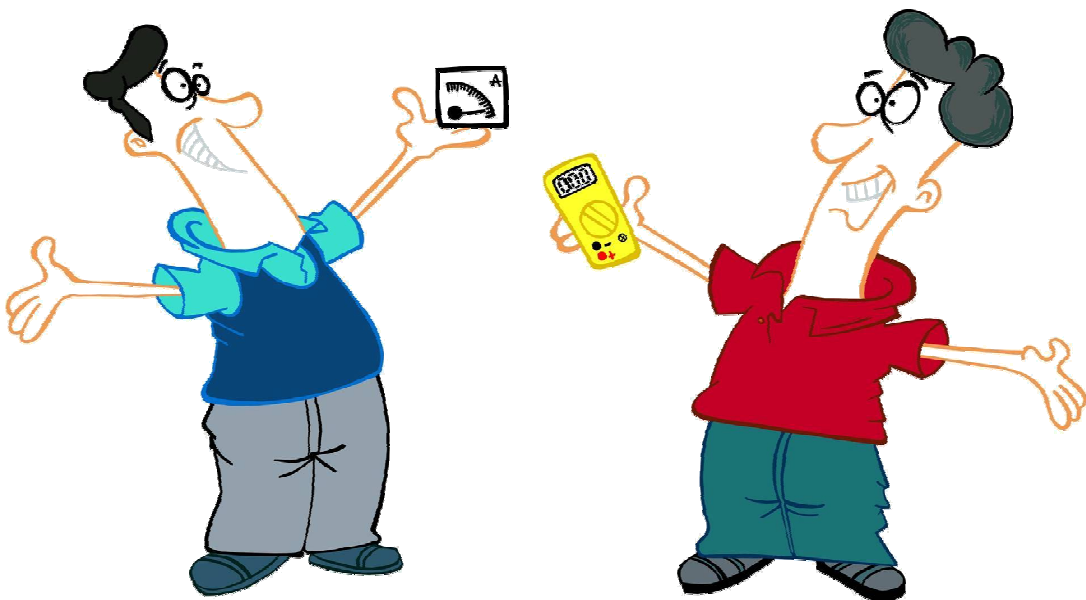


Măsurăm

împreună cu:

Codrin Donciu și Marinela Temneanu



Ei bine, deschidem o nouă serie de carte tehnică destinată celor care vor (sau sunt nevoiți 😊) să descopere frumusețea ingineriei electrice. **Măsurăm** este primul volum al seriei **LEVEL 5** și da, denumirea seriei are legătură cu cunoștințele minime necesare lecturării unei astfel de carte.

LEVEL 5 este un experiment prin intermediul căruia propunem o nouă abordare a disciplinelor ingineresti, nu atât prin conținut cât prin maniera de comunicare.

În egală măsură, **Măsurăm** reprezintă o provocare adresată colegilor noștri. Avem convingerea că experiența, profesionalismul și dorința lor de implicare vor contribui decisiv la dezvoltarea seriei deschisă prin acest volum.

Mulțumim invitațiilor noștri **prof.dr.ing Mihai Cretu** de la Universitatea Tehnică Gh. Asachi din Iași, **prof.dr.ing. Radu Munteanu** de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, **prof.dr.ing. Cristian Foșalău** de la Universitatea Tehnică Gh. Asachi din Iași și **prof.dr.ing Costin Cepișcă** de la Universitatea Politehnica din București, pentru că au acceptat să scrie, pentru această carte, câte o poveste despre măsurări.

Mulțumim domnișoarei **Luiza Mihăiuc**, masterandă a Universității Tehnice Gh. Asachi din Iași, pentru pata de culoare adusă cărții, prin desenele realizate.

Codrin Donciu și Marinel Temneanu

Iași, decembrie 2014

1. In loc de prefață
Pag 4

2. Măsura lumii și
lumea măsurii
Pag 7

3. Continuu vs
alternativ
Pag 18

4. De la contorul
analogic de energie
la cel numeric
Pag 24

5. Ce măsurăm?
Pag 27

6. Cum măsurăm
cu aparatele
electromecanice
Pag 50

7. Cum măsurăm cu
aparatele numerice
Pag 81

8. Cum măsurăm cu
osciloscopul numeric
Pag 116

In loc de prefață

Prof.dr.ing Mihai Crețu
Universitatea Tehnică Gh. Asachi din Iași

Originea măsurărilor se pierde în trecutul îndepărtat al umanității dar, dată fiind însemnătatea lor practică, capătă în permanență noi dimensiuni.

Descoperirile științifice și performanțele tehnologice au avut ca urmare progresul științei măsurării care, astăzi, posedă legi și concepte proprii.

În procesele industriale devine tot mai semnificativă eficiența controlului efectuat cu mijloace de măsurare ale căror performanțe superioare, în prezent, asigură într-o economie calitatea produselor.

O preocupare constantă în elaborarea acestei cărți o reprezintă corelarea conținutului cu necesitățile actuale și de perspectivă dar și perceperea logică a aplicațiilor practice. Această caracteristică de lucru își pune amprenta asupra modului de a gândi, de a opera și de a acționa al autorilor. Dezvoltările matematice sunt limitate la strictul necesar înțelegerii, accentul fiind pus pe aspectul fizic și pe relațiile cantitativ fundamentale. S-a renunțat astfel la o anumită tradiție specifică cărților de referință mai vechi, fiind preferate acele tehnici care au cele mai mari șanse de a supraviețui.

A măsura corect înseamnă, în esență, a proiecta optim procesul măsurării, adică în primul rând selectarea metodei, aceasta reprezentând elementul cel mai stabil, urmată de alegerea instrumentului, acesta fiind supus în timp evoluțiilor tehnologice.

Corect nu înseamnă și exact, conform unui principiu enunțat de marele fizician Niels Bohr, dar presupune o incertitudine și o nesiguranță a rezultatului obținut din măsurare cât mai reduse.

Ajungem astfel la erori, evidențiate încă din secolul XVIII de către astronomii care și-au propus să trateze probabilistic observațiile efectuate. În acest context, Laplace, considerând că o eroare de observație este la rândul ei suma unui număr mai mare de erori mai mici cu o repartitie cunoscută, a pus bazele unei legi importante în probabilistică, așa numita Teoremă centrală a teoriei probabilităților. De aici nu se face decât un pas spre fiabilitate, adică siguranța în funcționare, exprimată prin garanția timpului minim în care se lucrează la cei mai ridicați parametri, care se determină prin verificări și mai ales măsurări practicate în diverse condiții.

În ultimele decenii, tehnicile de măsurare au suferit modificări spectaculoase în special în planul calității, prin abordarea unor probleme din ce în ce mai subtile. Spre deosebire de alte domenii ale fizicii, în care diversele fenomene sunt accesibile simțurilor noastre, fenomenele electrice și magnetice nu le percepem direct și atunci studierea acestora se realizează indirect, prin intermediul unor efecte secundare (de exemplu mișcare), datorită unor analogii fizice, principiu care a determinat apariția instrumentelor analogice.

Mai precise, în general, dar și cu unele dezavantaje legate de percepție, sunt instrumentele digitale. Vă închipuiți în cockpitul unui avion sau în fața unui conducător auto, numai instrumente numerice? Funcțional ar fi total posibil, dar practic citirea acestora ar fi obositoare. Din acest motiv, legat de observatorul uman, instrumentele analogice mai au încă de trăit.

Determinarea pe cale electrică a majorității mărimilor fizice are avantaje de necontestat și este în prezent universal adoptată, dar măsurarea mărimilor electrice, caracteristice electromagnetismului, au ajuns în prezent cel mai aproape de

limitele teoretice în ceea ce privește precizia, pragul de sensibilitate și viteza de răspuns.

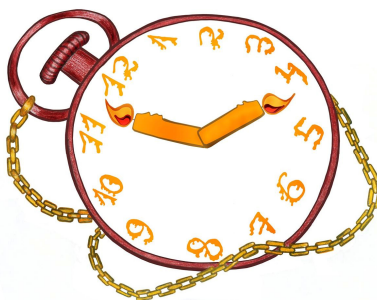
Orice progres tehnic important are la bază și perfecționări ale procedeeleor de măsurare. În condițiile unei economii bazate pe cunoaștere, prezența omului este suplinită de senzori de măsurare, iar comunicarea devine esențială. O eficientă comunicare, de exemplu prin internet, comprimă timpul și spațiul și face mai eficientă și măsurarea.

Printr-o expunere gradată într-o tratare generală a problemelor de principiu, începând cu noțiunile cele mai simple și chiar elementare, s-a realizat o carte accesibilă unui cerc mai larg de utilizatori, iar o asemenea prezentare a problematicii măsurării mărimilor electrice, indiscutabil, nu face decât să ridice nivelul general de interes față de această disciplină.

Măsura lumii și lumea măsurii....

Prof. dr. ing. RADU MUNTEANU
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Pentru om, dar mai ales pentru creator, există o ciudată filosofie a timpului. Ce înseamnă prezent, trecut sau viitor? Venit din viitor, acest prezent insesizabil este înghițit de un trecut care se hrănește neconștient cu viitor. Așa se face că noi și știința noastră suntem făcuți din viitor, veșnic transformat în trecut. Iar, dacă mai mult timp nu înseamnă mai multă eternitate, o carte despre istoria unei științe se poate scrie pentru eternitate, fiindcă amintirea seamănă în noaptea trecutului cu o candelă ce cu vremea se stinge. Dar, dacă ne amintim de fapte și lucruri atunci când trebuie, candela nu se stinge, iar amintirea participă la o creație continuă...



Metrologia este știința care oferă cunoștințe asupra mărimilor fizice, cu referire la valoarea lor, folosind o exprimare într-un limbaj normal, sub formă de lege, a cărui justificare rezidă din originea sa matematică. Ea se aplică la toate fenomenele observabile, cu atât mai bine cu cât aceste fenomene sunt mai exact cunoscute, deoarece o măsurare este cu atât mai precisă cu cât mărimea care formează obiectul ei este mai bine definită.

Raportul dintre metrologie și celelalte științe este determinat de caracteristicile ce condiționează alte științe. Fiindcă legile sale se aplică în toate domeniile, având un caracter de universalitate. Recurgând la ajutorul altor științe, progresul este strâns legat de evoluția domeniilor experimentale, iar metrologia are caracter de intraștiință.

Rolul măsurătorilor în cercetare și în tehnică se relevă sub două aspecte. Astfel, din punctul de vedere al teoriei, indică operatorului condițiile experimentale optime, iar beneficiarului gradul de încredere pe care îl poate acorda rezultatelor obținute. Din punctul de vedere al tehnicii precizează constructorului de mijloace de măsurare principiile de calcul și realizare a acestora, pentru a atinge performanța dorită.

Metrologia, în cercetarea științifică, are ca scop obținerea valorii adevărate a unei mărimi. În tehnică, urmărește verificarea obținerii unei mărimi între anumite toleranțe, impuse de indicatorii de calitate ai proceselor tehnologice care uneori sunt mai mici decât eroarea admisibilă față de valoarea adevărată.

Istoria ne-a învățat de atâtea ori ce înseamnă jocul hazardului și al necesității în marile bifurcări ale sale. Dar, istoria metrologiei ne spune că dacă cineva vrea să ne învețe un adevăr, trebuie să ne ducă până acolo unde putem să-l descoperim singuri. Dacă știm să măsurăm...

Putem filozofa mult, dar se pare că adevărul este cel mai teribil pat al lui Procust, pe măsura căruia trebuie ajustat neconținut omul. Omul, această ființă inconstantă prin definiție, se rotește mereu în jurul adevărului, evaluând și măsurând...

Metrologia furnizează o parte din mijloacele cu care omul studiază mediul în care trăiește, pentru a-l exploata în scopul producerii de bunuri materiale și spirituale. Între măsurare și acțiune se interpune operatorul, care poate fi omul sau mașina. Mașina poate interpreta, după anumite convenții, rezultatele măsurătorilor, pentru a comanda un proces tehnologic automatizat. Măsurarea fiind integrată în mașină, rezultă că procesul de automatizare nu se poate concepe fără elementele

metrologice. Trebuie relevat și aspectul în care automatizarea intervine fie în procesul de măsurare, fie în construcția aparatelor automate.

În prezent, măsurătorile izolate nu corespund întotdeauna, astfel că adesea ele se asociază cu alte măsurători într-un cadru sistemic. De aici decurge tendința actuală de a folosi un număr mai mare de instrumente, reunite convenabil între ele, care să furnizeze date unui operator în vederea tratării optime a informației, iar funcția de monitorizare este încredințată calculatoarelor.

Măsurătorile (izolate, serii de măsurători, statistice sau inteligente) intervin în activitatea științifică, tehnică, economică și socială, constituind un domeniu important al tehnicii informației, prin furnizarea unor date, determinate calitativ și cantitativ, în vederea prelucrării sau folosirii lor în procesele de reglare automată, control și automatizare.

Aprofundarea cunoașterii fenomenelor fizice și a proceselor tehnologice a dus la elaborarea unui număr tot mai mare de metode de măsurare, în cadrul cărora s-a dezvoltat o mare varietate de mijloace de măsurare.

Bogată în tradiții remarcabile în trecut, metrologia - atât de necesară și deopotrivă umană - contribuie azi și va contribui și mai mult în viitor la progresul civilizației.

Nu știu dacă apucăm ziua de mâine, dar ne place să discutăm viitorul. Eu văd acest viitor de tip tehnologic și intelectual, cu schimbări în toate domeniile, dictate de măsurători din ce în ce mai exacte. Modul din ce în ce mai precis în care percepem lumea are o influență asupra propriei noastre condiții, iar din acest punct de vedere, ideologia viitorului nu se va fonda pe certitudini, ci pe întrebări. Aceasta înseamnă mai multă cunoaștere, evaluări mai precise, mai multă măsură și măsurare. În acest context, civilizația viitorului va fi bazată pe inteligență, având ca resursă informația...

Conștiința critică legată de posibilitățile umane și inumane ale progresului, presupune o remediere continuă a

dezechilibrului dintre puterea tehnică și înțelepciune prin acceptarea metrologiei ca factor de civilizație și mediere. Fiindcă geneza și evoluția creației în domeniul metrologiei postulează că tehnica a fost servită de mijloace de măsurare, confirmând trăsătura de „zoon metron” a omului civilizat.

La început omul a fost "erectus", iar când a devenit "sapiens" și "faber" s-a transformat pe un drum fără sfârșit în "homo metricus", înțelegând treptat că certitudinea absolută este privilegiul minților needucate, după cum spunea J. Keyser.

În continuare, vă propun un exemplu care poate argumenta afirmația anterioară, adică să punem în discuție chiar și certitudinea. Este evidentă, pentru toată lumea, obligativitatea utilizării Sistemului Internațional de Unități (SI), iar subiectul nici n-ar trebui luat în discuție. Dar, publicația Colegiului profesioniștilor în Standardizare (26 septembrie 2005) cunoscută sub numele de "Standard contact" prezintă o reclamație a unui



automobilist francez care a fost surprins cu o viteză de 250 de kilometri pe oră pe o porțiune de carosabil cu viteza limitată la doar 70 de kilometri pe oră. Iată textul preluat din publicația amintită:

"Onorată Curte, într-adevăr am văzut semnul de circulație "70", scris cu negru pe fond alb și încadrat într-un cerc roșu pe un panou, dar fără nici o altă indicație de unități de măsură.

După cum știți, legea din 4 iulie 1837 impune ca obligatoriu în Franța sistemul metric. Decretul nr. 65-501 din 3 mai 1961 (în conformitate și cu directivele europene) definește ca UNITĂȚI DE BAZĂ LEGALE, unitățile sistemului internațional (SI). Ori, în sistemul de unități SI, unitatea de măsură a lungimii este "metrul", iar unitatea de măsură a timpului este "secunda". Este deci evident că unitatea de măsură LEGALA a vitezei este METRUL PE SECUNDĂ.

Eu nu pot să-mi imaginez nici o clipă că Ministerul de Interne nu ar aplica legile Republicii Franceze. Prin urmare, 70 m/s corespund exact la 252 km/h. Polițiștii afirmă că eu am fost cronometrat cu 250 km/h, lucru pe care eu nu-l contest. Mă aflam, deci, cu 2 km/h sub limita autorizată de viteză.



Vă rog să luați notă, să-mi restituiți permisul de conducere și să-mi permiteți să mă retrag.

Am onoarea să vă salut."

Situația pare o glumă, dar dacă am studia SR ISO 1000/1995 care se referă la "Unități SI și recomandări pentru utilizarea multiplilor și submultiplilor lor zecimali precum și a altor unități" am putea reflecta cu multă seriozitate, fiindcă oricât de riguroși am dori să fim, ceva ne scapă mereu...

Este un paradox ca acum, în epoca preciziei de neînchipuit, să avem probleme de interpretare. Care a fost verdictul? Ce a spus instanța? Vă invit să răspundeți!

Metrologia are o fascinație aparte. Aș justifica această afirmație prin cel mai cunoscut experiment bazat pe interferometrie din istoria științei. Astfel, în 1887, Albert Michelson și Edward Moreley, folosind o tehnică de măsurare

bazată pe interferometrie - adică utilizând franj ele de interferență pentru realizarea măsurătorilor - au stabilit că viteza luminii nu este afectată de mișcarea Pământului în spațiu.

Acest rezultat extraordinar a sprijinit teoria relativității a lui Einstein, care postula că viteza luminii în vid este o constantă universală...

Apoi, după 1960, astronomii au fost stimulați de rezultatele lui Martin Ryle și au folosit tehnica interferometrică în combinație cu radiotelescoapele, pentru a proiecta și realiza telescoapele gigantice.

La ora actuală, cu ajutorul interferometriei, telescoapele răspândite pe întreaga suprafață planetară, pot fi cuplate între ele prin satelit și calculator pentru a prezenta echivalentul unui telescop simplu... cu diametrul egal cu cel al planetei!

Acesta este un exemplu fascinant fiindcă oamenii de știință își pot imagina radiotelescoapele viitorului amplasate în nemărginirea spațiului. În acest sens, dacă un radiotelescop ar fi instalat pe Lună și ar lucra cu cele terestre, ar asigura echivalentul unei antene cu diametrul egal cu distanța de la Pământ la Lună!

Realizările metrologice actuale au arătat că aparatele interferometrice sunt atât de sensibile încât pot detecta mișcarea unui obiect care se deplasează cu doar un centimetru la câteva sute de ani...

Cunoaștem mai mult decât cei din veacurile trecute, dar știm mai bine decât ei ceea ce nu știm. Așa se face că, treptat, am dobândit o măsură din ce în ce mai exactă a ignoranței noastre, iar această măsură îi face prudenți pe cei înțelepți, pe cei care nu contrazic ceea ce nu înțeleg...

În antichitate, Socrate atrage atenția asupra iluziilor la care ne expunem, dacă ne bazăm numai pe simțurile noastre și nu recurgem la măsurări. Sigur, acuratețea mediocră a metodelor folosite atunci pentru măsurarea lungimii, suprafeței, volumului, greutateii sau masei face și mai enigmatice vestigiile antichității.

În mod paradoxal, pentru măsurarea lungimilor și suprafețelor mari, unitatea de măsură era timpul. Adică o călătorie era "lungă de trei zile sau de două luni"... Un acru reprezenta o suprafață de pământ pe care un om o putea ara într-o zi cu o pereche de boi, iar unitatea de lungime a brazdei era furlong-ul, ce reprezenta a opta parte din actuala milă terestră. Apoi, unitățile de măsură au fost raportate la lungimile unor părți ale corpului sau la caracteristicile unor materiale uzuale.

Primul etalon de lungime conservat este piciorul statuii lui Gudea, cel care conducea acum 4000 de ani orașul Lagash din Mesopotamia. Egiptenii au decretat că o "palmă" avea patru lățimi de deget, iar cotul era echivalentul a șapte "palme". Cotul egiptean avea 20,62 inch, adică 52,37 centimetri. Inch-ul reprezenta lungimea ultimei falange a degetului mare, iar noțiunea de „inch” se pare că provine de la „uncia” - cuvântul latinesc pentru degetul respectiv. Un alt echivalent al inch-ului o reprezintă lungimea a trei dramuri de orz, cu boabele puse cap la cap, amintind că dramul reprezintă greutatea echivalentă a 0,065 g de grâne.

Datorită faptului că dimensiunea corpului uman diferă de la individ la individ, primele încercări de soluționare a acestei probleme au condus la definirea yard-ului în raport cu distanța dintre nasul și brațul regelui. În acest sens a rămas celebru yard-ul introdus în anul 1101 de către Henric I al Angliei, iar în 1305 englezii definesc acrul ca fiind suprafața egală cu 4840 de yarzi pătrați.

Anterior, în aceeași manieră, Carol cel Mare a introdus în anul 789 "piciorul regal" ca unitate de lungime și "karlsfund-ul" (aproximativ 365 g sau 13 uncii) ca unitate de masă.

Măsurarea începe să aibă o importanță științifică pe vremea lui Galilei, care anticipează evoluția măsurătorilor prin celebrul său dicton "să măsurăm ceea ce se poate măsura și să facem măsurabil ceea ce încă nu este".

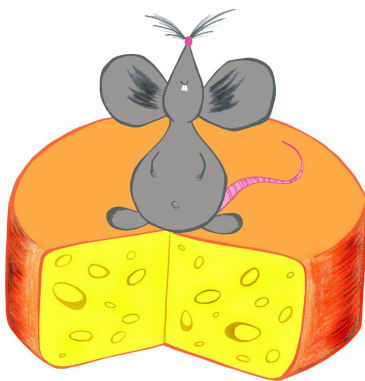
Unul dintre primele seturi de etaloane a fost adoptat în Anglia, în 1215, dar la 16 octombrie 1834, când Parlamentul britanic a fost mistuit de flăcări, etalonul pentru yard și cel pentru livră au ars odată cu clădirea. Sistemul englezesc a fost păstrat în America și după Revoluția Americană, până în 1832. Atunci Congresul a făcut media diferitelor greutăți și măsuri folosite în oficiile vamale și a decretat aceste medii ca etaloane naționale.

În timpul Revoluției Franceze s-a dorit ca ziua să fie de 10 ore a câte 100 de minute iar săptămâna să fie de 10 zile. Sigur, lumea a fost nemulțumită și s-a revoltat. În consecință sistemul propus a căzut și s-a revenit la numerele magice: 60, 24 și 7...

Dar, de unde provin acestea? De la babilonieni s-a păstrat ora de 60 de minute, egiptenii ne-au lăsat ziua de 24 de ore împărțind egal intervalul de zi și noapte iar astrologia elenistă a definit săptămâna de 7 zile, la fel ca și în calendarul iudeo-creștin...

Cu umorul său, generalul de Gaule când se referea uneori la Franța se scuza spunând: "Cum să conduci o țară în care se produc 246 de tipuri de brânză?". Sigur, numărul sortimentelor este foarte mare, dar pălește în fața diversității greutăților și măsurilor aflate în vigoare înaintea Revoluției Franceze. Atunci existau concomitent 250.000 de măsuri!

Haosul era general, dar printre documentele cu doleanțele poporului găsite în arhiva regelui Ludovic al XVI-lea există un document în care se cerea "un singur Dumnezeu, un singur rege, o singură lege și o singură măsură"!



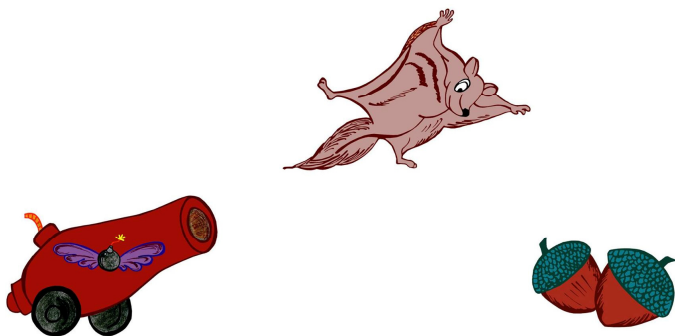
De aici a pornit introducerea sistemului metric, dar n-a fost ușor fiindcă sistemul metric s-a implementat în Franța, după o jumătate de secol de la Revoluția Franceză.

Până în 1990, mai bine de jumătate din țările Europei au adoptat sistemul metric. În Asia, primele țări au fost Mongolia (1918), Afganistanul și Cambogia (1920). Japonia a aderat în 1950 iar China în 1959. URSS-ul a adoptat sistemul metric în 1924 iar în SUA nu există o susținere politică pentru sistemul metric, dar în știință vechile unități de măsură sunt folosite în paralel cu cele metrice. Acest lucru a făcut (1999) ca o sondă a NASA cu destinația Marte s-a pierdut, fiindcă o echipă de la controlul misiunii a folosit unități tradiționale iar alta pe cele metrice!

În Europa, după Revoluția Franceză s-a dezvoltat ideea unificării măsurilor de lungime, concomitent cu introducerea sistemului de multipli și submultipli zecimali, iar metrul a fost stabilit convențional ca a 40.000.000-a parte a meridianului pământesc.

Azi, definiția metrului este bazată pe lungimea de undă a uneia din radiațiile kriptonului, ceea ce-i conferă o precizie impresionantă. Azi, folosim rezonanța atomilor de cesiu sau de hidrogen pentru a măsura timpul cu o eroare de o secundă la 300 000 de ani. Azi, măsurăm deplasările relative ale continentelor de ordinul a câțiva centimetri, sau deplasări pe verticală ale scoarței pământestești (maree terestre) de ordinul milimetrilor, iar prognoza cutremurelor de pământ se bazează pe măsurarea cu precizie până la miimea de milimetru a deplasărilor scoarței terestre...

În istoria tehnicii, rolul măsurătorilor industriale este demonstrat pentru prima dată de către E. Whitney, care a obținut în 1798 un contract din partea guvernului american pentru fabricarea a 10.000 de tunuri. Pregătirea fabricației și a



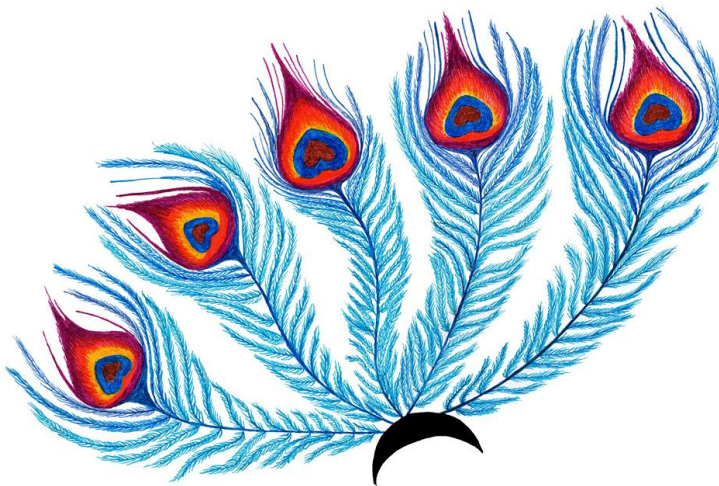
sculelor necesare a durat doi ani, ceea ce a nemulțumit autoritățile. În cele din urmă, Whitney s-a prezentat în fața ministerului de război cu un număr mare de lăzi, fiecare conținând câte o piesă a tunului său și a asamblat zece tunuri luând piese la întâmplare din fiecare ladă, uimind asistența. A fost primul exemplu de fabricație cu piese interschimbabile datorat măsurărilor...

Mai mult, după cum se știe (OECD - Forum for the future), volumul cunoștințelor umane se dublează în zilele noastre la 5 ani, iar în 2020 se estimează că stocul de cunoștințe se va dubla în 73 de zile. În ultimele trei decenii, au fost produse mai multe cunoștințe noi decât în ultimele cinci milenii. Apoi, să nu uităm că, spre exemplu, mecanica de astăzi s-a dezvoltat în 2000 de ani, electrotehnica în 100, tehnologiile informaționale în 50, iar biotehnologiile în 25 de ani. Sigur, cunoașterea este singura resursă care crește o dată cu utilizarea...

Așa se face că tot ce acumulăm țâșnește apoi înaintea noastră, metamorfozându-se aproape magic în timp și amintire.

Cu timpul, însă, toate lucrurile se schimbă și se adaptează la noi cerințe și situații.

Așa apar, poate, primele spaima ale vremelniceii care ne arată că lumea, ca și sufletul, este un evantai care se desface și se închide...



Continuu vs alternativ

Prof.dr.ing Cristian Foşalău
Universitatea Tehnică Gh. Asachi din Iaşi

Din secolul al XIX-lea, când electricitatea a început să fie utilizată în scopuri comerciale, s-a pus problema transportului și distribuției energiei electrice. De atunci, sistemele de transport a energiei electrice s-au extins considerabil, la nivele de regiuni, continent sau chiar la nivel planetar, în principal din considerente tehnologice și comerciale.

Există două tipuri de rețele de energie: de transport și de distribuție. În general, rețelele de transport sunt separate de cele de distribuție, având și administratori diferiți. De regulă, în multe țări, din considerente strategice, pentru rețelele naționale de transport acționar principal este statul. Rețelele naționale sunt incluse în rețele regionale (de exemplu, există o rețea care include țările Uniunii Europene, patru rețele în SUA, etc.). Întrucât la ora actuală energia electrică este o marfă, sigur că atât ea, cât și sistemele de transport trebuie să îndeplinească o serie de standarde care să faciliteze schimburile comerciale atât a energiei ca marfă, cât și a echipamentelor și obiectelor ce funcționează cu electricitate.

De ce transportăm energia la tensiuni înalte?

Știm că puterea electrică este proporțională cu produsul dintre tensiune și curent. Așadar, aceeași putere poate fi dată fie de o tensiune mică și un curent mare, fie de un curent mare și o tensiune redusă. Pe de altă parte, este cunoscut că la trecerea printr-un conductor, curentul dezvoltă prin efect Joule o

cantitate de căldură proporțională cu rezistența acelu conductor și cu pătratul intensității curentului care-l străbate, căldură care în general se disipă în mediu, generând pierderi. Pentru a se transporta o anumită putere cu pierderi cât mai mici, e necesar ca rezistența liniilor de transport să fie cât mai redusă sau curentul să fie cât se poate de mic, lucru care nu se poate realiza decât crescând valoarea tensiunii pentru a asigura necesarul de putere. Reducerea rezistenței liniilor se poate face prin creșterea diametrului conductoarelor, soluție care de multe ori este inacceptabilă, mai ales în cazul liniilor aeriene, deoarece aceasta duce la creșterea masei conductoarelor și consum mai mare de cupru. De aceea se preferă ca transportarea puterii pe distanțe lungi, unde rezistența liniilor devine importantă, să se facă la tensiuni înalte și curenți reduși pentru a se micșora pierderile de putere prin efect Joule. De exemplu, o reducere de 10 ori a intensității curentului duce la scăderea de 100 de ori a pierderilor. Ridicarea tensiunii în curent alternativ se realizează simplu cu ajutorul transformatoarelor de putere, care funcționează pe principiul inducției electromagnetice. Atât rețelele de transport, cât și cele de distribuție dispun de stații și puncte de transformare ridicătoare sau coborâtoare de tensiune, care sunt elemente esențiale în structura rețelelor de energie electrică.

Cum e mai bine să transportăm electricitatea: în curent continuu sau în curent alternativ?

Transportul energiei electrice se realizează pe două tipuri de rețele: de curent alternativ și de curent continuu.

Rețelele de transport de curent alternativ sunt de obicei trifazate. Valoarea efectivă a tensiunii este cea corespunzătoare înaltei tensiuni, începând cu 100 kV până la 230 kV și a ultraînaltei tensiuni, de la 230 kV până la 800 kV sau chiar 1200 kV. Valorile standardizate sunt diferite în funcție de regiune sau continent.

Transportul pe distanțe lungi a energiei în curent alternativ are dezavantajul că pierderile datorate capacităților și inductanțelor distribuite ale liniilor de transport devin importante. Aceste elemente de circuit se comportă în curent alternativ ca reactanțe care generează pe linie putere reactivă, care nu este transmisă ca putere „reală” către consumator, dar care generează încălzirea suplimentară a cablurilor. Componentele reactive generează, de asemenea, modificarea factorului de putere al liniei, adică a cosinusului unghiului de defazaj dintre curentul și tensiunea de pe o fază. Valoarea normală a factorului de putere este corespunzătoare defazajului de 0 grade, adică 1. Readucerea la 1 a acestui parametru necesită montarea în stațiile de transformare a unor instalații adiționale foarte costisitoare. Un alt dezavantaj este cel al necesității sincronizării generatoarelor, care implică costuri importante cu echipamentele. În ultimul timp, odată cu dezvoltarea echipamentelor de producere a energiei din resurse regenerabile și încurajarea consumatorilor pentru a-și produce singuri energia de care au nevoie și de a furniza în rețea surplusul, problema sincronizării generatoarelor cu rețeaua a devenit tot mai importantă. Din fericire, tehnologiile moderne, bazate pe coordonarea cu ajutorul calculatorului a raportului producție/consum, așa-numitele rețele inteligente, permit astăzi urmărirea permanentă a intrărilor și ieșirilor consumatorilor dintr-o rețea și ajustarea producției astfel încât să nu existe surplus sau deficit de energie în rețea.

Pe de altă parte, majoritatea echipamentelor de acționare electrice sunt dotate cu motoare de curent alternativ, care au structură mai robustă, sunt mai fiabile și mai ieftine decât cele de curent continuu. Pentru aceste echipamente, alimentarea directă în curent alternativ este mult mai convenabilă. Este drept că în trecut reglarea turației motoarelor de curent continuu se făcea mult mai simplu, însă electronica de putere modernă pune la dispoziție dispozitive foarte eficiente și mult

mai ieftine de reglare a turației motoarelor de curent alternativ într-o plajă largă și practic în mod continuu.

Rețelele de transport în tensiune continuă se utilizează pentru distanțe de transport mai mari de 50 km sau pentru liniile de putere submarine. Pentru distanțe lungi, pierderile în curent continuu sunt mai mici decât cele în curent alternativ întrucât nu mai intervin componentele reactive ale liniei. În curent continuu nu mai există problema defazajelor la capetele de linie, care trebuie obligatoriu ajustate și compensate. De asemenea, problemele de sincronizare a generatoarelor de tensiune continuă sunt mai ușor de gestionat, în special atunci când intră brusc în rețea sarcini de mare putere sau scade brusc consumul prin ieșirea din rețea a unei astfel de sarcini. Și în curent continuu, transportul puterii se face tot la tensiuni înalte, din considerente de reducere a pierderilor. În aceste condiții, instalațiile ridicătoare/coborâtore de tensiune continuă sunt mult mai complicate și mai costisitoare decât transformatoarele, justificându-se din punct de vedere economic doar în condițiile în care beneficiile, materializate prin costuri mai mici cu pierderile, devin importante. În general, liniile de transport în curent continuu sunt necesare în operațiuni de import/export între rețele care nu sunt sincronizate, care nu au aceiași parametri de frecvență și amplitudine (de exemplu între o rețea ce funcționează pe 50 Hz/230 V și una care funcționează pe 60 Hz/120 V), sau la transportul energiei între insule și continent (de exemplu între Marea Britanie și Europa continentală, între Tasmania și Australia, între insulele Indoneziei, etc.)

De ce 50 Hz, de ce 60 Hz?

La ora actuală, frecvențele tensiunilor din rețelele de curent alternativ sunt de 50 Hz (cea mai mare parte a lumii sau 60 Hz (SUA și o parte din Asia). De ce aceste frecvențe?

La sfârșitul secolului al XIX, când a început în SUA implementarea primelor rețele de distribuție a energiei electrice de către Edison, acestea erau de curent continuu și funcționau pe

tensiunea de 100 V, cât era necesar pentru alimentarea becurilor cu incandescență. Din cauza tensiunii joase și a pierderilor importante, o rețea de distribuție nu era mai lungă de 2,4 km, alimentând doar câteva case, cel mult o stradă. Ulterior, odată cu inventarea transformatoarelor și descoperirea principiului transportului energiei la tensiuni înalte, s-a pus problema rețelelor de alimentare în curent alternativ. În jurul anului 1900, o gamă largă de frecvențe cuprinse între 16,66 Hz și 133,33 Hz erau utilizate în diferite sisteme de distribuție independente. Cu timpul, a apărut necesitatea interconectării sau unificării sistemelor de distribuție și a standardizării tensiunilor de transport. Dacă în privința valorii tensiunii problema nu este foarte critică, întrucât aceasta poate fi modificată ușor cu ajutorul transformatoarelor, mult mai complicată e problema existenței unei valori comune a frecvenței, deoarece sincronizarea generatoarelor de putere se face după frecvență. În acest sens, în urma multor dezbateri și controverse începute pe la sfârșitul secolului al XIX-lea, pe baza cunoștințelor și tehnologiilor de atunci s-a realizat un compromis între necesitățile unor echipamente de a utiliza frecvențe cât mai joase și ale altora de a funcționa optim la frecvențe înalte. Astfel, lămpile cu arc electric și cele cu incandescență, cele mai vechi aplicații comerciale ale electricității, necesitau frecvențe ridicate, deoarece la frecvențe joase produceau flicker și variații ale intensității luminoase. De asemenea, este cunoscut că gabaritul transformatoarelor descrește cu frecvența, deci lucrul la frecvențe ridicate necesita un consum mai redus de materiale. Pe de altă parte, cu cât frecvența este mai ridicată, capacitățile și inductanțele distribuite de-a lungul liniei devin mai importante, ridicând nivelul pierderilor. Din punctul de vedere al randamentului, motoarele de curent alternativ funcționează optim la frecvențe cuprinse între 50 și 60 Hz. În consecință, în 1925 s-a luat decizia unificării standardelor de frecvență la valori de 50 sau 60 Hz, însă implementarea concretă a acestor sisteme a durat multe decenii, cele mai multe fiind finalizate după cel de-al doilea

război mondial. Care dintre cele două standarde a fost adoptat, a depins de nivelul de dezvoltare al fiecărei regiuni, de supremația în tehnologie, de fondurile disponibile pentru redimensionarea echipamentelor, ș.a.m.d. Si astăzi funcționează sisteme de alimentare dedicate pe frecvențe diferite de 50 Hz: de exemplu, în multe țări alimentarea cu energie în tracțiunea electrică se face pe frecvențele de 16 Hz sau 25 Hz, iar frecvența de 400 Hz se utilizează cu succes în domeniul aeronauticii, marinei, al echipamentelor militare sau informatice, unde nu sunt necesare linii lungi de alimentare, iar echipamentele proiectate pentru lucrul la această frecvență au gabarite mult mai reduse.

De la contorul analogic de energie la cel numeric

Prof.dr.ing Costin Cepișcă
Universitatea Politehnica din București

Societatea actuală se sprijină pe o infrastructură vastă, adesea invizibilă, de servicii, mărfuri, rețele de transport și de comunicație, a căror prezență ne este familiară iar buna lor funcționare este esențială pentru viața cotidiană. Metrologia - știința măsurării - constituie o parte din această infrastructură ascunsă. Ea garantează că se poate acorda încredere măsurărilor care susțin activitățile de fabricare și schimburile de produse, analizele specifice fenomenelor chimice și fizice, diagnosticul medical sau definirea și controlul regulilor de securitate.

Diferitele ramuri ale metrologiei: științifică, industrială sau cea legală, acoperă activitățile în care suntem implicați, pentru ca obiective precum păstrarea mediului ambiant și a sănătății populației să se îndeplinească tot mai sigur iar corectitudinea schimburilor comerciale să țină pasul cu dezvoltarea cantităților vehiculate.

Metodele și mijloacele de măsurare actuale, unele deosebit de sofisticate, pot crea impresia unei dezvoltări simple, liniare. Însă dezvoltarea a fost sinuoasă, existând o interdependență între realizările din diferitele domenii științifice și cele din domeniul măsurărilor.

Încerc în continuare să exemplific aceste afirmații prin urmărirea traseului dezvoltării mijloacelor de măsurare pentru energia electrică, aparate cu un larg impact în familiile noastre dar și în mediul industrial și în cel comercial.

După dezvoltările științifice fundamentale din domeniul electricității din a doua jumătate a secolului al XIX-lea și apariția rețelelor electrice de curent alternativ, a apărut necesitatea practică a realizării unui aparat care să măsoare energia electrică produsă, transportată și consumată. Galileo Ferraris (1885) a descoperit principiul contorului de inducție iar primele contoare bazate pe acest principiu au fost construite în jurul anului 1900 (Schallenger, Blathy, Davis, McGahan).

Principiul funcțional al acestui tip de contor electromecanic a rezistat până în prezent iar variante tehnologice noi se regăsesc în toate casele de pe glob și în instalațiile electrice ale consumatorilor industriali. Exactitatea contoarelor monofazate de inducție actuale este cea prevăzută de clasa 2 iar contoarele trifazate se construiesc și în clasă de exactitate 1. Dezvoltarea industrială a societății a condus la necesitatea introducerii a noi funcții pentru aceste aparate de măsurare: tarifare multiple, indicarea puterii maxime într-un interval de timp sau măsurarea energiei reactive în circuite trifazate, soluții implementate încă înainte de anul 1940.

Apariția tehnologiilor electronice a condus, după anul 1970, la apariția contoarelor bazate pe circuite integrate analogice de multiplicare; însă imposibilitatea menținerii exactității pe perioade mai lungi de timp a făcut ca această soluție să fie rapid abandonată.

Soluțiile noi au apărut pe baza tehnicilor de prelucrare numerică de semnal. Sunt prelevate eșantioane din curbele curenților și ale tensiunilor iar prelucrarea acestora este numerică.

S-a deschis astfel calea creșterii exactității la valori greu de bănuț cu câțiva ani în urmă. Contoarele monofazate pentru micii consumatori casnici au clasa de exactitate 1, având o construcție simplă, bazată pe circuite integrate specializate. Un exemplu este AD7755 la care semnalele discretizate sunt multiplicare continuu de un procesor de semnal și rezultatul este proporțional cu puterea instantanee. Prin filtrare trece jos se

obține un semnal proporțional cu puterea activă iar un convertor numeric/frecvență comandă afișorul electromecanic.

O cerință importantă este ca, pe lângă creșterea exactității măsurării energiei electrice, să se asigure un cost cât mai mic pentru contor. În ultimii ani, producția de circuite semiconductoare integrate specializate a permis depășirea acestor bariere. Contoarele numerice actuale folosesc circuite integrate specializate pentru măsurarea energiei electrice, care au în compunerea lor DSP (Digital Signal Processing), măbind puterea de calcul rapid și asigurând astfel și măsurarea corectă a energiilor în regim nesinusoidal pronunțat.

Contoarele numerice industriale ating clasele 0,2 și 0,1 iar contoarele etalon se construiesc în clasa de exactitate 0,05, 0,02 și chiar 0,01.

Aceste aparate performante asigură măsurarea foarte exactă, a puterii și energiei active, a puterii și energiei reactive, în sistem trifazat și pe fiecare fază, în ambele sensuri de transport furnizor-consumator. Suplimentar, este asigurată înregistrarea valorilor instantanee ale tensiunilor și curenților pe fiecare fază, a factorului de putere, a frecvenței, se afișează succesiunea fazelor și diagrama fazorială. Contoarele numerice sunt echipate cu sisteme de transmisie la distanță prin port serial RS285 sau RS 485, prin port optic sau prin tehnologie fără fir. Configurațiile actuale asigură urmărirea și înregistrarea parametrilor specifici ai calității energiei, armonici, întreruperi, abateri față de valorile impuse.

Fiecare generație de tehnicieni și-a adus contribuția sa la dezvoltarea noilor soluții iar viitorul rezervă căi nebănuite încă de dezvoltare, prin implementarea accentuată a sistemelor de calcul moderne și a etaloanelor miniaturizate în cadrul acestor mijloace de măsurare extrem de importante pentru viața societății.

Ce măsurăm

Pe parcursul acestui capitol vom încerca să răspundem primei întrebări pusă de cel care se află în fața unui aparat de măsură.

Așadar, **ce măsurăm?**

În termeni strict tehnici mărimea măsurată poartă numele de măsurand. Dincolo de terminologie, totdeauna când efectuăm o măsurătoare încercăm să exprimăm cantitativ o anumită proprietate. Tocmai de aceea sunt necesare, încă de la început două precizări:

- am întâlnit în multe cazuri utilizat în mod greșit termenul de măsurare în loc de comparație. Comparația poate fi realizată în urma unei măsurători dar nu este neapărat să fie așa. De exemplu putem afirma că un obiect este mai voluminos decât altul pe baza unei simple observații, fără a le măsura efectiv volumul. Nu înseamnă că am făcut o măsurare!
- întotdeauna rezultatul unei măsurări este exprimat cantitativ și nu calitativ. Nu putem spune despre o tensiune că este "mare" sau "mică" ci că valoarea acestei tensiuni este de x volți. Acesta este rezultatul măsurătorii efectuate și nu eticheta de "mare" sau "mic". Mai mult decât atât, rezultatul unei măsurători este însoțit întotdeauna de o precizare referitoare la precizia acesteia. De exemplu "tensiunea este de $x \pm \Delta x$ cu nivelul de

încredere de $y\%$ ". Dar mai multe despre acestea vom discuta la incertitudinea de măsurare.

Varietatea mărimilor și parametrilor pe care le-am putea măsura este practic infinită. În mod evident nu vom putea descrie în acest volum modul de utilizare a tuturor instrumentelor pe care le veti întâlni în practică și ne vom limita la a vă prezenta o serie de aparate folosite în mod uzual pentru măsurarea parametrilor semnalelor electrice.

De ce electrice? De ce această restângere dramatică de domeniu?

Ei bine, primul argument ar fi că cea mai mare parte a mărimilor pe care le avem de măsurat în practică pot fi transformate în mărimi electrice. Avem cântare electronice pentru determinarea masei, termometre electronice pentru determinarea temperaturii și lista poate continua. Toate aceste dispozitive se bazează pe utilizarea unor transductoare care transformă mărimea pe care dorim să o măsurăm (de exemplu temperatura) în mărimi sau parametri electrice, ușor de măsurat (tensiune, curent, rezistență).

Al doilea argument ține de evoluția societății în ansamblul ei către o societate în care informația joacă un rol esențial. Ori, culegerea, prelucrarea, stocarea și transmiterea informației se poate face eficient atunci când aceasta, ați ghicit deja, este convertită în mărimi electrice.

Dar cum arată semnalele electrice? A încercat cineva să le împartă în categorii pentru care putem defini mărimi de interes? Există mai multe criterii după care am putea clasifica semnalele în general și cele electrice în particular.

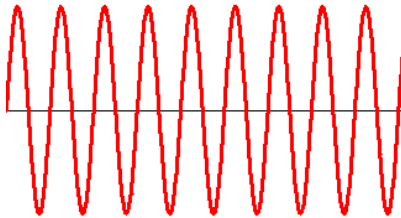
Unul dintre aceste criterii îl constituie repetabilitatea lor în timp. Din acest punct de vedere putem deosebi existența a două tipuri de semnale: semnale periodice și semnale neperiodice.

Semnale periodice

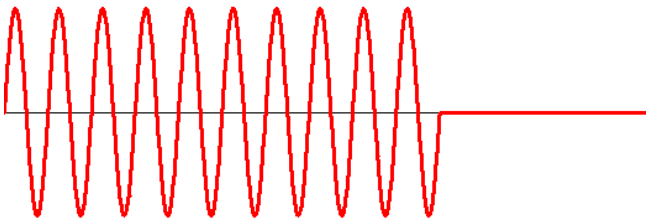
În limbaj uzual, spunem despre un semnal că este periodic dacă el se repetă după un interval de timp bine determinat, numit perioadă. Această exprimare simplificată necesită însă două precizări suplimentare:

- **Prima** dintre acestea se referă la intervalul de timp în care facem observații asupra semnalului. Putem spune despre un semnal că este periodic dacă îl analizăm un interval de timp suficient de mare. Adică dacă putem adăuga definiției inițiale "se repetă la infinit".

Semnalul din figura de mai jos, înregistrat pe un interval scurt de timp, este periodic sau nu?

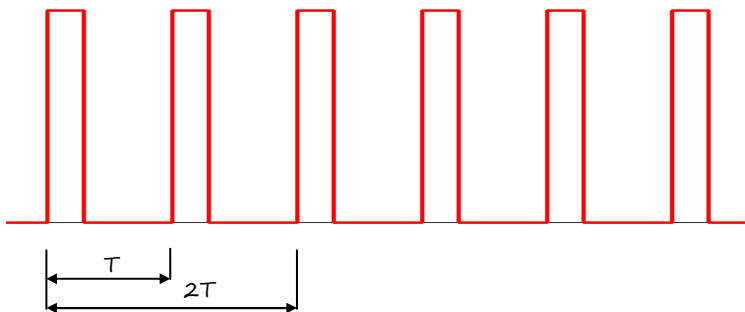


Apărent da. Dar dacă lărgim orizontul de observație sesizăm că nu.



De unde ar putea proveni un astfel de semnal? Ar putea fi, de exemplu, sunetul claxonului unei mașini.

- **A doua** precizare se referă la unicitatea perioadei. Pentru exemplificare haideți să stabilim care este perioada semnalului a cărei evoluție în timp este redată în desenul următor.



Am putea raționa în felul următor: Primul impuls dreptunghiular se repetă (la infinit) după intervalul de timp T . Primele două impulsuri dreptunghiulare se repetă (la infinit) după intervalul de timp $2T$. Care este perioada semnalului? Ne vedem astfel nevoiți să detaliam definiția inițială prin adăugarea precizării "cel mai scurt interval de timp" atunci când vorbim de perioadă.

Chiar dacă ne-am propus să nu folosim definiții matematice, perioada unui semnal cu variația în timp $x(t)$ este cea mai mică valoare de timp T pentru care este îndeplinită condiția: $x(t+T)=x(t)$, oricare ar fi t real.

De reținut: Periodicitatea unui semnal electric poate fi evaluată doar dacă avem posibilitatea de a „vedea” semnalul respectiv (de exemplu cu ajutorul unui osciloscop) o perioadă suficient de mare de timp.

Semnale neperiodice

Clar delimitate de cele discutate anterior prin lipsa perioadei, aceste semnale se pot împărți la rândul lor în două categorii:

- Semnale neperiodice a căror evoluție în timp poate fi descrisă printr-o funcție matematică. Să ne imaginăm că înregistrăm forma curentului electric care străbate un

dispozitiv de tip paratrăsnet. În mod evident semnalul obținut este unul neperiodic (ar fi culmea să fie! ne-am putea feri la timp!). Totuși, evoluția în timp poate fi aproximată cu ajutorul unor funcții de tip exponențial.

- Semnale aleatoare care nu pot fi caracterizate decât făcând apel la legi statistice. Exemplele cel mai des menționate sunt cele ale zgomotului termic care apare între terminalele componentelor de tip rezistor și respectiv a zgomotului prins de un aparat de radio FM care nu este acordat.

Semnale periodice. Parametrii de interes

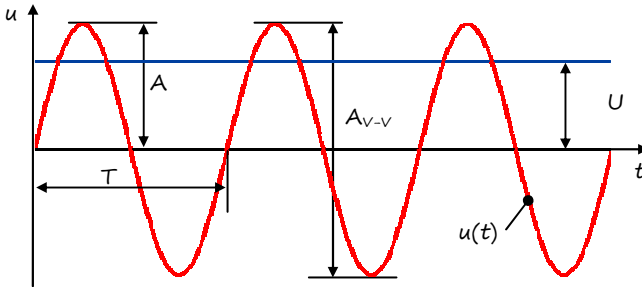
Mare parte din măsurătorile pe care le veți efectua vor fi asupra unor semnale electrice periodice și atunci haideți să definim care ar fi parametrii de interes în cazul acestor semnale.

Pentru semnalul sinusoidal din figura de mai jos, putem defini:

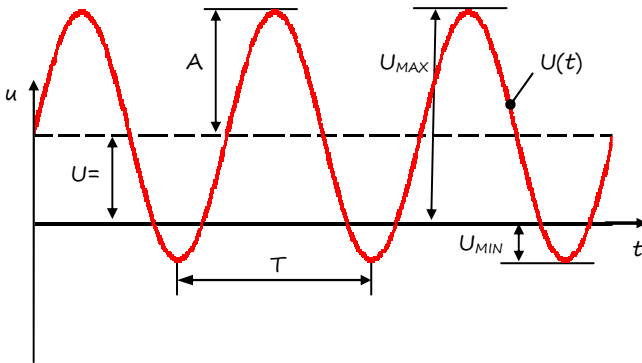
- Perioada T
- Valoarea maximă U_{MAX} (cea mai mare valoare instantanee a semnalului)
- Valoarea minimă U_{MIN} (cea mai mică valoare instantanee a semnalului)
- Amplitudinea A (diferența dintre valorile maxime și minime ale semnalului împărțită la 2) Amplitudinea este egală cu valoarea maximă și cu valoarea minimă în modul dacă semnalul este simetric față de OX , adică nu are componentă continuă.
- Amplitudinea vârf la vârf A_{VV} – diferența dintre valorile maxime și minime ale semnalului
- Valoarea efectivă U (este egală cu amplitudinea pe radical din 2, valabil doar în sinusoidal)

Din punct de vedere al efectelor, valoarea efectivă a unui curent (sau a unei tensiuni) cu variație periodică în timp este egală cu valoarea curentului continuu (tensiunii continue) care

produce același efect termic ca și cel periodic. Mai multe, în capitolul următor.



Dacă avem și componentă continuă, atunci amplitudinea este diferită de valoarea maximă sau minimă în modul.



Folosim termenul de tensiune continuă și nu l-am definit. Un semnal continuu este acel semnal care își păstrează constantă valoarea în timp. Din punct de vedere teoretic el este un semnal periodic a cărei perioadă tinde către infinit.

Revenind la semnalele periodice, mai putem defini:

- Valoarea medie $U=$, care este egală cu componenta continuă a semnalului. Pentru un semnal sinusoidal simetric față de OX , componenta continuă este nulă.

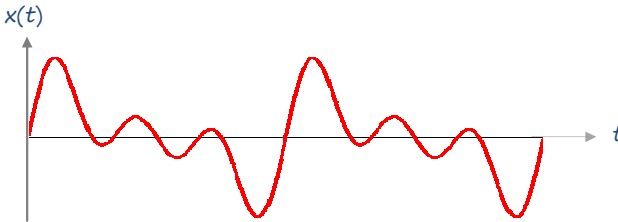
- $u(t)$ valoarea instantanee a tensiunii
- Frecvența semnalului sinusoidal, notată cu f , care este egală cu inversul perioadei: $f = 1/T$, relația de legatură dintre aceasta și frecvența unghiulară fiind $\omega = 2\pi f$.

De ce este atât de important semnalul sinusoidal? Ei bine, pentru că orice alt semnal periodic pe care îl vom întâlni în practică poate fi scris ca fiind suma a două sau mai multe semnale sinusoidale de frecvențe diferite.

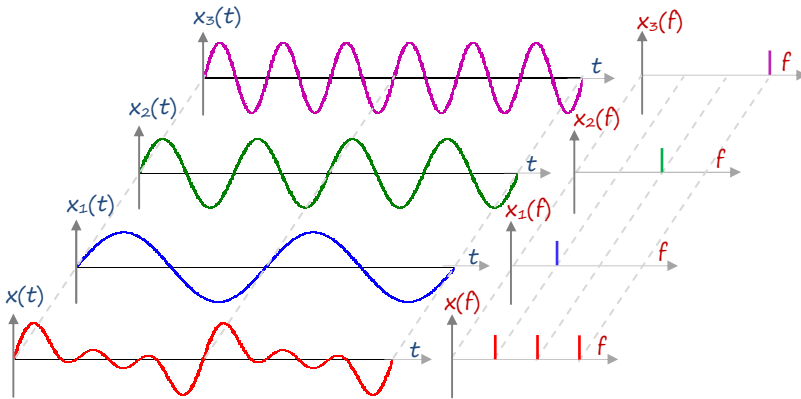
Intuitiv este greu de acceptat o asemenea afirmație iar o demonstrație riguroasă din punct de vedere matematic este dincolo de scopul acestei cărți. O puteți întâlni în literatura tehnică sub denumirea de descompunere în serii Fourier.

Totuși pentru a ilustra cele spuse anterior și de asemenea pentru a introduce termenul de reprezentare în domeniul frecvență, vom face apel la două exemple.

Să considera semnalul $x(t)$ din figura următoare



Să reconstruim semnalul $x(t)$ și să-l reprezentăm atât în domeniul timp cât și în domeniul frecvență (având drept axă orizontală timpul și respectiv frecvența).



Semnalul $x(t)$ poate fi scris ca suma a trei semnale sinusoidale: $x(t) = x_1(t) + x_2(t) + x_3(t)$

În partea din stânga a figurii este reprezentată evoluția semnalelor în funcție de timp iar în cea din dreapta în funcție de frecvență (denumit și spectru de frecvență).

Cele trei semnale au perioadele de o secundă, $1/2$ și respectiv $1/3$ secunde și frecvențele de 1Hz, 2Hz și respectiv 3Hz.

În mod evident, semnalul compus are perioada de o secundă.

Putem defini **frecvența fundamentalei** ca fiind inversul perioadei (în cazul nostru 1Hz) și **frecvențele armonicilor** ca fiind multipli ai frecvenței fundamentale (în cazul nostru 2Hz și respectiv 3Hz).

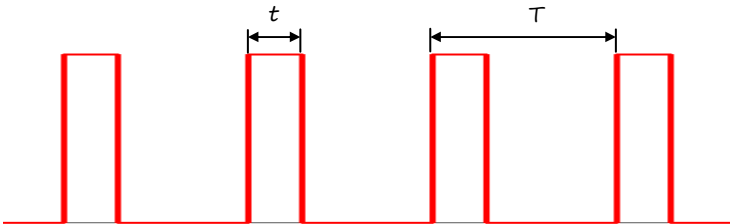
Dincolo de acest exemplu simplu, orice semnal periodic poate fi scris ca sumă de semnale sinusoidale având frecvențele multiplu întreg de frecvența fundamentalei care este egală cu inversul perioadei.

În cazul celor mai multe dintre semnalele întâlnite în practică, forma de variație în timp este una complexă și descompunerea acestora este de multe ori dificilă.

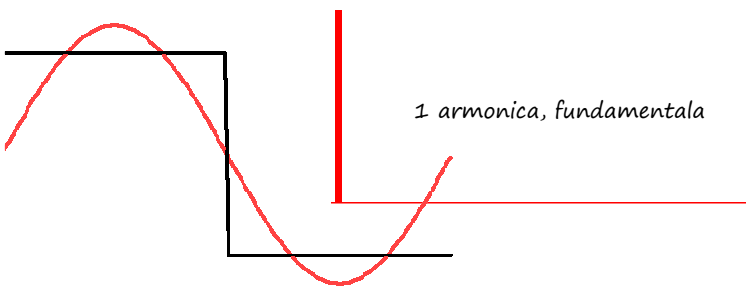
Cu cât dorim o aproximație mai bună a semnalului original cu atât numărul semnalelor sinusoidale care trebuie luate în calcul este mai mare.

Hai-deți să ilustrăm această problemă în cazul semnalelor periodice dreptunghiulare. Dar înainte de aceasta, să notăm că în cazul semnalelor dreptunghiulare mai există un parametru important, denumit factor de umplere sau Duty cycle.

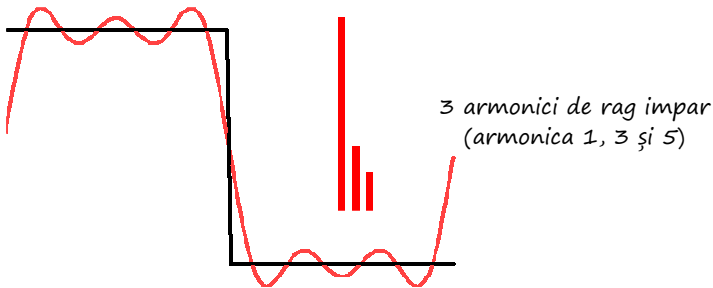
Factorul de umplere arată cât timp semnalul este activ într-o perioadă: $D=(t/T)\cdot 100$ [%], unde t este timpul cât semnalul este activ iar T este perioada acestuia.



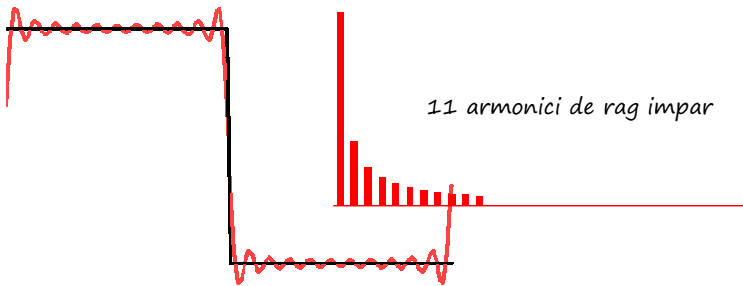
În figurile următoare vom prezenta o perioadă a unui semnal dreptunghiular și suprapus, un semnal obținut prin sumarea unui anumit număr de armonici (operație de sintetizare).



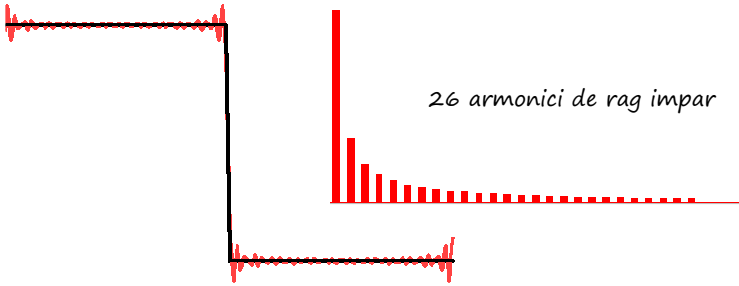
Scopul sintezei este ca semnalul sintetizat ca sumă a unui număr mai mic sau mai mare de armonici să reproducă semnalul dreptunghiular din ce în ce mai bine.



In partea dreaptă este ilustrat spectrul de frecvență al semnalului sintetizat., adică reprezentarea în frecvență a semnalelor sinusoidale care au fost adunate.



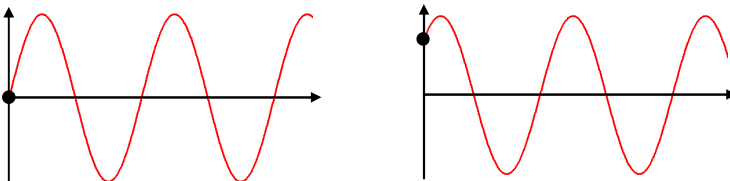
Se observă că semnalul dreptunghiular este mult mai bine aproximat atunci când folosim mai multe armonici.

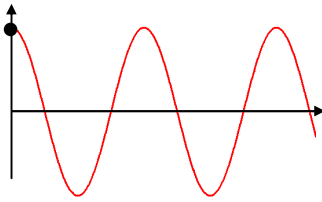


Aproximarea cea mai bună se obține în exemplul nostru pentru 26 de armonici, dar s-ar putea continua teoretic la infinit, pentru a obține un semnal dreptunghiular perfect.

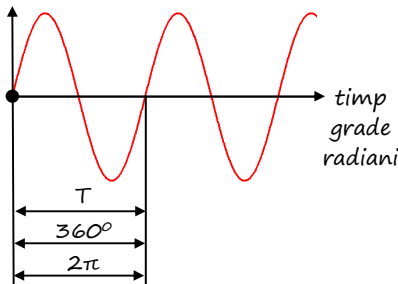
Este evident că atât valorile amplitudinilor cât și fazele inițiale sunt stabilite după un algoritm care să permită obținerea unui semnal dreptunghiular în urma sumării. Avem de clarificat un nou parametru: faza inițială și alături de faza inițială vom discuta și despre defazaj.

Să presupunem că vizualizăm un semnal sinusoidal. Față de momentul în care începem vizualizarea, semnalul poate fi poziționat ca începând din oricare punct, 3 situații diferite fiind prezentate în exemplul de mai jos.

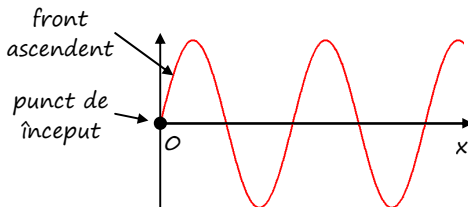




Dacă convenim că la o perioadă a semnalului corespund 360° (grade electrice) sau 2π (radiani) atunci putem spune despre punctul de început că ne dă o informație despre faza inițială, în grade sau în radiani a semnalului investigat raportat la o referință (fază inițială 0).

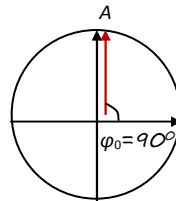
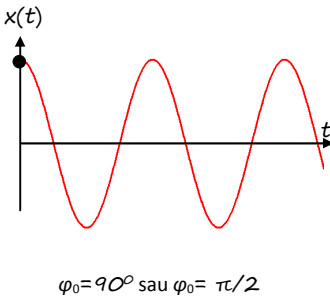
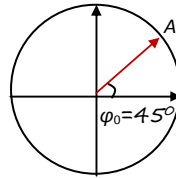
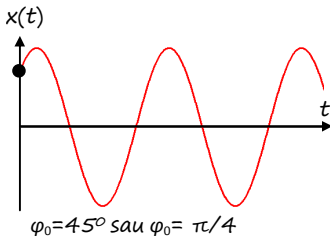
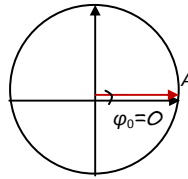
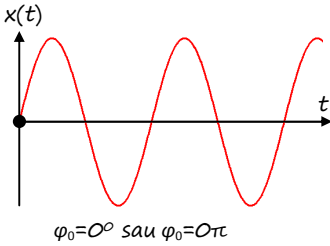


Fază inițială zero ($\varphi_0=0$) pentru un semnal se obține dacă punctul de început are valoarea 0 și se găsește pe frontul ascendent al semnalului.



Reprezentările anterioare ale semnalului au fost în funcție de timp. Putem renunța la informația legată de perioadă (frecvență) și să realizăm o reprezentare vectorială funcție de

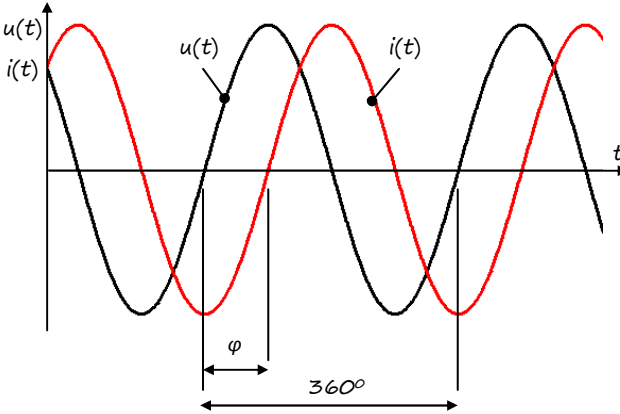
faza inițială. Reprezentarea pentru ele 3 semnale inițiale ar arăta astfel:



După cum se poate observa, în reprezentarea vectorială semnalul este descris prin intermediul amplitudinii și a fazei inițiale. În locul amplitudinii se poate folosi în analiza semnalelor, valoarea efectivă.

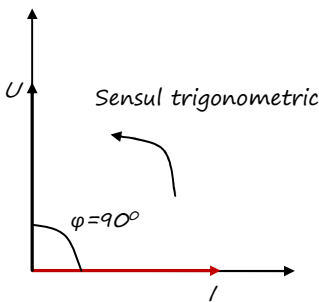
Există situații în care folosim 2 semnale, de exemplu, unul de tensiune și unul de curent, pentru a determina puterea. Dacă

cele două semnale nu au aceeași fază inițială la același moment de timp, între ele există un defazaj. Despre defazaj discutăm doar la semnale care au aceeași frecvență și implicit sunt periodice.



Penru exemplul din imagine defazajul este de 90° (se observă grafic că este de 4 ori mai mic decât perioada exprimată în grade). Acest defazaj se poate exprima și în timp, ca întârziere a unui semnal față de celălalt dar și în radiani.

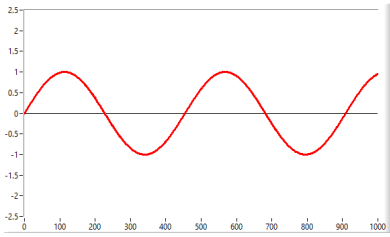
Cum reprezentăm fazorial aceste semnale defazate? Luăm unul dintre semnale ca origine de fază. Sa alegem semnalul de



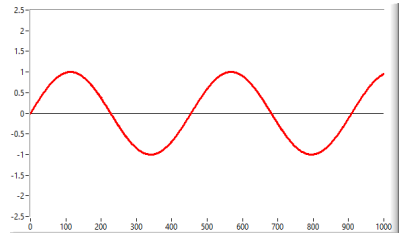
tensiune. Se trsează valoarea amplitudinei tensiunii ca origine și la un unghi egal cu defazajul se trsează amplitudinea curentului. Din graficul funcție de timp se observă că semnalul de tensiune este defazat înaintea curentului. Același lucru îl figurăm și în diagramă considerând sensul de deplasare al fazorilor cel trigonometric. Contează dacă

semnalele sunt defazate? Da!

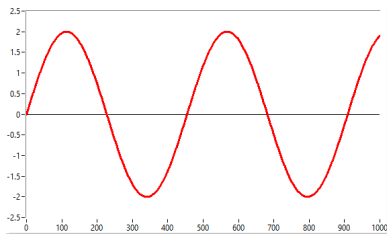
Să urmărim ce rezultat obținem dacă adunăm 2 semnale sinusoidale, în fază (defazaj zero), de amplitudine $A=1$.



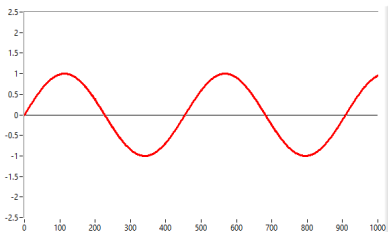
+



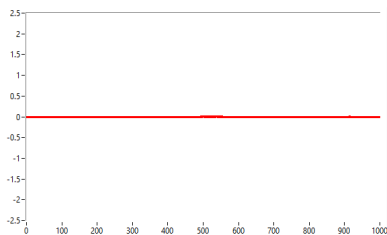
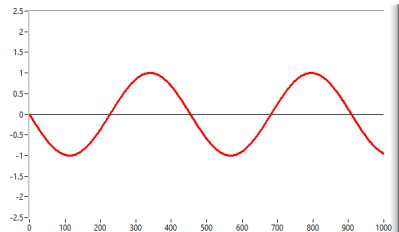
Obținem un semnal sinusoidal, în fază cu cele două dar e amplitudine $A=2$.



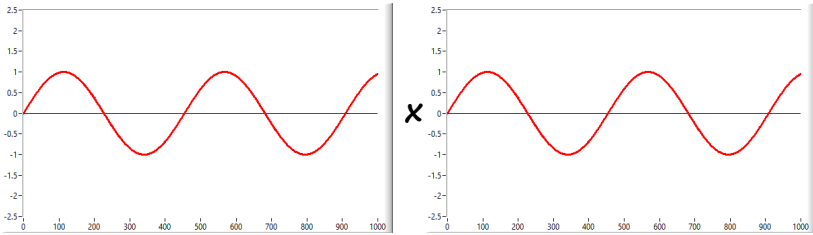
Dacă însă adunăm aceleași semnale dar unul este în opoziție de fază (defazaj 180°), vom observa că cele două semnale se anulează reciproc.



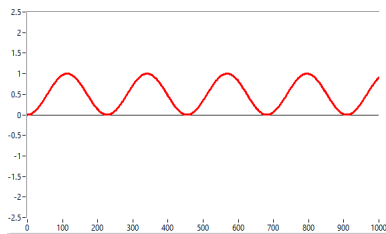
+



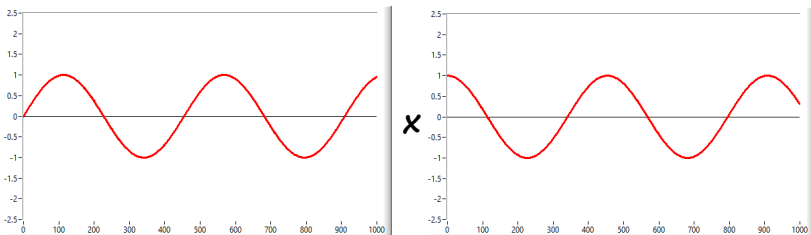
Ce obținem dacă înmulțim cele două semnale?



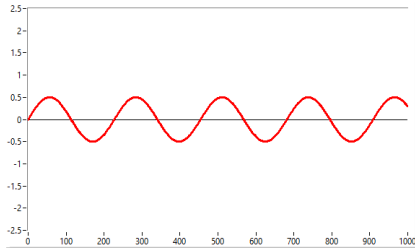
Obținem un semnal cu componentă continuă egală cu jumătate din produsul amplitudinilor, care este chiar puterea activă $P=UI=0.71 \times 0.71 = 0.5W$ (evident calculată în valori efective, valoarea efectivă a unui semnal sinusoidal cu amplitudine de 1 fiind 0.71)



Dacă însă înmulțim două semnale defazate, componenta continuă începe să scadă ca valoare, devenind zero la un defazaj de 90° .



Pentru acest defazaj puterea activă este nulă.



Semnale numerice. Când și cât măsurăm?

Cam toate exemplele folosite până acum fac parte dintr-o categorie de semnale denumite analogice care cuprinde acele semnale continue, care pot lua o infinitate de valori între valoarea maximă și minimă. Excepția notabilă o constituie semnalul dreptunghiular care, teoretic, poate lua doar două valori, maximă și minimă. În lumea semnalelor electrice reale putem însă afirma că, chiar și acest semnal este unul analogic pentru că tranziția între maxim și minim nu se poate realiza brusc.

În afară de caracterul lor analogic, semnalele electrice pe care ne putem propune să le măsurăm sunt și continue în timp, adică sunt definite în orice moment de timp.

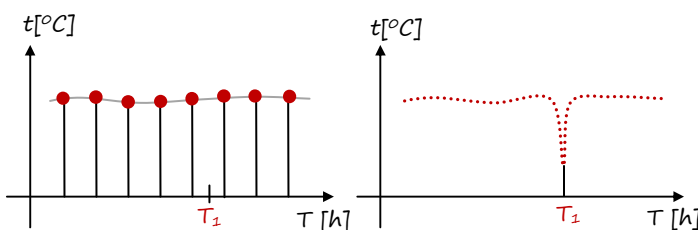
În esența lor, semnalele electrice sunt semnale continue atât în domeniul timp cât și în domeniul amplitudine, adică pe ambele axe de reprezentare. Dar cum convertim un semnal analogic într-unul numeric?

Axa ox: Când?

Pentru a putea face o anumită măsurătoare, ne raportăm la valoarea semnalului la momentul de timp la care facem acea determinare. Practic, „înghețăm” semnalul pentru a putea scoate din el informația pe care o căutăm, adică valoarea instantanee. Operația în sine poartă numele de eșantionare și este esențială în orice operație de măsurare.

De ce facem eșantionarea semnalului? Pentru că nu putem realiza măsurători în mod continuu. Ar însemna să prelucrăm, afișăm și stocăm o infinitate de valori. Dar oare faptul că facem măsurători doar la anumite intervale de timp nu poate conduce la pierderea unor informații utile? Cât de des ar trebui făcute măsurătorile?

Poate un exemplu ne-ar ajuta să înțelegem mai bine. Să presupunem că măsurăm temperatura într-o încăpere. O facem în mod continuu? Nu! La intervale de două ore! Dacă reprezentăm grafic datele obținute de dimineața și până seara obținem desenul din figura de mai jos.



Din acest desen am putea trage concluzia că temperatura este practic constantă. Și totuși, cineva trebuie să fi aerisit acea încăpere. Dacă a făcut-o la momentul T_1 , temperatura în cameră a fost în mod sigur mai mică dar noi am pierdut acea informație deoarece nu am eșantionat semnalul temperatură(timp) suficient de des.

Cazul prezentat este unul simplu deoarece face referire la un proces lent (cu constantă mare de timp). Aici ar fi suficient să ne înarmăm cu răbdare și să urmărim indicația termometrului din cinci în cinci minute.

Mare parte dintre semnalele electrice pe care le vom măsura sunt semnale periodice, cu variație rapidă în timp. Chiar și „leneșul” semnal de tensiune de la rețeaua de alimentare, semnal care are frecvența de 50 Hz și perioadă de 20 ms,

trebuie eșantionat la intervale de timp de ordinul milisecundelor pentru a putea fi aproximat satisfăcător. În figura următoare este redat rezultatul procesului de eșantionare pentru perioade de eșantionare de 8ms, 2ms și 0.4ms. Astfel, se obțin 2.5 eșantioane/perioadă, 10 eșantioane/perioadă și 50 eșantioane/perioadă. Graficele prezintă două perioade ale semnalului și sunt în mod evident diferite.



În majoritatea covârșitoare a cazurilor, eșantionarea se face la intervale egale de timp, intervalul dintre două eșantioane consecutive purtând numele de perioadă de eșantionare. Putem defini astfel cel mai important parametru al procesului de eșantionare, frecvența de eșantionare, ca fiind inversul perioadei de eșantionare.

Cât de mare trebuie să fie această frecvență dacă dorim să „recunoaștem” semnalul original din eșantioanele sale? Cu

puțin efort de calcul matematic în spate, se stabilește că frecvența de eșantionare nu este neapărat foarte mare, așa cum apare la prima vedere.

Teoria eșantionării precizează că un semnal sinusoidal, pentru a putea fi reconstituit din eșantioanele sale, trebuie eșantionat la o frecvență cel puțin egală cu dublul frecvenței sale.

Deci un semnal de 50 de Hz poate fi reconstituit (matematic!!) din eșantioane luate cu o frecvență de cel puțin 100 de Hz. Grafic ne-ar fi destul de greu să realizăm acest lucru pentru că, la limita de frecvență am avea **2 puncte** pe perioadă!

Ce ne facem însă cu semnalele periodice care nu sunt sinusoidale? Revenim la exemplul folosit atunci când am introdus noțiunea de reprezentare în domeniul frecvență și anume la semnalul cu componente de frecvență de 1, 2 și respectiv 3 Hz. Cu ce frecvență minimă trebuie eșantionat el pentru a fi reconstituit? Păi dacă ținem cont de faptul că avem o componentă de frecvență 3 Hz (și vrem să nu o „scăpăm” atunci când reconstituim semnalul) ajungem la concluzia că frecvența de eșantionare minimă este de 6 Hz.

De reținut:

Un semnal periodic oarecare poate fi reconstituit din eșantioanele sale dacă acestea au fost prelevate cu o frecvență de eșantionare de cel puțin două ori mai mare decât frecvența maximă prezentă în spectrul de frecvență a acestui semnal.

Nu întrebați ce se întâmplă dacă spectrul de frecvență al unui semnal este infinit!

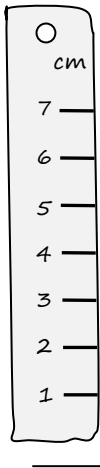
Există situații în care aparatura utilizată pentru efectuarea măsurărilor are menționată frecvența maximă cu care poate realiza eșantionarea. În acest caz, putem utiliza respectivul aparat la măsurarea semnalelor care au frecvența cel mult jumătate din cea de eșantionare (frecvență Nyquist).

Axa OY: Cât?

Am evidențiat până acum faptul că semnalele electrice, continue în timp, trebuie eșantionate la anumite intervale de timp pentru a le putea caracteriza. Dar cât este valoarea unui eșantion? Sau mai bine spus, cu cât aproximăm valoarea această?

Din punct de vedere teoretic putem face următoarea precizare: „Valoarea tensiunii la momentul eșantionării este 2,374972843593” sau dacă avem timp și răbdare „2,37497284359385709845420345723405872035498443595”

Oricât de mult ne-am strădui nu vom putea niciodată să reprezentăm un număr cu o infinitate de zecimale. Nu avem puterea de calcul necesară pentru această operație și nici motivația în sine să facem aceasta. Si atunci apelăm la exprimarea rezultatului printr-un număr finit de cifre. Câte? Depinde de scopul urmărit și de instrumentele pe care le avem la dispoziție.



Un mic exemplu. Să presupunem că măsurăm lungimea unor diferite obiecte cu ajutorul unei rigle de 7 cm. Dacă rigla este gradată în centimetri, lungimile pe care le putem obține sunt 0 cm; 1 cm; 2cm; ... 7 cm. În acest caz pasul de cuantizare (cuanta) ar fi de 1 cm. Indiferent de valoarea exactă a lungimii obiectelor pe care le măsurăm (o infinitate de valori posibile) rezultatul consemnat va fi una dintre

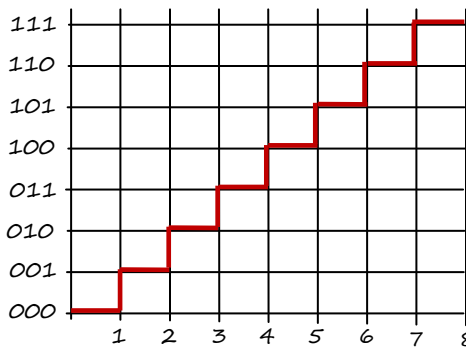
cele 8 valori disponibile. Credeți sau nu, toate cele 5 obiecte au aceeași dimensiune. De fapt, asta este părerea riglei din imagine, care nu poate furniza decât valori întregi de cm. Dacă însă rigla ar avea gradații suplimentare la intervale de un milimetru, am putea exprima rezultatul măsurării ca fiind 0,1 cm; 0,2 cm; ... 7 cm. De data aceasta am lărgi mulțimea valorilor la 80.

Al doilea pas (după eșantionare) în înțelegerea conversiei analog numerice este făcut deja. Mulțimea valorilor eșantioanelor are dimensiune finită.

Mai rămâne un pas. Acesta ține de modalitatea de reprezentare a valorilor în cadrul sistemelor de calcul.

Un bit este o celulă de numărare care poate avea două stări 0 sau 1. Dacă am încerca să realizăm o conversie analog numerică pe 1 bit, adică folosind o singură celulă de numărare, rezultatul ar fi de tipul admis / respins.

Dacă folosim două celule de numărare vom avea patru stări posibile: [0;0], [0;1], [1;0] și [1;1] iar dacă folosim trei celule vom avea opt stări posibile, precum rigla avută în discuție. Revenind la acest exemplu, putem spune că rigla este un convertor analog/numeric de 3 biți cu domeniul de intrare 0 – 8 cm, având caracteristica de transfer din figura de mai jos.



Un convertor analog/numeric pe n biți cu domeniul de intrare de tensiune X , asociază nivelului semnalului analogic unul dintre cele 2^n coduri numerice posibile, cuanta de conversie fiind de $X/2^n$

Y(x): Când și cât?

Am evidențiat până acum faptul că semnalele electrice, continue în timp, trebuie eșantionate la anumite intervale de

timp pentru a putea fi caracterizate, iar valoarea esantioanelor (corespunzătoare valorilor instantanee ale semnalului analogic la acel moment de timp) este un număr întreg de cuante.

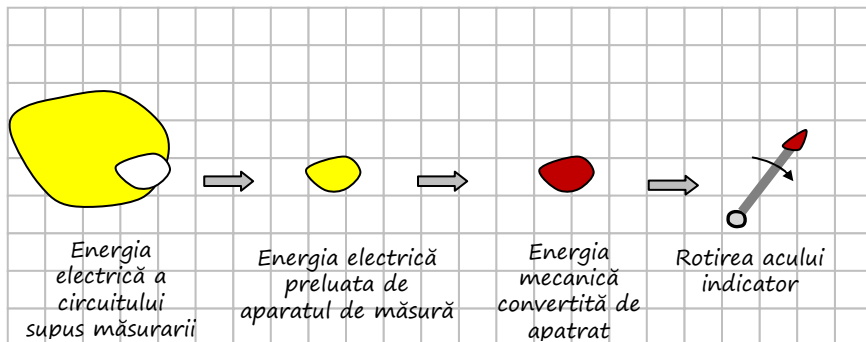
Cum măsurăm cu aparatele electromecanice

Ce sunt aparatele de măsură electromecanice?

Un răspuns rapid, pe care l-am primit de la majoritatea studenților noștri: aparate de măsură cu ac indicator. Este corectă această afirmație?

Să ne imaginăm că vrem să măsurăm presiunea în roți. Vom citi valoarea de presiune prin intermediul unui dispozitiv cu ac indicator și scală gradată dar aparatul pe care îl folosim nu este electromecanic.

Aparatele electromecanice de măsură sunt acele aparate care transformă energia electrică preluată din circuitul supus măsurării în energie mecanică. Energia mecanică este utilizată pentru rotirea părții mobile și implicit a acului indicator.



Acest lanț de conversie ne spune două lucruri:

- circuitul supus măsurării este afectat de pierderea unei cantități de energie;
- aparatele electromecanice prezintă o parte mobilă a cărei rotație este vizibilă pentru utilizator prin intermediul acului indicator.

In cadrul acestei lucrări vom răspunde la următoarele întrebări:

Ce ne interesează în momentul în care măsurăm cu aparatele electromecanice?

Ce reprezintă valoarea indicată de aparat? Ce este eroarea de paralaxă?

Cum se conectează aparatele analogice în circuitul de măsură?

Ce reprezintă incertitudinea de măsurare?

Ce ne interesează în momentul în care măsurăm cu aparatele electromecanice?

Ne interesează două elemente: dispozitivul de citire a deviației și **cheia comutatoare**. Dispozitivul de citire a deviației este format dintr-o **scală gradată** și un **ac indicator**.

Scala gradată reprezintă o succesiune de repere care urmăresc traiectoria acului indicator. Aceste repere sunt numerotate pentru a facilita operația de măsurare. Distanța dintre două repere se numește **diviziune**.

Dacă diviziunea se păstrează constantă pe întreaga scală, atunci avem o scală uniformă. Scalele uniforme sunt utilizate de obicei pentru măsurarea tensiunii și a curentului.

Dacă diviziunea diferă pe parcursul scalei (fie ca lungime de arc de cerc, fie ca diferență a numerelor alocate reperelor care delimitează diviziunea) avem o scală neuniformă. Scala neuniformă este utilizată pentru măsurarea rezistenței, capacității sau pentru realizarea citirilor în dB.

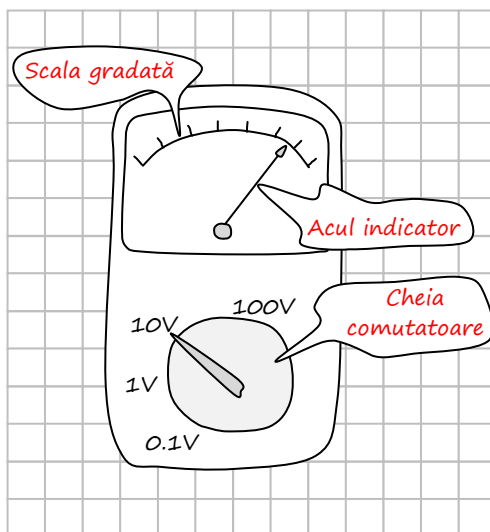
Cheia comutatoare permite stabilirea mărimii ce va fi măsurată și a legăturii cu scala gradată prin specificarea unei valori (oferă informația necesară pentru stabilirea corespondenței dintre valoarea citită pe scala gradată și valoarea mărimii măsurată).

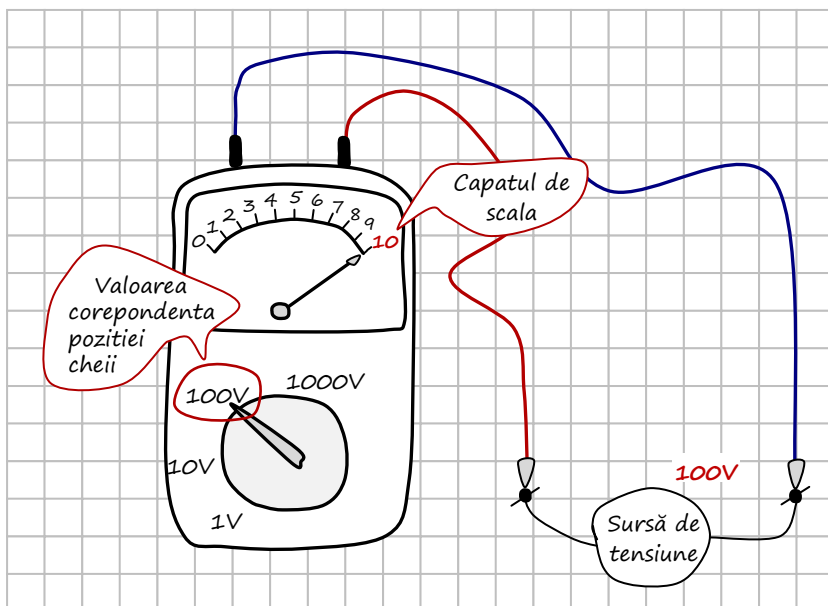
Valoarea specificată prin poziția cheii are semnificații diferite în funcție de mărimea măsurată și implicit de scala uniformă sau neuniformă asociată mărimii.

Pentru măsurarea tensiunii și a curentului, pe scala uniformă, cheia comutatoare permite alegerea domeniului de măsurare, adică permite alegerea valorii maxime ce poate fi măsurată.

Măsurarea unei valori egale cu cea stabilită de poziția cheii comutatoare, conduce la obținerea deviației maxime a acului indicator (capătul de scală).

Astfel, pentru capătul de scală putem spune că numărul maxim de diviziuni ale scalei corespunde valorii selectate de cheia comutatoare.





De exemplu, dacă stabilim prin cheia comutatoare că măsurăm pe domeniul de 100V iar tensiunea măsurată este chiar 100V, atunci acul indicator va ajunge la capăt de scală. În acest fel putem spune că domeniului de 100V îi corespund 10 diviziuni (capătul de scală).

Dacă măsurăm o tensiune pe același domeniu iar acul indicator se stabilizează la diviziunea 9, care va fi valoarea tensiunii măsurate? Fiind o scală uniformă este evident că există o dependentă liniară între numărul diviziunilor și valoarea tensiunii.

Dacă la 10 diviziuni corespund 100V atunci la 9 diviziuni vor corespunde x volți (regula de trei simplă)

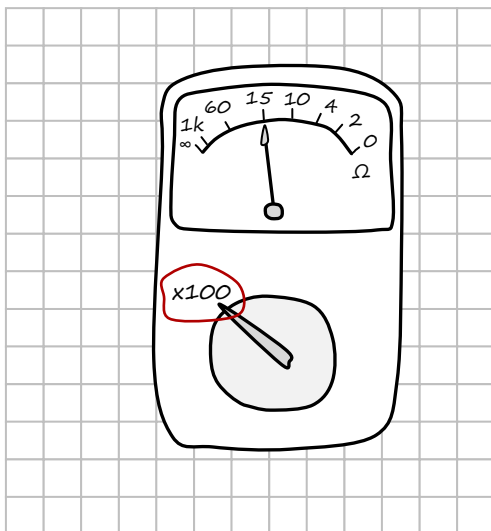
$$10 \text{ div} \dots\dots\dots 100V$$

$$9 \text{ div} \dots\dots\dots xV$$

$$x = 9 \cdot 100 / 10 \text{ [V]}$$

Sau, putem calcula constanta aparatului (pentru scala și poziția cheii în discuție) împărțind valoarea indicată de cheie la numărul de diviziuni al capătului de scală: $k = 100V / 10div$, adică $k = 10V/div$. Valoarea măsurată x , va fi egală cu constanta k înmulțită cu numărul de diviziuni indicate de ac: $x = 10V/div * 9div = 90V$

Pentru măsurarea rezistenței și capacității pe scala neuniformă, cheia comutatoare permite alegerea factorului de multiplicare ($\times 1$, $\times 10$, $\times 100$, $\times 1k$, $\times 10k$ etc), adică numărul cu care trebuie înmulțite valorile înscrise pe scală pentru ca citirea să se realizeze în unitatea de măsură specificată în dreptul scalei.



De exemplu, dacă cheia comutatoare se află pe factor de multiplicare $\times 100$, iar acul indicator este poziționat în dreptul reperului 15, atunci valoarea R a rezistenței măsurate va fi $R = 15\Omega * 100 = 1500\Omega$

DE RETINUT

Dispozitivul de citire a deviației oferă informații referitoare la numărul de diviziuni indicate. Astfel, urmărind poziția acului indicator se poate spune care este numărul diviziunii în dreptul căreia acul indicator s-a stabilizat, fără a oferi nicio informație despre legătura cu mărimea măsurată.

Cheia comutatoare ne oferă legătura dintre diviziuni și valoarea mărimii măsurate. Mai exact, pentru scala uniformă valoarea indicată de poziției cheii corespunde numărului de diviziuni al capătului de scală, iar pentru scala neuniformă valoarea indicată reprezintă factorul de multiplicare a valorilor înscrise pe scală.

Cum citim pe o scală marcată în decibeli?

Multe aparate de măsură electromecanice și nu numai, prezintă pe lângă scalele deja discutate și o scală în dreptul căreia vom întâlni un marcaj mai puțin familiar – dB.

Așadar: ce este decibelul? Este el o unitate de măsură, și dacă da care mărime se măsoară în decibeli?

Intr-o abordare elementară, decibelul este o unitate de măsură pentru raportul între două mărimi, exprimat matematic prin relația:

$$[dB] = 10 \log(X_2/X_1)$$

Inceputul utilizării sale este strâns legat de apariția și dezvoltarea domeniului telecomunicațiilor și a dispozitivelor audio, însăși definiția sa logaritmică încercând o apropiere de fiziologia sistemului auditiv uman.

Urmare a definiției logaritmice a decibelului putem face două observații importante (în afară de aceea că ne dă bătăi de cap suplimentare):

- pentru o mărime reprezentată uzual pe scală uniformă, utilizarea scalei în dB determină reprezentarea pe o scală neuniformă.
- scalele cu citire în decibeli sunt foarte utile atunci când domeniul de variație al mărimii măsurate este larg. Imaginați-vă că vrem să măsurăm pe o singură scală liniară o mărime care variază în raport de 1 / 1 milion! Dacă folosim o scală în decibeli aceeași mărime variază de la 0 la 60.

Întrebarea care vine firesc atunci când se utilizează exprimarea valorii unei mărimi electrice (putere, tensiune, curent) în decibeli este următoarea: de unde luăm cea de a doua valoare pentru a calcula raportul?

Cea de a doua valoare, numită și valoare de referință, este o valoare arbitrar stabilită și care este obligatoriu de furnizat de către constructorii aparatelor de măsură. De exemplu pentru putere electrică se utilizează ca referință valoarea de 1 watt (unitatea de măsură notându-se în acest caz dBW) sau cea de 1mW (dBm).

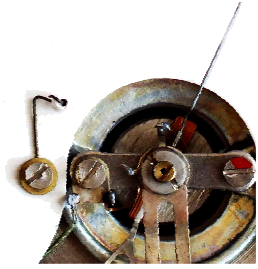
Primul pas pe care trebuie să îl avem în vedere este faptul că definiția anterioară este valabilă doar în cazul puterii electrice. Pentru tensiune și curent, $[dB]=20\log(U_2/U_1)$ și respectiv $[dB]=20\log(I_2/I_1)$.

Motivul este evident: puterea electrică depinde de pătratul tensiunii și/sau de pătratul intensității curentului electric ($P=U^2/Z$, $P=ZI^2$)

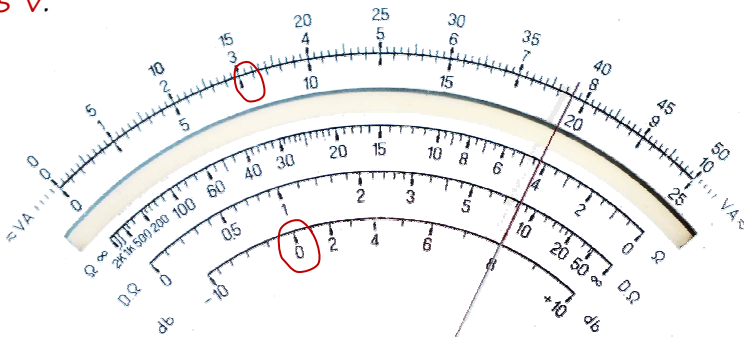
Cel de-al **doilea pas** îl reprezintă aflarea valorii de referință. Informațiile care ne ajută la aflarea acesteia sunt de obicei indicate de fabricant.

În exemplul alăturat primim informația că valoarea de **0 dB** corespunde unei valori de **1mW** pe o impedanță de **600Ω**.

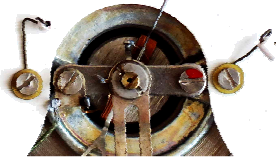
20000Ω/V (75mV-1000V)
 2000Ω/V (50-1000V)
 400Ω/V (25-10V)
 45-1000Hz-5000Hz
 0db=1mW 600Ω



Știind că $P=U^2/Z$, obținem referința de tensiune de **0.775 V**.



20000Ω/V (75mV-1000V)
 2000Ω/V (50-1000V)
 400Ω/V (25-10V)
 45-1000Hz-5000Hz
 0db=1mW 600Ω



Pasul trei îl constituie stabilirea gamei de măsură (poziția comutatorului) pentru care citirea pe scala marcată în decibeli se face în mod direct. Vom face din nou apel la cadranul aparatului menționat anterior.

Să presupunem că ne aflăm în situația în care acul indicator se află în dreptul reperului 0 pe scala marcată în dB. Singura poziție a cheii comutatorului pentru care acul indicator are această deviație la aplicarea unei tensiuni de **0.775 V** (valoarea de referință a tensiunii, determinată anterior) este poziția de **2.5 V**.

În consecință, atunci când poziția cheii comutatorului este 2.5 V valoarea, exprimată în decibeli, a tensiunii se obține prin citire directă pe scala marcată în decibeli.

Haideți să încercăm o citire comparativă. Cu poziția cheii comutatorului pe 2.5V, acul indicator este în dreptul reperului 8 pe scala marcată în decibeli. Care este valoarea tensiunii, exprimată în volți?

Determinare prin citire pe scala uniformă corespunzătoare:

Pe scala al cărei capăt este 25, acul indicator este în dreptul reperului 19.5. În consecință, valoarea tensiunii este de 19.5 diviziuni \times 2.5 V / 25 diviziuni, adică $U = 1.95$ V.

Determinare prin calcul:

$$8 \text{ dB} = 20 \log U/0.775$$

$$U = 1.9467$$

Diferența dintre cele două rezultate este cauzată de aproximarea poziției acului indicator. Ochiul uman nu poate observa diferența dintre 19.5 și 19.467 diviziuni (evident că dacă diviziunea ar avea o lungime de 1 km am putea și asta dar încă nu am construit aparate de măsură atât de mari)

În cazul în care cheia comutatorului se afla pe altă poziție decât 2.5 V, fie ea **x**, valoarea exprimată în decibeli a tensiunii se obține în modul următor: se citește indicația de pe scala marcată în decibeli și se adună la aceasta $20 \log x/2.5$.

Ce reprezintă valoarea indicată de aparat?

Dacă măsurăm o tensiune sinusoidală precum cea de la priză de acasă, la școală sau la serviciu și aparatul de măsură ne indică 230V, ce reprezintă această valoare pentru semnalul sinusoidal? Este valoarea maximă? Medie?

Dacă aparatul de măsură nu are specificații speciale privind tipul mărimii indicate, atunci acesta va indica în valori efective.

Valoarea efectivă a unui semnal periodic reprezintă echivalența acestuia în continuu din punct de vedere al efectului termic. Cu alte cuvinte, valoarea efectivă a unui curent periodic este valoarea curentului continuu care produce același efect termic ca și cel periodic, în același interval de timp pe aceeași rezistență.

Efect Joule-Lenz

Efectul termic (denumit și efect Joule-Lenz) este reprezentat de disiparea căldurii într-un conductor traversat de un curent electric.

Efectul termic se datorează interacțiunii electronilor (aflați în conducție) cu atomii conductorului. În urma interacțiunii, electronii cedează energia cinetică atomilor, conducând la creșterea agitației termice în masa conductorului.

Legea este exprimată astfel:

$$Q = I^2 R t, \text{ unde:}$$

Q - căldura, [Q]si = J (joule)

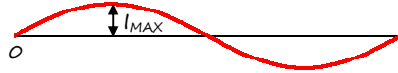
I - intensitatea curentului electric, [I]si = A (amper)

R - rezistența electrică, [R]si = (ohm)

t - timpul, [t]si = s (secunde)

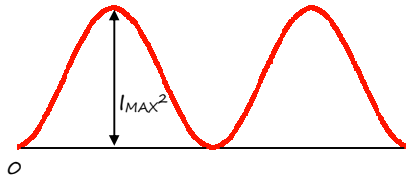
Să urmărim cum se obține valoarea efectivă pentru un curent sinusoidal la care cunoaștem valoarea maximă (amplitudinea) I_{MAX} . Ne interesează să găsim un curent continuu care să aibă același efect termic cu cel sinusoidal a cărui valoare o denumim valoare efectivă (I_{EF}).

Din legea Joule-Lenz se observă dependența căldurii disipate de pătratul curentului. Deoarece egalitatea efectului curentului sinusoidal cu a celui continuu se dă pentru aceeași valoare a rezistenței și pentru același interval de timp, vom discuta doar despre pătratul curenților.

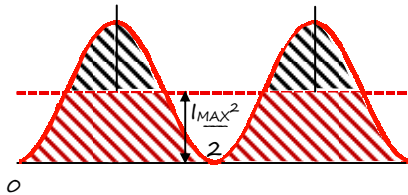


Să considerăm un curent sinusoidal de valoare maximă I_{MAX}

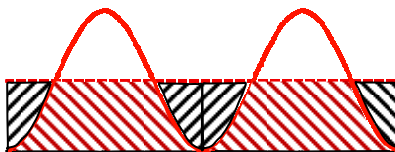
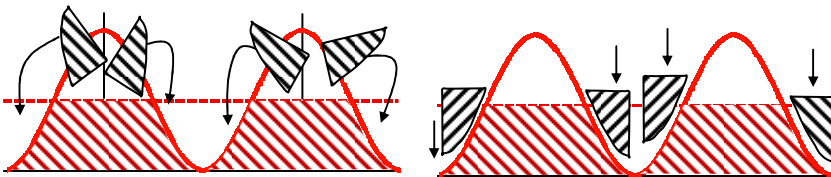
Ridicăm la pătrat valorile instantanee ale curentului și obținem un semnal sinusoidal (cu componentă continuă și frecvență dublă), de valoare maximă I_{MAX}^2



Căldura degajată este dată de aria delimitată de semnal. Să împărțim graficul cu o dreaptă paralelă cu ox aflată la distanța $(I_{MAX}^2)/2$ de aceasta.



Aria hașurată de deasupra dreptei să o redistribuim după cum se observă în imaginile următoare.

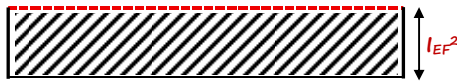


Se poate observa că toate ariile obținute prin împărțire după axe de simetrie pot fi regrupate în partea inferioară a dreptei trasate la distanța $(I_{MAX}^2)/2$ fata de ox.

Figurile ilustrează o perioadă a semnalului inițial, de valoare maximă I_{MAX} . Să vedem ce am obținut, dacă înlăturăm aria care a fost redistribuită în partea inferioară



Dar rețineți, aria acestui dreptunghi reprezintă aria pătratului semnalului sinusoidal inițial. Aceeași arie (aceiași efect termic), o putem obține pe baza unui curent continuu (căldura degajata fiind proporțională tot cu pătratul curentului):



În aceste condiții putem spune că $(I_{MAX}^2)/2 = I_{EF}^2$. Altfel spus, $I_{EF} = I_{MAX} / \sqrt{2}$

Ce este eroarea de paralaxă?

Sistemele de citire cu ac indicator pot introduce erori de citire, datorate aprecierii greșite a diviziunii corespunzătoare poziției acului indicator. Cauza

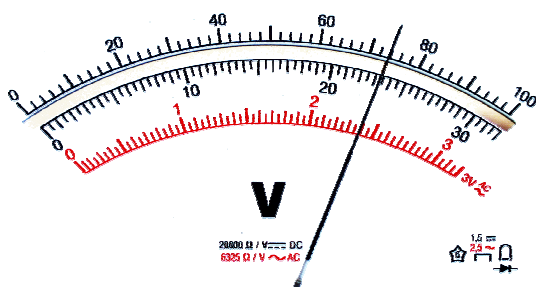
DE RETINUT

Există aparate la care pe cadran nu sunt simbolizate toate reperele diviziunilor. În imagine se observă de exemplu pentru scala superioară că există 50 de repere pentru o numerotare de 100 de diviziuni. Deși acul indicator se află în dreptul celui de-al 37-lea reper indicația în diviziuni este de 74.

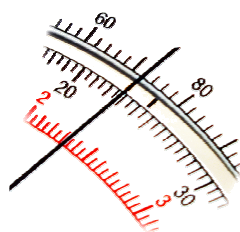
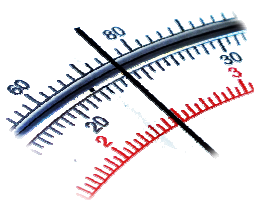
este reprezentată de existența unei distanțe între ac și scala gradată și de poziționarea incorectă a operatorului. Aceasta eroare se numește eroare de paralaxă.

Dacă operatorul se află în planul perpendicular pe cadran care trece prin acul indicator, atunci nu apare eroarea de paralaxă. Pentru a se ușura plasarea operatorului în planul corect de citire, cadranul este prevăzut cu o oglindă. Citirea este corectă dacă observatorul se plasează astfel încât acul indicator să se suprapună peste imaginea sa din oglindă.

În exemplul din imagine, acul indicator este poziționat în dreptul diviziunii 74 de pe scala superioară și nu este vizibilă imaginea acului în oglindă. Acest fapt indică o citire corectă.



Dacă observatorul se găsește într-un alt plan decât cel corect, atunci citirea se realizează cu eroarea de paralaxă. În următoarea imagine poziția acului indicator corespunde diviziunii 76. De asemenea se



observă și imaginea acului în oglindă în dreptul diviziunii 70. Acest fapt este cauzat de poziționarea cititorului într-un plan lateral stâng. Dacă cititorul se plasează într-un plan lateral drept, se obține o citire corespunzătoare imaginii următoare. Poziția acului corespunde diviziunii 72 iar imaginea sa corespunde diviziunii 76.

Cum se conectează aparatele analogice în circuitul de măsură?

Conectarea voltmetrelor și ampermetrelor în circuit

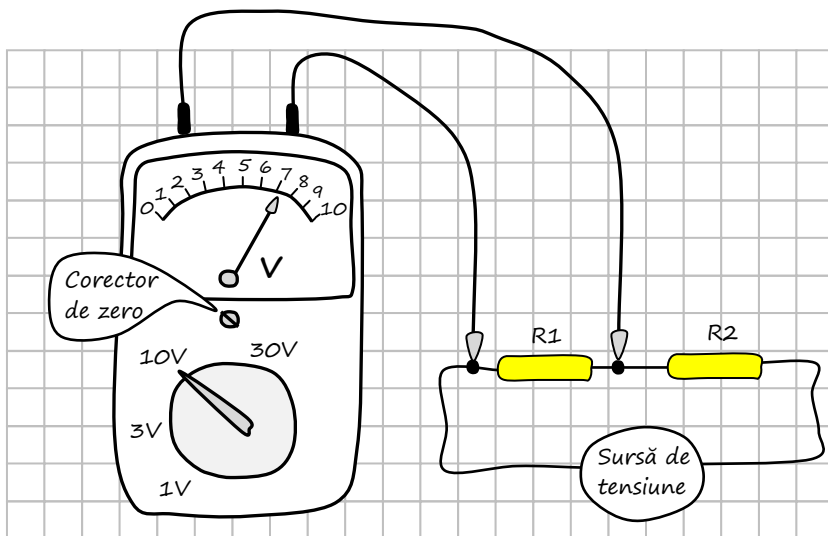
Prima operație înaintea conectării aparatului în circuit constă în verificarea poziției de zero a acului indicator. Dacă acesta nu se află în dreptul reperului de zero, se realizează aducerea acestuia în poziția corespunzătoare prin acționarea asupra butonului de corecție aflat sub latura inferioară a cadranului. Verificarea poziției de zero se realizează pentru voltmetre și ampermetre cu bornele neconectate.

La conectarea voltmetrelor și ampermetrelor se recomandă poziționarea cheii comutatoare pe domeniul cel mai mare, urmând ca acesta să se scadă până la obținerea

deviației maxime a acului indicator. O măsurare se realizează cu eroare relativă minimă pe poziția cheii comutatoare care asigură deplasarea cea mai apropiată de capătul de scală a acului indicator.

LOGOMETRE

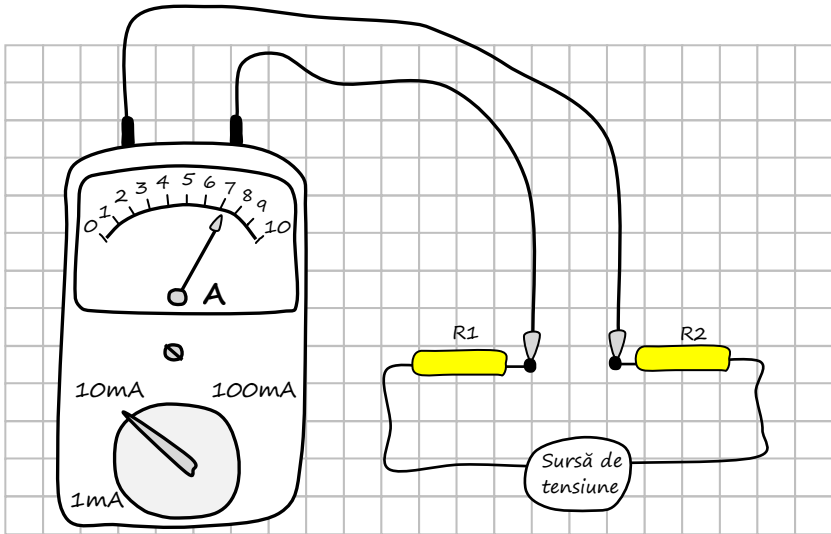
Există o grupă de aparate electromecanice la care, în lipsa conectării în circuitul de măsură, acul indicator nu trebuie neapărat să fie în dreptul reperului de zero. Aceste aparate numite logometre au înlocuit dispozitivului de realizare a cuplului rezistent cu un al doilea dispozitiv de realizare al cuplului activ.



Când nu se cunoaște valoarea tensiunii sau curentului ce urmează a fi măsurată, cu cheia comutatoare pe domeniul maxim, se recomandă conectarea pentru un timp foarte scurt a aparatului și evaluarea tendinței de deplasare a acului indicator.

Voltmetrul se conectează întotdeauna în paralel cu bornele componentei e circuit supuse măsurării. Dacă în continuu, borna "+" a aparatului se conectează la potențialul cel mai ridicat, în alternativ polaritatea de conectare nu mai are importanță

Ampermetrul se conectează întotdeauna în serie cu componenta de circuit pentru care dorim să măsurăm curentul care o străbate. Dacă în continuu, borna "+" a aparatului se conectează astfel încât curentul să intre în bornă, în alternativ polaritatea de conectare nu mai are importanță.



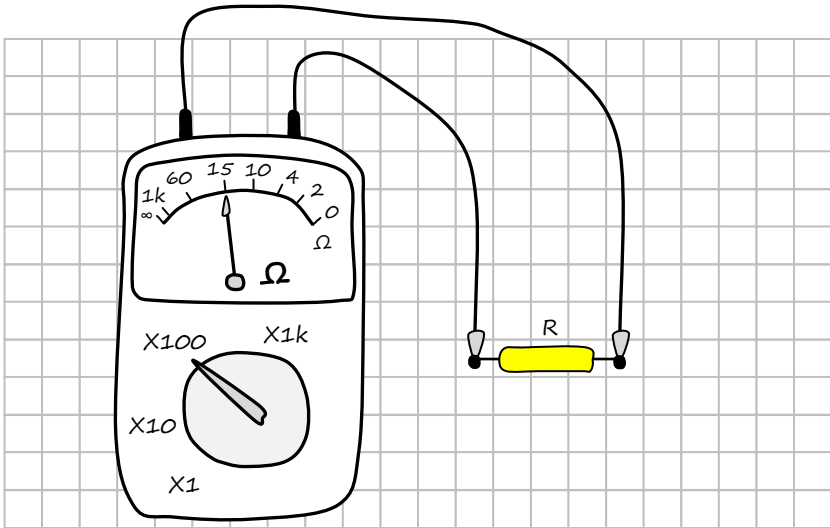
Măsurarea căderii de tensiune pe o componenta de circuit sau măsurarea curentului care străbate componenta de circuit se realizează fără scoaterea componentei în discuție din circuit, fără a întrerupe alimentarea acesteia cu energie.

Conectarea ohmetrelor în circuit

Verificarea poziției de zero se realizează pentru ohmetre cu bornele scurtcircuitate.

O măsurare se realizează cu eroare relativă minimă pe poziția cheii comutatoare care asigură deplasarea cea mai apropiată a acului indicator de mijlocul scalei gradate. Astfel, la măsurarea rezistențelor se urmărește aducerea acului indicator în poziție centrală.

Măsurarea rezistenței unei componente de circuit se realizează cu scoaterea componentei în discuție din circuit și implicit cu întreruperea alimentării acesteia cu energie.



Tipuri de aparate

Aparatele magnetoelectrice cu redresor au deviația acului indicator proporțională cu valoarea medie a curentului. Scala este însă gradată în valori efective pe baza cunoașterii raportului dintre valoarea efectivă și valoarea medie, pentru semnale sinusoidale. În aceste condiții, dacă semnalul periodic nu este sinusoidal, afișarea în valori efective este alterată (bandă de funcționare 30Hz-10kHz).

Aparatele feromagnetice, electrodinamice și ferodinamice indică valoarea efectivă a curentului indiferent de forma acestuia (bandă de funcționare feromagnetice: 0Hz-1kHz, bandă de funcționare electrodinamice 0Hz-5kHz, bandă de funcționare ferodinamice 0Hz-100Hz).



Simbolizare magnetoelectric cu redresor



Simbolizare feromagnetic



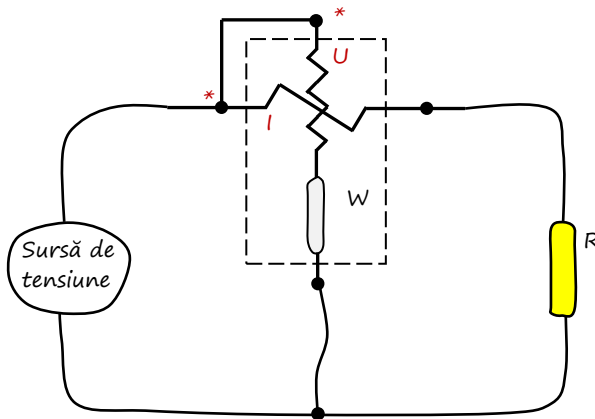
Simbolizare electrodynamic



Simbolizare ferodinamic

Conectarea wattmetrelor în circuit

Wattmetrul măsoară puterea electrică activă. Constructiv wattmetrul conține două bobine, una fixă numită bobină de curent și una mobilă numită bobină de tensiune. Bobina de curent se montează în mod similar cu ampermetrul, adică în serie pe circuit iar bobina de tensiune se conectează similar cu voltmetrul, adică în paralel după cum se vede în schema electrică de mai jos.



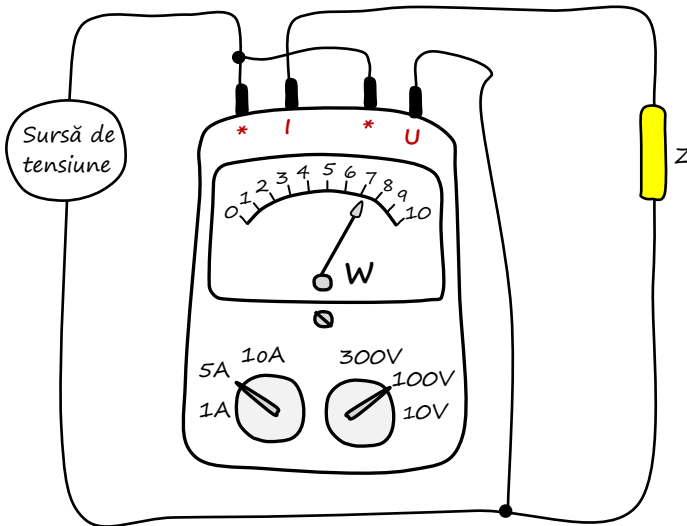
Fată de aparatele discutate până acum, wattmetrul prezintă câteva particularități:

- are două chei comutatoare, una pentru stabilirea domeniului de curent și una pentru stabilirea domeniului de tensiune;
- capătul de scală este dat de produsul valorilor indicate de cele două chei comutatoare;
- începuturile bobinelor de curent și tensiune sunt marcate cu o stelută, cu o săgeată sau prin COM;

- în majoritatea aplicațiilor, la conectarea wattmetrului în circuit trebuie urmărit ca începuturile bobinelor să fie conectate între ele.

Deoarece deviația acului indicator este proporțională cu produsul dintre curent și tensiune, există posibilitatea ca deși acul indicator nu atinge capătul de scală, curentul să depășească valoarea maximă a scalei. Din această cauză se înseriază alături de wattmetru un ampermetru, pentru urmărirea valorilor curentului.

Hai să exemplificăm. În imaginea următoare este prezentat un wattmetru conectat pentru măsurarea puterii consumate de o sarcină de impedanță Z .



Dacă cheia comutatoare pentru curent este poziționată pe 5A, iar cea de tensiune pe 100V înseamnă că la capăt de scală vom avea **500W**.

Păstrând cheile comutatoare pe aceste valori să presupunem că alimentăm un reostat cu rezistență de 5Ω la o sursă de tensiune de 50V. În aceste condiții va rezulta un curent

de 10A, mai mare decât permite gama de curent (5A). Problema care apare este că nu putem sesiza depășirea de curent urmărind doar acul indicator. Teoretic acesta va ajunge la capăt de scală din moment ce puterea este exact 500W (50V*10A). Practic, vom arde bobina de curent a wattmetrului.

Conectarea contorului de inducție în circuit

Contorul monofazat este realizat din doi electromagneți, unul de tensiune și unul de curent (după cum sunt conectate bobinele acestora în circuitul de măsurare), un disc din aluminiu, fixat pe axul mobil și un magnet permanent pentru realizarea cuplului rezistent.

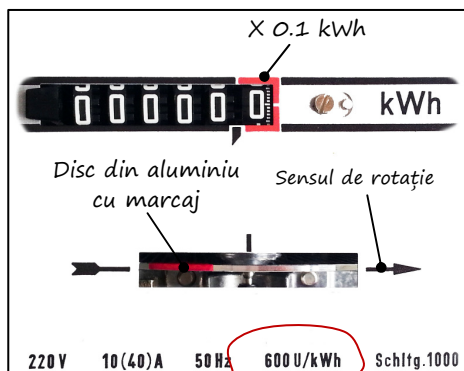
Principiul de funcționare se bazează pe interacțiunea dintre fluxurile magnetice ale electromagneților și curentii turbionari induși de aceștia în discul de aluminiu.

Pe panoul frontal al contorului întâlnim specificația referitoare la câte rotații complete ale discului se înregistrează un consum de 1kWh. Pentru a putea fi numărate rotațiile, pe disc este marcat un reper roșu.

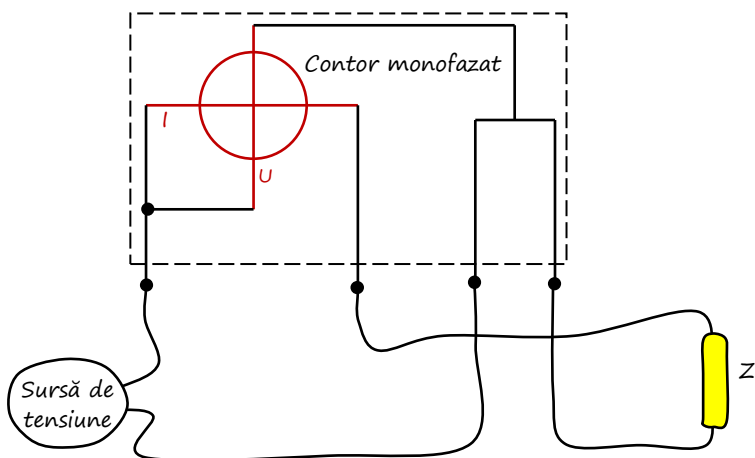
Indicatorul mecanic cu cifre furnizează informația despre consum în kWh. Cifra cea mai din dreapta indică zecimile de kWh.

Montarea în circuit a contorului este asemănătoare cu cea al wattmetrului, electromagnetul de curent se ineriază în circuit iar electromagnetul de tensiune se conectează în paralel, după cum se observă în schema alăturată.

Deoarece este un contor de inducție, acesta funcționează doar în curent alternativ.



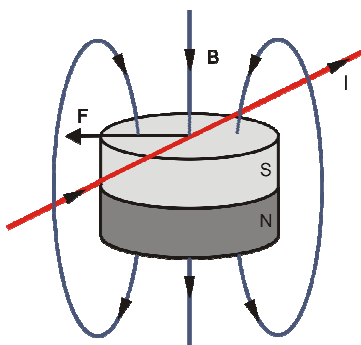
600 de rotații complete pentru un consum de 1kWh



Forța electromagnetica

Conductoarele străbătute de curent electric creează în jurul lor un câmp magnetic. Câmpul magnetic dintr-un punct este caracterizat de o mărime vectorială numită inducție magnetică. Inducția magnetică are unitatea de măsură Tesla [T]

Asupra unui conductor străbătut de curent electric și plasat în interiorul unui câmp magnetic va acționa o forță de tip electromagnetic. Forța electromagnetică este un rezultat al interacțiunii câmpului propriu al conductorului parcurs de curent și cel exterior în care este plasat conductorul și este direct proporțională cu inducția câmpului magnetic (B), cu intensitatea curentului electric din conductor (I), și cu lungimea conductorului din câmp magnetic (L). Sensul forței electromagnetice poate fi aflat cu regula mâinii stângi. Dacă se ține mâna stângă cu



degetele orientate în direcția curentului electric, astfel ca liniile de câmp magnetic să intre în palma, sensul forței electromagnetice va fi indicat de către degetul mare deschis lateral

Inducția electromagnetică

Fenomenul de inducție electromagnetică constă în apariția unei tensiuni electromotoare într-un circuit electric străbătut de un flux magnetic variabil în timp. Astfel, mișcarea unui magnet permanent în interiorul unei bobine, mișcarea unui conductor într-un câmp magnetic sau plasarea unui conductor în câmpul unei bobine alimentată în curent alternativ, determină apariția în circuit a unei tensiuni induse care generează un curent electric indus prin circuit.

Sensul curentului indus în circuit este stabilit cu ajutorul regulii lui Lenz: tensiunea electromotoare indusă și curentul indus au un astfel de sens, încât fluxul magnetic produs de curentul indus să se opună variației fluxului magnetic inductor. Astfel, se explică semnul minus în legea lui Faraday, ca o opoziție a t.e.m. indusă la variația fluxului magnetic inductor.

Incertitudinea de măsurare în cadrul aparatelor analogice

După cum am discutat la începutul capitolului anterior, rezultatul unei măsurători este însoțit întotdeauna de o precizare referitoare la incertitudinea acesteia. De exemplu "tensiunea este de $x \pm \epsilon$ cu nivelul de încredere de $y\%$ ".

Incertitudinea de măsurare ϵ implică utilizarea tuturor informațiilor legate de factorii care pot perturba rezultatul măsurării.

Dacă considerăm incertitudinea compusă din incertitudinea aleatorie (incertitudine de tip A) și incertitudinea de măsurare a aparatului (incertitudine de tip B) atunci se poate prescrie incertitudinea de măsurare, căreia i se atribuie un anumit nivel de încredere. Cele două incertitudini se sumează pătratic:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_A^2 + \varepsilon_B^2}$$

Deoarece în domeniu măsurarilor uzuale influența incertitudinii de tip B este preponderentă iar incertitudinea de tip A apare în situații bine determinate, vom începe cu descriere incertitudinii de tip B. Mai exact vom începe cu modalitatea de calcul a erorilor introduse de aparatul de măsură și vom vedea corelarea acestora cu incertitudinea de măsurare prin aleatorizare.

Eroarea aparatului de măsură

Clasa de precizie reprezintă eroarea absoluta maxima $(\Delta x)_{\max}$ pe care o poate avea aparatul in oricare punct al scalei sale, raportata la valoarea corespunzătoare deviației maxime a acului indicator x_n și este exprimata in procente

$$c = ((\Delta x)_{\max} / x_n) \cdot 100 [\%]$$

Clasa de precizie este notata pe cadranul aparatului de măsura. Prin intermediul acesteia se poate calcula eroarea absoluta maxima, valabila pentru oricare punct al scalei aparatului

$$(\Delta x)_{\max} = (c/100) \cdot x_n$$

Formula este valabilă pentru scale uniforme. Dacă scala este neuniformă (exemplu ohmetre) atunci x_n se transformă în α_n și reprezintă unghiul sub care se desfășoară scala, având vârful în axul acului indicator.

Daca eroarea absoluta maxima este caracteristica pentru oricare punct al scalei, evident pentru o anumita gama de măsurare, eroarea relativa este specifica fiecărui punct al scalei, fiind o raportare la valoarea mărimii măsurate.

Pentru un aparat de măsură cu clasa de precizie c , care are o deviație maximă x_n , iar valoarea mărimii măsurate este x eroarea relativă, exprimată procentual va fi:

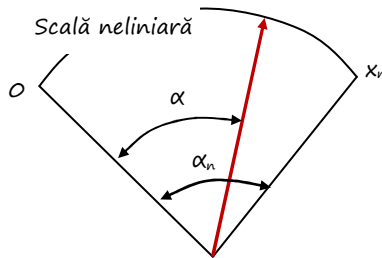
$$\varepsilon_r = ((\Delta x)_{\max} / x) \cdot 100 [\%]$$

Înlocuind expresia erorii absolute maxime ca funcție de clasa de precizie se va obține:

$$\varepsilon_r = c \cdot (x_n / x) [\%]$$

pentru scală neliniară x_n trece în unghiul α_n iar x în unghiul α

$$\varepsilon_r = c \cdot (\alpha_n / \alpha) [\%]$$



Se poate observa, urmărind expresia erorii relative ca aceasta este cu atât mai mare cu cât valoarea mărimii măsurate este mai mică decât deviația maximă.

Astfel, pentru a reduce cât mai mult erorile introduse de aparat este necesar ca să se aleagă o gamă de măsurare care să aibă valoarea maximă mai mare decât valoarea măsurată dar să fie cât mai apropiată ca valoare de aceasta. Recomandarea generală este utilizarea unei game la care acul indicator să se găsească în ultimul sfert al scalei.

Concluzionând, pentru realizarea unei măsurări precise este important ca pe lângă alegerea aparatului în funcție de clasa

de precizie, să se aleagă convenabil și gama de măsurare (domeniul de măsură cuprins între limita minimă și cea maximă a deviației).

Spre exemplu, dacă se măsoară o tensiune $U=5V$ cu un voltmetru cu deviația maximă $x_n=10V$ și clasa de precizie $c=2$, eroarea relativă va fi de 4%.

Măsurând aceeași tensiune cu un voltmetru cu o precizie mai mare, având $c=1.5$, dar deviația maximă $x_n=20V$, eroarea relativă va fi de 6%. Chiar dacă cel de al doilea voltmetru este mai precis decât primul, alegerea unei game de măsurare neconvenabile a condus la obținerea unei erori relative mai mari.

Eroarea aleatorie

Există situații în care trebuie implicate și erorile aleatorii: în măsurări de precizie ridicată (etalonări, verificări ale aparatelor de măsură) sau în măsurările curente când valoarea mărimii măsurate are fluctuații (măsurarea rezistenței de contact). În aceste situații se fac măsurări repetate și se prelucrează datele statistice.

Dacă considerăm modelul **Gauss** după care se repartizează erorile aleatorii și dacă $X_1 \dots X_n$ sunt rezultatele celor n măsurări ale aceleiași valori (n fiind cel puțin 50), putem spune:

- Media aritmetică a valorilor măsurate $\mu=(X_1 \dots X_n)/n$ aproximează cel mai bine valoarea adevărată.
- Eroarea individuală față de media calculată este $\delta X_i=X_i-\mu$
- Abaterea standard sau eroarea medie pătratică, care oferă o informație referitoare la dispersia rezultatelor față de medie se notează cu σ și este dată de radical din

media pătratică a erorilor individuale
 $\sigma = \sqrt{((\delta X_1)^2 + \dots + (\delta X_n)^2) / n}$

- **Eroarea asupra mediei.** Deoarece se utilizează un număr finit de măsurări, se introduce o eroare asupra mediei calculate: $\delta\mu = \pm q\sigma / \sqrt{n}$ (prin q se stabilește nivelul de încredere conferit. Astfel pentru un nivel de încredere de 68.3% $q=1$, pentru 95.5% $q=2$, iar pentru 99.73% $q=3$)

Corelarea erorilor cu incertitudinea de măsurare

Pentru aparatele analogice incertitudinea aparatului (ε_B) este dată de eroarea absolută maximă, supusă aleatorizării (transformare în variabilă aleatoare și cu grad de încredere) pentru a putea fi compusă cu eroarea aleatorie).

Deoarece eroarea poate lua orice valoare în intervalul $\pm \Delta X_{\max}$, cu aceeași probabilitate, se consideră alocabilă distribuția rectangulară. Pentru aceasta $\sigma = \Delta X_{\max} / \sqrt{3}$. Având abaterea medie pătratică se poate calcula $\delta X_{\max} = \pm q\sigma$ care reprezintă ε_B

$$\varepsilon_B = \pm q\sigma$$

Incetitudinea aleatorie este dată de eroarea asupra mediei.

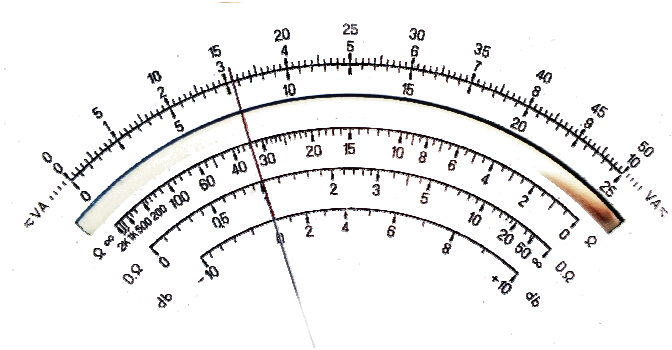
$$\varepsilon_A = \delta\mu$$

Rezultatul

Rezultatul se prescrie sub forma $\mu \pm \varepsilon$, având nivelul de încredere specificat la alegerea lui q .

De măsurat:

Să presupunem că pentru un aparat de măsură cheia comutatoare este fixată succesiv pe următoarele poziții: tensiune continuă 100V, curent alternativ 250mA, rezistență x10. Pentru poziția acului indicator din imagine să se stabilească valorile mărimilor măsurate.



Pentru poziția cheii comutatoare pe tensiune continuă de 100V, alegem scala de 10 diviziuni (10 diviziuni la capăt de scală)

Dacă la 10 diviziuni corespund 100V atunci la 3.1 diviziuni citite vor corespunde x volți (regula de trei simplă)

$$10 \text{ div} \dots\dots\dots 100 \text{ V}$$

$$3.1 \text{ div} \dots\dots\dots x \text{ V}$$

$$x = 3.1 \cdot 100 / 10 \text{ [V]}$$

Pentru poziția cheii comutatoare pe curent alternativ de 250mA, alegem scala de 25 diviziuni (25 diviziuni la capăt de scală)

Dacă la 25 diviziuni corespund 250mA atunci la 7.75 diviziuni citite vor corespunde x mA.

$$25 \text{ div} \dots\dots\dots 250 \text{ mA}$$

$$7.75 \text{ div} \dots\dots\dots x \text{ V}$$

$$x = 7.75 \cdot 250 / 25 \text{ [mA]}$$

Evident același rezultat îl obținem și dacă utilizăm altă scală, de exemplu cea de 10 diviziuni.

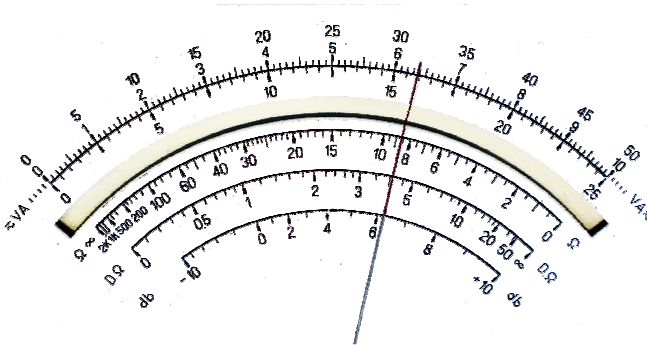
Dacă la 10 diviziuni corespund 250mA atunci la 3.1 diviziuni citite vor corespunde x mA.

$$\begin{aligned} 10 \text{ div} & \dots\dots\dots 250 \text{ mA} \\ 3.1 \text{ div} & \dots\dots\dots x \text{ mA} \end{aligned}$$

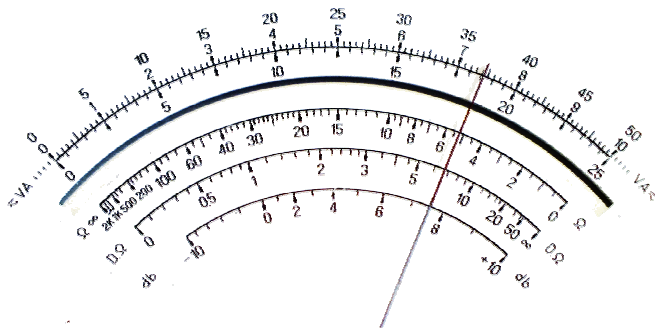
$$x = 3.1 \cdot 250 / 10 \text{ [mA]}$$

Pentru poziția cheii comutatoare pe rezistență x10, scala este cea de ohmi (Ω). La 34 de diviziuni citite va corespunde valoarea 34 x10 [Ω] = 340 [Ω]

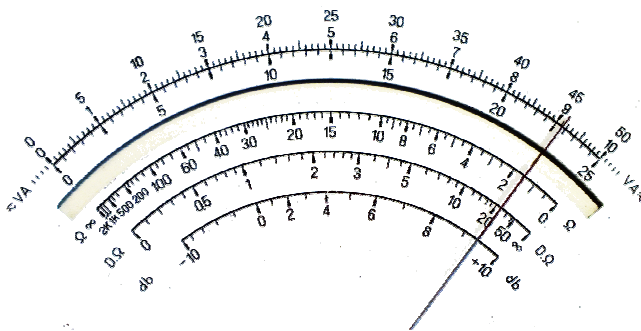
1. Pentru următoarele poziții ale cheii comutatoare să se calculeze valoarea indicată de acul inndicator: tensiune continuă 1V, curent alternativ 1A, rezistență x1k.



2. Pentru următoarele poziții ale cheii comutatoare să se calculeze valoarea indicată de acul inndicator: tensiune alternativă 250V, curent alternativ 25mA, rezistență x10k.



3. Pentru următoarele poziții ale cheii comutatoare să se calculeze valoarea indicată de acul inndicator: tensiune alternativă **250V**, curent alternativ **25mA**, rezistență **x1**.



4. Se realizează o shemă din 3 reostate reglabile montate în paralel. Se măsoară rezistența fiecărui reostat și se calculează rezistența echivalentă. Se stabilește tensiunea de alimentare astfel încât să nu fie depășit cuentul maxim admis atât de sursă cât și de fiecare reostat în parte.

Legea lui Ohm

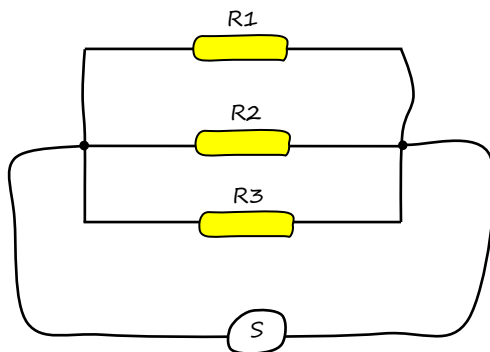
Intensitatea curentului electric printr-un rezistor este direct proporțională cu tensiunea aplicată și invers proporțională cu valoarea rezistenței: $I=U/R$

Legea I Kirchhoff

Suma intensităților curenților care intră într-un nod este egală cu suma intensităților curenților care ies din nod.

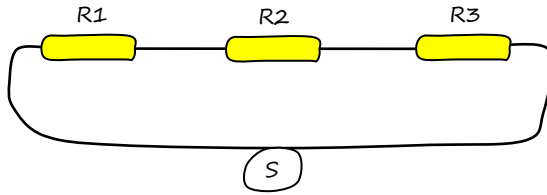
Legea II Kirchhoff

Pentru un ochi de rețea, suma tensiunilor surselor este egală cu suma căderilor de tensiune pe componentele fiecărei laturi.



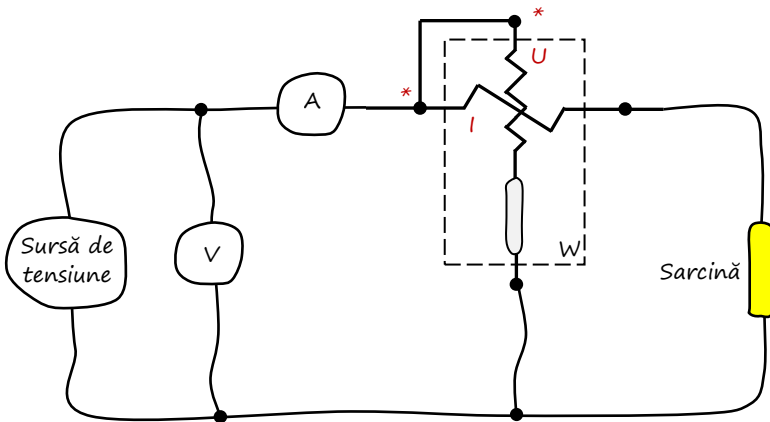
Se măsoară curentul care străbate fiecare rezistor în parte și se compară valoarea cu cea a curentului din circuitul sursei.

5. Se realizează o șemă din 3 reostate reglabile montate în serie. Se măsoară rezistența fiecărui reostat și se calculează rezistența echivalentă. Se stabilește tensiunea de alimentare astfel încât să nu fie depășit curentul maxim admis atât de sursă cât și de fiecare reostat în parte.



Se măsoară căderea de tensiune pe fiecare dintre reostate. Se compară valoarea obținută cu tensiunea sursei.

6. Să se realizeze o schemă de măsurare a puterii consumate de un reostat, utilizând un wattmetru, un voltmetru, un ampermetru și o sursă de alimentare.

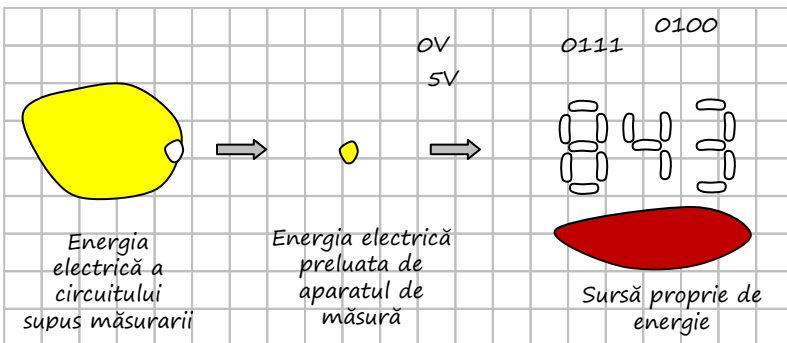


Cum măsurăm cu aparatele numerice

Ce este un aparat numeric?

Aparatele numerice sunt aparatele care transformă semnalul analogic supus măsurării într-o informație reprezentată numeric (0 și 1 logic materializate fizic prin nivele e tensiune).

Spre seosebire de aparatele electromecanice, cele numerice consumă o cantitate mult mai mică de energie din circuitul de măsurare, influențându-l mai puțin.



Dacă aparatele electromecanice nu necesită sursă proprie de energie (decât în cazul măsurărilor de rezistență), funcționarea aparatelor numerice este direct legată de existența acestei surse.

In cadrul acestei lucrări vom răspunde la următoarele întrebări:

Ce reprezintă numărul de digiți și numărul de counts?

Schimbarea domeniului de măsurare automat vs. Manual

Cum măsurăm cu multimetrul numeric?

Cum măsurăm cu puntea RLC (impedanțmetrul)?

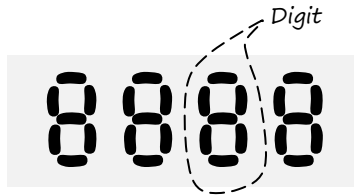
Cum măsurăm, cu wattmetrul numeric (Power Analyzer)?

Ce urmărim la un contor numeric?

Ce reprezintă numărul de digiți și numărul de counts?

Majoritatea producătorilor de aparate numerice utilizează specificații de tipul $3\frac{3}{4}$, $5\frac{1}{2}$. Pentru a înțelege semnificația unui termenului fracționar trebuie să vedem care este diferența dintre un digit fracționar și un digit întreg.

Afișarea unui număr pe ecranul aparatului, care reprezintă rezultatul măsurării, folosește mai multe celule în care pot fi reprezentate cifrele. O astfel de celulă se numește digit.



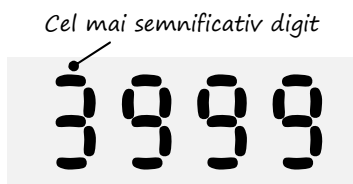
Un digit întreg poate afișa 10 stări diferite, corespunzătoare formării cifrelor de la 0 la 9. Un digit fracționar poate afișa mai puține stări. De exemplu, pentru un digit $\frac{1}{2}$ cifra maximă afișată este 1 iar numărul total de stări este 2 (starea 0 și starea 1). În mod asemănător, un digit $\frac{3}{4}$ va putea afișa cifra maximă 3 și va avea maxim 4 stări (0, 1, 2 și 3).

Din aceste exemple putem reține că semnificația informației fracționare este următoarea: valoarea maximă afișată/numărul total de stări. În aceste condiții, un aparat numeric cu $3\frac{3}{4}$ digiti va conține 3 celule cu digiti întregi și un digit fracționar de tipul $\frac{3}{4}$.

Digitul fracționar este întotdeauna cel mai semnificativ, adică ocupă poziția cea mai din stânga din șirul de digiti care formează numărul afișat pe ecran.



Valoarea maximă afișată pe un indicator de $3\frac{1}{2}$ digiti

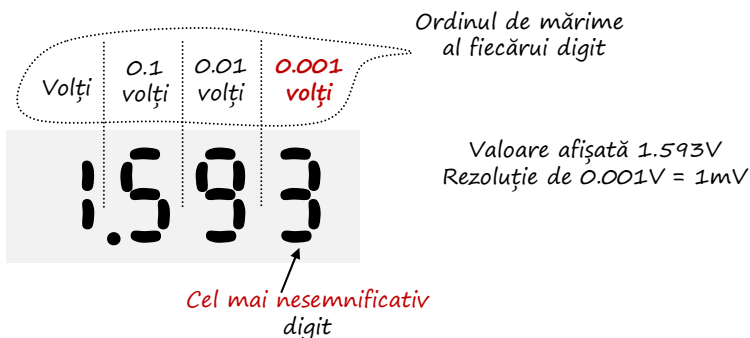


Valoarea maximă afișată pe un indicator de $3\frac{3}{4}$ digiti

Alături de specificația numărului de digiți se utilizează și Counts.

Counts reprezintă numărul total de stări pe care le poate genera șirul de digiti ca și combinație a stărilor individuale. Astfel, un indicator cu $3\frac{1}{2}$ digiti va avea 2000 de stări (de la 0000 la 1999) iar un indicator cu $3\frac{3}{4}$ va avea 4000 de stări (de la 0000 la 3999).

Cea mai mică variație a mărimii măsurate care poate fi detectată și afișată de către aparat se numește **rezoluție**.



Un voltmetru de $3\frac{1}{2}$ digiti pe gama de 2 volți poate afișa valoarea maximă de 1.999V. Rezoluția este dată de **ordinul de mărime** al digitului cel mai puțin semnificativ, în cazul de față 1mV.

În cazul voltmetrului de $3\frac{3}{4}$, pe gama de 4V vom întâlni o valoare maximă de 3.999V dar având aceeași rezoluție de 1mV.

Deși ambele voltmetre au aceeași rezoluție, cu ajutorul primului voltmetru nu putem măsura tensiuni mai mari de 1.999 cu o rezoluție de 1mV deoarece voltmetrul va trece pe următoarea scală și ca urmare se va modifica și rezoluția acestuia.

Pentru alegerea instrumentului cu care să se efectueze măsurătorile trebuie să corelăm rezoluția necesară cu valoarea maximă pe care dorim să o măsurăm. Astfel, o tensiune maximă de 1V cu

DE RETINUT

Nu toate specificațiile în counts au echivalență în număr de digiți.

În cazul în care producătorul oferă specificația în counts, schimbarea de gamă se face la afișarea acestei valori.

De exemplu un voltmetru cu specificația de 50000 counts va schimba gama de măsurare în vecinătatea lui 50000 și nu la 59999 cât i-ar permite digiții întregi să afișeze.

rezoluție de 1mV putem să o măsurăm cu ambele voltmetre deși $3\frac{1}{2}$ are doar jumătate de counts față de $3\frac{3}{4}$. Dar dacă vrem să măsurăm tensiune de 3V cu o rezoluție de 1mV, doar cel de al doilea voltmetru poate fi utilizat.

Măsurarea tensiunii de 3V poate fi realizată și pe primul voltmetru dar pe gama de 20V, unde se poate măsura valoarea maximă de 19.99V. În această situație rezoluția ar deveni 10mV.

Schimbarea domeniului de măsurare: automat vs. manual

Aparatele numerice permit schimbarea manuală sau automată a domeniului de măsurare.

Schimbarea manuală a domeniului de măsurare este identică cu selectarea poziției cheii comutatoare a aparatelor analogice unde trebuie stabilit atât mărimea măsurată cât și domeniul de măsurare.

În mod asemănător cu aparatele analogice și la cele numerice recomandarea este să se utilizeze primul domeniu de măsurare superior valorii măsurate.

De exemplu dacă utilizăm un multimetru cu gamele de măsurare: 2.00V; 20.0V și 200V și avem de măsurat 1V, această valoare poate fi măsurată pe oricare dintre gamele măsurate dar din punct de vedere al erorii cel mai indicat este să utilizăm gama superioară cea mai apropiată, adică 2.00V.

În cazul utilizării schimbării automate (auto ranging) trebuie selectată doar mărimea măsurată. Aparatul de măsură va selecta automat primul domeniu superior valorii măsurate.

DE RETINUT

La utilizarea **auto ranging** trebuie acordată atenție asupra simbolului cu ordinul de mărime afișat (mV vs V sau kV, Ω vs k Ω , M Ω sau G Ω)

De asemenea durează câteva secunde până aparatul stabilește automat gama de măsurare.

Cum măsurăm cu multimetrul numeric?

Multimetrul numeric este un aparat de măsură care permite determinarea valorilor unor mărimi precum: tensiune continuă și alternativă, curent continuu și alternativ, rezistență, continuitate, frecvență, capacitate. De asemeni poate testa diode și tranzistoare.

Există două tipuri principale de multimetre, de valoare medie (average responding) și de valoare efectivă (true RMS – root mean square)

Multimetrele de valoare medie măsoară valoarea medie pe o semiperioadă și transformă această valoare în valoare efectivă prin înmulțirea cu 1.11 (specific semnalului sinusoidal !!!).

Atât pentru semnale continue cât și pentru sinusoidale acest tip de aparat va furniza valori corecte. Astfel măsurarea curentului pentru sarcini liniare (reostate, becuri cu incandescență, etc.) se realizează în bune condiții. Dacă forma de undă nu mai este sinusoidală, măsurările vor fi însoțite de erori importante (cazul sarcinilor neliniare precum surse în comutație, echipamente în regim saturat)

Multimetrele true RMS măsoară corect valoarea efectivă, ca echivalență în continuu, pentru orice formă de semnal periodic în limitele impuse de specificațiile tehnice referitoare la domeniul de frecvență.

Măsurarea tensiunii

Există o varietate de domenii de tensiuni utilizate pentru funcționarea electrocasnicelor și a echipamentelor industriale.

Toate țările din Europa și majoritatea din America de Sud, Africa și Asia furnizează energie cu tensiune de 230V, alternativă (230V valoare efectivă a tensiunii sinusoidale monofazate).

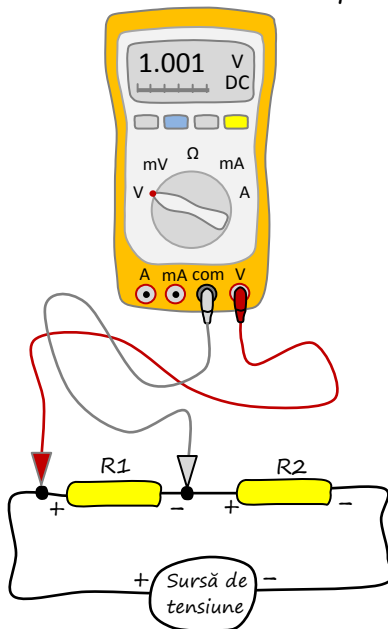
Japonia, America de Nord și câteva regiuni ale Africii de Sud utilizează tensiune de 110V.

Dacă tensiunea de la priză este alternativă, o sursă clasică de tensiune continuă este cea de la o baterie. O parte din dispozitivele conectate la priză realizează conversia tensiunii alternative în tensiune continuă pentru a funcționa (televizoare, calculatoare, echipamente audio etc). Verificarea valorii tensiunii de alimentare este primul pas în depanarea unui dispozitiv care nu funcționează corespunzător.

Pentru măsurarea tensiunii se selectează tensiune alternativă $V \sim$ (AC) sau continuă $V =$ (DC), după caz, se conectează sonda neagră la COM și sonda roșie la V. Dacă se utilizează schimbarea manuală a domeniului de măsurare se selectează valoarea maximă. La măsurarea în continuu, pentru citirea polarității, (+) sonda roșie trebuie conectată la partea pozitivă a componentei de circuit măsurat. Dacă sondele sunt inversate, multimetrul va afișa o tensiune negativă.

O greșeală frecvent întâlnită la măsurarea tensiunii este lăsarea sondelor conectate pentru o măsurare de curent și efectuarea unei măsurări de tensiune.

În această situație o cădere mare de tensiune se va încheie pe un șunt (al configurației aparatului pentru măsurarea curentului) de valoare mică a rezistenței/impedanței, generând un curent neadecvat de mare și ducând la deteriorarea aparatului de măsură și la realizarea unui scurt circuit pentru circuitul măsurat. Un astfel



de curent extrem poate fi obținut la măsurarea unei tensiuni de 230V cu sondele fixate pentru măsurarea de curent.

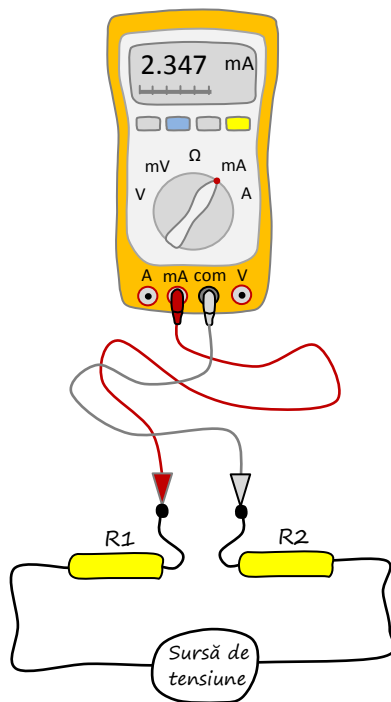
Măsurarea curentului

Pentru măsurarea curentului se selectează curent alternativ sau continuu după caz, și se conectează sonda neagră la COM și sonda roșie la A sau mA după cum a fost selectat domeniul de măsurare.

La unele aparate, în partea inferioară a ecranului există o bară de afișare a valorii măsurate, care este asemănătoare scalei aparatelor analogice în sensul că informația este prezentată față de capătul de scală.

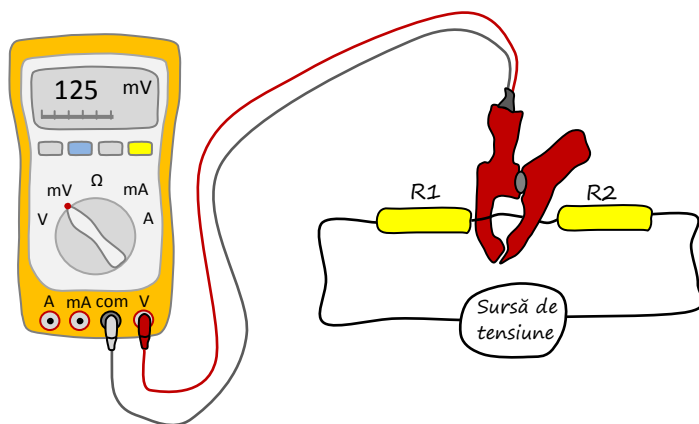
Operatorul observă valoarea măsurată ca un segment de bară relativ la întreaga bară care reprezintă gama de măsurare.

Răspunsul obținut la schimbarea valorilor mărimii măsurate este mult mai rapid decât cel afișat, această rapiditate bazându-se pe precizia redusă de măsurare a barei grafice. Bara grafică este prezentă nu numai la măsurarea curentului ci la toate mărimile disponibile la aparat.



Există cazuri când este necesar măsurarea unui curent mai mare decât permite domeniul maxim al aparatului. În aceste cazuri se utilizează un clește de curent. Măsurarea cu cleștele de curent conduce la obținerea unei precizii scăzute dar nu necesită

întreruperea circuitului, cleștele având posibilitatea de a se monta în jurul conductorului.



Principiul de funcționare este bazat pe efectul Hall. Uzual, ieșirea unui senzor Hall este de 1mV pentru un amper măsurat (1mV/A). De exemplu un curent de 100A este transformat într-o tensiune de 100mV .

Cleștii de curent cu efect Hall funcționează atât în curent continuu cât și în alternativ, spre deosebire de utilizarea transformatoarelor de curent care funcționează doar în alternativ.

Cleștele de curent având ca mărime de ieșire tensiunea, se conectează la multimetru la fel ca la conectarea sondelor la măsurare a tensiunii.

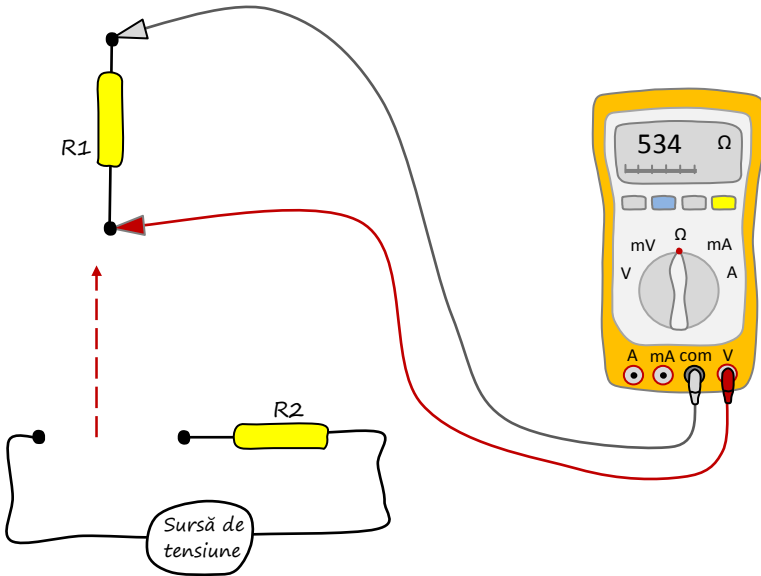
Cleștii de curent măsoară inducția câmpului magnetic din jurul conductorului. Valoarea inducției fiind proporțională cu curentul care străbate conductorul, măsurarea curentului este realizată indirect. Cleștele de curent poate fi montat pe firul cald sau pe cel rece dar în nici un caz nu cuprinde ambele conductoare. Dacă ambele conductoare sunt în interiorul cleștelui, multimetrul va indica valoare zero deoarece cele două

conductoare fiind parcurse de curenți cu sensuri opuse, efectul lor se anulează reciproc.

Măsurarea rezistenței

Măsurarea rezistenței se face doar la componentele neconectate în circuit, deoarece operația de măsurare implică trecerea unui curent prin rezistor și măsurarea căderii de tensiune de pe acesta.

Valoarea rezistenței este calculată pe baza legii lui Ohm, știind valoarea curentului generat și a tensiunii măsurate.

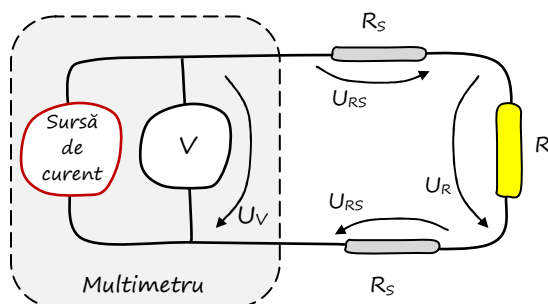


Măsurarea rezistenței este utilizată și pentru testarea continuității. Un circuit deschis va avea o rezistență infinită pe când un scurt circuit (legătură metalică) va avea o rezistență foarte mică. Majoritatea multimetrelor sunt prevăzute cu un

generator de sunet care indică continuitatea (rezistentă mai mică de un anumit prag).

Deoarece la măsurarea rezistenței, multimetrul măsoară tensiunea la bornele elementului de circuit (la aplicarea unui curent constant prin sursa de curent), conectarea sondelor se face în mod similar măsurării tensiunii.

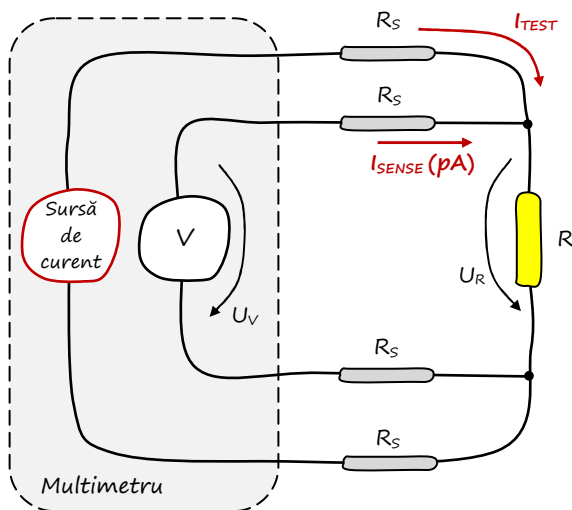
Curentul debitat de sursă realizează la nivelul sondelor o cădere de tensiune, pe baza rezistenței proprii a acestora. În cazul în care se măsoară **rezistențe de valoare mică**, rezistența proprie a sondelor devine o sursă puternică de eroare.



În această situație, voltmetrul va măsura atât căderea de tensiune U_R de pe R cât și căderile de tensiune U_{RS} de pe sonde (evident și la măsurarea rezistențelor mari este măsurată rezistența sondelor dar aceasta fiind mult mai mică decât a rezistenței investigate, poate fi neglijată).

În mod uzual, rezistența sondelor variază între $10\text{m}\Omega$ și 1Ω . Asta înseamnă că la măsurarea unui rezistor de 1Ω cu sonde care totalizează împreună 1Ω vom avea o eroare de 100%.

Multimetrele performante au posibilitatea de a măsura valorile mici ale rezistențelor prin 4 fire (Metoda Kelvin).



În această configurație, sursa de curent va furniza prin două sonde separate curentul de test I_{TEST} , care va străbate rezistorul măsurat iar voltmetrul va măsura căderea de tensiune cu alte două sonde.

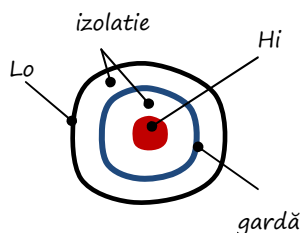
Impedanța internă mare a voltmetrului și separarea circuitului acestuia de cel prin care circulă un curent mare (I_{TEST}) face ca curentul I_{SENSE} care circulă prin sondele voltmetrului să fie foarte mic, de ordinul pA. În această situație căderea de tensiune pe sondele voltmetrului devine foarte mică și rezistența acestora devine neglijabilă, voltmetrul măsurând o tensiune $U_V = U_R$.

Tensiunile termoelectromotoare de contact care apar în zona contactelor pot fi o sursă importantă de erori în măsurarea rezistențelor de valori mici. Înlăturarea acestor tensiuni perturbatoare se poate realiza prin inversarea polarității sursei de curent (medierea a două măsurători de tensiune cu polarități diferite ale sursei), sau prin metoda de calibrare a zeroului.

Metoda de calibrare a zeroului presupune realizarea tot a doua măsurări, una în care sursa de curent debitează curentul de lucru și cea de a doua măsurare în care sursa de curent este oprită. Astfel, voltmetrul va măsura la prima determinare căderea de tensiune de pe rezistența măsurată plus căderea de tensiune de pe sursa de tensiune termoelectrică, iar la a doua determinare doar tensiunea termoelectrică. Calcularea diferenței tensiunilor celor două determinări va avea ca rezultat eliminarea influenței tensiunii termoelectrice și obținerea valorii căderii de tensiune de pe rezistența măsurată.

Un alt caz extrem în măsurarea rezistenței o reprezintă **măsurarea rezistențelor de valoare mare.**

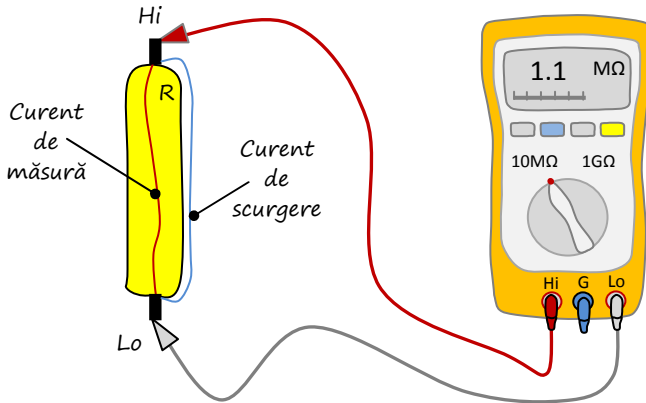
Specific măsurării rezistențelor mari (a rezistenței de izolație) este utilizarea circuitului de gardă. Circuitul de gardă (gardarea) înlătură erorile cauzate de curenții care se scurg prin izolația cablurilor între firul cald și rece (H_i și L_o). Se pune această problemă deoarece rezistența măsurată are valoare apropiată de cea a izolației sondei.



Garda reprezintă un circuit aflat la același potențial ca și borna H_i și este reprezentată fizic la un aparat prin cea de a treia bornă, marcată cu G . Aceasta nu trebuie confundată cu borna de împământare prezentă la unele aparate pe panoul frontal.

Garda este marcată pe conductoare cât și pe bornă prin culoarea **albastră**.

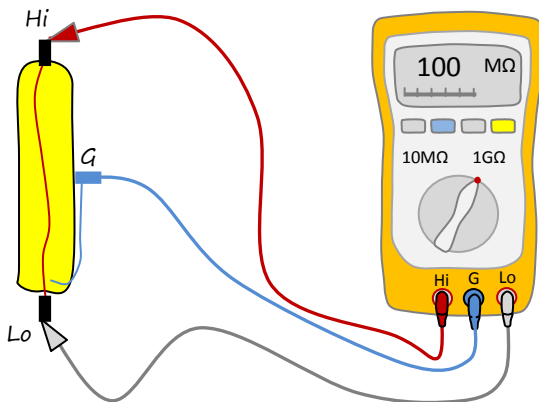
Dacă atât conductorul H_i cât și G se află la același potențial, atunci între aceste două elemente nu va mai exista circulație de curent. Curentul de scurgere dintre gardă și L_o este furnizat de circuitul de gardă și nu influențează procesul de măsurare. Cablurile de legătură care permit realizarea unei astfel de configurații sunt cele triaxiale.



Proprietatea circuitului de gardă de a reprezenta o cale de scurtcircuitare a unui curent de scurgere, poate avea multiple utilizări practice.

În cazul măsurării rezistenței de izolație a izolatoarelor, curentul de scurgere este curentul care se închide între bornele conductoare, prin suprafața externă a izolatorului. Rezistența de scurgere, pe care o străbate curentul de scurgere, se află în paralel cu rezistența măsurată. Dacă se realizează două măsurări, una cu conductor de gardă și alta fără conductor de gardă atunci se va putea interpreta gradul de impurificare cu particule conductoare a suprafeței exterioare a izolatorului.

Pentru exemplificare, considerăm un izolator care este supus măsurării. Dacă suprafața exterioară a acestuia este impurificată cu particule conductoare atunci aceasta poate realiza o cale de scurgere a curentului de măsură.

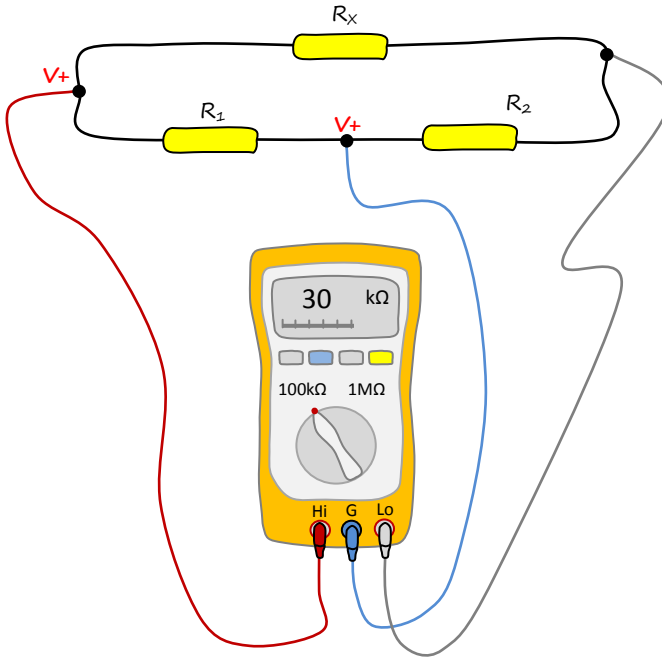


Dacă valoare rezistenței izolatorului este de $100\text{M}\Omega$ și cea a rezistenței se scurgere, desemnată de suprafața contaminată, este de $1\text{M}\Omega$, atunci valoarea măsurată fără circuitul de gardă va fi de doar de $1.1\text{M}\Omega$.

Conectarea suprafeței izolatoare la circuitul de gardă are ca efect înlăturarea influenței curentului de scurgere asupra rezultatului măsurării și măsurarea valorii de $100\text{M}\Omega$.

O altă aplicație a circuitului de gardă o reprezintă măsurarea rezistorilor montați pe cablaj cu rezistoare în paralel (de șuntare). Metoda constă în aplicarea prin intermediul circuitului de gardă a unui potențial egal cu cel al conductorului HI, pe traseul de șuntare.

Să presupunem că rezistența măsurată R_x are pe cablaj, în paralel, două rezistențe în serie, R_1 și R_2 . Cele două rezistențe vor șunta rezistența măsurată, rezultatul măsurării directe, fără conductor de gardă fiind unul eronat.



Utilizarea circuitului de gardă va permite să se aplice același potențial punctului comun dintre R_1 și R_2 , astfel încât pe traseul de șuntare să nu existe circulație de curent.

Conductorul de gardă forțează punctul comun la același potențial cu Hi, curentul cerut de R_2 fiind furnizat de către amplificatorul de gardă fără influențarea circuitului de măsurare.

Măsurare capacității

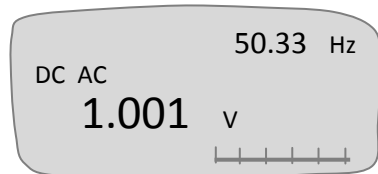
Majoritatea multimetrelor măsoară capacități cuprinse între câțiva picofarazi și microfarazi. Trebuie precizat faptul că măsurarea capacității cu multimetrul diferă din punct de vedere al informațiilor furnizate față de o măsurare cu o punte RLC.

Multimetrul utilizează o sursă de curent de valoare cunoscută pentru încărcarea condensatorului măsurat și urmărește rata de încărcare a acestuia pentru a putea calcula capacitatea ($I=C \cdot dV/dt$).

Pentru măsurarea precisă a capacității se utilizează punți RLC care pot furniza parametri de caracterizare precum:

Facilități ale multimetrelor numerice

În funcție de complexitatea aparatului, acestea pot avea implementate diverse funcții care facilitează operațiile de monitorizare ale mărimii măsurate. Astfel există funcții precum: HOLD, MIN-MAX, RELATIVE, DC+AC etc. De asemenea poate exista posibilitatea afișării unor informații pe un afișor secundar (de exemplu afișarea principală poate fi valoarea tensiunii alternative iar cea secundară frecvența acesteia, componenta continuă sau valoarea în dBm).



Funcția HOLD permite blocarea valorii afișate în scopul notării acesteia.

Funcția MIN-MAX menține afișată valoarea minimă sau maximă (după cum a fost selectată funcția) la variații ale mărimii măsurate. De câte ori se obține un nou minim sau maxim, valoarea afișată este înlocuită cu cea nou obținută.

Funcția RELATIVE permite memorarea unei valori curente, la apăsare, după care se afișează diferența dintre valoarea măsurată și valoarea memorată.

DC+AC permite măsurarea tensiunilor alternative sau a curenților alternativi incluzând și componenta continuă.

Cum măsurăm cu puntea RLC (impedanțmetru)

Puntea RLC este un aparat utilizat pentru caracterizarea bobinelor și condensatoarelor (în curent alternativ). Puntea utilizează una sau mai multe valori de frecvență selectabile și fixe pentru o determinare.

Deși puntea RLC poate afișa o multitudine de parametri, o pereche sunt suficienți pentru a caracteriza complet la o frecvență data, o bobină sau un condensator.

Nu contează exprimarea, dacă este carteziană sau polară, dacă se referă la impedanțe sau admitanțe, o singură pereche de parametri este suficientă: (R_s-X_s) sau (R_p-X_p) sau (G_s-B_s) sau (G_p-B_p) sau ($|Z| - \varphi$) sau ($|Y| - \varphi$).

Astfel, pentru a realiza schema echivalentă a unei impedanțe se folosesc 2 elemente de circuit, conectate între ele în serie sau în paralel. Valorile celor două elemente de circuit depind de tipul de conectare aleasă și toate valorile parametrilor de caracterizare se modifică dacă se modifică valoarea frecvenței.

Cunoscând valorile elementelor unui tip de conectare (serie sau paralel) se pot determina matematic valorile elementelor pentru celălalt tip de conectare (paralel sau serie)

Impedanta (Z) reprezintă opoziția totală a unui circuit la trecerea unui curent alternativ. Valoarea acesteia se modifică odată cu modificarea valorilor componentelor de circuit și cu schimbarea frecvenței curentului.

Impedanța unui circuit poate include rezistența (R), reactanța inductivă (X_L) și reactanța capacitivă (X_C), sumarea acestor elemente fiind una vectorială.

Intr-un circuit de curent continuu, rezistența unui element de circuit este egală cu raportul dintre tensiunea aplicată și curentul rezultat $R=U/I$. Dacă un circuitul alternativ

conține doar reostate atunci rezistența este determinată tot de legea lui Ohm.

Dacă circuitul conține și bobine și/sau condensatoare atunci se calculează impedanța $Z = U/I$. Impedanța este un număr complex care are componentă reală R și componentă imaginară jX ; $Z=R+jX = R+j(X_L - X_C)$, unde X este reactanța.

Reactanța (X) este pentru un condensator sau o bobină în curent alternativ ceea ce este rezistența electrică pentru un reostat. Altfel spus reactanța arată cât de mult se opune un condensator sau o bobină la trecerea unui curent alternativ.

Reactanța poate fi inductivă (cazul bobinelor X_L) sau capacitivă (cazul condensatoarelor X_C) și se măsoară, la fel ca și rezistența electrică, în ohmi [Ω].

Reactanța se manifestă doar dacă curentul din circuit este variabil în timp și se modifică la modificarea frecvenței curentului din circuit.

- $X_L = \omega L = 2\pi fL$, unde L este inductanța bobinei sau inductanța echivalentă (în cazul în care circuitul conține mai multe bobine). Se exprimă în H (henry);
- $X_C = 1/\omega C = 1/2\pi fC$, unde C este capacitatea condensatorului sau capacitatea echivalentă (în cazul în care circuitul conține mai multe capacități). Se exprimă în F (farazi).

Dacă pentru o inductanță curentul este defazat cu 90° în urma tensiunii, în cazul capacității, curentul este defazat cu 90° în fața tensiunii. Referința de sens este sensul trigonometric.

Scheme echivalente serie vs. paralel

Care parametri ar trebui mășurați, serie sau paralel? Depinde de caracteristicile componentelor reale de circuit și în primul rând de pierderile de energie.

Toate componentele de circuit sunt în realitate rețele complicate de rezistente, inductanțe și capacități. Un model ideal ar fi acela al cărui parametri se modifica cel mai puțin cu modificarea frecvenței în domeniul utilizat.

Bobinele reale, cu pierderi, la alimentarea în tensiune alternativă vor avea curentul defazat în urma tensiunii cu un unghi mai mic de 90° .

Complementarul acestui unghi, față de 90° se numește unghi de pierderi și se notează δ .

Bobina reală poate fi echivalată cu o bobină ideală în serie sau în paralel cu o rezistență care reprezintă pierderile în înfășurarea și în miezul bobinei.

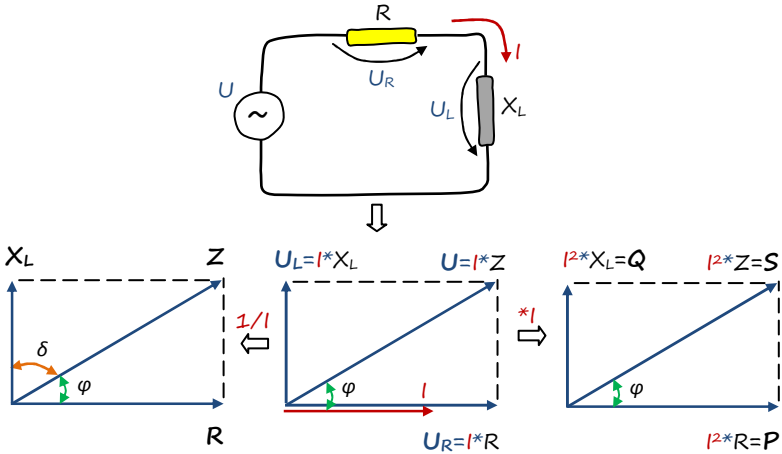
Condensatoarele reale, cu pierderi, la alimentarea în tensiune alternativă vor avea curentul defazat înaintea tensiunii cu un unghi mai mic de 90° .

Complementarul acestui unghi, față de 90° se numește unghi de pierderi și se notează δ .

Condensatorul real poate fi echivalat cu un condensator ideal în serie sau în paralel cu o rezistență care reprezintă pierderile în dielectric.

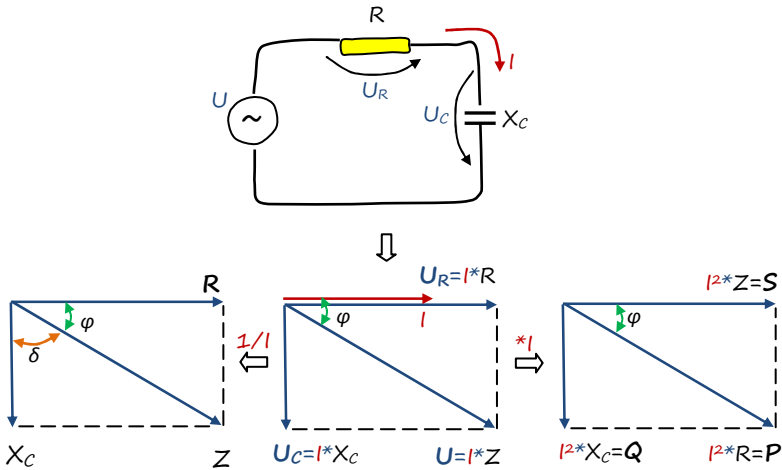
Schema echivalentă serie

În cazul schemei echivalente serie, curentul este comun pentru ambele componente și se consideră fazor de referință. Tensiunea pe rezistență nu prezintă defazaj față de curent, dar tensiunea de pe bobina ideală este defazată cu 90° de grade înainte față de curent. În continuare prezentăm diagrama de tensiuni pentru un circuit serie RL.



Dacă înmulțim fazorii de tensiune cu valoarea curentului vom obține diagrama de putere iar dacă împărțim la valoarea curentului vom obține diagrama de impedanțe.

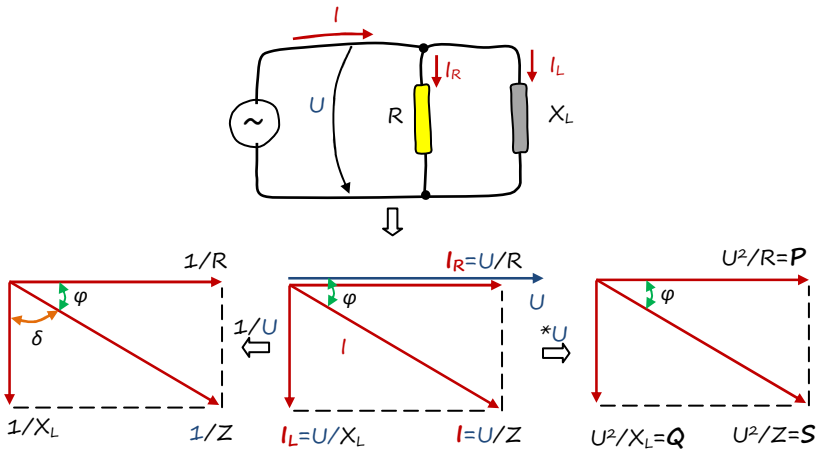
În cazul unui circuit serie RC, curentul va fi defazat înaintea tensiunii.



De asemenea, ca și în exemplul precedent, dacă înmulțim fazorii de tensiune cu valoarea curentului vom obține diagrama de putere iar dacă împărțim la valoarea curentului vom obține diagrama de impedanțe.

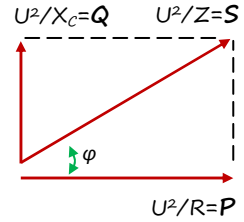
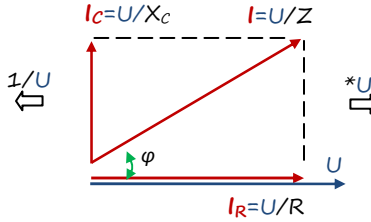
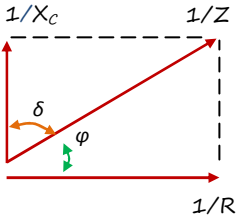
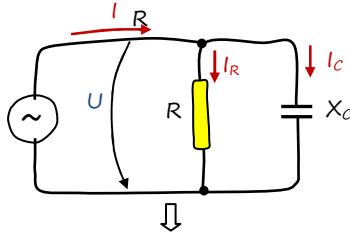
Schema echivalentă paralel

Pentru schema echivalenta paralel, tensiunea este comună pentru ambele componente și se considera fazor de referință. Curentul care străbate rezistența nu prezintă defazaj față de tensiune, dar curentul care străbate bobina ideala este defazat în urmă cu 90° față de tensiune. In continuare prezentăm diagrama de curenți pentru un circuit paralel RL.

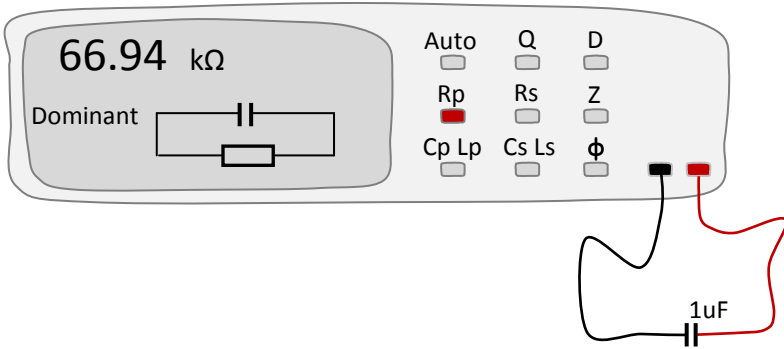


Dacă înmulțim fazorii de curent cu valoarea tensiunii vom obține diagrama de putere iar dacă împărțim la valoarea tensiunii vom obține o diagrama cu inversul impedanței.

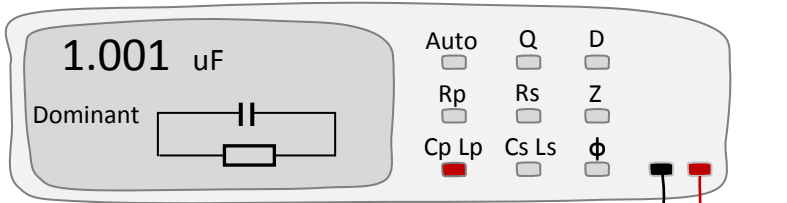
In cazul unui circuit paralel RC, curentul va fi defazat înaintea tensiunii.



Puntea RLC permite selectarea de către utilizator a parametrilor care să caracterizeze componenta investigată.

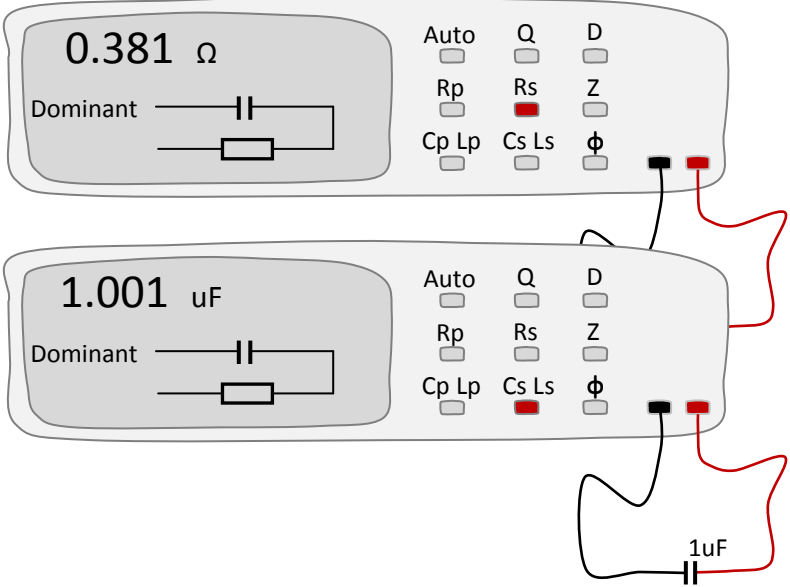


De exemplu un condensator de 1uF este caracterizat în schemă echivalentă paralelă de o rezistență $R_p=66.94\text{k}\Omega$ și de o capacitate dominantă a schemei de 1.001uF



Pentru același condensator pot fi determinați și parametrii pentru schema echivalentă serie.

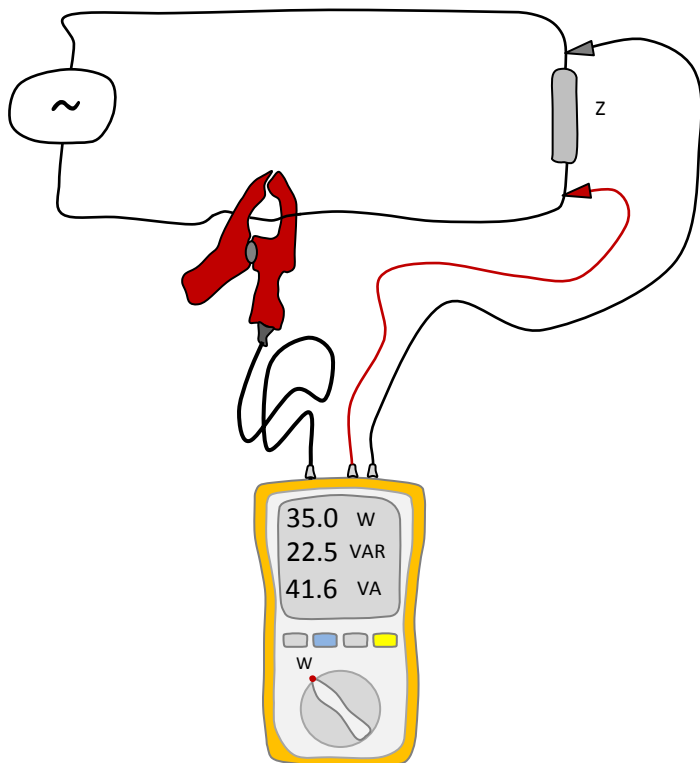
Acest lucru se poate face prin calcul sau dacă configurația punții RLC permite, direct prin selectarea acestora de pe panoul frontal.



Cum măsurăm cu wattmetrul numeric (Power Analyzer) ?

Acest tip de aparate numerice furnizează un spectru larg de informații, pornind de la tensiuni, curenți și puteri, și

mergând până la spectru de frecvență. Aparatul posedă sonde pentru preluarea tensiunii și clește pentru preluarea curentului.



Deoarece principala funcție este cea de wattmetru, vom discuta în continuare despre tipurile de putere.

Puterea electrică este egală cu produsul dintre tensiune și curent ($P=UI$ și se exprimă în watt). Acest lucru este valabil în curent continuu sau în alternativ dacă nu există defazaj între tensiune și curent (cazul în care circuitul este alcătuit doar din reostate).

Dacă ținem cont că fiecare componentă de circuit conține și inductanțe sau capacități parazite, deci și reostatele, atunci formula ar fi valabilă doar în curent continuu. În circuitele de joasă frecvență cum e de exemplu cel de alimentare cu energie de 230V la 50Hz, efectul parazit poate fi neglijat.

Dacă discutăm despre putere în cadrul circuitelor sinusoidale în care sunt prezente și elemente de circuit precum bobine sau condensatoare atunci trebuie să discutăm despre putere activă, putere reactivă și putere aparentă.

Puterea activă este puterea reală consumată de circuit, de către partea rezistivă a circuitului. Puterea activă este egală cu produsul valorilor efective ale tensiunii și curentului și a cosinusului defazajului: $P=UI\cos\phi$ și se exprimă în **W** (Watt).

Puterea activă este singura putere care poate fi transformată în alte forme: energie termică, energie mecanică sau de radiație (propagarea câmpului electromagnetic)

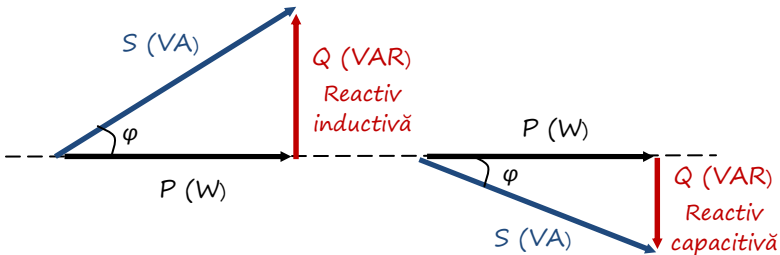
Puterea reactivă reprezintă produsul dintre valorile efective ale tensiunii și intensității și a sinusului defazajului dintre tensiune și curent: $Q=UI\sin\phi$ și se exprimă în **VAR** (volt ampere reactiv).

Puterea reactivă este legată de energia acumulată în elementele reactive de circuit L , C . La nivelul bobinei se acumulează energia reactivă sub forma de energie a câmpului magnetic, iar la nivelul condensatorului sub forma de energie a câmpului electric. Energia acumulată poate fi cedată integral în alte momente de timp față de cele în care s-a acumulat.

Existența puterii reactive la un consumator implică o circulație de curent mai mare pe liniile de alimentare, decât curentul care ar fi necesar pentru asigurarea aceleiași puteri active dar fără putere reactivă.

Puterea aparentă include atât puterea activă cât și cea reactivă și se calculează ca produs între valorile efective ale tensiunii și curentului. $S=UI$ și se exprimă în **VA** (volt-ampere)

Legătura dintre cele trei puteri este una vectorială și este valabilă doar în tensiune și curent sinusoidal.



Puterea aparenta la pătrat este egala cu suma pătratelor dintre puterea activa si reactiva.

În funcție de unghiul de defazaj dintre tensiune și curent exista următoarele situații particulare:

- $\varphi = 0$, când circuitul este format numai din rezistoare sau la rezonanța când $X_L = X_C$, $Q = 0$. Puterea activa este maxima.
- $\varphi = \pi/2$, când circuitul este format numai din bobine ideale. Puterea reactiva este maxima înmagazinată în câmpul magnetic, iar puterea activa este nula.
- $\varphi = -\pi/2$, când circuitul este format numai din condensatoare. Puterea reactiva este maxima înmagazinată în câmpul electric, iar puterea activa este nula, similar cazului precedent.

Pentru toate aparatele numerice care furnizează valorile de P, Q și S , cu siguranță informațiile referitoare la P și S sunt corecte. Nu același lucru se poate spune și despre Q .

Pentru a ști dacă puterea reactivă este determinată corect trebuie să stabilim dacă măsurarea s-a realizat în regim sinusoidal sau în regim deformant.

Există două posibilități:

- observăm că nu se îndeplinește relația de legătură dintre puteri, adică $P^2+Q^2 \neq S^2$. Asta înseamnă că lucrăm în deformant, aparatul măsoară corect puterile, inclusiv pe cea reactivă, iar diferența $S^2 - (P^2+Q^2)$ se regăsește în puterea deformantă. **Puterea deformantă** este definită pentru nesinusoidal și este egală cu radical din suma pătratelor perechilor curent-tensiune de valori efective ale armonicilor de rang diferit. $S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$, Se măsoară în volt amper deformant (VAD)
- dacă verificăm și observăm că este îndeplinită legătura dintre cele trei puteri $P^2+Q^2=S^2$, atunci ori suntem în sinusoidal și aparatul măsoară corect cele 3 puteri sau suntem în deformant și aparatul nu măsoară corect puterea reactivă. Algoritmul aparatului determină independent P și S iar pe Q îl determină din cele două puteri determinate independent, pe baza legăturii din triunghiul puterilor. În această situație puterea deformantă va fi cuprinsă în puterea reactivă.

Ținând cont de cele două cazuri prezentate mai sus este evident că dacă $P^2+Q^2=S^2$ trebuie să investigăm spectrul de frecvență al tensiunii și curentului pentru a ști dacă suntem în sinusoidal sau în deformant. Ne aflăm în deformant dacă cel puțin curentul sau tensiunea este deformată. Semnalele de tensiune sau curent sunt deformate dacă prezintă și armonici pe lângă fundamentală.

Există o multitudine de aparate produse de firme de prestigiu care nu măsoară corect puterea reactivă în

deformant, valoarea puterii reactive conținând și valoarea puterii deformante.

În cazul curenților puternic deformați, puterea deformanta este cu mult mai mare decât puterea reactivă. Astfel de cazuri întâlnim de exemplu la electrocasnicele care au sursă în comutație (televizoare, sisteme audio) sau la calculatoarele (desktop, sau la alimentatoarele telefoanelor mobile, ale tabletelor, laptopurilor etc).

Factorul de putere ($\cos \varphi$)

Factorul de putere reprezintă raportul dintre puterea activă și cea aparentă. Fiind un raport între două mărimi de aceeași natură, înseamnă că factorul de putere este o mărime adimensională. Aceasta poate lua valori de la 0 la 1. În cazurile extreme, valoarea 0 înseamnă că în circuit nu avem decât componente pur reactive și putere reactivă, iar valoarea 1 înseamnă că în circuit nu avem decât elemente pur rezistive (sau reactive care se compensează reciproc, puterea reactivă fiind 0) și putere activă.

Ce urmărim la un contor numeric?

Deși principiul de funcționare al contorului numeric este diferit de cel al contorului de inducție, contorul numeric fiind bazat pe componente electronice, modalitatea de conectare în circuitul de măsură este aceeași.

Specific contoarelor numerice este atât existența unui port de ieșire în infraroșu (IrDA – Infrared Data Association) pentru transmisia datelor de facturare, securitate și stare cât și posibilitatea controlării tarifării. Tarifarea poate fi diferită în funcție de perioada din zi în care se realizează consumul. Astfel energia consumată poate avea un preț pentru perioada de noapte (de luni până vineri între orele 22:00–7:00, precum și de vineri de la ora 22:00 până luni ora 7:00) și un alt preț pentru perioada de zi (de luni până vineri între 7:00 și 22:00).

Scopul acestei tarifări diferențiale este de a echilibra consumul național în sensul stimulării consumului de noapte prin aplicarea unui preț mai mic în această perioadă.

Afișajul contoarelor numerice permit afișarea mai multor parametri, precum: indexul curent de energie (pe fiecare tarif pentru contoarele cu două tarife), test de punere sub tensiune, indicator de funcționare în sens invers, codul erorii apărute în funcționare etc.

Dacă la contoarele de inducție pe cadran este specificat numărul de rotații pe kWh, la cele numerice se specifică numărul de impulsuri pe kWh. Impulsurile pot fi urmărite prin intermediul LED-ului montat pe cadran. Majoritatea contoarelor utilizează 1000 imp/kWh. Aceasta înseamnă că LED-ul va emite 1000 de impulsuri luminoase pentru fiecare kWh.

De exemplu dacă avem un consumator constant cu putere de 1000W adică 1kW, în timp de o oră (3600 secunde) LED-ul va emite 1000 de impulsuri, deci el va emite câte un impuls la fiecare $3600/1000=3.6$ secunde.

Dacă LED-ul emite un puls la 7.2 secunde atunci corespondentul în putere va fi $3600/(7.2*1000)= 0.5$ kW

Incertitudinea de măsurare la aparatele numerice

Incertitudinea de măsurare se determină asemănător cu modalitatea prezentată la aparatele analogice.

Astfel dacă considerăm incertitudinea compusă din incertitudinea de tip A și B, specifice incertitudinii aleatorii și incertitudinii introduse de aparatul de măsură atunci se poate prescrie incertitudinea de măsurare, căreia i se atribuie un anumit nivel de încredere.

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_A^2 + \varepsilon_B^2}$$

Să urmărim procedura de calcul a erorilor aleatoare și a erorilor introduse de aparatul de măsură după care vom vedea care este modalitatea de corelare a acestora cu incertitudinea de măsurare.

Eroarea aparatului de măsură

În cadrul aparatelor numerice există două modalități de exprimare a erorilor și se referă la eroarea maximă tolerată a aparatului.

În prima variantă, valoarea erorii se calculează în funcție de valoarea citită și de capătul de scală, ca procent din acestea. Astfel, dacă CT este valoarea citită iar CS este capătul de scală, atunci eroarea tolerată va fi:

$$\varepsilon_t = \pm(a\%CT + b\%CS)$$

Coeficienții a și b se găsesc în cartea tehnică a aparatului și sunt specifici fiecărei game a fiecărei mărimi măsurate. În alternativ acești coeficienți depind și de frecvența semnalului.

În cea de a doua variantă se face apel la rezoluția aparatului, eroarea calculându-se ca procent din valoarea citită și un anumit număr de unități ale celei mai puțin semnificative cifre a afișajului (LSB), corespunzătoare gamei utilizate. Această unitate a celei mai puțin semnificative cifre este de fapt rezoluția aparatului pe gama de măsură utilizată:

$$\varepsilon_t = \pm(a\%CT + n \text{ cifre})$$

Eroarea aleatorie

Deoarece modelul de distribuție Gauss necesită cel puțin 50 de măsurători, iar reducerea numărului din considerente de timp duce și la modificarea lui σ . În acest caz se utilizează

distribuția Student, iar parametrii definiți la distribuția Gauss devin:

- Estimarea media aritmetică a valrilor măsurate $m = (X_1 \dots X_n)/n$
- Eroarea individuală față de media calculată este $\delta X_i = X_i - m$
- Estimarea abaterii standard, $\sigma = \sqrt{((\delta X_1)^2 + \dots + (\delta X_n)^2)/n - 1}$
- Estimarea erorii asupra mediei: $\delta m = \pm t\sigma / \sqrt{n}$ (prin t se stabilește nivelul de încredere conferit, dar de această dată este dependent și de numărul de măsurări realizate (gradul de libertate). Astfel, de exemplu pentru 5 măsurări se obține: pentru un nivel de încredere de 68.3% $t=1.14$, pentru 95.5% $t=2.87$, iar pentru 99.73% $t=6.62$.

Corelarea erorilor cu incertitudinea de măsurare

Pentru aparatele numerice incertitudinea aparatului (ε_B) este dată de eroarea tolerată, supusă aleatorizării. Pentru aceasta $\sigma = \varepsilon_t / \sqrt{3}$. Având abaterea medie pătratică se poate calcula $\delta X_{\max} = \pm t\sigma$ care reprezintă ε_B

$$\varepsilon_B = \pm t\sigma$$

Incetitudinea aleatorie totală este dată de eroarea asupra mediei.

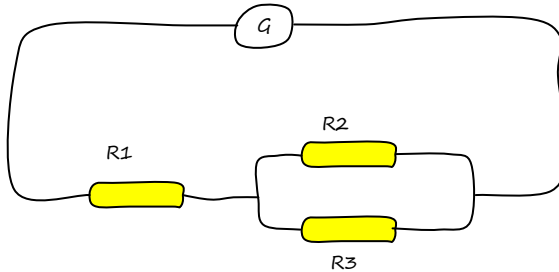
$$\varepsilon_A = \delta m$$

Rezultatul

Rezultatul se prescrie sub forma $m \pm \varepsilon$, având nivelul de încredere specificat prin alegerea lui t .

De măsurat:

1. Să se realizeze o schemă mixtă serie paralel din 3 reostate reglabile.



- Să se stabilească valorile reostatelor astfel încât să nu fie depășit curentul maxim pe care-l poate debita generatorul și nici cel admis pe fiecare reostat în parte.
- Să se verifice continuitatea pentru toate conductoarele utilizate în montaj.
- Să se măsoare căderile de tensiune și curenții pentru fiecare reostat în parte. Să se calculeze rezistența echivalentă. Să se utilizeze afișorul secundar pentru afișarea frecvenței semnalului (se va utiliza un semnal sinusoidal de 50Hz).
- Se generează un semnal de 50Hz cu componentă continuă. Se măsoară pentru fiecare element de circuit tensiunea și curentul corespunzător selectând de la multimetru pe rând măsurare DC, AC și DC+AC

- Să se măsoare valorile reostatelor utilizate și să se compare cu valorile calculate pe baza curentului și tensiunii măsurate.
2. Să se utilizeze o punte RLC pentru măsurarea parametrilor unui condensator, pentru cele două scheme echivalente. Să se discute rezultatele comparativ cu măsurarea capacității prin intermediul multimetrului
 3. Să se măsoare puterea activă, reactivă și aparentă pentru un calculator și să se calculeze puterea deformantă. Să se vizualizeze forma curentului și a tensiunii.
 4. Să se măsoare energia consumată de un calculator într-o perioadă de timp de 10 minute utilizând un contor numeric.

Cum măsurăm cu osciloscopul numeric

Ce este osciloscopul?

Aparatele de măsură precum voltmetrele, ampermetrele, watt-metrele, ne furnizează informații referitoare la anumiți parametri ai mărimii măsurate (de cele mai multe ori valoarea efectivă). Dar dacă dorim să vizualizăm cum variază în timp mărimea respectivă (să vizualizăm valorile instantanee ale tensiunii), trebuie să utilizăm un osciloscop.

Spațiul înconjurătoare este guvernată de variația sinusoidală, adică de semnale/unde sinusoidale. Lumina privită ca undă, alături de întreaga gamă a radiației electromagnetice este un semnal sinusoidal. La fel și propagarea undelor acustice sau a undelor seismice. Alături de acestea întâlnim o multitudine de semnale generate artificial. În această categorie intră semnalele modulate de radio/tv, de telefonie mobilă și cele generate de funcționarea echipamentelor electrice/electronice.

Osciloscopul permite vizualizarea undelor de tensiune, adică variația tensiunii în timp și bineînțeles, utilizând senzori cu ieșire în tensiune pot fi vizualizate o diversitate de semnale neelectrice.

În cadrul acestei lucrări vom răspunde la următoarele întrebări:

Ce ne interesează în momentul în care măsurăm cu osciloscopul numeric?

Ce funcții mai găsim pe panoul frontal?

Care eșantioane sunt transformate în puncte pe ecran?

De ce utilizăm triggerul?

Memoria circulară

Există alias la osciloscop?

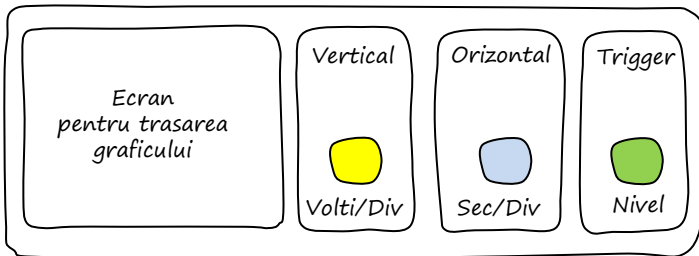
Compensarea sondei divizoare

Ce ne interesează în momentul în care măsurăm cu osciloscopul numeric?

Funcțional, osciloscopul este un dispozitiv care trasează grafice privind variația tensiunii în timp. Pe axa verticală (OY) avem reprezentă tensiunea iar pe axa orizontală (OX) timpul.

Specific osciloscopului numeric este existența convertorului analog numeric (CAN). Acest convertor are rolul de a transforma semnalul analogic supus măsurării (semnal cu variație continuă în timp) într-un semnal numeric cu valori discrete în timp, numite eșantioane. Fiecărui eșantion, în funcție de valoarea sa de tensiune i se atribuie un cod numeric.

Pentru trasarea pe ecran a variației tensiunii în timp, osciloscopul are nevoie pe lângă CAN de 3 sisteme principale: vertical, orizontal și de trigger. Fiecărui sistem îi corespunde la nivelul panoului frontal câte un comutator de reglaj, după cum se poate observa în figura următoare.



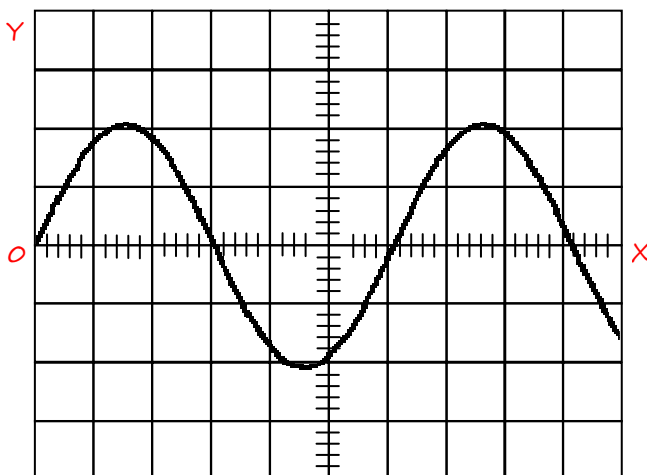
Alături de comutatoarele figurate pe desen mai există și alte butoane atât pentru fiecare sistem în parte cât și pentru

functii suplimentare. Semnificatia acestora va fi prezentată într-o secțiune ulterioară.

Când dorim să măsurăm cu osciloscopul, suntem interesați să obținem pe ecran un grafic inteligibil. Acest lucru este posibil prin reglarea celor 3 comutatoare corespunzătoare sistemelor principale. Să urmărim rolul fiecărui sistem și implicit rolul fiecărui buton în parte.

- **Sistemul vertical** este responsabil de modificarea valorii tensiunii semnalului analogic supus măsurării. Acesta este un sistem de condiționare care aduce prin amplificare sau atenuare valoarea tensiunii semnalului aplicat la intrarea osciloscopului la o valoare compatibilă cu intrarea CAN. De pe panoul frontal se reglează prin comutatorul volti/diviziune amplificarea sau atenuarea semnalului.
- **Sistemul orizontal (baza de timp)** este responsabil de alocarea coordonatelor de timp pentru fiecare eșantion furnizat de CAN. Fiecare eșantion exprimat prin cod numeric primește o coordonată de timp din partea circuitului de clock. De pe panoul frontal se reglează prin comutatorul sec/div lungimea în timp a secvenței vizualizate.
- **Sistemul de trigger** stabilește nivelul tensiunii la care se declanșează afișarea (se va vedea într-o secțiune ulterioară cum la îndeplinirea condiției de triggerare se oprește achiziția și se vizualizează eșantioanele stocate într-o memorie circulară).

Ecranul osciloscopului este împărțit în diviziuni, pentru modelele uzuale fiind folosite 8 diviziuni pe axa OY și 10 diviziuni pe axa OX.



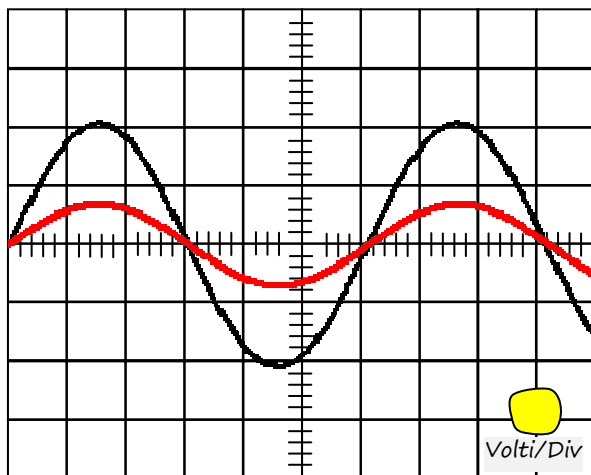
In imagine este prezentat un semnal sinusoidal vizualizat pe ecranul osciloscopului. Vom utiliza acest semnal ca referință, pentru a putea urmări cum se modifică reprezentarea acestuia la modificarea valorilor celor 3 comutatoarelor.

Se poate observa că diviziunile prezente pe ecran sunt împărțite în subdiviziuni marcate prin repere din 2 în 2 subdiviziuni. De reținut faptul că valoarea **Div** a comutatorului **Volti/Div** sau a comutatorului **Sec/Div** se referă la diviziuni, nu la subdiviziuni.

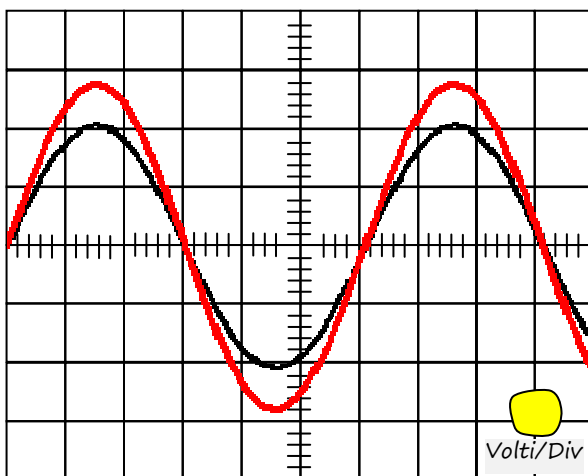
Modificările realizate la nivelul comutatorului **Volti/Div** și vizibile pe ecran sunt operate din punct de vedere al funcționării osciloscopului la nivelul sistemului de condiționare a semnalului care modifică amplificarea/atenuarea semnalului. Evident, corelarea amplificării/atenuării semnalului cu imaginea afișată este realizată prin numărul de volți pe diviziune.

Modificarea poziției comutatorului **Volti/Div** în sensul creșterii valorii are ca efect atenuarea semnalului. Culoarea neagră a fost utilizată pentru desenarea semnalului de referință

prezentat anterior, iar culoarea roșie a fost utilizată pentru ilustrarea semnalului după modificarea poziției comutatorului

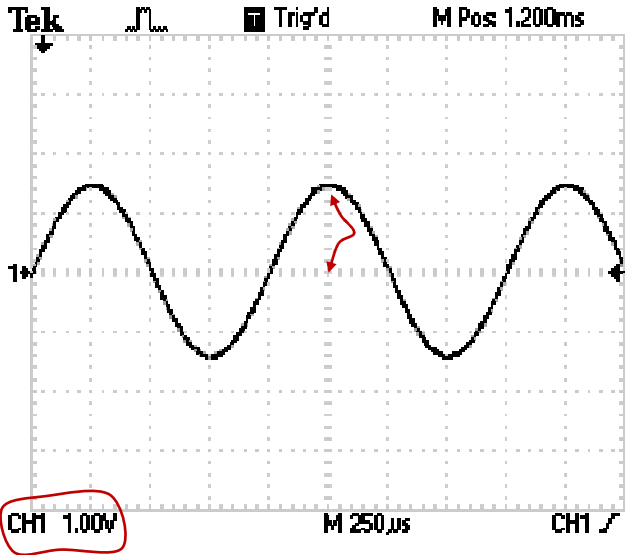


Modificarea poziției comutatorului Volți/Div în sensul scăderii valorii are ca efect amplificarea semnalului.



Corelarea amplificării cu valoarea comutatorului Volți/Div face ca măsurarea parametrilor semnalului pe axa OY să nu depindă de modificările aduse poziției comutatorului.

Să urmărim un exemplu concret. Pe ecranul osciloscopului urmărim un semnal sinusoidal achiziționat pe canalul 1 (CH1).

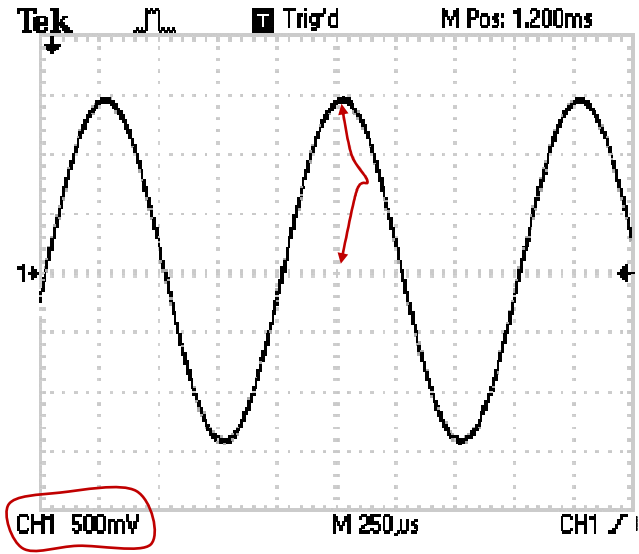


Amplitudinea semnalului sinusoidal cuprinde 1.4 diviziuni. In partea din stânga jos a ecrnului este indicat numărul de volți/diviziune: CH1 1.00V. In aceste condiții valoare amplitudinei în volți este $1.4 \text{ div} * 1\text{V/div} = 1.4\text{V}$

Să urmărim ce valoare a amplitudinii obținem dacă modificăm valoarea comutatorului Volți/Div

Amplitudinea semnalului cuprinde 2.8 diviziuni. In partea din stânga jos a ecrnului este indicat numărul de volți/diviziune: CH1 500mV. In aceste condiții valoare amplitudinei în volți este $2.8 \text{ div} * 500\text{mV/div} = 1.4\text{V}$

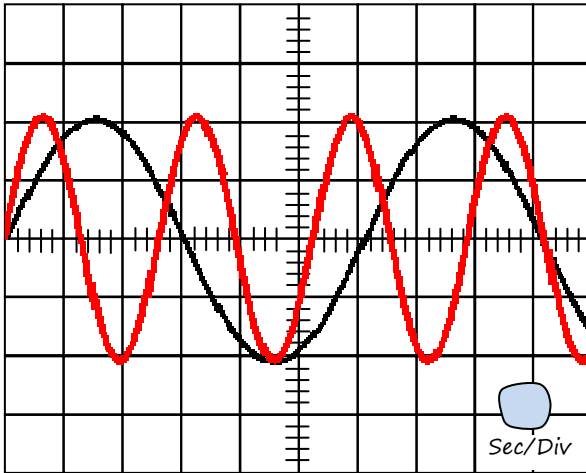
Pentru evitarea implicării componentei continue în măsurare se preferă determinarea valorii vârf la vârf în locul amplitudinii.



După cum era de așteptat, valoarea amplitudinii este aceeași dacă modificăm valoarea comutatorului Volți/Div.

Să urmărim evoluția semnalului de referință la modificarea poziției comutatorului Sec/Div.

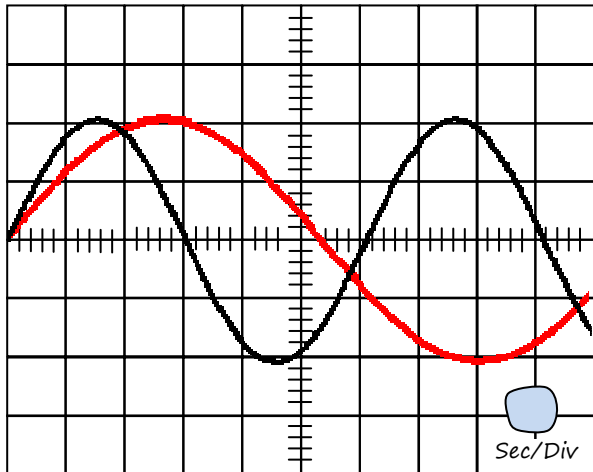
Modificarea poziției comutatorului Sec/Div în sensul creșterii valorii are ca efect afișarea unui număr mai mare de perioade ale semnalului.



Modificările realizate la nivelul comutatorului Sec/Div și vizibile pe ecran sunt operate din punct de vedere al funcționării osciloscopului la nivelul sistemului de achiziție a semnalului.

Vom dezvolta principiul de funcționare al sistemului de achiziție într-un paragraf ulterior.

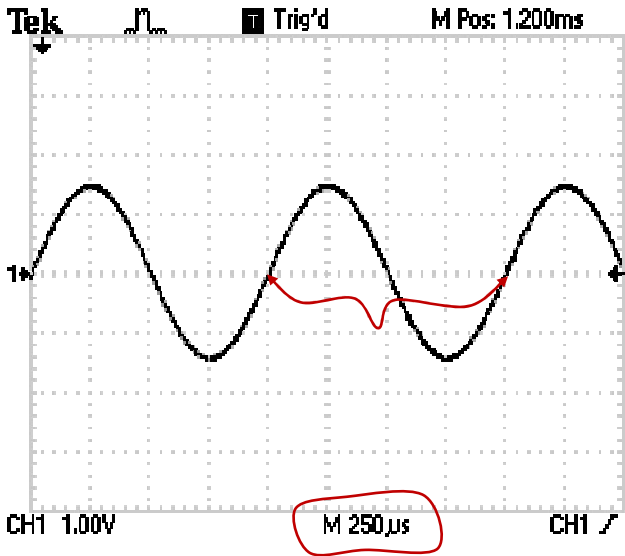
Evident, și în acest caz există fenomenul de corelare, de această dată dintre sistemul de achiziție și imaginea afișată prin numărul de secunde pe diviziune.



Modificarea poziției comutatorului Sec/Div în sensul scăderii valorii are ca efect afișarea unui număr mai mic de perioade ale semnalului.

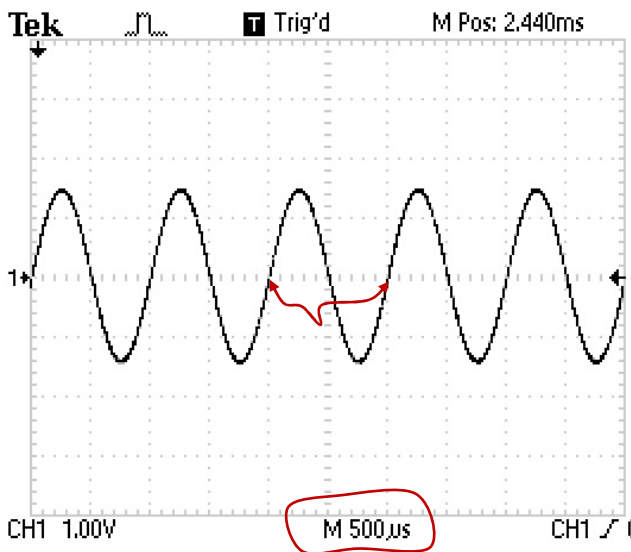
Corelarea achiziției cu valoarea comutatorului Sec/Div face ca măsurarea parametrilor semnalului pe axa OX să nu depindă de modificările aduse comutatorului.

Să urmărim un exemplu concret. Pe ecranul osciloscopului urmărim un semnal sinusoidal achiziționat pe canalul 1 (CH1).



Perioada semnalului sinusoidal cuprinde 4 diviziuni. In partea din mijloc jos a ecrnului este indicat numărul de secunde/diviziune: M 250us. In aceste condiții valoare perioadei în us este $4 \text{ div} * 250\text{us}/\text{div} = 1000\text{us}$.

Să urmărim ce valoare a perioadei obținem dacă modificăm valoarea comutatorului Sec/Div

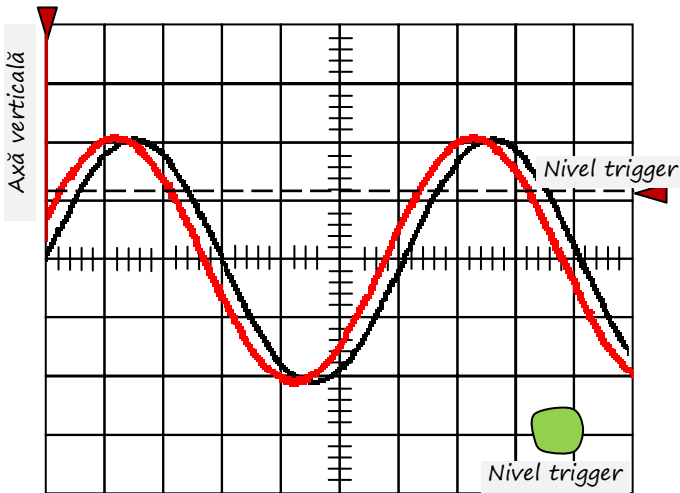


Perioada semnalului sinusoidal cuprinde 2 diviziuni. In partea din mijloc jos a ecrului este indicat numărul de secunde/diviziune: M 500us. In aceste condiții valoare perioadei în us este $2 \text{ div} * 500\text{us/div} = 1000\text{us}$.

După cum era de așteptat, valoarea perioadei rămâne neschimbată la modificarea valorii comutatorului Sec/Div.

Să urmărim evoluția semnalului de referință la modificarea poziției comutatorului Nivel trigger.

Nivelul de triggerare stabilește valoarea tensiunii semnalului pentru care osciloscopul inițiază afișarea unei secvențe (trase) a semnalului. Acest nivel reprezintă un reglaj vertical, pe axa OY. Nivelul de trigger stabilește punctul de început al afișării împreună cu o axă verticală caracterizată prin poziția pe OX.



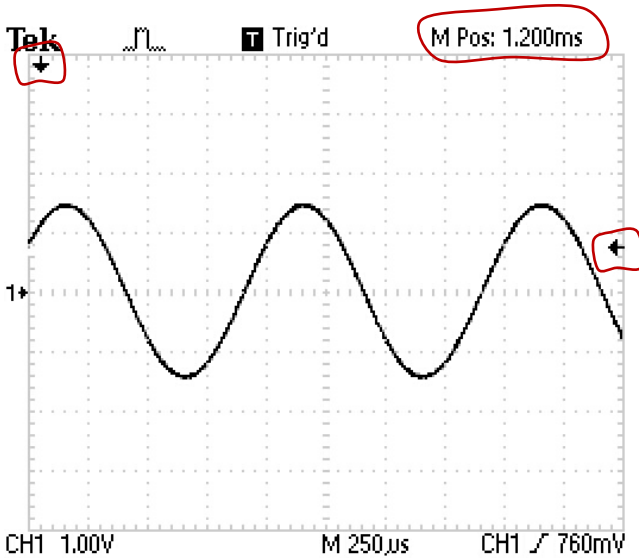
Creșterea nivelului de trigger față de cel al semnalului inițial duce la începerea afișării de la o tensiune instantaneei mai mare. Deoarece semnalul variază în timp (de-a lungul axei OX) este necesar să se precizeze și locul pe axă în care se impune valoarea de triggerare

Secvența sau trasa reprezintă totalitatea punctelor semnalului afișate pe ecran. Numărul acestor puncte depinde de modelul osciloscopului.

Să urmărim amplasarea pe ecranul osciloscopului a elementelor deja discutate

Pozitia nivelului de triggerare este marcată printr-o săgeată pe latura din dreapta iar informatii suplimentare se regăsesc în colțul din stânga jos: CH1 \int 750mV. Semnificatia informatiilor este următoarea: triggerarea se realizează după canalul CH1, pe frontul crescător al semnalului, iar valoarea nivelului de triggerare este de 760mV.

Pozitia axei verticale este indicată prin săgeata de pe latura superioară a ecranului, iar depărtarea acesteia de mijlocul ecranului este dată prin M Pos: 1.200ms (in colțul din dreapta-sus)



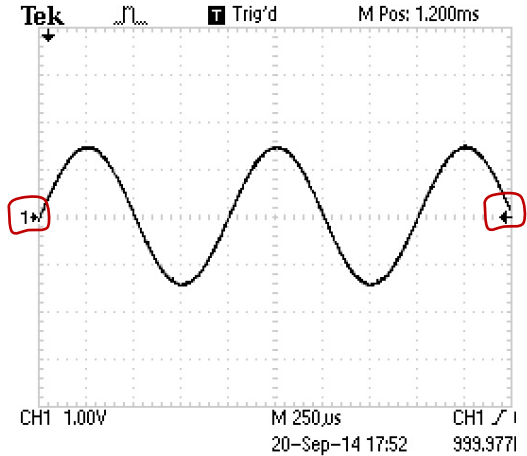
Ce funcții mai găsim pe panoul frontal?

Zona reglajelor verticale

În această zonă există câte un set separat de reglaje pentru fiecare canal de intrare al osciloscopului. Canalele sunt denumite CH1, CH2 etc. Reglajul cel mai important este Volți/Div, prezentat deja. Funcțiile acestor butoane sunt descrise în continuare.

POSITION

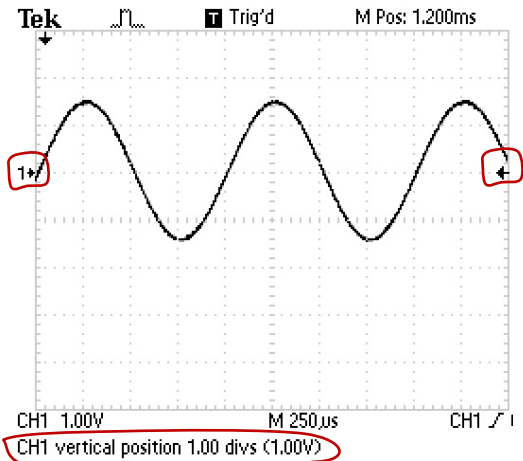
Asigură deplasarea trasei pe verticală. Această acțiune deplasează atât trasa cât și nivelul de trigger. Distanța la care este deplasată trasa este specificată temporar în partea de jos a ecranului (în diviziuni și în volți).



CH MENU

Asigură accesul către următoarele submeniuri (la unele modele de osciloscop aceste meniuri apar pe ecran și sunt controlabile prin butoane)

- **Coupling** stabilește tipul de conectare a semnalului la intrarea osciloscopului. În cuplaj DC se permite trecerea componentei continue, în cuplaj AC se înlătură componenta continuă iar în cuplaj Ground se scurtcircuitează intrarea;
- **BW Limit** introduce un filtru care limitează frecvența superioară a semnalului la o anumită valoare;

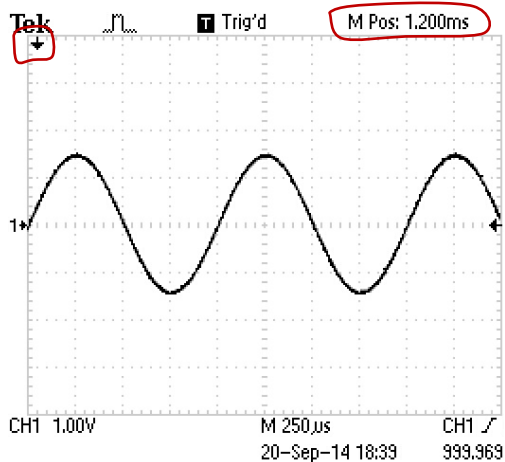


- **Volts/Div** stabilește tipul de reglaj pe care îl realizează comutatorul Volti/Div. Coarse permite un reglaj în trepte mari iar Fine în trepte mici.;
- **Probe** stabilește factorul de multiplicare pe OY pentru a realiza corelarea cu sonda divizoare. Dacă nu se utilizează sondă divizoare se stabilește valoarea x1. Dacă se utilizează sondă divizoare, factorul de multiplicare trebuie să coincidă cu valoarea înscrisă pe sondă;
- **Invert** rotește trasa cu 180° în jurul axei reglate prin **POSITION**.

MATH MENU permite aplicarea unor funcții matematice asupra semnalelor (adunare, scădere, transformată Fourier)

Zona reglajelor orizontale

Reglajul cel mai important al zonei este Sec/Div, prezentat deja. Alături de acesta mai întâlnim:



POSITION

Permite deplasează trasei pe orizontală și este de fapt butonul care stabilește poziția axei verticale de la trigger. Poziția axei verticale față de mijlocul ecranului este afișată în partea din dreapta-sus a ecranului.

HORIZ MENU

Afișează meniul pentru controlul afișării pe orizontală. La apăsarea acestui buton se permite accesul în următoarele submeniuri:

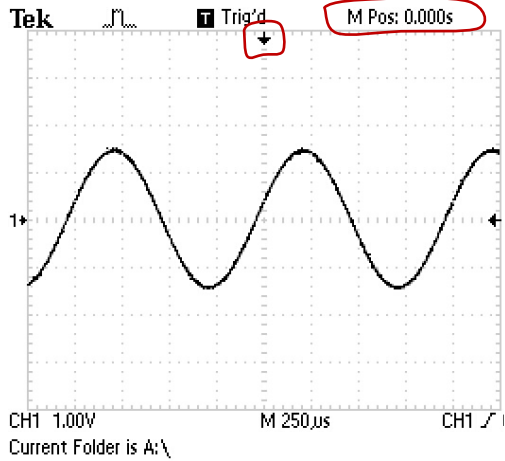
- **Main** revine la afișarea trasei pe fereastra principală (după utilizarea Window Zone), utilizată în modul obișnuit de lucru;
- **Window Zone** permite selectarea unei porțiuni din trasă pentru examinare în detaliu. Lățimea zonei se reglează din Sec/Div iar pozitia din POSITION;
- **Window** afișează porțiunea selectată a trasei;
- **Set Trigger Holdoff** – activează **Butonul Multifuncțional** prin care se reglează timpului dintre două afișări consecutive ale trasei

SET TO ZERO

Elimină deplasarea pe orizontală a trasei (poziția de zero este la mijlocul ecranului)

Zona de trigger (sincronizare)

Reglajul cel mai important al zonei este Level, nivelul de trigger, prezentat deja. Alături de acesta mai întâlnim:



TRIG MENU

La apăsarea acestui buton se permite accesul în următoarele submeniuri:

- **Type** selectează tipul de sincronizare: **Edge** sincronizare după frontul semnalului, **Video** sincronizare după un semnal video, **Pulse** sincronizare după impulsuri.

Dacă se utilizează sincronizarea **Edge** atunci sunt permise următoarele reglaje:

- **Slope** se poate alege tipul de front: pozitiv sau negativ (**Rising/Falling**)
- **Mode** stabilește modul de sincronizare (**Auto/Normal**). **AUTO**: dacă condițiile de declanșare nu sunt îndeplinite, osciloscopul generează automat, după expirarea unui timp, un semnal de declanșare a afișării. În acest mod, în lipsa semnalului de intrare se observa o linie orizontală pe ecran, care reprezintă nivelul de zero.

Normal: în acest caz afișarea nu este declanșată decât dacă sunt îndeplinite condițiile de trigger. În caz contrar osciloscopul nu afișează trasa. Nivelul triggerului poate fi reglat și în exteriorul limitelor semnalului, existând astfel posibilitatea ca, deși se aplica semnal pe intrarea osciloscopului, semnalul să nu fie afișat pe ecran deoarece nu sunt îndeplinite condițiile de sincronizare.

- **Coupling** – modul de cuplare a semnalului de sincronizare: **AC** elimina componenta continuă din semnalul de sincronizare. **DC** semnalul de sincronizare are și componentă continuă. **Noise Reject** este eliminat zgomotul din semnalul de sincronizare. **HF REJ (High**

Frequency Reject) elimină frecvențele înalte din semnalul de sincronizare. **LF REJ** elimină frecvențele joase din semnalul de sincronizare

- **Source** stabilește față de cine se realizează sincronizarea. Poate fi după un canal CH1, CH2 etc sau după un semnal aplicat din exterior

Zona funcțiilor numerice

Apăsarea unui buton din această zonă are ca efect afișarea pe ecran a unui meniu ce conține funcții specifice osciloscopelor digitale (salvare, măsurare, achiziție, cursori, utilități, afișaj).

Buton Multifuncțional

Modifică parametrii din meniurile de control ale ecranului. În momentul în care acesta devine activ se aprinde led-ul din vecinătatea sa.

DISPLAY

Conține câmpul de control **Format** care permite selectarea funcționării în modul **YT** care afișează variația unui semnal față de timp sau **XY** care afișează variația unui semnal față de alt semnal. În afișarea **XY** se utilizează 2 canale pentru preluarea celor 2 semnale și este specific realizării figurilor Lissajous.

RUN/STOP

În modul **RUN** osciloscopul achiziționează continuu semnalul. În modul **STOP** achiziția este oprită, imaginea afișată reprezentând ultima achiziție înaintea apăsării butonului **STOP**.

SINGLE SEQ

Osciloscopul achiziționează o singură trasă și apoi așteaptă o nouă apăsare a butonului. Apăsarea butonului joacă rol de **RESET**

pentru trasa achiziționată anterior. Este utilizat pentru semnale neperiodice, care nu pot fi triggerate.

AUTOSET

Osciloscopul realizează automat operațiile de scalare a semnalului pe cele două axe (stabilește automat valori pentru Volt/Div și Sec/Div pentru o vizualizare optimă a trasei). De asemenea stabilește nivelul triggerului pe axa de simetrie a semnalului și poziția axei verticale la mijlocul ecranului.

MEASURE

Permite configurarea câmpurilor destinate măsurării automate a parametrilor precum perioadă, valoare efectivă, frecvență etc.

AQUIRE

Stabilește modul prin care se selectează sere vizualizare eșantioanele achiziționate.

De măsurat:

1. Să se deseneze un caroiaj asemănător cu cel al ecranului osciloscopului având 10 diviziuni pe orizontală și 8 diviziuni pe verticală. Să se reprezinte un semnal sinusoidal. Dacă considerăm ca avem 500mV/div (OY) și 1ms/div (OX) să se marcheze pe desen amplitudinea și perioada semnalului.

- Să se calculeze valoarea în volți a amplitudinii, valoarea vârf-la-vârf în volți și perioada în secunde.
- Să se calculeze frecvența și valoarea efectivă a semnalului.

2. Să se vizualizeze un semnal sinusoidal preluat de la un generator de semnal. Pentru aceasta se va conecta ieșirea generatorului la intrarea canalului CH1 al osciloscopului. Conectarea se va realiza printr-un cablu cu mufe de tip BNC.

Se selectează PROBE din meniul CH1 MENU, cu o atenuare de x1, deoarece nu se utilizează o sondă divizoare. Se apasă butonul AUTOSET.

- Câte perioade ale semnalului sunt afișate pe ecran?
- Care este valoarea Sec/Div stabilită automat de osciloscop?
- Determinați numărul de diviziuni pe care se întinde o perioadă a semnalului.
- Calculați perioada semnalului în secunde.
- Calculați frecvența semnalului și verificați egalitatea acesteia cu frecvența fixată la generator.

- Care este valoarea Volți/Div stabilită automat de osciloscop?
- Determinați numărul de diviziuni pe care se întinde o amplitudinea semnalului.
- Determinați amplitudinea semnalului în volți.
- Stabiliți valoarea vârf-la-vârf în volți.
- Calculați valoarea efectivă a semnalului.

3. Să se verifice măsurările efectuate manual la punctul 2 cu ajutorul funcțiilor automate e măsurare. Pentru aceasta se folosește butonul MEASURE din zona funcțiilor numerice. Prin apăsarea butonului MEASURE se permite accesul pe ecran la un set de câmpuri destinate măsurărilor automate.

În cadrul fiecărui câmp, SOURCE stabilește canalul pentru care se efectuează măsurarea iar TYPE stabilește parametrul măsurat (Freq - frecvența, Period - perioadă, Mean - valoare medie, Pk-Pk - valoare vârf-la-vârf, Cyc RMS - valoarea efectivă).

- Se configureze 4 câmpuri care să afișeze perioadă, frecvență, valoare vârf-la-vârf și valoare efectivă;
- Se compare rezultatele afișate cu valorile determinate la punctul 2.

4. Se generează cu ajutorul generatorului de funcții un semnal sinusoidal. Să se regleze Volți/Div și Sec/Div astfel încât pe ecran să se vizualizeze aproximativ 3 perioade ale semnalului, iar

amplitudinea să fie cât mai apropiată de 3 diviziuni (se poate lucra pe FINE din CH MENU).

Verificați poziția triggerului prin apăsarea tastei TRIG VIEW. Dacă nivelul triggerului intersectează domeniul de variație al semnalului atunci vom avea o trasă staționară (sincronizată). Dacă nivelul triggerului este în afara domeniului. Trasa este nestaționară și trebuie modificat LEVEL până la obținerea unei trase stabile

- Modificați parametrii care țin de sistemul de trigger pentru a vedea influența acestora
- Să se calculeze frecvența și valoarea efectivă a semnalului

5. Să se vizualizeze pe ecranul osciloscopului două semnale. Se va utiliza ieșirea generatorului OUT PUT 50Ω pentru un semnal sinusoidal și ieșirea SYNC AUT pentru un semnal TTL. Semnalele vor fi achiziționate pe osciloscop pe canalul CH1 și respectiv pe canalul CH2. Se vor utiliza 2 cabluri prevăzute cu mufe BNC. Reglajul generatorului pentru valoarea frecvenței va fi același pentru ambele semnale iar amplitudinea va putea fi reglată numai pentru semnalul sinusoidal. Vizibilitatea traselor celor 2 semnale poate fi controlată independent prin apăsarea butonului CH1 MENU respectiv CH2 MENU.

- Să se triggerreze semnalele după canalul CH1
- Să se triggerreze semnalele după CH2
- Să se triggerreze semnalele după AC Line (pentru o frecvență a semnalelor multiplă de 50Hz)
- Utilizând meniul MATH să se realizeze următoarele operații între cele 2 semnale: CH1+CH2, CH1-CH2,

CH1xCH2. Reglajul pe verticală cât și Volti/Div pentru trasa obținută în urma operațiilor matematice se realizează prin butonul multifuncțional (după selectarea câmpului Position respectiv Vertical Scale).

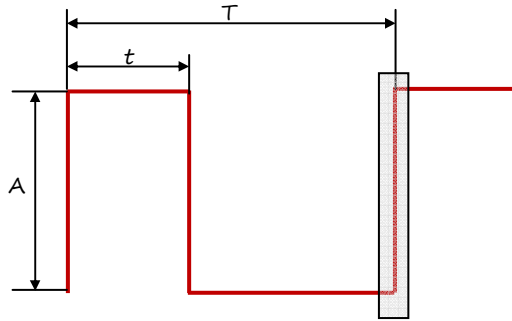
- Să se elimine vizibilitatea de pe ecran a traselor CH1 și CH2 astfel încât să fie vizibil doar semnalul obținut în urma unei operații matematice. Să se vizualizeze o zonă a semnalului cât mai apropiată de o perioadă și ca valoare vârf-la-vârf cât mai apropiată de 6 diviziuni.

6. Să se achiziționeze o trasă a semnalului utilizând SINGLE SEQ. Această operație permite afișarea unei singure trase a semnalului atunci când este îndeplinită condiția de trigger.

- Se vizualizează un semnal sinusoidal cu valoare vârf-la-vârf de aproximativ 4 diviziuni. Se triggerează semnalul. Se crește nivelul de trigger astfel încât semnalul să se desincronizeze.
- Se apasă SINGLE SEQ. Se crește valoarea amplitudinii semnalului de la generator și se urmărește declanșarea achiziției.

7. Să se măsoare cu ajutorul cursorilor, factorul de umplere și timpul de creștere pentru un semnal dreptunghiular.

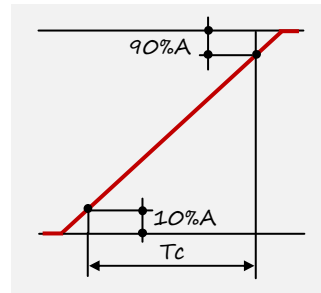
Semnalul dreptunghiular real nu are fronturile perfecte, tranziția între cele două nivele se face într-un timp diferit de zero. Timpul de creștere T_c sau durata frontului este timpul în care semnalul crește de la 10% până la 90% din valoarea amplitudinii.



Factorul de umplere al semnalului dreptunghiular reprezintă raportul dintre durata impulsului și perioada semnalului ($f_u = t/T$).

Un detaliu al frontului ascendent al semnalului este prezentat în figura alăturată.

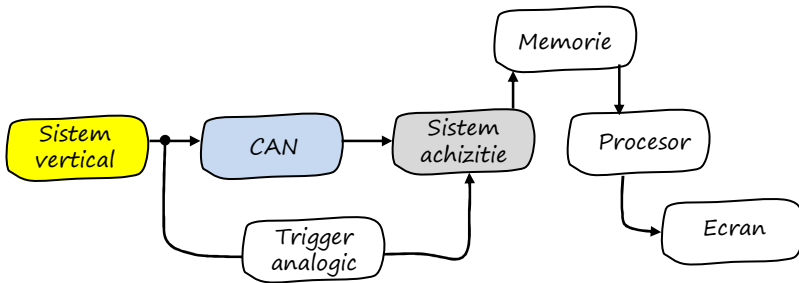
Pentru accesarea cursorilor se deschide meniul CURSOR. În subdomeniul Type se selectează pentru măsurarea timpului de creștere Amplitude iar pentru măsurarea factorului de umplere Time.



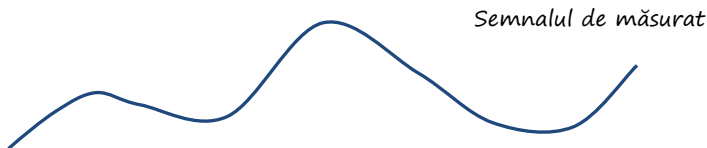
Poziția cursorilor se modifică din butonul multifuncțional după selectarea în prealabil a cursorului a cărui poziție urmează a fi modificată

Care eșantioane sunt transformate în puncte pe ecran?

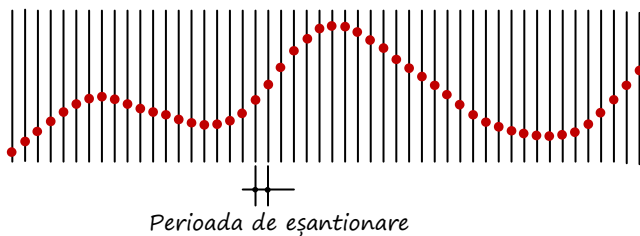
O schemă de bază a înlănțuirii sistemelor care asigură funcționarea osciloscopului este prezentată alăturat.



Semnalul supus măsurării intră în osciloscop prin sistemului vertical, unde este modificat din punct de vedere al nivelului de tensiune prin atenuare/amplificare astfel încât să atingă un nivel compatibil cu intrarea CAN.



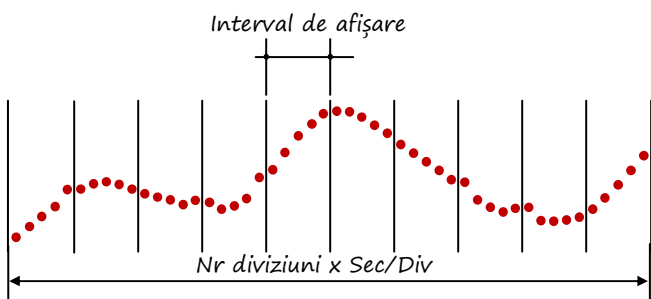
La nivelul convertorului analog numeric semnalul este transformat în eșantioane. Frecvența cu care se prelevă aceste eșantioane se numește frecvență de eșantionare iar valoarea acesteia este scrisa pe carcasa osciloscopului și este exprimată în samples/sec. Frecvența de eșantionare este independentă de poziția comutatorului Sec/Div.



Secvență
eșantioane
Distanța dintre
două eșantioane
succesive
reprezintă
perioada de
eșantionare

Deoarece procesarea tuturor eșantioanelor prelevate ar reprezenta manipularea unei cantități mari de date, osciloscopia utilizează doar o parte din aceste eșantioane pentru afișare. Selecția eșantioanelor care vor fi afișate ca puncte pe ecran este realizată de sistemul de achiziție.

Pentru a se realiza selecția, se împarte o secvență de eșantioane într-un număr de intervale de afișare egal cu cel al punctelor reprezentate pe ecran. Lungimea secvenței de eșantioane este egală în timp cu cea a trasei semnalului, adică cu numărul de diviziuni înmulțit cu valoarea Sec/Div. Numărul punctelor din care este alcătuită trasa este constant și specific fiecărui model de osciloscop.



Secvența
eșantioanelor
împărțită la un
număr de
intervale egal
cu numărul
punctelor
trasei afișate

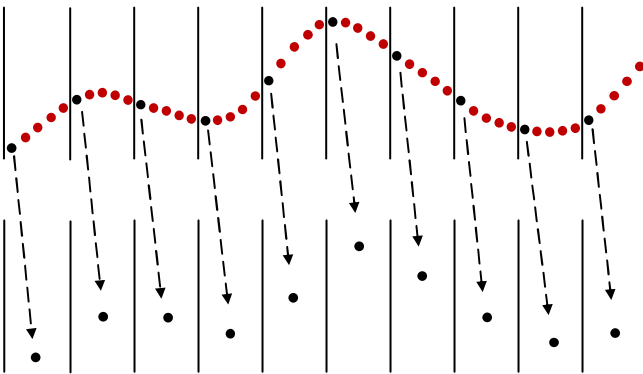
Din moment ce distanța dintre 2 eșantioane nu se modifică, ea fiind egală cu perioada de eșantionare, modificarea

valorii comutatorului Sec/Div se reflectă în numărul eșantioanelor pe un interval. Cu cât timpul pe diviziune este mai mare cu atât și numărul eșantioanelor pe un interval va fi mai mare.

Din eșantioanele aflate într-un interval se va retine un singur punct. Procedeu de înlocuire a eșantioanelor aparținând unui interval cu un singur punct este definit prin Modul de achiziție.

Achiziția **SAMPLE**

Reprezintă tipul de achiziție implicit cu care lucrează osciloscopul. Din fiecare interval de afișare este selectat pentru memorare și afișare primul eșantion.



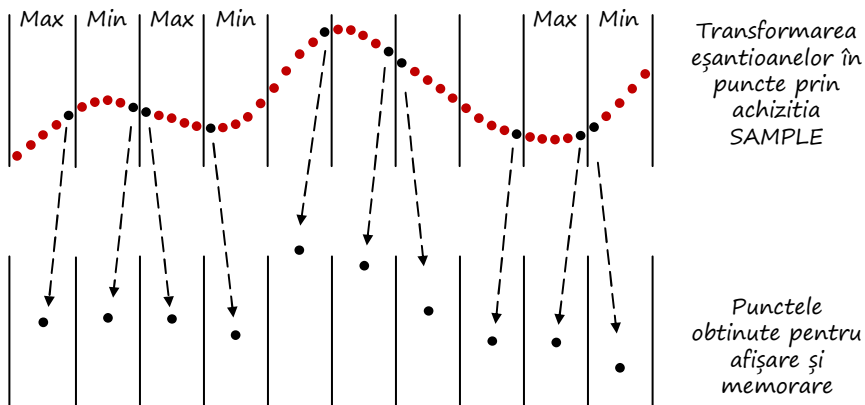
Transformarea eșantioanelor în puncte prin achiziția **SAMPLE**

Punctele obținute pentru afișare și memorare

Punctele obținute sunt utilizate pentru realizarea trasei semnalului.

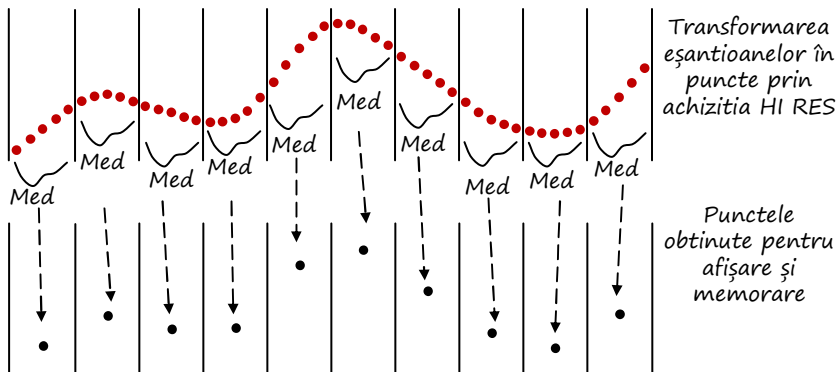
Achiziția **PEAK DETECT**

Acest tip de achiziție prelevă succesiv, câte un eșantion cu valoare maximă și câte un eșantion de valoare minimă, în această ordine, din intervalele de afișare.



Achiziția HI RES

La acest tip de achiziție, punctul care va înlocui eşantioanele dintr-un interval de afișare va fi obținut ca medie a valorilor tuturor eşantioanelor din intervalul respectiv.



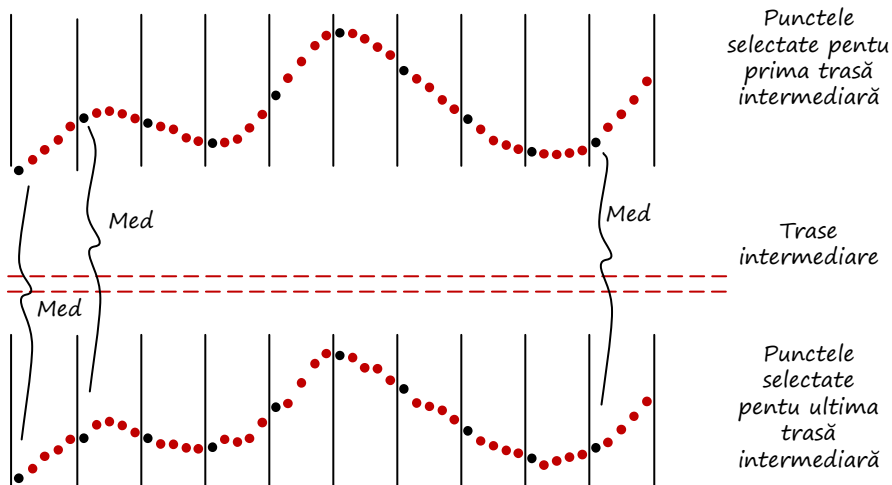
Toate tipurile de achiziție prezentate anterior fac parte din categoria real time deoarece afișarea punctelor pe ecran se realizează pentru o singură trasă a semnalului corespunzătoare

unei singure decantări a achiziției determinată de îndeplinirea condiției de trigger.

Următoarele tipuri de achiziție nu sunt considerate real time deoarece trasa afișată este obținută din mai multe trase, fiecare trasa fiind achiziționată la momente diferite de trigger

Achiziția **AVERAGE**

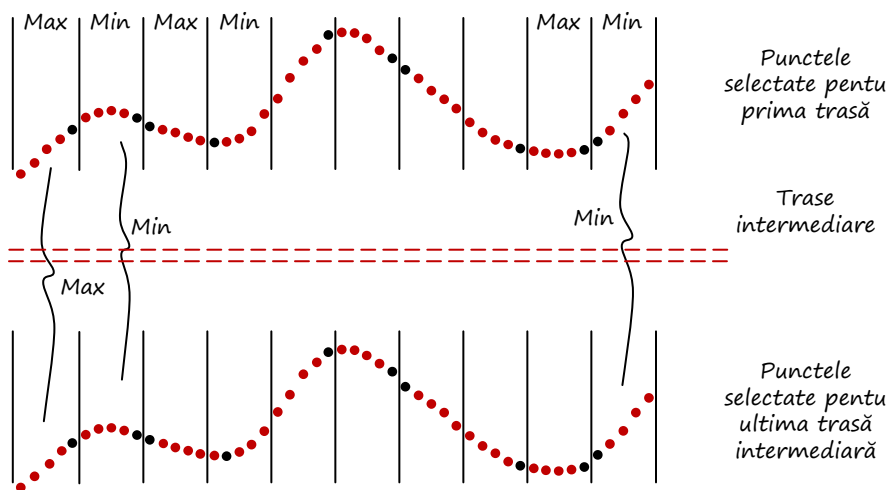
Acest tip de achiziție utilizează mai multe trase obținute în mod similar celei prezentate la achiziția Sample, denumite trase intermediare. Numărul traselor intermediare poate fi stabilit de utilizator și poate lua valori precum 4, 16, 64, 128. Afișarea se realizează prin medierea punctelor cu același indice din toate trasele intermediare.



Achiziția **ENVELOPE**

Acest tip de achiziție utilizează trase intermediare obținute prin achiziția PEAK DETECT. Secvența finală de afișare se obține astfel:

- pentru punctele cu același indice impar al traselor intermediare se alege valoarea maximă;
- pentru eşantioanele cu același indice par ale traselor intermediare se alege valoarea minimă.



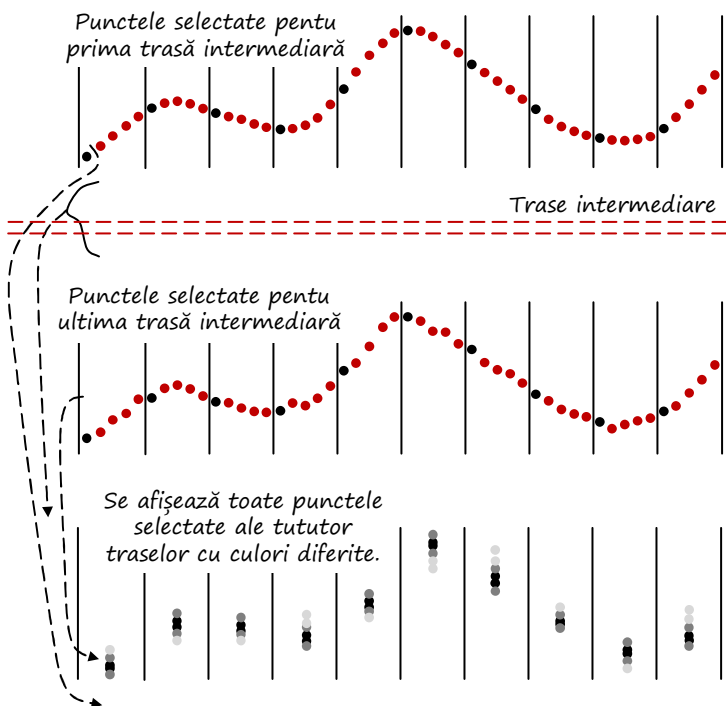
Achiziția **WAVEFORM DATABASE**

Acest tip de achiziție este asemănător achiziției average dar rezultatul afișării este total diferit.

Achiziția **WAVEFORM DATABASE** utilizează mai multe trase intermediare și afișează toate punctele selectate rezultând mai multe puncte pe fiecare interval de afișare. Selecția punctelor la nivel de trasă intermediară se face prin achiziția sample.

Este evident că vor exista zone în care vor fi suprapuneri de mai multe puncte sau de mai puține puncte în funcție de cât de mult a variat semnalul de la o triggerare la alta.

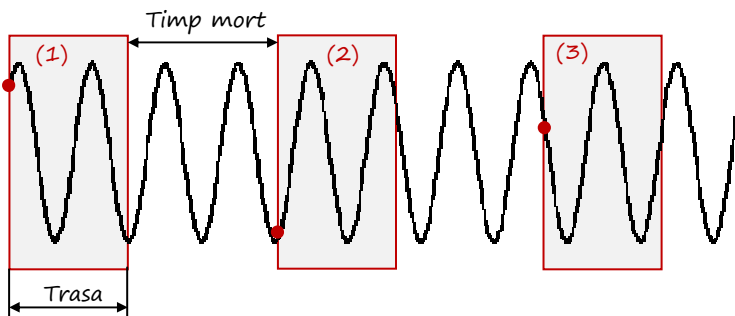
Baza de date contorizează pe fiecare coordonată (zona) XY a ecranului densitatea de puncte afișate de toate trasele intermediare (numărul punctelor pe o zonă). Pentru fiecare densitate se puncte afișate se alocă câte o culoare.



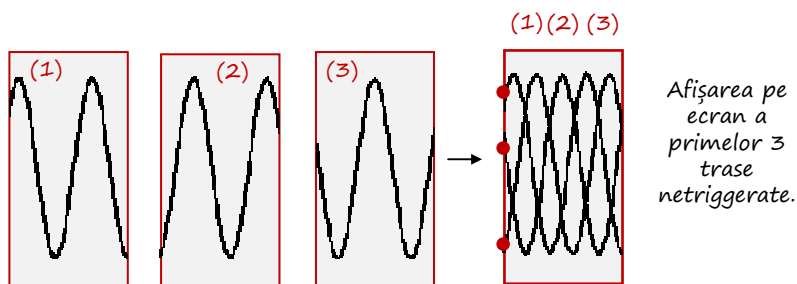
Reprezentarea din imagine trebuie interpretată astfel: densitate cea mai mare a punctelor este figurată cu negru. Nuanțele de gri scad în intensitate cu scăderea densității punctelor.

De ce utilizăm triggerul?

Să presupunem că pentru semnalul sinusoidal din imagine osciloscopul realizează afișarea pe ecran a primei trase notată cu (1).

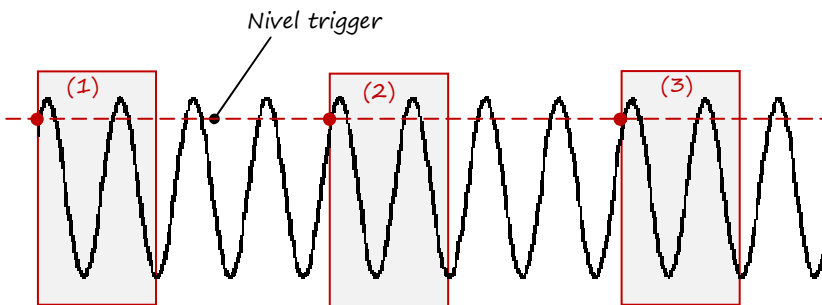


Pregătirea afișării unei noi trase (2) necesită din partea osciloscopului un anumit timp denumit timp mort în care procesorul este ocupat cu activități specifice. După ce toate sarcinile procesorului au fost încheiate, se afișează trasa (2). Procesul continuă similar și pentru afișarea următoarelor trase.

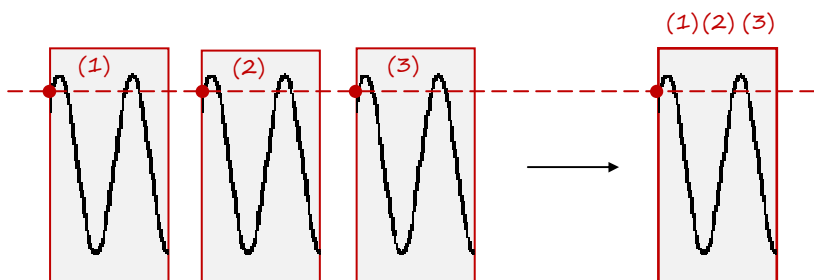


Deoarece toate trasele sunt afișate succesiv pe același ecran imaginea obținută va fi diferită de cea a semnalului și ar arăta ca și cum ar fi o aglomerare de semnale.

Să urmărim ce se întâmplă dacă afișarea traselor este controlată prin nivelul de triggerare.



Impunerea unui nivel de trigger care să aparțină domeniului de variație al valorilor instantanee ale semnalului periodic în timp are ca efect afișarea traseelor din același punct al perioadei semnalului.

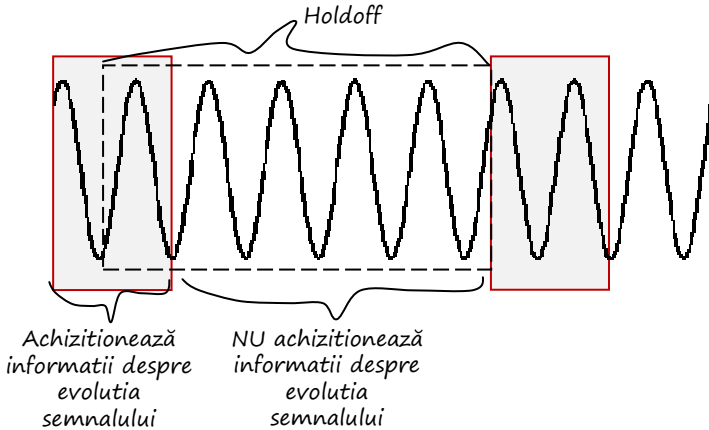


După cum se poate observa în imagine, trasele (1). (2) și (3) încep din același punct. La afișarea lor consecutivă pe ecran, creează pentru ochiul operatorului senzația unui semnal stabil în timp.

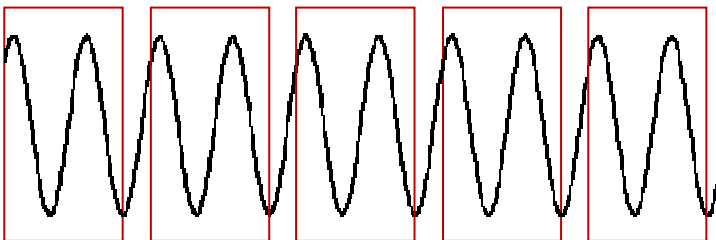
De remarcat este faptul că la osciloscopurile la care funcționarea este de tip serie, timpul în care osciloscopul preia informații referitoare la evoluția semnalului în timp este foarte mic în raport cu timpul în care osciloscopul nu preia aceste informații. Astfel, este posibil ca diferite evenimente care pot apărea în evoluția semnalului să nu fie vizualizate.

Timpul de Holdoff reprezintă perioada de timp în care osciloscopul ignoră îndeplinirea condiției de triggerare. Acest timp este reglabil, în sensul creșterii acestuia.

Reglarea timpului de Holdoff poate fi folositoare pentru forme de undă complexe, greu triggerabile, selectând valoarea sa la o valoare de timp apropiată de perioada semnalului.

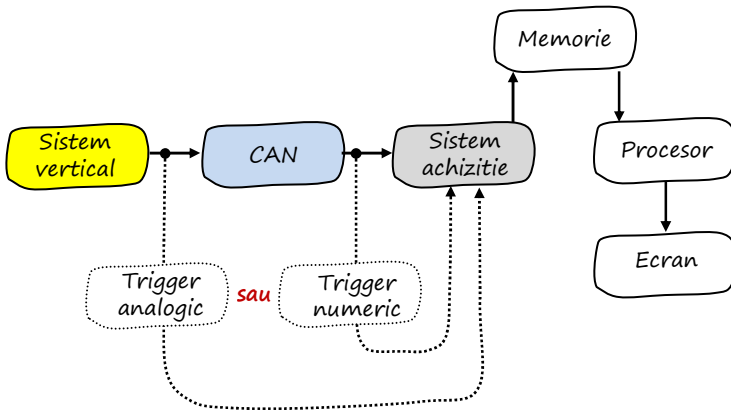


Oscilosoapele care funcționează pe arhitecturi de tip paralel ale procesorului, permit micșorarea timpului mort și cresc probabilitatea detecției unor evenimente particulare în evoluția semnalelor.



După cum se poate observa în imagine, timpul în care semnalul este urmărit ca evoluție este mult mai mare la osciloscopul cu arhitectură paralelă

Osciloscopul poate lucra cu trigger analogic sau cu trigger numeric. Deși sunt foarte utilizate osciloscopul numeric, triggerul este analogic pentru multe dintre ele.

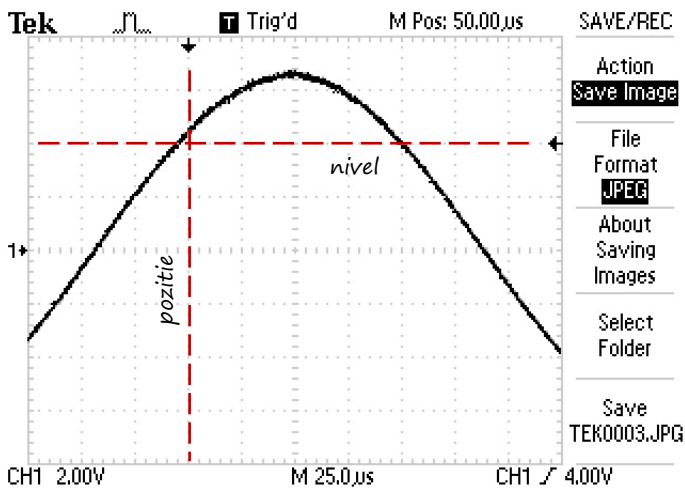


La varianta analogică verificarea îndeplinirii condiției de triggerare se face la ieșirea sistemului vertical.

Pentru o afișare corectă a trasei este necesar ca momentul de triggerare să fie evaluat precis. De obicei evaluarea momentului de trigger se face cu eroare și acest lucru este vizibil prin faptul că punctul de triggerare (intersecția nivelului de trigger cu axa verticală care reprezintă poziția triggerului) nu se suprapune peste trasă.

În imaginea de mai jos este un semnal sinusoidal triggerat pe frontul ascendent prin stabilirea nivelului la 4 volți și poziției la 50us față de mijlocul ecranului.

Se poate observa că punctul de triggerare nu aparține trasei, situându-se în apropierea acesteia.



În contrast cu triggerul analogic, cel numeric realizează verificarea condiției de trigger la nivelul eșantioanelor, după convertorul AN. Lucrând cu eșantioanele care în final vor fi afișate, punctul de triggerare se va regăsi pe trasa.

Memoria circulară

Punctele selectate din eșantioane în urma procesului de achiziție sunt stocate într-o memorie circulară

Pentru cele mai multe osciloscopie momentul implicit de declanșare a triggerului (referitor la axa timpului) corespunde mijlocului ecranului și este marcat printr-o săgeată (poziția axei verticale). Imaginea afișată pe ecran este împărțită în două zone.

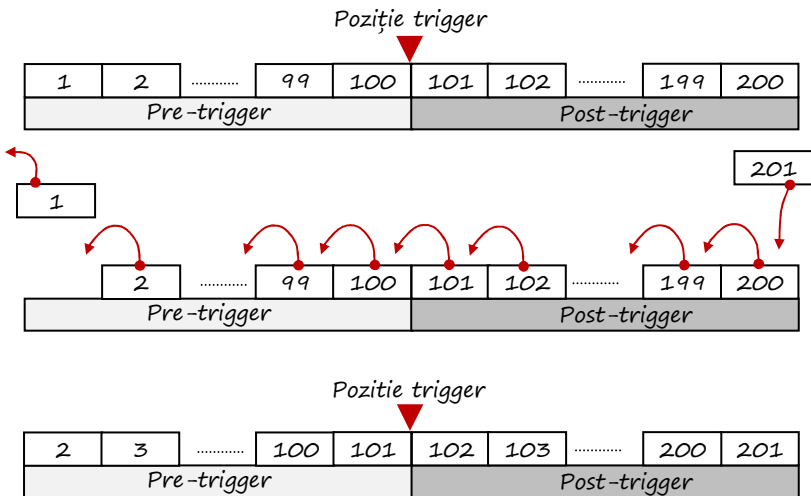
Prima zonă precede momentul de triggerare și se numește zonă de pre-trigger iar a doua este situată în timp după momentul de triggerare și este denumită zonă de post-trigger.

Afișarea eșantioanelor din zona de pre-trigger, când triggerul nu a fost încă declanșat este posibilă datorită utilizării

memoriei de tip circular. Astfel, osciloscopul stochează continuu puncte într-o memorie circulară.

În momentul în care memoria devine ocupată la capacitate maximă (numărul de puncte stocate este egal cu numărul maxim de puncte ce pot fi afișate pe ecran) cel mai recent eșantion achiziționat va fi stocat în detrimentul celui mai vechi, care va fi șters.

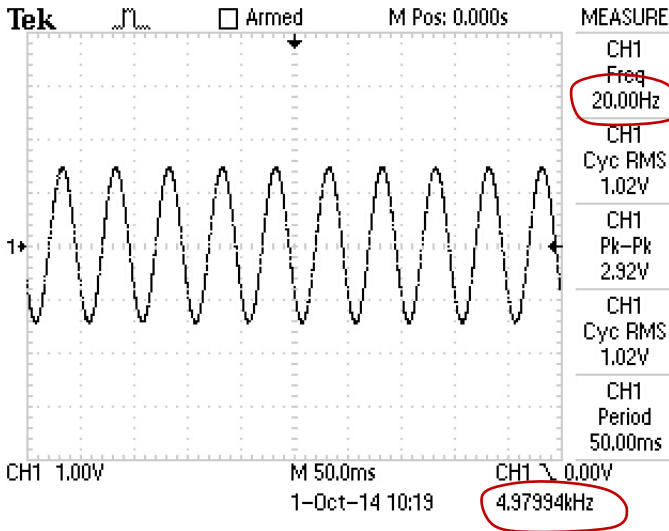
În momentul în care se îndeplinește condiția de trigger, se întrerupe scrierea în memoria circulară și se afișează cele două zone de pre-trigger și post-trigger. Ponderea acestor zone în memoria circulară poate fi modificată prin reglajul momentului de triggerare la nivelul ecranului.



Să considerăm că pe ecran pot fi afișate ca trasă 200 de puncte. După ocuparea celor 200 de locații ale memoriei, următorul punct 201 va scris în memorie iar punctul cu număr de ordine 1 va fi șters. La fiecare pas de scriere și implicit de ștergere se verifică dacă se îndeplinește condiția de trigger.

Există ALIAS la osciloscop?

Da, există situații particulare când semnalul afișat pe ecranul osciloscopului nu corespunde cu semnalul măsurat. Prezentăm în continuare un astfel de caz.



S-a generat un semnal sinusoidal de frecvență 4980Hz. Semnalul a fost achiziționat pe un osciloscop Tektronix de tip TDS 1002B, utilizând achiziția sample cu comutatorul Sec/Div pe valoarea 50ms/div.

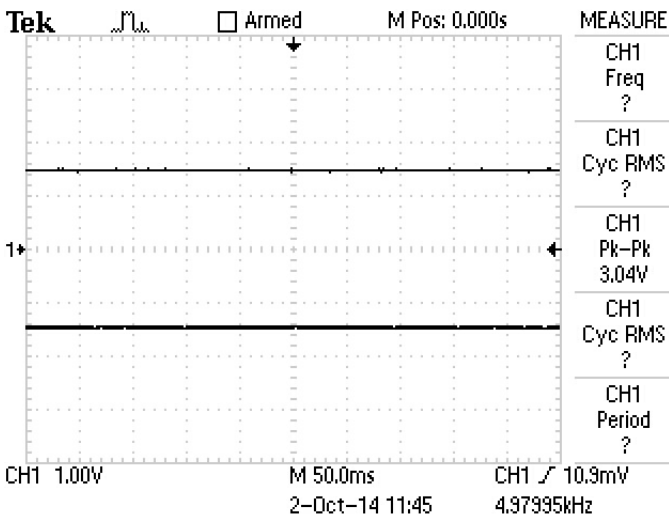
După cum se poate observa în imaginea preluată, osciloscopul raportează frecvența măsurată ca fiind atât 20Hz cât și 4980Hz. Dacă nu am ști care a fost valoarea generată a frecvenței, în care dintre valorile raportate ar trebui să ne încredem? Este un caz tipic de alias.

Să vedem care este frecvența de eșantionare pentru punctele afișate pe ecran (frecvența obținută după selecția eșantioanelor la nivelul sistemului de achiziție). $50\text{ms/div} * 10$ diviziuni = 500ms. Ecranul este alcătuit din 2500 de puncte pe OX, rezultând o distanță în timp între puncte de $500\text{ms} / 2500$

= 0.2ms și o frecvență de eșantionare de 5000Hz. Acest lucru înseamnă că putem vizualiza pe această gama de 5000Hz semnale de maxim 2500Hz. Semnalul urmărit pe osciloscop este de 4980Hz și evident se află în zona de alias.

Frecvența afișată de 20Hz este frecvența semnalului alias, măsurată pe semnalul realizat din punctele afișate pe ecran.

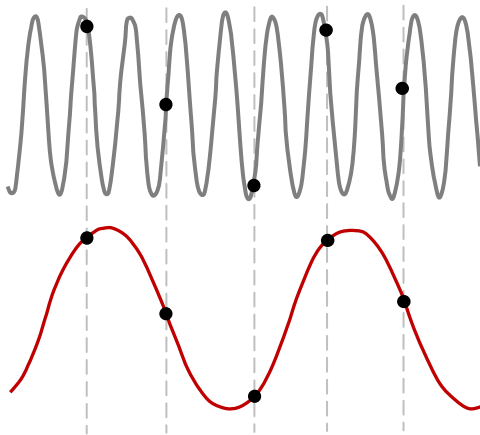
Frecvența de 4979Hz este frecvența măsurată pe semnalul realizat din eșantioane, rezultate de la convertorul analog numeric, înainte de a se realiza transformarea eșantioanelor în puncte la nivelul sistemului de achiziție.



O soluție în a vedea dacă semnalul vizualizat pe osciloscop este sau nu un semnal alias este utilizarea achiziției peak detect. În această situație dacă avem un semnal alias, într-un interval de afișare vom regăsi cel puțin o perioadă a semnalului real iar achiziția peak detect va prelua valorarea minimă și cea maximă adică excursia completă vârf-la-vârf a valorii instantanee rezultând o afișare precum cea din figura alăturată.

Ce este alias?

Teorema eșantionării precizează că un semnal, pentru a putea fi reconstituit din eșantioanele sale, trebuie eșantionat la o frecvență cel puțin egală cu dublul frecvenței maxime din spectrul semnalului.



Astfel, spre exemplu, dacă semnalul este sinusoidal de frecvență 4980Hz se obține prelevarea întregii informații din semnal doar dacă acesta este eșantionat cu o frecvență de cel puțin dublă, adică 9960kHz.

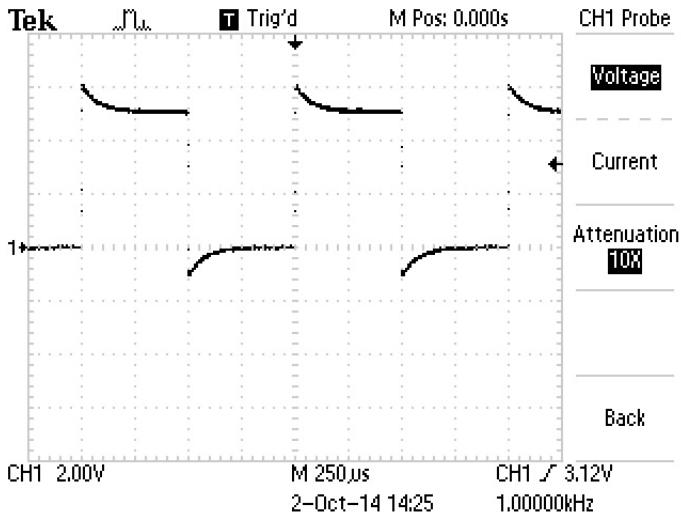
În situația în care teorema eșantionării nu este respectată, semnalul reconstituit din eșantioane va fi diferit ca frecvență de cel real. Acest efect este denumit alias, iar semnalul aparent obținut se numește semnal alias.

Pentru semnalul din imagine, desenat în gri, s-au prelevat mai puțin de 2 eșantioane pe perioadă. În această situație, refacerea semnalului din puncte duce la obținerea unui semnal de frecvență mai mică, desenat cu roșu.

Compensarea sondei divizoare

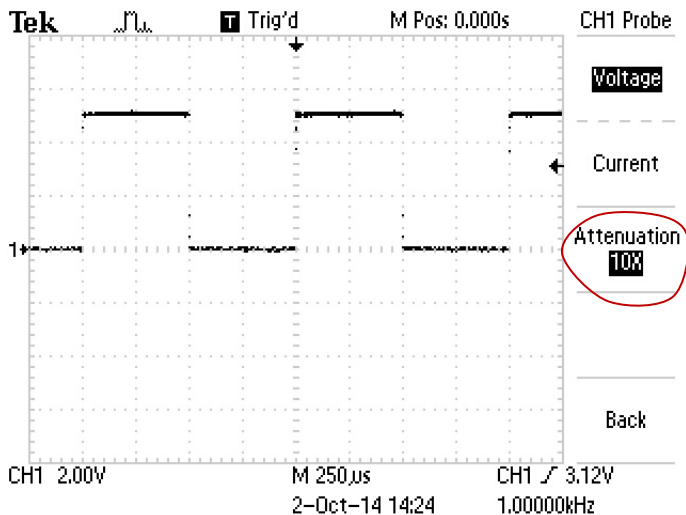
În situația în care vrem să urmărim semnale cu valoare mai mare decât cea permisă de intrarea osciloscopului trebuie să utilizăm sonde divizoare.

Sonda divizoare împreună cu osciloscopul realizează două divizoare de tensiune puse în paralel, un divizor rezistiv și unul capacitiv. Ca ansamblu, cele două divizoare sunt dependente de frecvența semnalului dacă raportul divizorului rezistiv nu este egal cu cel al raportului capacitiv. Aceasta egalitate se realizează prin procedura de compensare a sondei.



La nivelul sondei există un buton de reglaj al capacității sondei. Pentru a se efectua compensarea se conectează sonda între un canal al osciloscopului și ieșirea osciloscopului specială pentru compensarea sondei. Această ieșire furnizează un semnal dreptunghiular de 5V la 1kHz. Dacă sonda este necompensată, semnalul dreptunghiular este deformat și arată ca în imagine alăturată.

Pentru a se înlătura deformarea se acționează asupra butonului de reglaj al sonde până se obține un semnal similar celui prezentat alăturat.



Utilizarea sondei reductoare are ca efect atenuarea semnalului măsurat cu un factor înscris pe corpul sondei. Pentru a păstra reale informațiile referitoare la semnal, se multiplica la nivelul osciloscopului cu un factor egal cu cel cu care sonda a efectuat atenuarea (în exemplul prezentat factorul este de $\times 10$).

De măsurat

1. Să se stabilească numărul de puncte al unei trase de pe ecranul osciloscopului. De vor parcurge următorii pași:

- Se vizualizează un semnal pe ecran și se triggerrează (achiziție sample). Se oprește achiziția prin apăsarea butonului RUN/STOP
- Pentru valoarea comutatorului Sec/Div se calculează lungimea în timp a secvenței afișate (valoarea Sec/Div înmulțită cu numărul de diviziuni).
- Se modifică valoarea Sec/Div astfel încât pe ecran să se vadă punctele din care este realizată trasa. Se verifică în meniul DISPLAY ca Type să fie selectat pe Dots.
- Se măsoară cu ajutorul cursorilor distanța dintre două puncte.
- Știind lungimea in timp a secvenței afișate și distanța dintre 2 puncte sa se stabilească numărul punctelor.
- Să se repete procedura prezentată mai sus pentru achiziția peak detect.

2. Să se urmărească evoluția in timp a unui semnal utilizând funcția PERSIST din meniul DISPLAY.

- Se selectează Persist pe Infinite. Se vizualizează un semnal pentru toate tipurile de achiziție valabile pe osciloscop. Se modifică amplitudinea semnalului de la generator apoi se modifică frecvența. Se urmăresc modificările apărute la afișare

- Prin ce se deosebește vizualizarea unui semnal achiziționat cu Persiste față de unul achiziționat cu waveform database?

3. Să se realizeze compensarea unei sonde divizoare utilizând ca generator sursa proprie de calibrare a osciloscopului.

4. Să se vizualizeze un semnal modulată în frecvență provenit de la generator.

- Să se vizualizeze spectrul de frecvență și să se noteze frecvențele componentelor spectrale. Din Math Meniu se selectează Operation: FFT.
- Să se reprezinte pe un grafic în domeniul frecvență.

În ce unități de măsură este dată valoarea amplitudinii? Să se determine cu ajutorul cursorilor (se selectează Source: Math) valoarea în dB după care să se transforme în volți știind că la 0dB corespunde 1V valoare efectivă. $20\log U/U_{\text{referință}}=0$; $U=1V$; rezultă referința de tensiune $U_{\text{Referință}}$

sfârșit?

