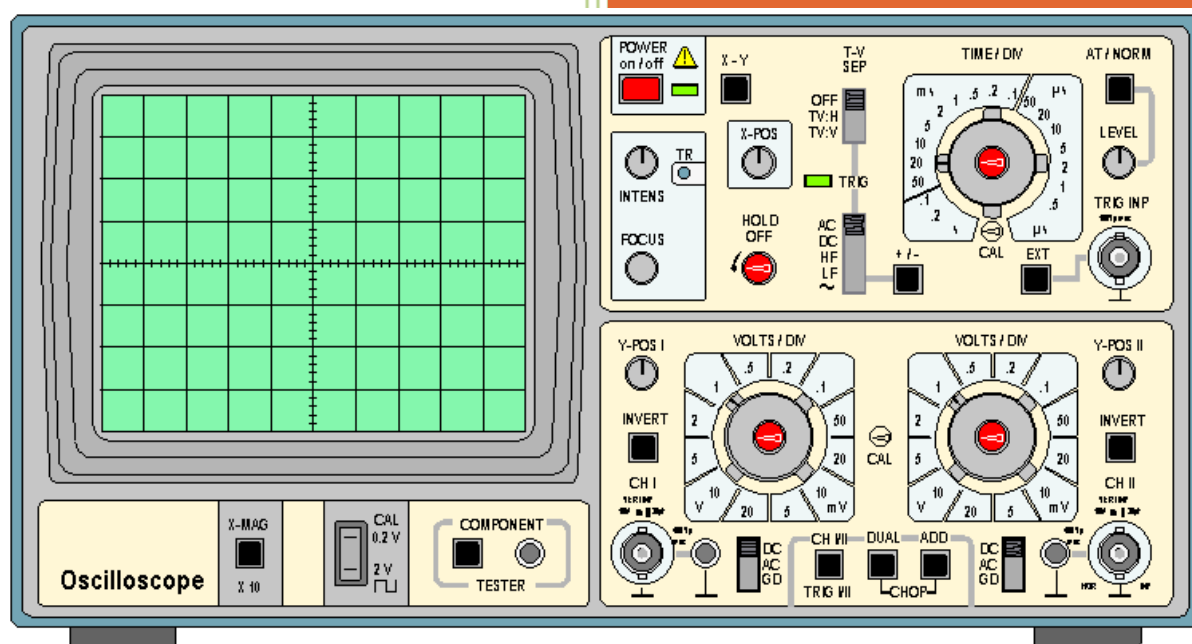


MERITVE (elektro del)



Janez SIPOŠ, univ. dipl. inž.

ŠC Ptuj, VSŠ

21.3.2011

PREDGOVOR

Napisati vse, kar je potrebno za to področje, je nemogoče. Danes potrebujemo to, jutri že kaj drugega. Vseskozi se učimo in tudi iščemo nove rešitve. Zato imamo literaturo, kjer v eni knjigi najdemo eno rešitev, v drugi knjigi rešitev za drugi problem. Danes pa nam še priskoči na pomoč svetovni splet, kjer od doma, kjer študiramo, lahko iščemo rešitve naših študijskih zagat. S sprotnim sledenjem na predavanjih in podčrtovanjem, obkrožanjem pomembnih stavkov ali formul, si bomo zelo pomagali pri študiju. Tehnika se ne da študirati brez svinčnika in papirja.

Besedilo ni jezikovno lektorirano in strokovno recenzirano.

Kazalo

UVOD	6
OSNOVNI POJMI MERILNE TEHNIKE	7
Lastnosti merilnih naprav	9
Merjena veličina	9
Vplivna veličina	10
Statične merilne lastnosti	10
Dinamične merilne lastnosti	11
MEROSLOVJE (Metrologija)	12
Veličine in njihova medsebojna povezanost	14
Mednarodni sistem enot (SI)	14
Sistem merskih enot	14
Decimalne enote	17
Napake pri merjenju (pogreški)	18
Merilne napake (pogreški, negotovost)	18
Meje napake (pogreška, negotovosti)	20
Podajanje merilnih rezultatov	23
Zaokroževanje merilnih rezultatov	23
ELEKTRIČNI MERILNI INSTRUMENTI	24
Analogni merilniki (elektromehanski)	24
Karakteristike merilnikov	25
Instrument z vrtljivo tuljavo	25
Opis delovanja instrumenta z vrtljivo tuljavico	26
Razširjanje merilnega območja	28
Instrument z vrtljivim železom	29
Elektrodinamični instrumenti	30
Elektrodinamični W-meter (vatmeter)	30
Indukcijski instrument	31
Digitalni merilniki (elektronski)	33
Multimetri	33
Analogno-digitalni pretvornik (ADP)	34
Merilniki moči in energije	37
ELEKTRONSKI MERILNI SISTEMI	39
Elektronski voltmetri	40
Digitalni elektronski voltmetri	41
Vhodna stopnja elektronskega voltmetra	41

Elektronski osciloskop	42
Braunova elektronka	42
Dvokanalni osciloskop (delovanje)	44
Ravnanje z osciloskopom	49
Merilne sonde	50
Digitalni osciloskop	52
Opis delovanja osciloscopa	54
Spektralni analizator	54
Delovanje spektralnega analizatorja	56
Univerzalni elektronski števeci	57
Merjenje frekvence	57
Merjenje periode	58
MERILNI TRANSFORMATORJI	58
Tokovne klešče	59
LABORATORIJSKI IZVORI NAPETOSTI	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Izmenični sinusni in nesinusni generatorji	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Nastavljivi transformatorji	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Elektronski generatorji	Napaka! Zaznamek ni definiran.
MERJENJE ELEKTRIČNIH VELIČIN	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Merjenje napetosti in tok	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Posredno merjenje napetosti in toka	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Merjenje efektivne napetosti ali toka	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Merjenje z osciloskopom	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Merjenje moči	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Merjenje upornosti	Napaka! Zaznamek ni definiran.
MERJENJE NEELEKTRIČNIH VELIČIN	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Merjenje dolžin	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Merjenje sile	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Merjenje temperature	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Senzorji	Napaka! Zaznamek ni definiran.
AM256 - 8-bitni kotni magnetni senzor	Napaka! Zaznamek ni definiran.
RAČUNALNIŠKI MERILNI SISTEMI	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Računalnik	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Digitalizacija signala	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Povezave merilnih instrumentov (vodila – BUS)	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Tokovna zanka 4-20 mA	Napaka! Zaznamek ni definiran.

Serijsko vodilo - RS232	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Paralelno vodilo – GPIB	Napaka! Zaznamek ni definiran.
USB vodilo	Napaka! Zaznamek ni definiran.
Tipalo merjene veličine	Napaka! Zaznamek ni definiran.
LITERATURA	Napaka! Zaznamek ni definiran.

UVOD

V življenju vedno nekaj štejemo ali merimo, kot je npr.: število korakov do šole, število naših let – starost, našo velikost – višino v cm itd. S pojavom serijske izdelave izdelkov se je potreba po merjenju zelo povečala, ker morajo biti izdelki enaki drug drugemu zaradi lažjega serijskega dela. Zato nas meritev spremlja od zibelke do groba.

In kaj je meritev?

Meritev je primerjanje znane fizikalne veličine, ki se imenuje enota, z neznano vrednostjo istovrstne veličine. Zato merimo, da dobimo objektivni in ponovljiv podatek o velikosti, množini, jakosti fizikalne veličine, kot so: dolžina, čas, napetost, tok, moč itd.

Čemu meriti?

Zato, da imajo proizvodi ustrezno kvaliteto, da je poraba sredstev čim manjša in s tem finančni prihranek, da pravilno postavimo ceno, ki bo konkurenčna itd.

Kako merimo?

Je vprašanje, ki je zelo pomembno in od katerega je odvisen naš rezultat in kvaliteta izdelka ali storitve. Pri tem moramo upoštevati razpoložljivo opremo, zahtevano točnost, znanje izvajalcev, potreben čas, vrsto merjene veličine, pogoje, v katerih poteka meritev itd. Za pravilno odločitev si moramo biti na jasnem, kaj se dogaja z merjeno veličino (vrsta, velikost, območje, frekvenca itd). Glede na razpoložljivo merilno opremo izberemo metodo, ki bo enostavna in zanesljiva. Ne pozabimo na pogoje, v katerih se nahaja merilna oprema ali je vzdrževana (deklaracije) ali ne. Zaradi vsega tega je pomembno temeljito poznavanje nekaterih elementarnih principov merjenja.

OSNOVNI POJMI MERILNE TEHNIKE

Kvaliteta (kakovost) - lastnosti stvari ali pojavov, ki določajo njihove karakteristike. Kvaliteto določamo z merjenjem po vnaprej določenih kriterijih, za katere se dogovorita stranki.

Zanesljivost – podaja sposobnost izdelka, da opravlja svojo funkcijo določen čas (življenjska doba izdelka). Zanesljivost se lahko določi matematično. S pravilno definirano oziroma izračunano zanesljivostjo izdelka si zagotovimo, da bo izdelek pravilno deloval celotno garancijsko dobo.

Veličina – lastnost pojava, telesa ali snovi, ki se da razlikovati kakovostno in določiti količinsko. (dolžina, električni tok, itd)

Osnovne veličine – so med seboj neodvisne veličine (meter, kilogram, sekunda,...). Nasprotne od teh so izpeljane veličine, ki pa vsebujejo osnovne veličine (hitrost v [m/s]).

Merska enota – dogovorno sprejeta določena veličina, ki jo uporabljamo za izražanje veličin iste dimenzije (A – amper).

Merilni rezultat: $I = 10 \text{ A}$

Kjer pomeni: I - simbol za vrednost električnega toka

10 - mersko število

A (Amper) - enota za električni tok

Uporabljeni simbol (I) pomeni, da je električni tok 10 krat večji od enote ampera.

Merilna metoda ali tehnika merjenja neznane veličine je lahko posredna (direktna) ali neposredna (indirektna). Pri tem razlikujemo dve bistveno različni metodi:

- odklonska, pri kateri je odklon instrumenta osnova za določitev vrednosti merjene veličine in
- ničelna, ko instrument kaže nič oziroma minimalni odklon instrumenta, vrednost merjene veličine pa določimo iz drugih znanih pogojev merilnega vezja.

Merilne metode še lahko nadalje delimo na navadne, primerjalne, zamenjalne, diferenčne in posebne.

Merilni postopek delimo na:

- analogni, kadar izhodna veličina zvezno zavzame katerokoli vrednost znotraj merilnega območja (odklon kazalca na skali instrumenta).
- digitalni, ki ga delimo na tri korake:
 - o Vzorčenje je postopek, s katerim dosežemo vrednost merilnega parametra le v določenih trenutkih, ki so med seboj enakomerno časovno razmaknjeni.
 - o Kvantizacija je postopek s katerim celotno merilno območje razdelimo na končno število manjših območij imenovanih kvant ali tudi korak kvantizacije (8 bitna ali več).

- Kodiranje je postopek kjer vrednosti merilnega parametra priredimo različne številske sisteme (digitalni V-meter uporablja za prikaz decimalno kodo, za signale, ki jih uporabimo za nadaljnjo obdelavo pa BCD kodo).

Koda – je zbirka pravil, kako prikažemo binarne podatke z znaki (ASCII – koda, ki prikazuje številke in črke abecede, BCD – koda prikazuje številke 0 do 9).

Analogni in digitalni postopek. Nekaj značilnih lastnosti analognih in digitalnih merilnih postopkov oziroma naprav, če upoštevamo le odklonsko merilno metodo.

Primerjava ob uporabi navadne odklonske metode	Analogni merilni postopek	Digitalni merilni postopek
Povprečna ločljivost pri kazanju	10 ⁻³	<10 ⁻³
Povprečna merilna napaka	≈1%	≈0,1%
Uporabnost merilnega območja	≈10:1	≈1000:1
Mejna frekvenca	višja	nižja
Razpoznavanje mejnih vrednosti	dobro	slabo
Razpoznavanje časovnih sprememb (tendenc)	dobro	slabo
Občutljivost na motnje pri prenosu podatkov	velika	zanemarljiva
Možnost računanja in obdelave podatkov	zanemarljiva	velika
Prenos podatkov v (digitalni) računalnik	po pretvorbi	neposredno
Vključitev v avtomatski merilni sistem	nerodna	lahkotna

Pri analognih instrumentih merilec ne zazna sprememb manjših od 1 kotne minute, kar znaša približno 0,07 mm. S tem smo omejeni na končno število odčitkov, ki pa jih še omejuje napaka gledanja – paralaksa.

Digitalni postopek omeji število odčitkov s kvantizacijo in merilec le odčita rezultat. Napaka nastopi pri merjenju izmeničnih veličin s prenizko frekvenco vzorčenja, ki napačno prikaže obliko napetosti in s tem pravo vrednost merjene veličine.

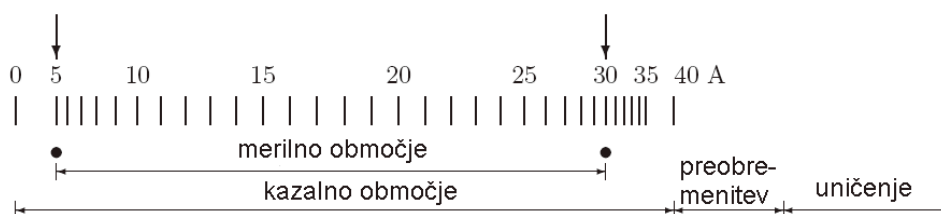
Efektivna vrednost izmenične veličine pomeni, da je to tista velikost izmenične veličine toka ali napetosti, ki opravi enako delo kot enako velika enosmerna veličina toka ali napetosti pri enakih pogojih (enaka količina, enak čas, enako delo).

Notranja upornost generatorja ali galvanskega člena in merilnega instrumenta. Vsak izvor napetosti ima neko upornost, ki jo predstavlja žica navitja ali upornost snovi galvanskega člena. Tudi merilni instrumenti imajo neko notranjo upornost, ki jo predstavlja upornost žice merilnega organa ali upornosti uporovnih vezij (atenuatorjev – slabilniki napetosti z upori).

Lastnosti merilnih naprav

Za izbiro merilne opreme moramo imeti tehnične podatke, ki v dovolj nazorni obliki podajajo funkcionalne lastnosti opreme. Pri tem razlikujemo podatke, ki se nanašajo na merjeno veličino in na podatke, ki se nanašajo na vplivne veličine. Pomembni so tudi podatki, ki so podani za statične razmere ali podatki, ki so podani za dinamične razmere merjenja.

Merjena veličina



Kazalno območje – je celotno območje skale instrumenta (ampermetra), na katerem lahko opazujemo odklon kazalca instrumenta.

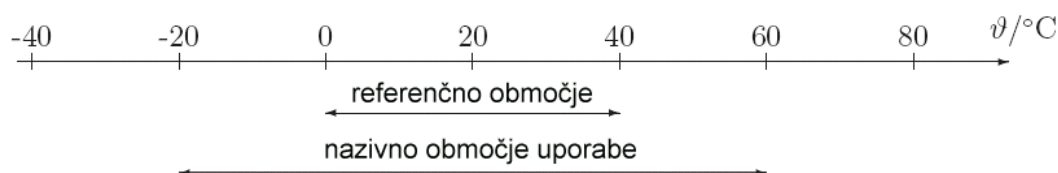
Merilno območje – je le tisti del kazalnega območja, na katerem lahko merimo z označeno točnostjo.

Preobremenitev – je vrednost tiste merjene veličine, ki trajno ne poškoduje instrumenta, če ji je izpostavljen kratek čas.

Vplivna veličina

Vplivna veličina je fizikalna veličina, ki jo merilni instrument ne meri, vpliva pa na kazanje instrumenta.

Med mnogimi veličinami (frekvenca, temperatura, vlaga, magnetna polja itd.) je najbolj vplivna veličina temperatura.



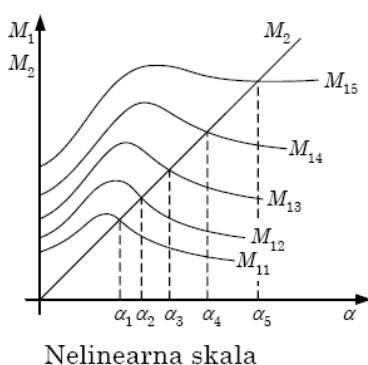
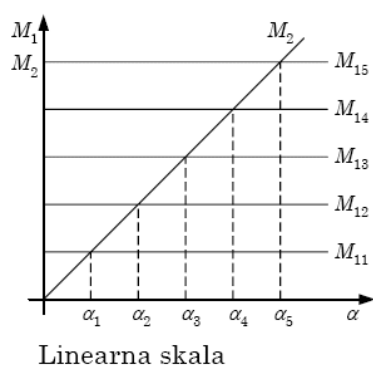
Referenčno območje vplivne veličine je vrednost ali območje vplivne veličine, pri katerih instrument meri z označeno točnostjo. V našem konkretnem primeru (slika zgoraj) bo instrument meril s predpisano točnostjo, če bo delovna temperatura v območju od 0 do 40°C.

Nazivno območje je večje od referenčnega območja, vendar v tem območju poznamo za koliko se sme spremeniti vrednost kazanja instrumenta.

Primer opisa vplivne veličine za instrument: 0...20...40°C. Pri tem pomeni 20°C referenčno vrednost, 0 do 40°C pa nazivno območje uporabe.

Statične merilne lastnosti

Nam podajajo odnos med vhodno veličino x in izhodno veličino y , ki je lahko linearna (najbolj zaželeno) ali nelinearna odvisnost.



M_1 – električni vrtilni moment

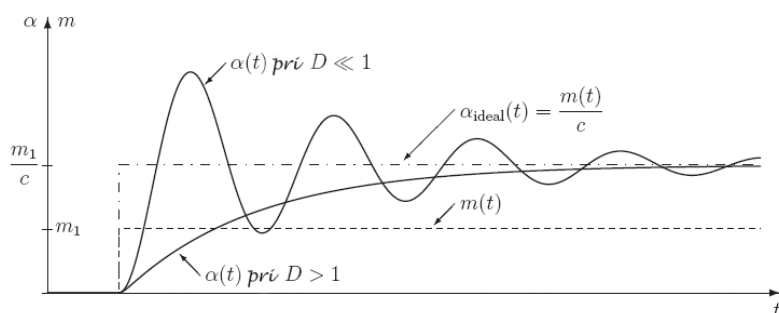
M_2 – protimoment (spiralna vzmet)

α – kot odklona kazalca

Ravnotežna enačba: $M_1 + M_2 = 0$

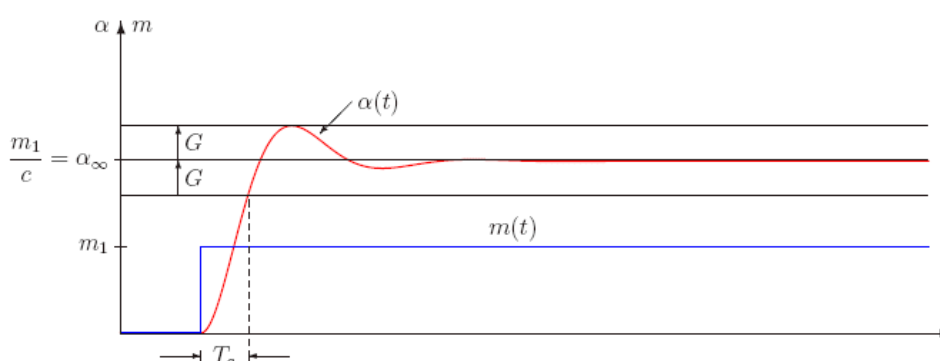
Dinamične merilne lastnosti

Dinamične lastnosti podajamo z diagrami, ki podajajo, kako se instrument obnaša pri hipni spremembi vhodne veličine (skočna ali stopničasta funkcija vhodne veličine). Pri analognih merilnikih s kazalcem se to odraža, kako se premika kazalec ob priključitvi vhodne veličine.



Slika prikazuje kako se odkloni kazalec α v odvisnosti od časa t .

Ko priključimo vhodno veličino na instrument ($m(t)$, hipna funkcija) se kazalec začne premikati, vendar ne hipoma, ker ima določeno mehansko vztrajnost. Če ne bi imel vztrajnost, bi potekal odziv s funkcijo $\alpha_{ideal}(t)$. Če je dušenje kazalca ($D \ll 1$) manjše, se kazalec odkloni preko dejanske vrednosti (m_1/c) in tako zaniha okrog merjene vrednosti in se po določenem času umiri in pokaže izmerjeno vrednost. Če je dušenje premika kazalca veliko ($D > 1$), se kazalec počasi pomika k izmerjeni vrednosti. Sistem mora biti optimalno dušen, da kazalec v čim krajšem času pokaže vrednost merjene veličine kot prikazuje slika (T_a – odzivni čas, spodaj).



Slika optimalnega odzivnega časa kazanja merilnega instrumenta.

MEROSLOVJE (Metrologija)

Meroslovje določajo zakoni, ki točno določajo kako ravnati z merili in njihovim vzdrževanjem, zato si pogledimo te zakone.

[Zakonodaja in dokumenti](#)

Znanstveno meroslovje

[Zakon o meroslovju](#) (Ur. list RS, št. 26/05 - uradno prečiščeno besedilo)

[Pravilnik o nacionalnih etalonih](#) (Ur. list RS, št. 69/02)

[Navodilo za zagotavljanje merilne sledljivosti referenčnih etalonov v Republiki Sloveniji na mednarodno raven št. 5360-1/04-1](#)

Zakonsko meroslovje

[Zakon o meroslovju](#) (Ur. list RS, št. 26/05 - uradno prečiščeno besedilo)

[Pravilnik o merilnih instrumentih](#) (Ur. list RS, št. 42/06)

Nova meroslovna direktiva

[slovenska verzija](#)

[angleška verzija](#)

[nemška verzija](#)

[Seznam vseh predpisov](#)

Plemenite kovine

[Zakon o izdelkih iz plemenitih kovin](#) (Ur. list RS, št. 04/06 - uradno prečiščeno besedilo)

[Seznam predpisov s področja plemenitih kovin](#)

PRSP

[Zakonom o Priznanju RS za poslovno odličnost](#) (Ur. list RS, št. 83/03 - uradno prečiščeno besedilo)

[Pravilniku o delu Odbora za priznanja RS za poslovno odličnost](#) (Ur. list RS, št. 34/04)

[Pravilnik o delu Odbora za priznanje RS za poslovno odličnost](#) (Ur. list RS št. 82/06) - VELJA za PRSP 2007.

[Predlogi predpisov](#)

[Ostali pomembni dokumenti](#)

Navedeno zakonodajo najdemo na strani:

http://www.mirs.gov.si/si/zakonodaja_in_dokumenti/

Zakon o meroslovju nam v prvih dveh točkah podaja:

1. člen

Ta zakon ureja točna in mednarodno usklajena merjenja, sistem merskih enot, etalone, merilne instrumente, veljavnost listin in znakov skladnosti, meroslovne zahteve za predpakirane izdelke in meroslovni nadzor ter pristojnosti in odgovornosti Urada Republike Slovenije za meroslovje (v nadaljnjem besedilu: Urad).

2. člen

Izrazi, uporabljeni v tem zakonu, pomenijo:

– "etalon" je opredmetena mera, merilni instrument, referenčni material ali merilni sistem, katerega namen je, da definira, realizira, ohranja ali reproducira neko enoto ali eno ali več vrednosti veličine, tako da služi kot referenca;

– "nacionalni etalon" je referenčni etalon, ki je z odločbo upravnega organa priznan kot podlaga za ugotavljanje vrednosti drugih etalonov zadevne veličine v Republiki Sloveniji;

– "referenčni etalon" je etalon, na splošno največje meroslovne kakovosti, ki je na voljo na danem kraju ali v dani organizaciji in je osnova za merjenje na tem mestu;

– "umerjanje (kalibracija)" je niz operacij za ugotavljanje povezave med vrednostmi, ki jih kaže merilni instrument ali merilni

sistem, oziroma vrednostmi, ki jih predstavlja opredmetena mera ali referenčni material, in pripadajočimi vrednostmi, realiziranimi z etaloni, pod določenimi pogoji;

- "sledljivost" je lastnost merilnega rezultata ali vrednosti etalona, ki omogoča navezavo na navedene reference, ponavadi nacionalne ali mednarodne etalone, skozi neprekinjeno verigo primerjav, ki imajo opredeljeno negotovost;
- "merilni instrument" (v nadaljnjem besedilu: merilo) je naprava, katere namen je, da se sama ali skupaj z dodatnimi napravami uporablja za merjenje;
- "redna overitev merila" je overitev, ki se izvede periodično in v skladu s predpisi;
- "izredna overitev merila" je overitev, ki se izvede po predelavi, odpravi okvare ali drugih tehničnih pomanjkljivosti merila.

Najdemo ga na strani:

<http://www.uradni-list.si/1/ulonline.jsp?urlid=200526&dhid=74831>

Zakonodajo, ki ureja področje meroslovja, bi lahko razdelili na naslednja področja:

■ **Znanstveno meroslovje** (<http://www.mirs.si/index.php?id=2654>)

Znanstveno meroslovje – je na najvišjem strokovnem nivoju, ki se ukvarja z razvojem in vzdrževanjem etalonov ter merilnih postopkov

■ **Zakonsko meroslovje** (<http://www.mirs.si/index.php?id=2653>)

Zakonsko meroslovje – je del meroslovja, ki se nanaša na aktivnosti na osnovi zakonskih zahtev in zadeva meritve, merilne enote, merilne instrumente in merilne metode, katere izvajajo pristojni organi.

■ **Plemenite kovine** – (<http://www.mirs.si/index.php?id=2660>)

Plemenite kovine – spadajo med načrtovanje in vzpostavljanje nacionalnega sistema za zagotavljanje skladnosti izdelkov iz plemenitih kovin

■ **Meroslovni nadzor** (<http://www.mirs.si/index.php?id=2655>)

Meroslovni nadzor – ureja izvajanje nadzora nad merili v uporabi in v prometu ter nadzor nad izdelki iz plemenitih kovin

Veličine in njihova medsebojna povezanost

Fizikalne veličine, krajše veličine, so lastnosti pojavov ali teles, ki jih lahko količinsko opredelimo, to so merljive lastnosti naravnih pojavov, procesov in stanj.

Veličine pa lahko opredelimo tudi po količini, kar je pravzaprav tudi osnovni namen merjenja. **Vrednost neke veličine je produkt merskega števila in enote.**

$$\text{Veličina} = \text{Mersko število} \cdot \text{Enota}$$

Primer:

$$\text{Veličina} = \text{Mersko število} \cdot \text{Enota}$$

$$\text{Napetost} = 50 \cdot 1 \text{ Volt}$$

$$U = 50 \cdot 1 \text{ V} = 50 \text{ V}$$

Mednarodni sistem enot (SI)

Za mednarodno sporazumevanje in menjavo dobrin je potrebno uskladiti merske sisteme v enotni mednarodni merski sistem enot, ki bo zagotovil izpeljavo merskih enot za vsa področja fizike in znanosti nasploh.

Sistem merskih enot

Koherentni sistem enot je sprejela in priporočila Generalna konferenca za uteži in mere (CGPM). Temelji na naslednjih sedmih osnovnih enotah, s katerimi je mogoče opisati vse fizikalne pojave. Iz njih so izpeljane vse ostale izvedene veličine.

Veličina	Enota	Simbol	Definicija
dolžina	meter	m	Meter je dolžina poti, ki jo prepotuje svetloba v vakuumu v časovnem intervalu $1/299.792.485$ sekunde. Realizacija metra se vrši s pomočjo jodovega stabiliziranega helij-neonskega laserja z valovno dolžino 633 nm in ponovljivostjo $3 \cdot 10^{-11}$, čemur je ekvivalentno merjenje Zemljinega srednjega obsega s točnostjo 1 mm. Meter je torej realiziran z naravnim pojavom. Naprava, ki realizira to definicijo, je primarni etalon z določeno negotovostjo.
masa	kilogram	kg	Masa je količina snovi, ki meri upiranje telesa pri pospeševanju in vplivu gravitacijskega polja na telo. Kilogram je enak masi mednarodnega prototipa - prakilograma, ki ga hrani Mednarodni urad za uteži in mere (BIPM) v Parizu. Ker je to kilogram po definiciji in se ne veže na noben naravni pojav ali zakonitost, ta prakilogram nima negotovosti.
čas	sekunda	s	Sekunda je trajanje $9\,192\,631\,770$ period sevanja, ki ustreza prehodu med dvema hiperfinima nivojema osnovnega stanja atoma cezija 133. Realizacija sekunde se vrši s pomočjo cezijeve ure, ki ima pogrešek eno sekundo v 300.000 letih.
električni tok	amper	A	Amper je jakost enosmernega električnega toka, ki povzroča v vakuumu pri prehodu skozi dva ravna, en meter oddaljena, neskončno dolga, vzporedna vodnika z zanemarljivo majhnim krožnim presekom silo $2 \cdot 10^{-7}$ N na meter dolžine.

			Realizacija ampera se vrši s pomočjo tokovne tehnice.
termodinamična temperatura	kelvin	K	Kelvin je enota termodinamične temperature, ki je enaka 273,16 delu termodinamične temperature trojne točke vode. Temperatura trojne točke vode v diagramu stanj ustreza trojnemu stanju, kjer so pri določenem tlaku v ravnovesju vse tri agregatne faze čiste snovi: trdna (led), kapljevinska (tekoča voda), plinska (vodna para). Realizacija termodinamične temperature temelji na trojni točki vode, (izvedeni v posebni celici) fiksne točke ITS.
množina snovi	mol	mol	Mol je tista množina snovi, ki vsebuje toliko delcev, kolikor je atomov v 12 gramih ogljikovega izotopa ^{12}C . Mol ni realiziran neposredno iz definicije, pač pa na različne posredne načine.
svetilnost	kandela	cd	Kandela je svetilnost vira sevanja v določeni smeri, ki oddaja monokromatsko sevanje s frekvenco 540 THz in katerega energijska jakost v tej smeri je 1/683 (W/sr). Realizacija kandelega se vrši s pomočjo kyrogenskega radiometra, ki primerja učinek segrevanja optičnega sevanja z električno močjo

http://www.mirs.gov.si/si/predstavitev/meroslovje/sistem_merskih_enot/

Vse ostale enote SI se imenujejo izpeljane enote, ker jih izpeljemo iz definicij za ustrezne izpeljane veličine s pomočjo enačb med enotami.

Izpeljane enote SI s posebnimi imeni in simboli

Izpeljana veličina	Izpeljana enota			
	Posebno ime	Simbol	Izražena z drugimi	Izražena z osnovnimi enotami SI
ravninski kot	radian	rad		m/m
prostorski kot	steradian	sr		m ² /m ²
frekvenca	Hertz	Hz		1/s
sila	Newton	N		kg · m/s ²
tlak, napetost	Pascal	Pa	N/m ²	kg/(m·s ²)
energija, delo, toplota	Joule	J	N · m	kg · m ² /s ²
moč (1 posebni imeni za enoto moči: (simbol: V·A), kadar se uporablja za izražanje navidezne moči izmeničnega električnega toka, in var (simbol: var), kadar se uporablja za izražanje jalove električne moči.), moč sevanja	Watt	W	J/s	kg·m ² /s ²

električni naboj, količina elektrine	Coulomb	C		A·s
električni potencial, razlika potencialov, napetost, lastne napetost	Volt	V	W/A	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{s}^3 \cdot \text{A})$
kapacitivnost	Farad	F	C/V	$\text{A}^2 \cdot \text{s}^4/(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$
električna upornost	Ohm	Ω (omega)	V/A	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{s}^2 \cdot \text{A}^2)$
električna prevodnost	Siemens	S	$1/\Omega$	$\text{s}^3 \cdot \text{A}^2/(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$
magnetni pretok	Weber	Wb	V·s	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{s}^2 \cdot \text{A})$
gostota magnetnega pretoka	Tesla	T	Wb/m ²	$\text{kg}/(\text{s}^2 \cdot \text{A})$
induktivnost	Henry	H	Wb/A	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{s}^2 \cdot \text{A}^2)$
svetlobni tok	lumen	lm		cd·sr
osvetljenost	luks, lux	lx	lm/m ²	cd·sr/m ²
aktivnost (radionuklida)	Becquerel	Bq		1/s
absorbirana doza, prejeta specifična energija, kerma, indeks absorbirane doze	Gray	Gy	J/kg	m^2/s^2
dozni ekvivalent, indeks doznega ekvivalenta	Sievert	Sv	J/kg	m^2/s^2

Decimalne enote

Ker enote SI niso vedno prikladne za količinsko opredelitev veličin, uporabljamo decimalne množilje in delitelje, s katerimi zvečamo (10^3 , 10^6) oziroma zmanjšamo (10^{-3} , 10^{-6}) mersko število.

ime	znak	vrednost	vrednost
tera	T	10^{12}	1.000.000.000.000
giga	G	10^9	1.000.000.000
mega	M	10^6	1.000.000
kilo	k	10^3	1.000
hekto	h	10^2	100
deka	da	10^1	10
deci	d	10^{-1}	0,1
centi	c	10^{-2}	0,01
mili	m	10^{-3}	0,001
mikro	μ	10^{-6}	0,000.001
nano	n	10^{-9}	0,000.000.001
piko	p	10^{-12}	0,000.000.000.001

Nepregledno Pregledno

0,00123 V 1,23 mV

0,0123 A 12,3 mA

0,123 $\cdot 10^{-3}$ H 123 μ H

12300 Ω 12,3 k Ω

1,23 10^8 W 123 MW

Uporabljajmo takšne decimalne enote, da bo mersko število med 1 in 1000, kar daje pregledne podatke.

Napake pri merjenju (pogreški)

Pri meritvi smo lahko zelo pazljivi, natančni, uporabimo objektiven postopek pa vseeno ne dobimo resnične vrednosti merjene veličine. Učinki vplivnih veličin na merilni objekt in napravo, nepopolnost merilnih metod in naprav in lastnosti merilca so izvor merilne napake oziroma pogreška. Napako lahko izrazimo v absolutni obliki, z enotami merjene veličine, ali pa v relativni obliki, tako, da povemo, kolikšna je v razmerju do resnične vrednosti veličine.

Podamo lahko:

Prava vrednost: x

Izmerjena vrednost: x_i

Absolutna napaka: $E = x_i - x$

Relativna (procentualna) napaka:

$$e = \frac{E}{x} = \frac{x_i - x}{x} (\cdot 100\%)$$

Merilne napake (pogreški, negotovost)

Napake pri merjenju lahko delimo v naslednje temeljne skupine:

- sistematske napake,
- naključne napake (slučajnostne) in
- grobe napake.

Sistematske napake se pojavljajo zaradi napak merilnih instrumentov (instrument ni pravilno umerjen, kazalec ni točno v ničlišču itd.), zaradi nepravilno izbrane merilne metode (UI – metoda merjenja upornosti), zaradi subjektivnih napak (nepazljivost, paralaksa, uporabe instrumenta izven merilnega območja itd.).

Značilno za sistematsko napako je, da jo lahko upoštevamo v korekciji.

Naključne napake so odvisne od sprememb v instrumentih in njihovi okolici (trenje v ležajih, elastična histereza vzmeti, nihanje temperature, vlage, napetosti itd.). Naključne napake s korekcijo ne moremo odstraniti, ker ne poznamo predznaka, ki se spreminja od meritve do meritve. Lahko ga pa zmanjšamo z večkratnim ponavljanjem meritev in iskanjem srednje vrednosti odčitkov meritev.

Aritmetično srednjo vrednost izračunamo:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j$$

N – število vseh meritev, j-ta meritev

Vsoto vseh meritev x , delimo s številom le teh meritev N .

Grobe napake večinoma izvirajo iz nezadostnega znanja in površnosti merilca (odčitavanje na napačni skali, napačni merilnik, napačni izračuni itd.). Grobe napake lahko preprečimo z večjo pazljivostjo pri merjenju in obdelavi rezultatov.

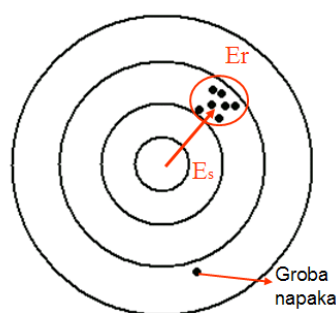
Matematična obdelava sistematske in naključne napake.

Označevanje napak:	x	- prava vrednost veličine
	x_{ij}	- j-ta izmerjena vrednost
	E_s	- sistematska napaka
	E_{rj}	- naključna napaka j-te izmerjene vrednosti

Tako lahko izračunamo j-to izmerjeno vrednost z sistematske in naključne napake:

$$x_{ij} = x + E_s + E_{rj}$$

Sistematska napaka (E_s) povzroča odmik od središča (prave vrednosti), naključna napaka (E_r) pa razpršenost.(slika desno)



upoštevanjem

Naključna napaka povzroča razpršenost odčitkov meritve, ker imajo napake različni predznak. To lahko izkoristimo pri velikem številu meritev, kjer se pri aritmetični srednji vrednosti naključna napaka manjša in limitira proti nič. Člen, ki predstavlja aritmetično srednjo vrednost E_{rj} limitira proti nič in ga tako izločimo.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} = x + E_s + \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N E_{rj} \Rightarrow \bar{x} = x + E_s$$

Pri velikem številu ponavljanja meritev se naključne napake znebimo, vendar aritmetična srednja vrednost še ni prava vrednost, ker še vsebuje sistemsko napako. Sistematska napaka je poglavitni vir netočnosti. Odpravljamo jo tako, da uporabimo različne merilne metode, menjavamo opremo in izvajalce ter primerjamo rezultate drugih merilnih laboratorijev.

Za pridobitev najboljše ocene za pravo vrednost merjene veličine uporabimo statistične metode na vrsti ponovljivih meritev pod enakimi pogoji.

Meje napake (pogreška, negotovosti)

Vsaka merilna naprava naredi napako, vendar ta mora biti v določenih mejah. Merilna naprava, ki je brezhibna in jo uporabljamo v mejah referenčnih pogojev, s svojo temeljno napako (razred instrumenta r) ne sme preseči določene vrednosti, ki ji pravimo **meja napake** (M_x).

$$M_x = \pm \frac{r}{100} x_r, \quad r - \text{razred točnosti, } x_r - \text{referenčna vrednost merjene veličine}$$

Razred instrumenta – r (temeljna napaka in se podaja v %) je definiran na referenčno vrednost merjene veličine x_r , ki je lahko:

- **merilni doseg x_D , oznaka na instrumentu 1,**
- **merilni razpon x_R , oznaka na instrumentu $|1|$,**
- **vsakokratna izmerjena vrednost x_i , oznaka na instrumentu (1) – številka v krogu ,**
- **dolžina skale l_D (se ne uporablja), oznaka na instrumentu 1 – kljukica pod številko.**

Razredi merilnikov so od 0,05 (laboratorijski) in do 5 (obratovni).

M_x je v enotah merjene veličine, zato ga imenujemo **absolutna meja napake** ali pogreška. Njena relativna vrednost (m_x) je **relativna meja napake**.

$$m_x = \frac{M_x}{x_i} \quad - \text{relativna meja napake;} \quad m_x [\%] = \frac{M_x}{x_i} 100 \quad - \text{podana v \%}$$

x_i – vsakokratna izmerjena vrednost

Če je referenčna vrednost merjene veličine vsakokratna izmerjena vrednost, je relativna meja napake neodvisna od izmerjene vrednosti.

$$m_x = \frac{M_x}{x_i} \Rightarrow = \pm r/100, \text{ izraz, ki ni odvisen od izmerjene vrednosti.}$$

Primer:

Merimo z V-metrom, ki ima razred $r = 0,5$ z merilnim dosegom $U_D = 100V$. Prvič kaže $U_{i1} = 15,5V$ in drugič $U_{i2} = 92,4V$.

Izračunaj absolutno mejo napake:

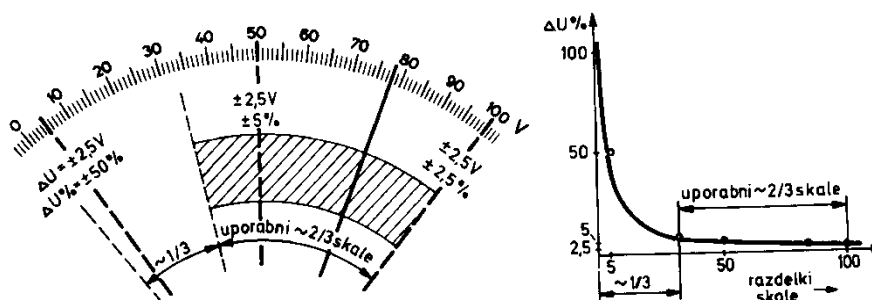
$$M_U = \pm \frac{r}{100} U_D = \pm \frac{0,5}{100} 100V = \pm 0,5V$$

Izračunaj relativno mejo napake:

$$mu_1 = \pm \frac{r}{100} \frac{U_D}{U_{i1}} = \pm \frac{0,5}{100} \frac{100V}{15,5V} = \pm 3,2 \cdot 10^{-2} = \pm 3,2\%$$

$$mu_1 = \pm \frac{r}{100} \frac{U_D}{U_{i1}} = \pm \frac{0,5}{100} \frac{100V}{92,4V} = \pm 5,4 \cdot 10^{-3} = \pm 0,54\%$$

Iz izračunanega opazimo, da je napaka večja, če je odklon kazalca manjši, zato upoštevajmo priporočilo, da uporabljamo le **zadnji dve tretjini kazalnega območja** instrumenta.



Digitalni instrumenti

Pri digitalnih instrumentih običajno podajamo mejo napake, ki je sestavljena iz meje napake vsakokratno izmerjene vrednosti in meje napake na merilni doseg.

$$M_x = \pm(a \cdot x_i + b \cdot x_D)$$

Meja napake:

$a = r/100$ - meja napake na vsakokratno izmerjeno vrednost

$b = r/100$ - meja napake na merilni doseg

x_D – merilni doseg

x_i – izmerjena vrednost

$$M_x = \pm(a \cdot x_i + b \cdot \text{digit})$$

digit (številka) – najmanjše ali zadnje decimalno mesto

Primer:

Digitalni voltmeter ima merilni doseg $U_D = 2V$, kaže $U_i = 1,204V$, deklarirana meja napake pa je $M_u = \pm(0,05\%U_i + 0,02\%U_D)$. Podatek, ki ga dobimo iz priloženega dokumenta k instrumentu.

$$M_x = \pm(a \cdot x_i + b \cdot x_D)$$

$$M_U = \pm\left(\frac{0,05}{100} 1,204V + \frac{0,02}{100} 2V\right) = \pm(0,6mV + 0,4mV) = \pm 1,01mV$$

Če je meja napake deklarirana s številom digitov je za primer: $M_u = \pm(0,5\%U_i + 2d)$, $U_i = 1,347$ in $1d = 0,001V$.

$$M_U = \pm\left(\frac{0,5}{100} 1,347V + 2 \cdot 0,001V\right) = \pm 8,8mV$$

Podajanje merilnih rezultatov

Merjeni rezultat je potrebno tako podati, da se iz njega takoj vidi, v katerem območju se nahaja prava vrednost merjene veličine.

Rezultate najprej primerno zaokrožimo in jih zatem zapišemo številčno v eni od oblik:

$$x = x (1 \pm m_x) \quad \text{ali} \quad x = x \pm M_x \quad \text{ali} \quad x = x \pm U$$

M_x - absolutna meja napake ali negotovost U

m_x - relativna meja napake

Zaokroževanje merilnih rezultatov

Najprej moramo zaokrožiti merilno negotovost, šele zatem lahko zaokrožimo izmerjeno vrednost.

Merilno negotovost ($\pm U$ ali $\pm M_x$) zaokrožimo vedno navzgor in jo podamo z eno ali dvema ciframa glede na naslednje pravilo:

Če je prva številka (ničle ne štejemo) 3 do 9, zaokrožimo na tem mestu navzgor. Če je 1 ali 2, pa na naslednjem nižjem decimalnem mestu navzgor.

Izmerjeno vrednost zaokrožimo na decimalnem mestu, ki ga določa negotovost. Če je desno od mesta zaokrožitve številka:

0 do 4, ne spremenimo,

5 do 9 pa zaokrožimo navzgor.

Primer:

Izmerjena vrednost je: $U=13,345\text{V}$ in meje napake $M_u = \pm 0,123\text{V}$

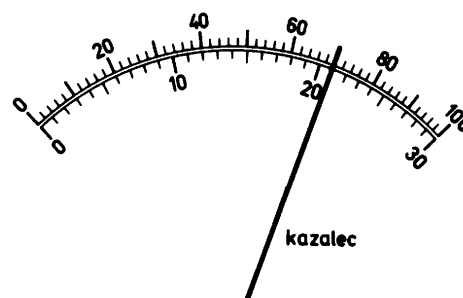
Najprej zaokrožimo merilno negotovost: $M_u = \pm 0,13\text{V}$

Merilni rezultat: $U=13,35\text{V} \pm 0,13\text{V}$

ELEKTRIČNI MERILNI INSTRUMENTI

Analogni merilniki (elektromehanski)

Osnovni merilni instrumenti za merjenje električnih veličin (toka, napetosti, moči, frekvence, upornosti itd.), imajo premični kazalec, ki na izrisani skali (graduacija z oštevilčenjem) prikazuje izmerjeno vrednost merjene veličine.

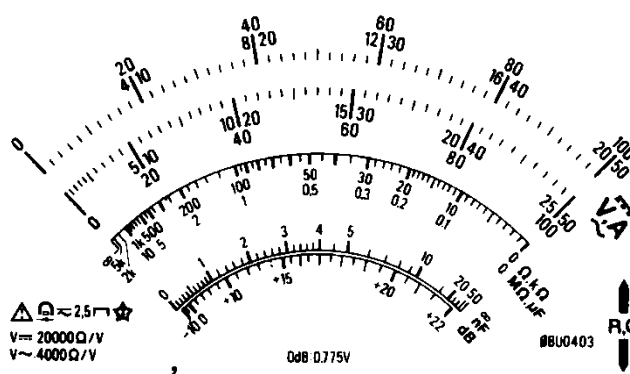


Velikost merjene veličine nam pokaže **kazalec** nad **skalo** merilnika!

Skalo predstavljajo črtice (**graduacija**), nad katerimi so številke (**oštevilčenje**). Razdalja med eno in drugo črtico imenujemo **razdelek skale**!

Področje velikosti, v katerem lahko merimo električne veličine, imenujemo **merilno območje** merilnika!

Vrednost razdelka skale imenujemo **konstanta skale**!



Konstanto skale (**k**) izračunamo tako, da merilno območje (**MO**) delimo s številom razdelkov skale (**n**):

$$k = \frac{MO}{n}$$

Temeljni princip teh instrumentov je, da električna veličina ustvari električni moment, kateremu nasprotuje mehanski protimoment spiralne vzmeti. Ko se momenta izenačita, se kazalec ustavi in pokazana vrednost na skali je premosorazmerna merjeni veličini.

Na tem principu temeljijo naslednji instrumenti:

- instrumenti z vrtljivo tuljavo
- instrumenti z vrtljivim železom
- elektrodinamični instrumenti
- indukcijski instrumenti

Te instrumente odlikuje enostavna konstrukcija, zanesljivost obratovanja in relativno visoka točnost. Z raznimi dodatki lahko merimo izmenične napetosti, tokove, upornosti. Če jim dodamo mehanizme za zapisovanje, dobimo registrirne instrumente. Z dodatki elektronskih komponent (ojačevalnikov) pa elektronske instrumente.

Karakteristike merilnikov

Osnovne karakteristike merilnikov so:

dinamična karakteristika -	odziv na skočne spremembe vhodne vrednosti (kako hitro se umiri kazalec ob določenem odklonu), odvisnost merila od frekvence – enosmerni (merijo le enosmerne napetosti ali tokove), NF (merijo le izmenične napetosti nizkih frekvenc), VF (merijo izmenične napetosti visokih frekvenc), selektivni (merijo le napetosti določenih frekvenc ali v določenem frekvenčnem pasu itd.).
statična karakteristika -	linearna, kvadratična ali logaritemska razdelitev merila skale. Odvisno je od vrste merilnega sistema.
razred točnosti -	v kateri razred točnosti ga razvrščamo in temu primerna je tudi uporaba in cena instrumenta.
občutljivost -	je definirana z velikostjo spremembe kota odklona $d\alpha$, za katerega se kazalec odkloni, če se merjena veličina spremeni za enoto spremembe dX . Ločimo lahko tokovno ali napetostno občutljivost.
obseg merjenja-	primer: mV, V, kV,...

Pomembne so še naslednje lastnosti in podatki : preciznost, zanesljivost, vztrajnost, dimenzije in masa, konstrukcija, servis in pogostost umerjanja, notranja upornost.

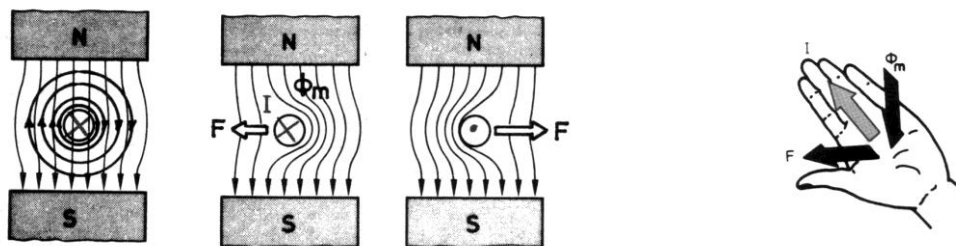
Pri uporabi vsake naprave ali merilnika pa moramo predhodno pazljivo prebrati navodila in tehnične podatke!

Instrument z vrtljivo tuljavo

Osnovni princip tega instrumenta izvira iz delovanja magnetne sile na tokovodnik (osnove elektrotehnike).

Na vodnik (dolžine l) skozi katerega teče električni tok (i) in se nahaja v magnetnem polju (B), deluje sila (F), ki ga želi izriniti iz magnetnega polja.

Sila, ki pri tem nastane, je premo sorazmerna toku skozi vodnik, gostoti magnetnega polja trajnega magneta in dolžini vodnika v magnetnem polju. $F = i \cdot l \cdot B [N]$



Iz zgornje slike vidimo, da se magnetne silnice trajnega magneta in tokovodnika med sabo seštevajo, tam kjer potekajo v isti smeri in se odštevajo, tam kjer so v nasprotni smeri. Zato se na eni strani zgostijo (kjer se seštevajo) in na drugi razredčijo (kjer se odštevajo), zato silnice želijo vodnik izriniti iz magnetnega polja. Nastane sila, ki predstavlja pretvorbo električne energije v mehansko. To silo izkoriščamo za premik kazalca.

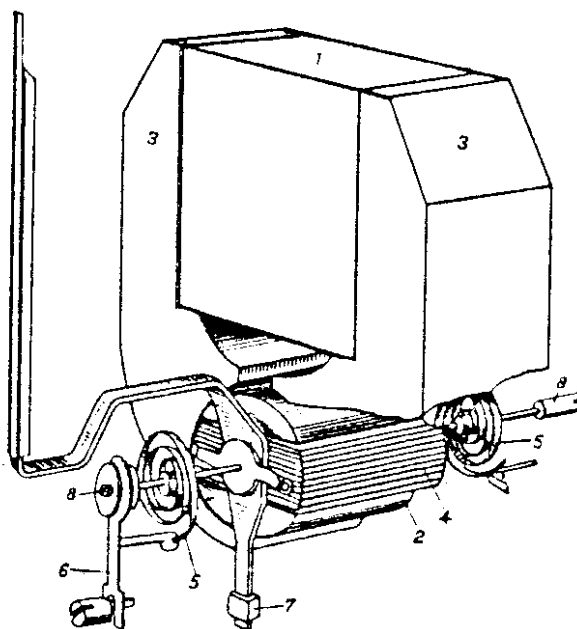
Smer sile lahko določimo po pravilu leve roke, kot prikazuje zgornja desna slika.



Simbol instrumenta z vrtljivo tuljavico

Opis delovanja instrumenta z tuljavico

Na polih trajnega magneta (1) sta polova čevlja iz mehkega železa (3). V krožna izvrtina s centrično nameščenim železnim jedrom (2). Med polovima jedrom je ozka zračna reža, v kateri je radialno homogeno magnetno polje. V se vrti tuljava (4), ki je navita na Al uporablja za dušenje nihanja kazalca). Tok dovajata spiralni vzmeti (5). Sprednja vzmet je povezana z mehanizmom za kazalca v začetno (ničto) lego (6), masa balansirana s protiutežjo (7). Os se vrti v ležajih (8).



vrtljivo

pritrjena sredini je mehko čevljema in močno tem polju okvirček (se v tuljavico spiralna nastavitve kazalca je safirnih

Tok skozi tuljavico povzroča silo $F = iNaB [N]$ (a – stranica tuljave ($a.b$) v magnetnem polju) in s tem električni vrtilni moment $T_e = 2F(b/2)$, če to enačbo razvijemo, dobimo:

$T_e = iNaBb = T_e = ki$, v poenostavitvi je električni moment T_e premo sorazmeren toku i in konstanti k .

Mehanski vrtilni moment $T_m = D\alpha$, povzroča spiralna vzmet, pri čemer je α kot odklona in D -konstanta vzmeti.

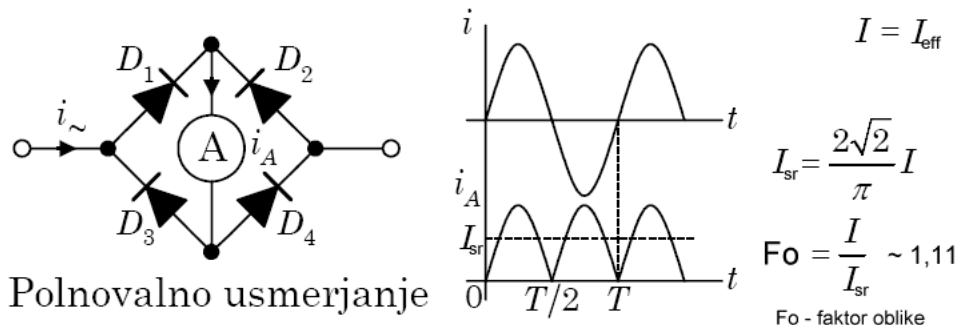
Ko se momenta izenačita $T_e = k_i = T_m = D\alpha$, se kazalec ustavi in odklon α je sorazmeren velikosti merjene veličine. ($iNabB = D\alpha \Rightarrow \alpha = i(NabB)/D$, $\alpha = ik_1$)

Skala instrumenta z vrtljivo tuljavo je linearna. Dolžina odklona l na skali je enaka dolžini kazalca r in kotu odklona α , ($l = r \alpha$). Tokovna občutljivost je $S_i = dl/di \Rightarrow S_i = r(NabB)/D$.

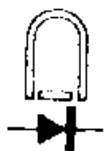
Dušenje instrumenta je elektromagnetno, za kar skrbi okvirček tuljave iz Al, kjer nastane inducirana napetost, ki nasprotuje gibanju okvirčka oziroma tuljave.

Instrument meri le enosmerne tokove in napetosti. Za izmenične tokove in napetosti moramo merjeno veličino usmeriti.

Ker je usmerjeni tok enak srednji vrednosti polnovalnega usmernika, moramo izpis na skali instrumenta korigirati za faktor oblike $F_0 = 1,11$, da dobimo efektivno vrednost izmeničnega toka. Zaradi tega instrument z vrtljivo tuljavico in usmernikom **meri pravilno le izmenične napetosti sinusne oblike**.



Slika prikazuje usmernik instrumenta z vrtljivo tuljavo.



Simbol instrumenta z vrtljivo tuljavico in usmernikom.

Razširjanje merilnega območja

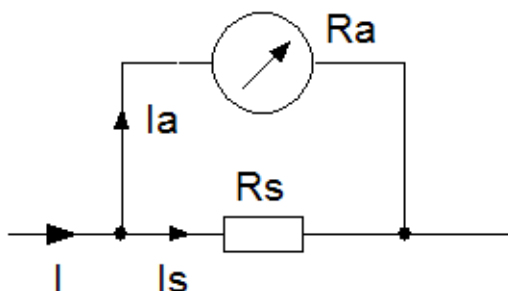
Ampermetru razširimo merilno območje tako, vzporedno k instrumentu soupor R_s .

da vežemo

$$I = I_a + I_s ; U_a = U_s$$

$$R_a I_a = R_s I_s = R_s (I - I_a)$$

$$R_s = R_a I_a / (I - I_a)$$



Tok I , ki priteka, se razdeli na večinski tok skozi (shunt) in manjši tok skozi instrument. Tok skozi instrument je sorazmeren merjenemu toku I .

soupor

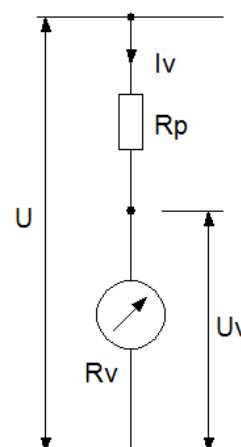
Voltmetru razširimo merilno območje z zaporedno vezanim preduporom R_p .

$$U = U_p + U_v \Rightarrow U_p = U - U_v$$

$$I_v R_p = U - U_v \quad : I_v$$

$$R_p = (U - U_v) / I_v \quad I_v = U_v / R_v$$

$$R_p = R_v (U - U_v) / U_v$$



Voltmeter meri le do napetosti U_v , višje napetosti $(U - U_v)$ mora prevzeti dodatni upor R_p .

Instrument z vrtljivo tuljavico ima vrsto odličnih lastnosti, zaradi katerih je še danes vsestransko uporaben. Majhna lastna raba, linearna skala, velika tokovna (napetostna) občutljivost, velik razpon električnega toka in napetosti, ki ju lahko merimo, sposobnost merjenja tokovnih impulzov, nizka cena in če mu dodamo usmernik, je razširljiv na izmenične toke do prav visokih frekvenc. Zaradi vseh teh dobrih lastnosti je daleč pred vsemi.

Instrument z vrtljivim železom



Simbol instrumenta

Instrument z vrtljivim železom deluje na principu magnetnih učinkov električnega toka. Izkorišča pojav odboja istoimensko namagnetnih železnih lističev, od katerih je en listič nepremičen, drugi pa vrtljiv na osi kazalca. Lističa sta nameščena v magnetnem polju tuljave, v kateri teče merjeni tok.

Vrtilni moment na osi kazalca je definiran s spremembo energije magnetnega polja W_m instrumenta v odvisnosti od kota odklona α :

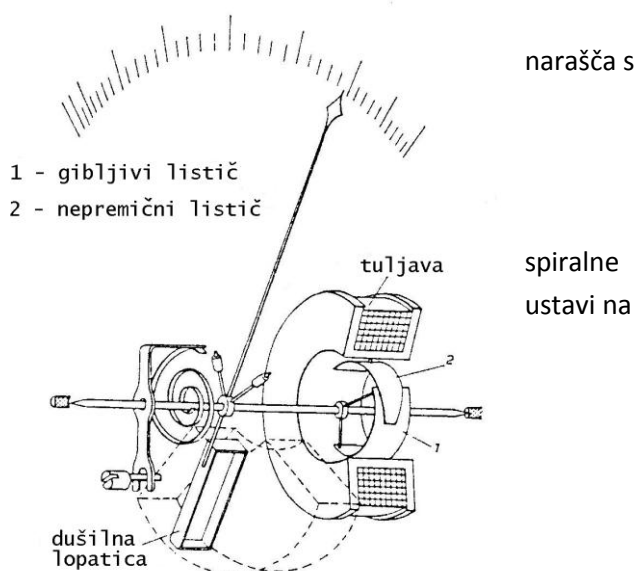
$$M_e = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha};$$

Vrtilni moment instrumenta kvadratom toka.

Električnemu momentu nasprotuje moment vzmeti $M_m = k \cdot \alpha$, tako da se ob ravnovesju kazalec odkloni:

$$\alpha = k \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha};$$

Odklon kazalca je kvadratičen.



Smer toka v tuljavi ni pomembna, zato ga lahko uporabljamo tudi za merjenje izmeničnih tokov, ker se lističa hkrati premagnetita in zato se smer odbojne sile ne spremeni. Pri izmeničnih tokovih merimo efektivno vrednost toka.

S pravilno oblikovanimi lističi lahko skalo zlineariziramo. Merilna območja spreminjamo s številom ovojev magnetne tuljave in seveda z debelino žice. Večji tok - debelejša žica. Uporabljamo ga kot merilnik napetosti (voltmeter) in še bolj pogosto kot merilnik toka (ampermeter) za velike tokove (navijemo nekaj ovojev debele žice).

Elektrodinamični instrumenti

Elektrodinamični instrumenti delujejo na principu magnetne sile med vodnikoma, skozi katera teče električni tok. Podoben je instrumentu z vrtljivo tuljavico, le da ima namesto trajnega magneta elektromagnet. Merilni sistem sestavljata dve tuljavici, od katerih je ena nepremično nameščena, druga pa vrtljiva. Če hkrati zamenjamo smer toka v obeh tuljavicah, se smer magnetne sile ne spremeni in kazalec se odkloni v smeri skale. Zato lahko elektrodinamične instrumente uporabljamo za merjenje enosmernih in izmeničnih veličin.

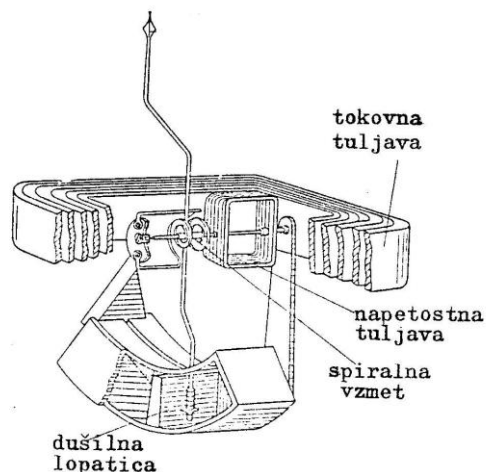
Električni vrtilni moment:

$$M_e = k_1 \cdot I_1 \cdot I_2$$

V ravnovesju električnega in mehanskega momenta je

$$\alpha = k \cdot I_1 \cdot I_2$$

Elektrodinamične instrumente uporabljamo kot V – A – metre, predvsem pa kot W – metre.



Simbol instrumenta:



Če tuljavice vstavimo v železno jedro dobimo elektrodinamični instrument z železnim jedrom.

Elektrodinamični W-meter (vatmeter)

Četudi z elektrodinamičnim instrumentom lahko merimo različne električne veličine, pa je daleč najbolj razširjena njegova uporaba za merjenje moči. Pri tem je značilno, da lahko merimo z njim tako moč pri enosmernem toku, kot delovno moč pri izmeničnem toku, pri katerem celo oblika napetosti in toka ne moti pravilnega delovanja.

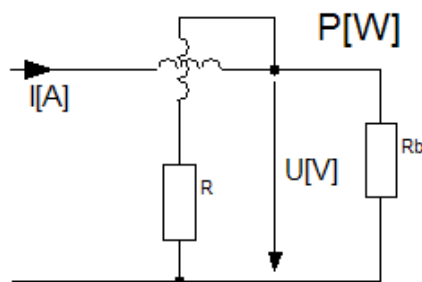
Nepremična tokovna tuljavica je navita z debelo žico, v njej pa teče tok bremena I . Vrtljiva tuljavica ima veliko ovojev tanke žice in jo vežemo na napetost bremena (kot V-meter), skozi njo teče tok I_v .

$$M_e = k_1 \cdot I \cdot I_v = k_1 \cdot I \cdot (U/R_v) = k_2 \cdot U \cdot I = k_2 \cdot P$$

Velja za enosmerno moč in tudi za izmenično, če je čista delovna moč. Pri realni obremenitvi, ki vsebuje tudi jalovo komponento pa je moment enak:

$$M_e = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = k \cdot P, \text{ odklon je: } \alpha = k P, \text{ iz česar vidimo, da je skala linearna.}$$

Iz vezave elektrodinamičnega W-metra ugotovimo, da potrebujemo najmanj štiri priključne sponke. Dve za tuljavo in dve za napetostno tuljavo. V primeru merilnih območij pa še temu primerno več.



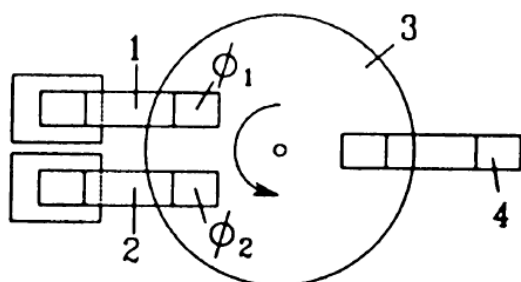
tokovno
razširitev

Elektrodinamične W-metre umerjamo na poln odklon pri nazivnem toku in nazivni napetosti, torej pri U.I. Pri izmeničnem toku bomo dobili poln odklon le pri $\cos \varphi = 1$. Če pa ta pogoj ni izpolnjen, bo pri nazivni napetosti in nazivnem toku merilnik kazal manj kot poln odklon. Zato moramo paziti pri merjenju izmeničnih moči, ki so realne ne čisto delovne, da ne prekoračimo nazivnega toka, četudi kazalec W-metra ne kaže polno vrednost. Za zaščito običajno vežemo v tokovno vejo še dodatni A-meter, s katerim kontroliramo tok W-metra, da ne prekoračimo dopustnega nazivnega toka in ne uničimo merilnika.

Indukcijski instrument

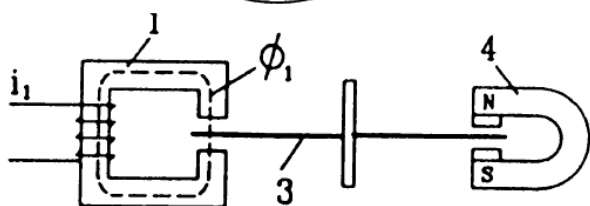
Indukcijski instrumenti delujejo tako, da silnice magnetnega polja prečkajo vrtljivi organ, zaradi česar se v njem inducirajo vrtnični tokovi, ki povzročajo vrtilni moment in rotor se začne vrteti. Podobno delujejo kot asinhroni motorji. Indukcijske instrumente uporabljamo kot indukcijske števec za merjenje električne energije v enofaznih ali trifaznih omrežjih. Merijo lahko delovno, jalovo in navidezno energijo.

Elektromehanski merilniki električne energije



- 1 - tokovna tuljava
- 2 - napetostna tuljava
- 3 - Al - disk
- 4 - trajni magnet

$$\phi_1 = \phi_I \quad \phi_2 = \phi_U$$



Tuljavi 1 in 2 povzročata magnetno polje, ki v plošči 3 inducira električni tok, na katerega deluje sila, ki zavrti ploščo 3. Da nastane vrtilni moment, morata biti magnetna polja Φ_1 in Φ_2 fazno premaknjena za 90° .

Odlikuje jih preprosta konstrukcija in zanesljivost.

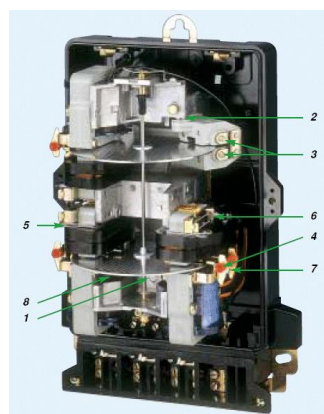
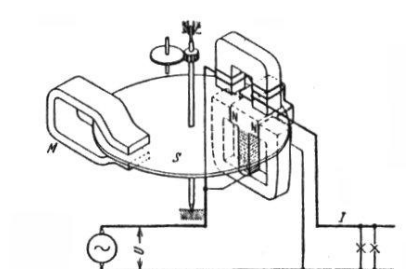
$$M_1 = k_5 \cdot \phi_I \cdot \phi_U \cdot \sin \psi = k_6 \cdot U \cdot I \cdot \sin \psi$$

$$\psi = 90^\circ - \varphi \quad \sin \psi = \cos \varphi \Rightarrow M_1 = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = kP$$

$$M_2 = k_z \cdot \frac{n}{t} \quad n = \frac{k}{k_2} \cdot P \cdot t = K \cdot W$$

Število vrtljajev n je sorazmerno energiji W , ki teče skozi števec.

Slika desno prikazuje priključitev enofaznega indukcijskega števca.



Digitalni merilniki (elektronski)

Multimetri

Iz analognega sveta se preselimo v digitalnega, kjer imamo opravka z vzorci merjene veličine.

Digitalni merilniki pretvorijo vhodno veličino (napetost) v digitalno obliko. To opravi analogno – digitalni pretvornik (ADP).

Prikaz merilnika je v numerični obliki. Doseg je določen s številom celih števil na prikazovalniku. $3\frac{1}{2}$ prikazovalnik prikaže vrednosti do 1999 (200mV, 2V, 20V, ...).

Lastnosti digitalnih merilnikov:

- večja točnost
- dobra ponovljivost
- visoka občutljivost
- enoumno odčitavanje
- enostavnejša avtomatizacija merjenj
- enostavna obdelava in podajanje merilnih rezultatov



Ločljivost je določena z največjim številom, ki ga lahko prikaže številčnica na merilniku ($3\frac{1}{2}$ digit: 1999 $\Rightarrow$ ločljivost 1:1999 = 0,0005).

Občutljivost je najmanjša napetost, ki jo merilnik zazna. Dobimo jo tako, da zmnožimo najmanjše merilno območje in ločljivost ($U_{min} = 200\text{mV} \Rightarrow 200\text{mV} \times 0,0005 = 0,1\text{mV}$).

Resolucija pove, koliko nivojev lahko razločimo na določenem merilnem območju $\Rightarrow$ najmanjša vrednost, ki jo lahko merimo.

- 4 bitna $\Rightarrow$ 15 nivojev
- 8 bitna $\Rightarrow$ 255 nivojev
- 12 bitna $\Rightarrow$ 4095 nivojev (industrija)
- 16 bitna $\Rightarrow$ 65535 nivojev (laboratoriji)

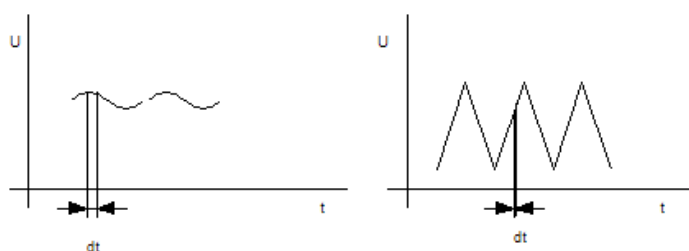
Analogno-digitalni pretvornik (ADP)

Analogno-digitalni pretvorniki (ADP) spreminjajo zvezne signale, ki jih dobimo pri meritvah, v digitalne vrednosti. Imamo veliko načinov A/D pretvorbe, ki se med seboj razlikujejo po hitrosti pretvarjanja signala in natančnosti pretvorbe.

Postopek ADP je sestavljen iz treh delov.

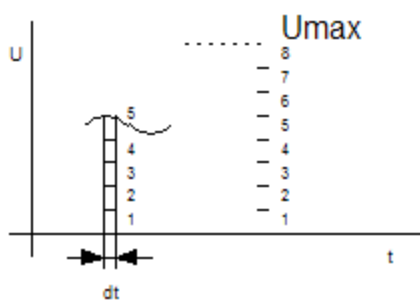
1. Potrebno je odmeriti dovolj kratek časovni interval (vzorec) na katerem je analogna veličina konstantna (se ne spremeni). Ta čas je odvisen od frekvence merjene veličine (napetosti, toka, ...). Z višjo frekvenco merjene veličine mora biti krajši čas intervala (vzorca).

$$dt \leq 1/2f$$



Zato je pri ADP pomemben podatek, do katere najvišje frekvence vhodne veličine še deluje pravilno.

2. Zajeti vzorec analogne veličine (napetosti ali toka) moramo pretvoriti v določeno število delčkov – kvantizacija.



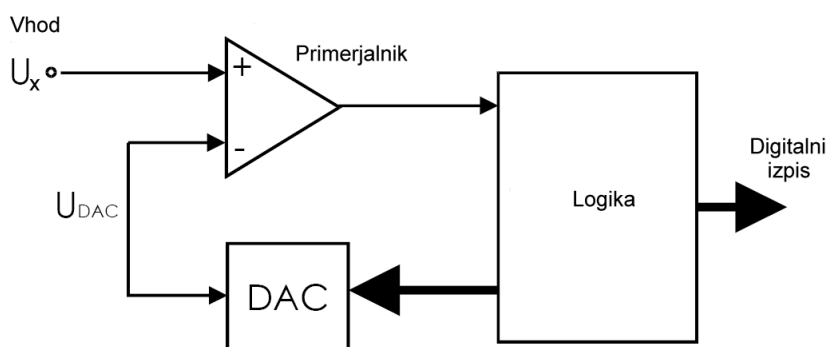
Primer:

Maksimalno merjeno veličino razdelimo na osem delčkov (kvantov). Velikost izmerjenega vzorca je tako pet delčkov (kvantov) v našem primeru.

Na več delčkov razdelimo maksimalno merjeno veličino, bolj točno bomo lahko merili.

3. Tretji del postopka ADP zajema **kodiranje** analognega vzorca v ustrezno digitalno obliko. To pomeni, da vsakemu kvantu oziroma delčku priredimo digitalno število, ki predstavlja našo izmerjeno vrednost.

ADP s postopnim približevanjem



Delovanje pretvornika s postopnim približevanjem (sukcesivna aproksimacija):

Vhodno napetost U_x za trenutek zadržimo na vhodu, da opravimo meritev. Primerjalnik primerja napetosti iz vhoda U_x in napetosti, ki jo dobimo iz D/A pretvornika U_{DAC} ter daje rezultat logiki, ki napetost U_{DAC} spreminja po določenem zakonu toliko časa, da se razlikuje od U_x manj kot znaša kvantizacija oziroma za bit z najmanjšo vrednostjo. Ko logika zazna, da sta napetosti enaki, izpiše na izhodu digitalno vrednost napetosti U_{DAC} , ki je enaka U_x .

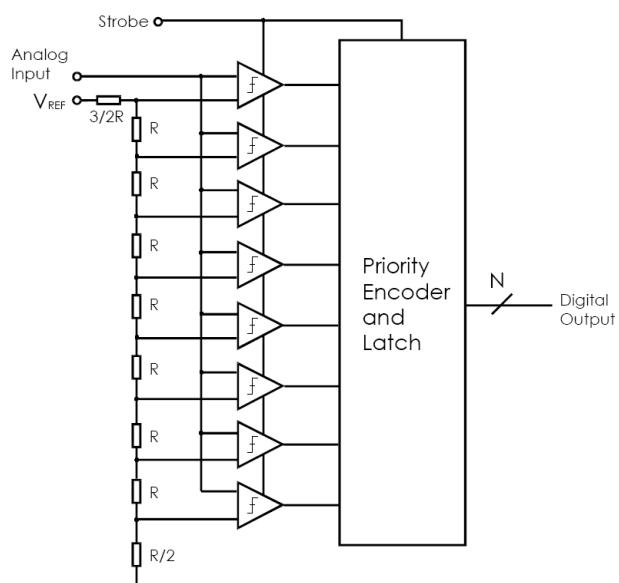
Točnost meritve je odvisna od števila bitov (do 16), pretvorba zelo hitra (μs), primerna za večkanalne merilnike.

ADP s paralelno pretvorbo

Referenčna napetost V_{REF} je razdeljena s uporovega delilnika (kvantizacija) na 8 delov. Komparatorji dajejo izhodno 1 do vrednosti $U_i = V_{ref}$, komparatorji 0.

To vrednost kodiramo in pomnimo do pretvornika.

Paralelni pretvornik je zelo hiter in ga uporabimo za obdelavo video signalov.



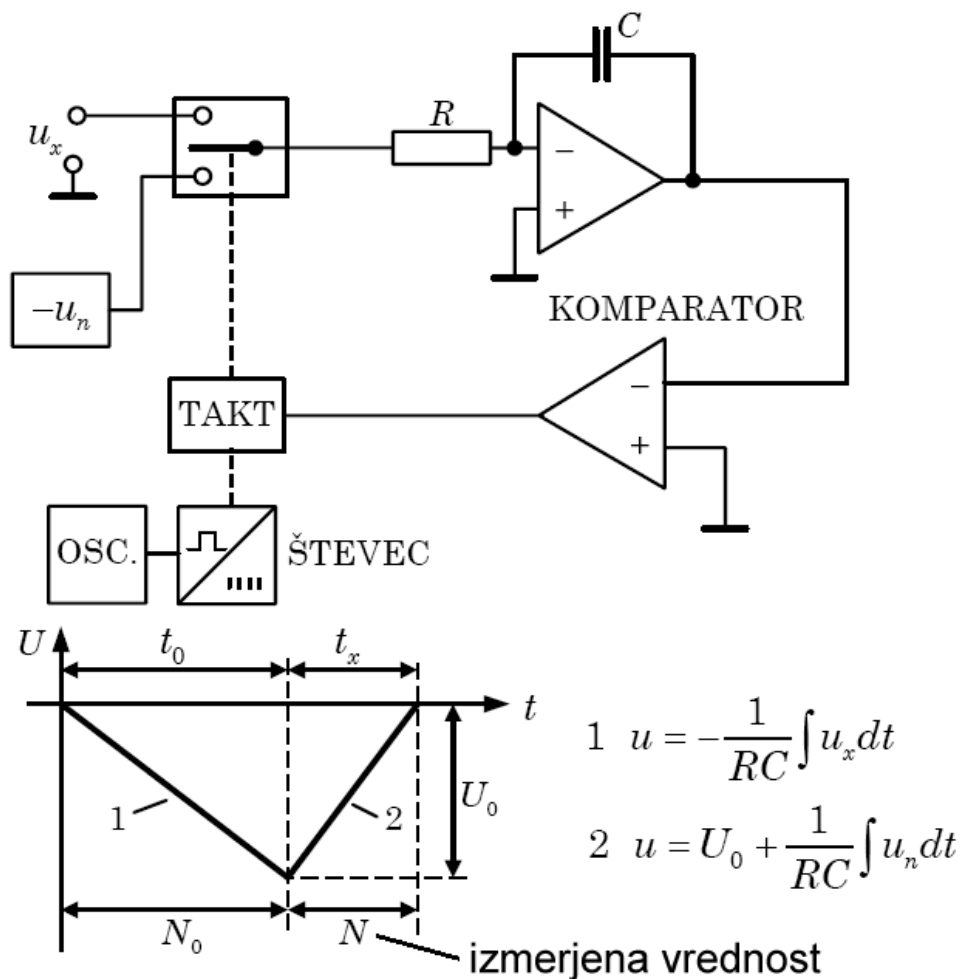
pomočjo
enakih
napetost
višje, pa

prenosa iz

lahko

Zaradi velikega števila komparatorjev je primeren le za osem bitne pretvornike (255 komparatorjev).

ADP z dvojno integracijo



- Začetni položaj merilnika je takrat, ko elektronika (TAKT) preklopi vhodno stikalo na U_x in števec postavi na nič (reset).
- Vhodno napetost U_x integriramo na RC členu, oziroma polnimo kondenzator v negativno smer napetosti (zato ker operacijski ojačevalnik obrne fazo). To se dogaja tako dolgo, dokler števec ne prešteje do določene vrednosti (1). Interval za integracijo je najpogosteje $t_0 = 20\text{ms}$.
- Ob izteku števca vezje TAKT preklopi vhodno stikalo na $-U_n$ in integrator se začne prazniti z referenčno napetostjo, kar pomeni, da se prazni s konstantnim naklonom ne glede na vhodno napetost proti nič (2). Pri tem se sproži števec, ki šteje. Ko komparator zazna, da se je kondenzator izpraznil na nič napetosti, s svojim izhodom izklopi števec. Številka števca, do katere je ta preštel ob času praznjenja t_x , je enaka izmerjeni vrednosti vhodne napetosti.

ADP z dvojnimi naklonom ali dvojno rampo ima veliko točnost in se najpogosteje uporablja v DVM.

Digitalni multimetri so v današnji merilni tehniki nepogrešljivi instrumenti. Priljubili so se predvsem zaradi enostavnega odčitavanja, mehansko neobčutljivih delov in velikega števila merilnih funkcij.

Današnji multimetri lahko merijo:

- enosmerne in izmenične napetosti,
- enosmerne in izmenične tokove,
- upornosti,
- temperaturo,
- preizkus polprevodnikov,
- kapacitivnost, induktivnost,
- prenos podatkov na računalnik,
- velika vhodna upornost ($10\text{M}\Omega$),
itd.

Poglej kataloge proizvajalcev multimetrov.



Merilniki moči in energije

Elektromehanski analogni merilniki izgubljajo bitko z digitalnimi predvsem tam, kjer je potrebno izmerjeno vrednost le odčitati, ne pa tudi slediti in nadzirati njene spremembe.

Tako področje so merilniki moči, ki v elektronski obliki zamenjujejo elektrodinamične instrumente in posebno veliko področje so merilniki porabe vode, plina, toplote in električne energije. Posebno zadnji zamenjujejo indukcijske merilnike električne energije. Elektronske merilnike odlikujejo naslednje prednosti:

- večja natančnost,
- preprosta kalibracija (umerjanje),
- zaščita pred nedovoljenimi posegi,
- samodejno odčitavanje,
- varnost,
- več možnosti za obračunavanje (čas uporabe, vnaprejšnje plačevanje ...).

Večja natančnost. Za mehanske merilnike energije je značilna natančnost, ki je boljša od 2%. Povprečni elektronski merilnik pa ima boljšo od 0,2%.

Preprosta kalibracija. Mehanske merilnike sestavlja veliko število gibljivih delov, ki jih je potrebno občasno umeriti in nastaviti, da merilnik deluje zopet z zahtevano natančnostjo. Za to je potrebno več časa in dela kot pri elektronskem instrumentu, ki mu lahko na daljavo nastavimo podatke ali se celo sam nastavi oziroma kalibrira.

Zaščita pred nedovoljenimi posegi. Posebno pri merilnikih energije pride do zlorab, ki jih pa ti ne morejo preprečiti. Elektronski merilniki lahko nedovoljene posege in krajo odkrivajo preprosto kot so:

- asimetrična bremena (sklenitev zanke bremena preko ozemljitve, da merjenje ni mogoče),
- začasna izključitev merilnika (ali premostitev),
- uporaba trajnih magnetov za nasičenje tokovnih transformatorjev ali ustavljanje števca,
- vandalizem.

Ko elektronski merilnik odkrije nedovoljeno uporabo, lahko prekine dovod energije, si zabeleži stanje, ki ga lahko pošlje distributerju itd. Reagiranje elektronskega števca je odvisna od stopnje varovanja.

Samodejno odčitavanje. Največja prednost elektronskih merilnikov je možnost samodejnega odčitavanja. Odčitavanje zahteva veliko dela in je občutljivo na človeške napake (in morebitno podkupovanje). Elektronski merilniki omogočajo samodejno odčitavanje in komunikacijo preko naslednjih mehanizmov:

- infrardeči vmesnik (kratkega dosega skozi čelno ploščo),
- radijska komunikacija s kratkim ali dolgim dosegom (mobilno omrežje),
- podatkovni modem preko telefonske linije,
- prenos preko električnega omrežja (kratek ali srednji doseg),
- serijski vmesnik (RS-485).

Varnost je vedno bolj potrebna ob velikem številu prenesenih podatkov. Izboljšujemo jo predvsem s pomnjenjem podatkov (EEPROM) ali izpopolnitvijo algoritmov za zunanje pomnjenje ali prenos podatkov.

Izboljšane možnosti za obračunavanje. Ker elektronski merilniki vsebujejo mikrokrmilnike, je avtomatizacija delovanja zagotovljena. Porabo lahko obračunavamo na več tarif, s čimer porazdelimo obremenitev omrežja še na čas, ko ni konice porabe. Novost pri obračunavanju so predplačila. To se uporablja predvsem pri merilnikih energije. Stranka vnaprej kupi končno količino energije, ki je zabeležena na magnetni kartici. Predplačila zmanjšajo stroške obračunavanja in plačevanja, hkrati pa nekaterim uporabnikom pomagajo pri načrtovanju mesečnih stroškov porabe.

Elektronski merilnik moči

Elektronika izmeri tok skozi lahko preko merilnega transformatorja) in ter iz teh dveh podatkov moč, ki jo na digitalnem prikazovalniku prikaže.



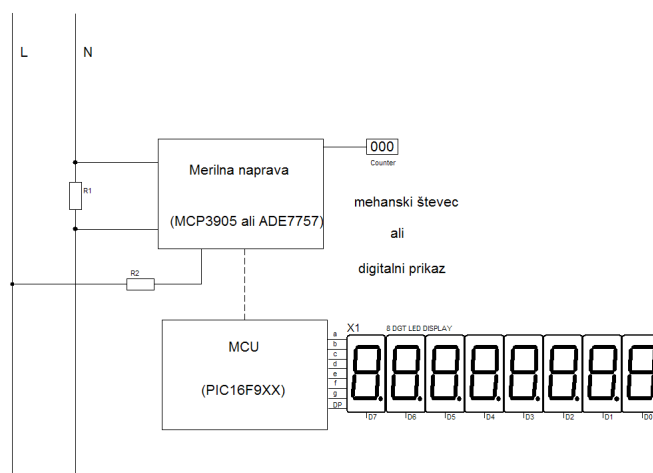
vodnik (napetost izračuna

Priročni digitalni W-meter na sliki lahko meri moč (do 240kW), enosmerni in izmenični tok (do 400A), napetost (do 600 V AC) in frekvenco (do 1MHz). S tokovnimi kleščami merimo tok, napetost pa priključimo preko dodatnih sponk.

Podobne modele imamo tudi za več fazne sisteme.

Elektronski merilniki električne energije

Najmočnejši razlog za uvajanje elektronskih merilnikov za merjenje porabe električne energije je (in bo tudi v prihodnosti) kraja električne energije v državah v razvoju. Popolna natančnost elektronskih merilnikov z določeno vrsto samodejnega odčitavanja, lahko distribucijskim podjetjem prihrani veliko denarja.



Merilnik električne energije sestavljajo merilna naprava (MCP3905, ADE7757, ...), ki meri tok in napetost na liniji pri enofaznih sistemih (drugače se to potroji) in preračuna iz teh podatkov delovno energijo, ki jo lahko direktno prikaže na mehanskem števecu (enostavna izvedba). Za večjo funkcionalnost dodamo mikrokontroler MCU (PIC16F9XX ali podobni), ki omogoča vse dodatne zahteve glede prenosa podatkov ali varnosti.



ELEKTRONSKI MERILNI SISTEMI

Elektronski merilni sistemi so sestavljeni iz dveh delov – pretvornika in indikatorja. S prvim pretvorimo razne električne veličine (napetost, tok, upornost itd.) ali pa neelektrične (tlak, temperatura, hitrost, itd.) običajno v enosmerno napetost, drugi pa služi za indikacijo – kazanje tako dobljene napetosti. Ker pri pretvorbi uporabljamo elektronske elemente – operacijske ojačevalnike, filtre, digitalna vezja itd. – imenujemo te instrumente elektronske.

Elektronski instrumenti imajo svoje napajanje in zato ne obremenjujejo merjenca tako kot klasični merilniki. Zaradi elektronskih elementov in raznih filtrov, lahko uporabnost elektronskih instrumentov z merjenja toka ali napetosti razširimo na frekvenčni in časovni prostor (spektrometri, osciloskopi).

Novo dimenzijo teh instrumentov dobimo ob vključitvi mikrokontrolerjev, ki avtomatizacijo merilnika zelo razširijo, posebno še s prenosom podatkov v računalnik in obdelavo le teh.

Elektronski voltmetri

Elektronske voltmetre delimo na analogne in digitalne. Pri analognem elektronskem voltmetru odčitamo rezultat iz položaja kazalca na skali instrumenta in pri tem lahko lažje sledimo spremembam merjene napetosti.

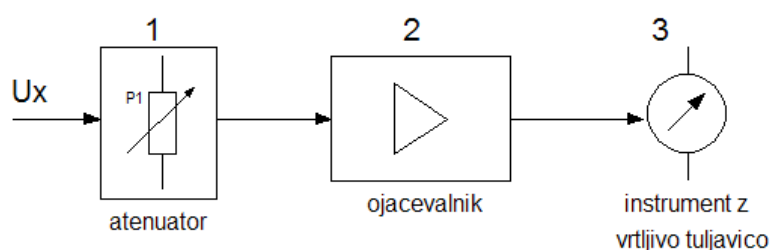
Digitalni elektronski voltmetri prikažejo vrednost napetosti v obliki številke, ki jo lažje odčitamo in odpadejo problemi z napakami ob odčitavanjih s skale instrumenta.

Elektronske voltmetre delimo še lahko po vrsti merjene napetosti in to v enosmerne in izmenične in še nizkofrekvenčne in visokofrekvenčne.

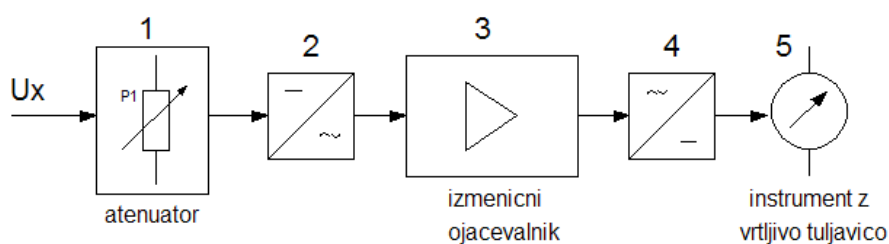
Analogni elektronski voltmetri

Enosmerni

Neznano enosmerno pripeljemo na vhod (1), ki jo zmanjša na primerno za vhod (2). Primerno ojačeno prikaže instrument z vrtljivo tuljavico (3). Vhodna upornost instrumenta je odvisna od verige uporov attenuatorja in je neodvisen od merilnega območja. Najpogostejše je $R_v = 10\text{M}\Omega$.



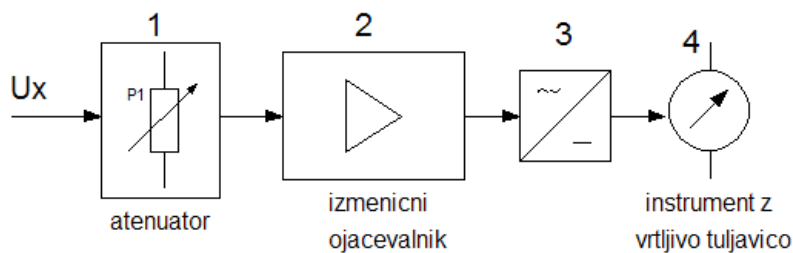
Omenjeni elektronski voltmeter pa ni primeren za merjenje zelo majhnih napetosti, ker takrat začne vplivati drift (premik delovne točke zaradi temperature). Zato uporabimo pretvornike in izmenične ojačevalnike.



Za merjenje nizke enosmerne napetosti le to pretvorimo v izmenično (2), primerno ojačimo z izmeničnim ojačevalnikom (3) in ponovno usmerimo (4).

Izmenični

Izmenični elektronski voltmetri imajo na izhodu usmernik, da lahko prikažemo napetost. Skalo instrumenta umerimo v efektivnih vrednostih izmenične napetosti.



Pri merjenju nastane sistematska napaka, če merimo nesinusno obliko napetosti.

Za merjenje resnične efektivne vrednosti izmenične napetosti, ki ni pogojena z obliko, pa moramo uporabiti pretvornik, katerega izhodna enosmerna napetost je sorazmerna efektivni vrednosti izmenične napetosti. Za to se uporabljajo razni termo pretvorniki oziroma novejša integrirana vezja, ki vsebujejo vezja za merjenje efektivnih vrednosti.

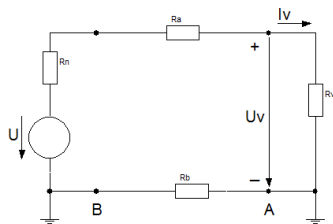
Digitalni elektronski voltmetri

Digitalni elektronski voltmetri se po konstrukciji in izvedbi ne razlikujejo od digitalnih multimetrov, le da imajo lastno napajanje iz omrežja in večje kakovostne merilne zahteve.



Vhodna stopnja elektronskega voltmetra

Elektronski voltmeter ima dve vhodni sponki, od katerih je ena ozemljena (ozemljen vhod ali vroči in hladni konec, HI in LO). Med sponkama ima instrument upornost (impedanco, če merimo izmenične napetosti), ki je definirana kot razmerje priključne napetosti in toka skozi vhodni sponki. $R_v = U_v / I_v$. Upoštevajmo še upornost vodnikov do merjene napetosti ter notranjo upornost vira napetosti in dobimo naslednjo nadomestno vezavo:



Če sta točki A in B na istem potencialu ni problemov z meritvijo napetosti.

Predpostavimo, da ozemljitveni točki nista na istem potencialu. To se lahko zgodi, če je EV-m ozemljen krajevno drugje kot merjeni vir. Po zemlji tečejo močni tokovi omrežne frekvence, ki povzročajo med točkama A in B padec napetosti.

Padec napetosti med A in B je naša motilna napetost, ki se bo prištevala k merjeni napetosti in povzročala sistematsko napako. To napetost tudi imenujemo sofazna napetost.

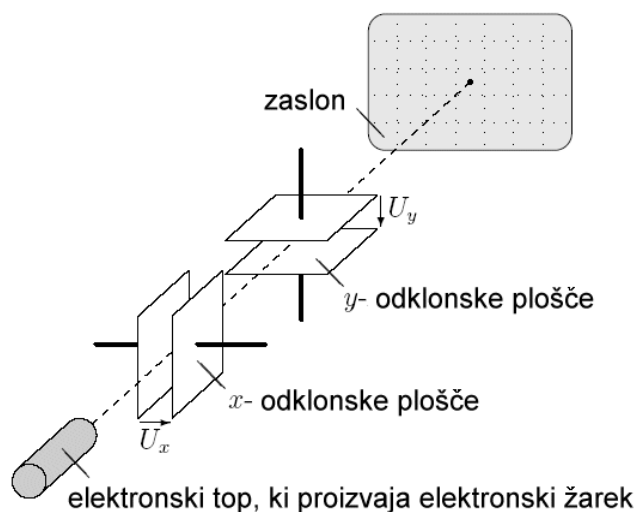
Če želimo meriti tudi v vezjih, kjer točka nižjega potenciala (LO) merjene napetosti ni na potencialu zemlje, v prisotnosti sofazne napetosti, moramo uporabljati voltmeter z neozemljenim (lebdječim) vhodom. Sofazne napetosti lahko tudi zmanjšamo, če uporabimo voltmeter, ki ima vhodno stopnjo oklopljeno in izolirano od oklopa voltmetra, ki ima lastno priključno sponko G (guard).

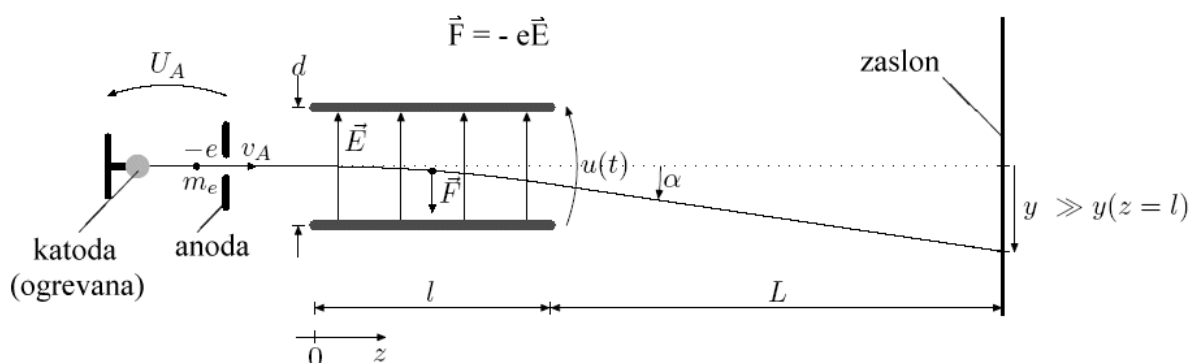
Elektronski osciloskop

Osciloskop je ob digitalnih multimetrih najbolj uporabljen merilni instrument. Omogoča opazovanje trenutnih vrednosti merjenih veličin v odvisnosti od časa ali od druge spremenljive veličine. Uporabljamo ga lahko še za merjenje frekvence, faznega kota, moči, impedance itd. Odlikuje ga velika vhodna upornost, velika občutljivost, visoka zgornja frekvenčna meja, istočasen prikaz dveh ali več vhodnih veličin. Spominski in digitalni osciloskopi hranijo sliko ali jo prenesejo na računalnik za nadaljnjo obdelavo.

Braunova elektronka

Osrednji element osciloscopa je Braunova elektronka, ki proizvaja snop elektronov, omogoča krmiljenje njegove poti in pretvarja kinetično energijo elektronov na zaslonu v svetlobno energijo oziroma svetlobni zapis.





Sistem se nahaja v stekleni cevi, iz katere je izsesan zrak – skoraj vakuum (0,1 mPa).

Katoda v Braunovi elektronki je ogrevana in zato oddaja elektrone, ki jih anoda s svojim pozitivnim potencialom privlači. Ker ima anoda luknjico in je na drugi strani zaslon z še višjim potencialom, potujejo elektroni skozi anodo proti zaslonu.

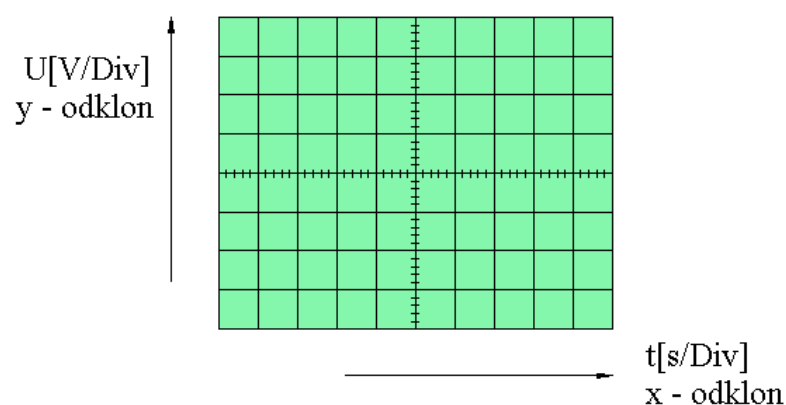
Med anodo in zaslonom sta nameščena para plošč za horizontalno in vertikalno odklanjanje elektronskega žarka.

Na plošči je priključena napetost U_y , ki povzroča med ploščama električno polje. Elektron, ki potuje naravnost proti zaslonu, se začne pod vplivom električnega polja gibati proti pozitivni plošči. Pospešek elektrona proti pozitivni plošči je odvisen od mase elektrona, naboja elektrona in jakosti električnega polja. Iz teh podatkov lahko izračunamo, za koliko se bo premaknil elektronski žarek, ko bo pripotoval do zaslona, ki je na razdalji L .

$$y = \frac{lL}{2dU_A} u_y$$

Odklon žarka na zaslonu y je sorazmeren dolžini odklonskih plošč l , razdalji odklonskih plošč od zaslona L ter napetosti med odklonskima ploščama U_y . Odklon pa je obratno sorazmeren od razdalje med odklonskima ploščama d in napetosti anode U_a .

Elektronski žarek na zaslonu izriše pot gibanja, ki predstavlja obliko napetosti priključeni med odklonski plošči. Zaslon ima masko s črtami, ki nam je za pomoč pri odčitavanju vrednosti merjene napetosti.



Klasična razdelitev zaslona je 10 kvadratkov v horizontali (x) in osem kvadratkov v vertikali (y). Kvadrati se v angleščini imenujejo division, ki pomeni delitev.

Značilni podatki za Braunovo elektronko:

Persistenca – čas, v katerem pade osvetljenost na 10% maksimalne vrednosti.

($1\mu\text{s}$ – majhna, 1ms – srednja in 1s – velika).

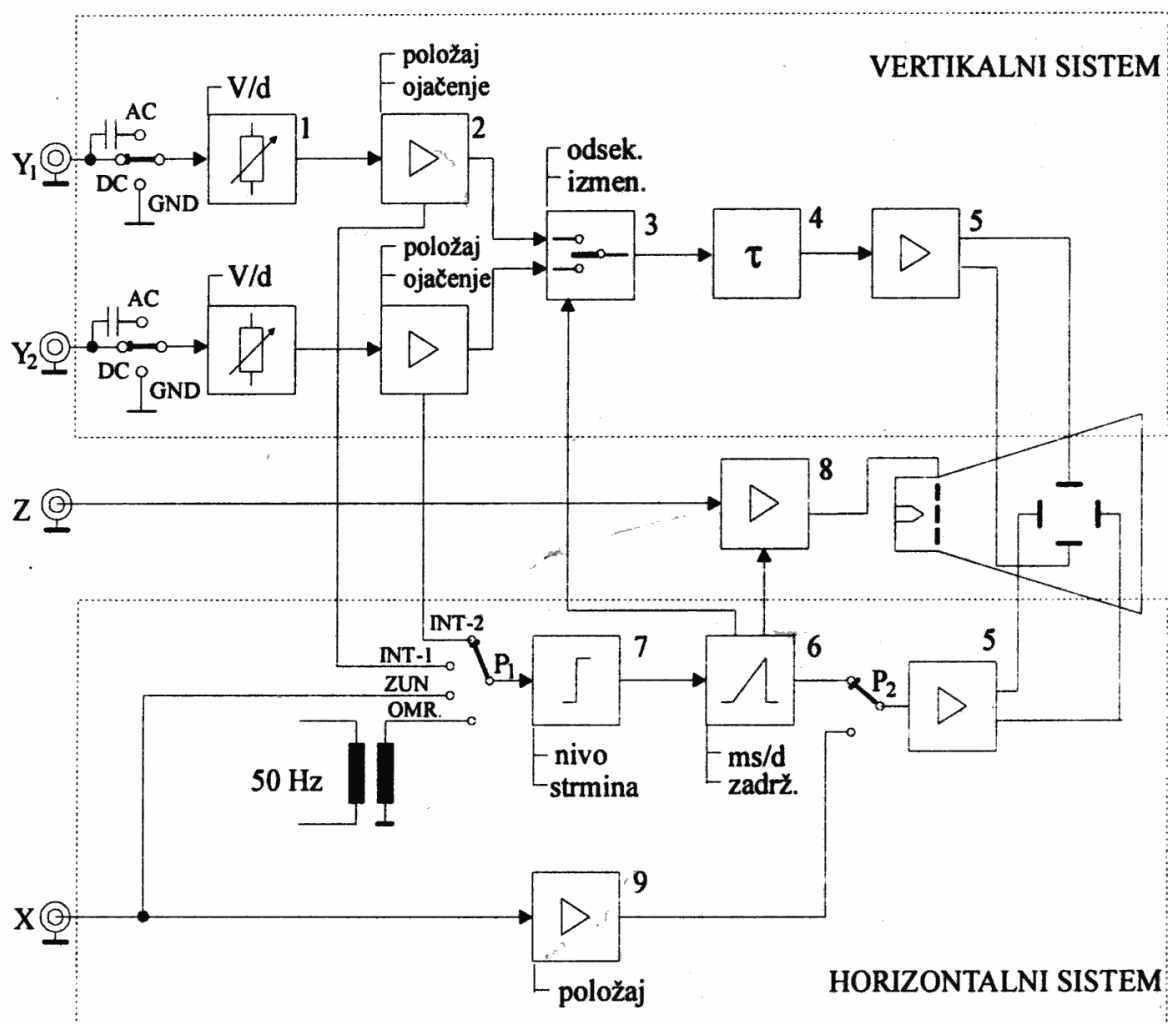
Hitrost premikanja snopa elektronov po zaslonu – od $100\text{ cm}/\mu\text{s}$ do $1000\text{ cm}/\mu\text{s}$
(do 1000 km/s)

Statična občutljivost – nam pove, za koliko mm se premakne žarek na zaslonu pri napetosti enega volta ($0,1\text{ mm/V}$ do 1 mm/V).

Dvokanalni osciloskop (delovanje)



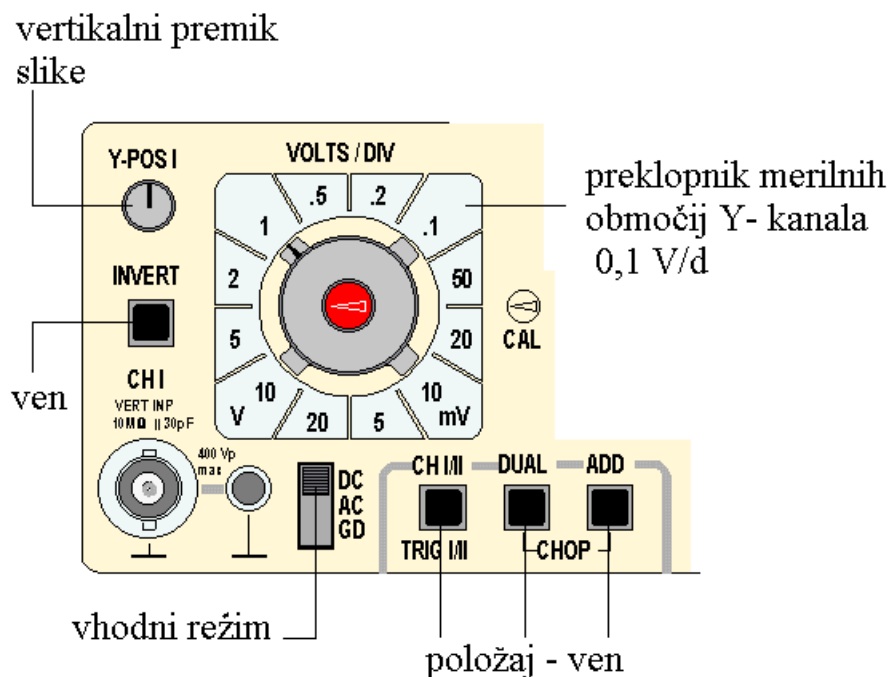
Spodnja slika prikazuje poenostavljeno blok shemo dvokanalnega osciloskopa, ki se trenutno v praksi najbolj uporablja.



Osciloskop ima tri pomembne enote:

- Braunovo elektronko za prikaz merilne veličine,
- vertikalni sistem, ki je v bistvu elektronski voltmeter s slabilnikom vhodne napetosti in ojačevalnikom in
- horizontalni sistem, ki poskrbi za vodoravno risanje merjene veličine.

Vertikalni sistem dvokanalnega osciloskopa ima dve vhodni sponki (y_1 in y_2 ali CH1 in CH2) za opazovanje dveh vhodnih veličin. Na vходу lahko izbiramo (vhodni režim) ali bomo merili enosmerno napetost (DC) ali izmenično (AC), za postavitev ničte lege na zaslonu lahko vhod vežemo na maso (GD) in s tem zagotovimo vhodno napetost nič voltov. Izvedba je enostavna s kondenzatorjem, ki prepreči dostop enosmerni napetosti na vhod in tako lahko merimo le izmenično napetost.

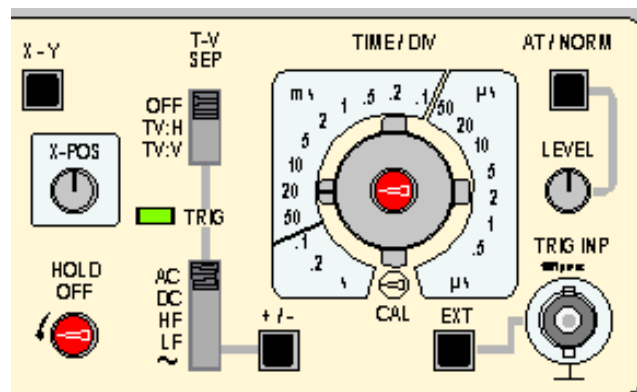


Vhodno napetost primerno oslabimo z delilnikom napetosti ali atenuatorjem (1) (glej blok sliko osciloscopa) (VOLTS/DIV – preklopnik merilnih območij Y-kanala) in nato z enosmernim ojačevalnikom (2) ojačimo na velikost, ki je primerna za prikaz na zaslonu Braunove elektronke. Ojačevalniku lahko dodajamo enosmerno komponento in s tem premikamo sliko na zaslonu gor in dol od srednje vrednosti (vertikalni premik slike – Y-POS I).

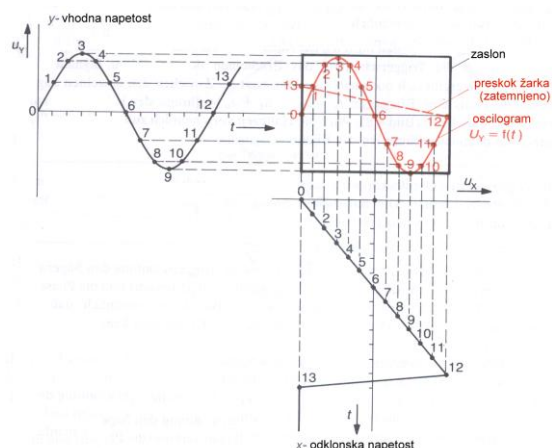
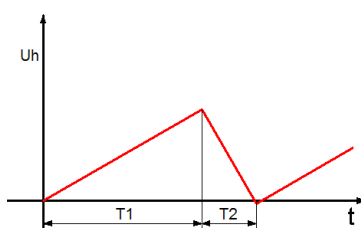
Za opazovanje napetosti obeh kanalov imamo istočasno posebno elektronsko stikalo (3), ki na zakasnilni vod (4) pripelje eno ali drugo napetost. Stikalo lahko deluje v dveh režimih in to tako, da izrisuje prvo napetost kanala ena in nato drugo napetost kanala dva (izmenično obratovanje – DUAL, ADD) ali hitro preklaplja iz enega kanala na drugega in tako izrisuje obe napetosti, ki sta razsekani vendar vidimo kot dve sliki (odsekovno obratovanje – CHOP). Za opazovanje nizkih frekvenc je primerno odsekovno obratovanje.

Izhodni ojačevalnik (5) poskrbi za dovolj veliko in simetrično napetost, ki jo pripeljemo na odklonske plošče Braunove elektronke.

Osrednji del horizontalnega sistema je prožena časovna baza, ki je sestavljena iz generatorja žagaste napetosti (6) in prožilnika ali trigerja (7).

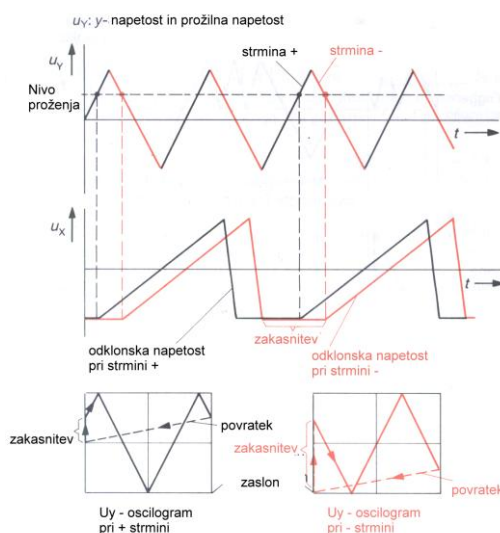
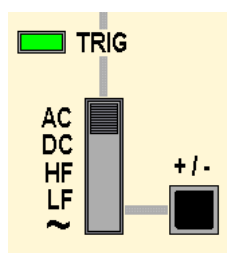


Generator žagaste napetosti daje napetost oblike žage, ki jo pripeljemo na horizontalne odklonske plošče in z njo vlečemo žarek od leve proti desni strani zaslona in tako izrisujemo merjeno napetost, ki smo jo pripeljali na vertikalni ojačevalnik.



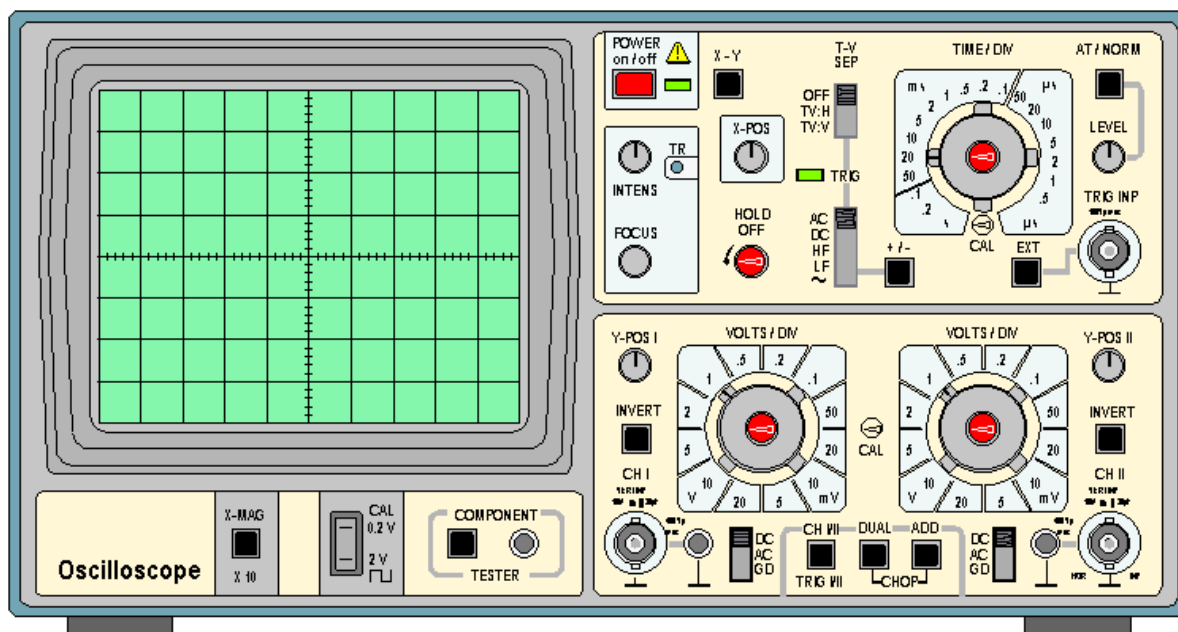
T_1 je čas naraščanja napetosti, ko se premika žarek od leve proti desni (čas preleta). T_2 je čas, ko se žarek povrne v prvotni položaj na levi strani in ta povratek ne sme biti viden, zato žarek takrat zatemnimo (8) (prekinemo izstop elektronov iz elektronskega topa).

Generator žagaste napetosti mora biti takšen, da se sproži le tedaj, ko želimo narisati vhodno obliko napetosti. Ker pa zaslon sveti le kratek čas, bomo v naslednjem trenutku brez slike. Za tak izris bi potrebovali spominski osciloskop. Če pa želimo sliko ohraniti na zaslonu, jo moramo nenehno znova risati po isti sledih - obnavljati. Za takšno risanje potrebujemo periodični signal in še pri tem moramo začeti risati vedno v trenutku, ko ima vhodni signal iste vrednosti kot jih je imel pri sliki pred tem. Zato potrebujemo prožilno vezje, ki sproži generator žage vedno ob istem trenutku, ko so parametri enaki prejšnjim. Parametri pa so velikost in smer (+ ali -) napetosti.



Da ta dva podatka dobimo, moramo na začetku risanja slike malenkost počakati in nato sprožiti generator žagaste napetosti. Posledica tega bo, da nam bo pri vsaki sliki manjkal majhen del začetka slike. Da to preprečimo, vstavimo v vertikalni sistem zakasnilno linijo (4), ki toliko zakasni vhodni signal, da ko začne teči žaga, ravno ujame začetek signala.

Ravnanje z osciloskopom.



- Preden začnemo uporabljati osciloskop, moramo prebrati navodila za uporabo osciloskopa!
- Brez priključenih vhodnih sponk vklopimo osciloskop.
- Gumbе osciloskopa postavimo v osnovno stanje. Stikala, ki so na pritisk, sprostimo, da gledajo ven. Gumbе za kalibracijo postavimo v položaj, kot nam kaže slika zraven gumba.
- S premikanjem gumba za položaj žarka (Y-POS I ali Y-POS II) poiščemo žarek (ravno svetlo črto) ter nastavimo svetlost in ostrino slike (INTENS in FOCUS).
- Nastavimo vhodni režim (DC-AC-GD). Izberemo položaj vhodnega delilnika napetosti (VOLTS/DIV) na takšno vrednost kot predvidevamo, da bo naša vhodna napetost.
- Priključimo vhodno napetost.
- Nastavimo časovno bazo (TIME/DIV) na vrednost, da bo slika zadovoljiva našim potrebam in nastavimo sproženje (TRG), da se slika umiri. Za nastavev sproženja uporabimo navodila ali kot v našem primeru spodnjo tabelo.

CH I/II	DUAL	ADD	<i>effect of setting</i>
OUT	OUT	OUT	normal operation: only CH I displayed, triggering from CH I
IN	OUT	OUT	only CH II displayed, triggering from CH II
OUT	IN	OUT	CH I and CH II displayed on alternate sweeps, triggering from CH I
IN	IN	OUT	CH I and CH II displayed on alternate sweeps, triggering from CH II
OUT	OUT	IN	CH I and CH II signals added together to produce a single trace, triggering from CH I

IN	OUT	IN	CH I and CH II signals added together to produce a single trace, triggering from CH II
OUT	IN	IN	CH I and CH II displayed simultaneously, triggering from CH I
IN	IN	IN	CH I and CH II displayed simultaneously, triggering from CH II

Kot sem že omenil, imamo tudi spominske osciloskope, ki sliko zadržijo poljubni čas. Primerni so za merjenje neperiodičnih signalov. Sistemi so različni, vendar jih vedno bolj izpodrivajo digitalni osciloskopi.

Druga taka zanimiva skupina so vzorčni osciloskopi, ki sestavljajo sliko periodičnega signala iz ozkih vzorcev, ki jih jemljejo na določenih časovnih intervalih. Ker je vsak vzorec za majhen čas Δt premaknjen, nam po določenem času izriše celotno periodo merjenega signala. Frekvenca izrisane signala je mnogo nižja od frekvence merjenega signala. Merimo lahko signale, ki so do 18GHz z osciloskopi, katerih zgornja frekvenčna meja ne presega 500MHz. Pogoji je le, da merimo periodične signale.

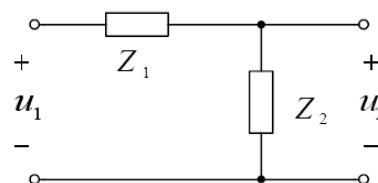
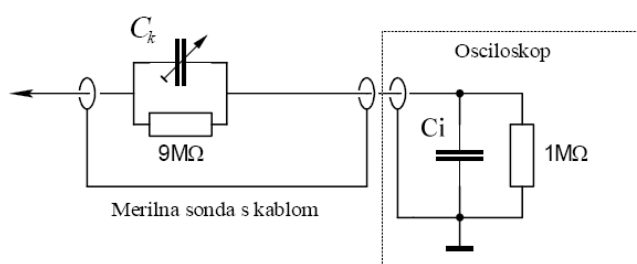
Merilne sonde

Merilna sonda je nepogrešljiv del osciloskopa, s katero priključimo merjenec na vhod osciloskopa tako, da ne pride do motenj in popačitev signala. Zato uporabljamo koaksialni vodnik. Kriterij za izbiro sonde je: čas vzpona impulza, ki določa frekvenčni pas, impedanca, dovoljena priključna napetost in območje kompenzacije kapacitivnih vplivov.



Merilne sonde delimo na:

Pasivne sonde, ki so sestavljene le iz pasivnih elementov ter preprečujejo kapacitivni vpliv na merjenec. Vsebujejo lahko še delilnik napetosti, ki zmanjšuje občutljivost osciloskopa.



Shema delilne sonde in njeno nadomestno vezje

Primer:

Podatki osciloskopa: $R_{vh} = R_2 = 1 \text{ M}\Omega$, $C_i = C_2 = 20 \text{ pF}$

Podatki sonde: $R_1 = 9 \text{ M}\Omega$, $C_k = C_2 = \text{nastavimo}$, $C_{kabl} = 100 \text{ pF}$

Delilnik napetosti tvorita upora R_1 in R_2 , zato je izhodna napetost (U_2) iz sonde enaka:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Napetost se zmanjša zaradi upora $R_1 = 9 \text{ M}\Omega$ na vrednost desetine napetosti U_1 . To velja le za enosmerne napetosti. Za višje frekvence moramo delilnik kompenzirati zaradi dodatnih majhnih kapacitivnosti. K vhodni kapacitivnosti se prišteje še kapacitivnost kabla merilne sonde in iz razmerja impedanc lahko izračunamo potrebno kapacitivnost C_k , s katerim kompenziramo delilnik oziroma sondo in vhod osciloskopa.

$$R_1 C_1 = R_2 (C_2 + C_{kab}) \Rightarrow C_1 = (R_2 (C_2 + C_{kab}) / R_1 = 13,3 \text{ pF}$$

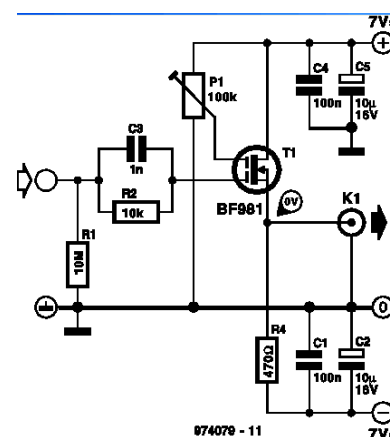
Kondenzator na sondi C_k moramo nastaviti na vrednost 13,3 pF.

Vhodna kapacitivnost sonde sedaj predstavlja zaporedno vezavo C_1 in vzporedno vezavo C_2 in C_{kab} .

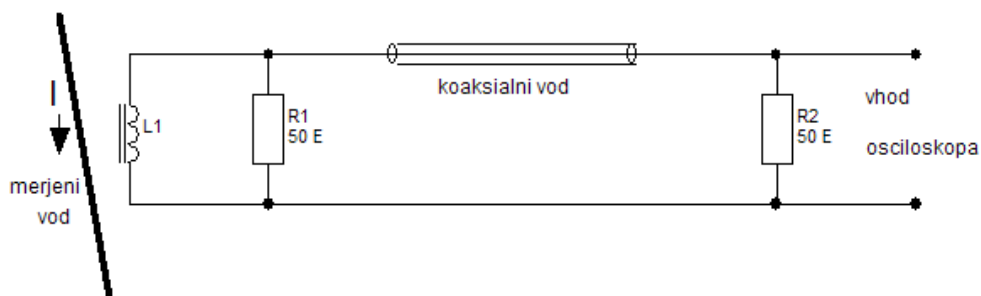
$$C_{vh} = \frac{C_1 (C_2 + C_{kab})}{C_1 + C_2 + C_{kab}} = 12 \text{ pF}$$

Vhodna impedanca sonde je sedaj $10 \text{ M}\Omega$ z vzporedno kapacitivnostjo 12 pF in je dosti večja od vhodne impedance osciloskopa.

Aktivne sonde vsebujejo aktivne elemente (MOSFET), ki zmanjšujejo motnje zaradi velike vhodne impedance. Njihova prednost je tudi, da ne zmanjšujejo občutljivosti osciloskopa.



Tokovne klešče delujejo z induktivnim sklopom in imajo nizko impedanco, kar omogoča merjenje toka brez prekinitve vodnika in minimalni odvzem energije.



Merjeni vod s svojo spremembo magnetnega polja inducira napetost v tuljavi naviti na jedro. Inducirana napetost požene tok skozi upornost in ta padec napetosti meri osciloskop. Napetost je sorazmerna merjenemu toku in se podaja v mV/mA.

Ločimo tri vrste tokovnih klešč:

- Klešče z zaprtim jedrom pri katerih moramo prekiniti tokokrog, da natakne žico skozi jedro in merimo le izmenične signale.
- Klešče s premečnim jedrom, pri katerih tokokroga ne prekinjamo ampak razklenemo jedro in objamemo vodnik. Klešče so lahko pasivne ali aktivne, odvisno od vezja, ki sledi induktivnemu sklopu. Merijo le spremembe toka v tokokrogu (za izmenične signale).
- Klešče s premečnim jedrom za merjenje enosmernih in izmeničnih tokov. Za merjenje enosmernih tokov imajo klešče vstavljeno v rezo jedra Hallovo sondo, ki je za merjenje gostote magnetnega polja.

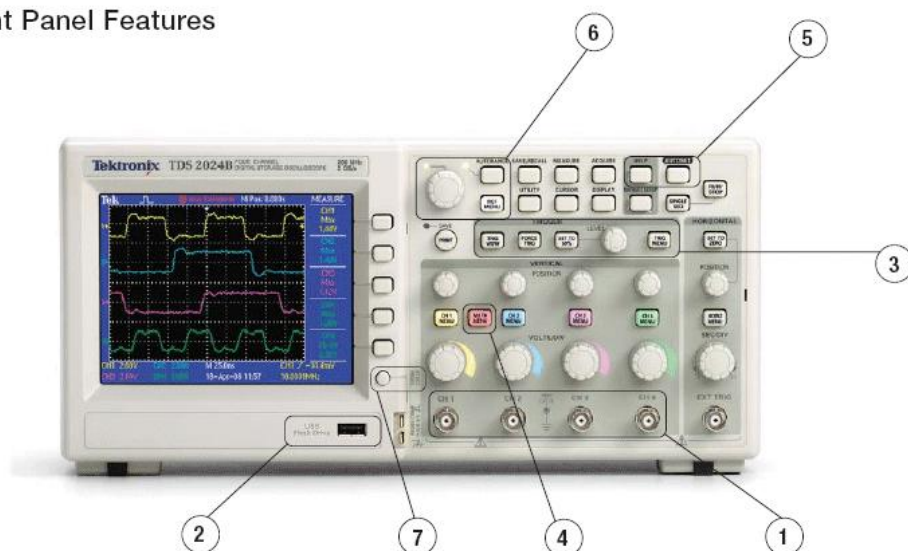
Digitalni osciloskop

Digitalni osciloskopi vhodni signal pretvorijo v digitalno obliko, ki jo hranijo v pomnilniku iz katerega izpisujejo na prikazovalnik. Od A/D pretvorbe vhodnega signala dalje deluje vse digitalno, proces pa nadzira računalnik.



Nekaj tovarniško poudarjenih izboljšav, ki jih prinaša nova serija digitalnih osciloskopov.

► Front Panel Features



1 – Tehnologija realnega časa, kar pomeni, da lahko merimo signale v realnem času – trenutni signal na vhodu je tudi izpisan na ekranu.

2 – USB vhod za prenos podatkov v in iz osciloskopa ali na drugi osciloskop ali računalnik.

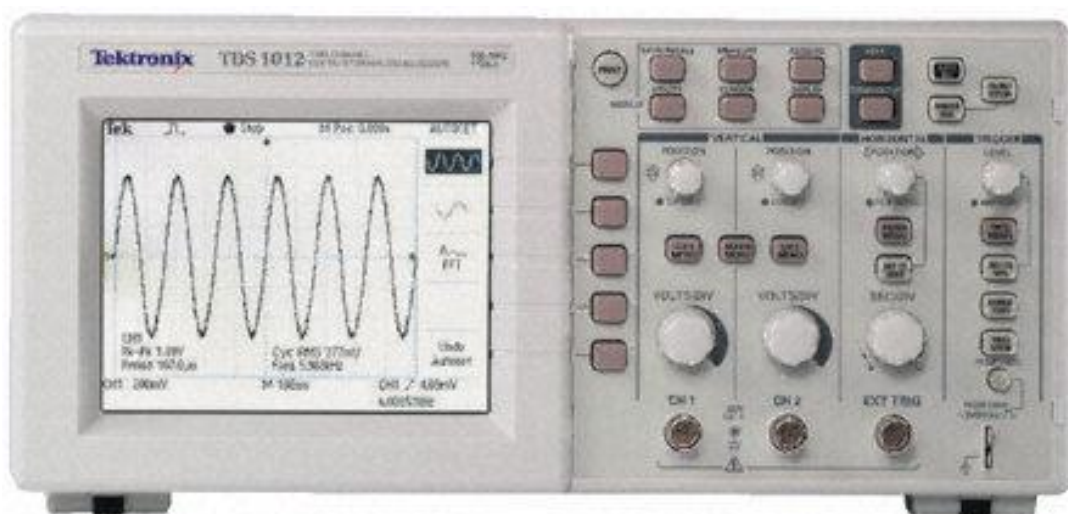
3 – Proženje (triggers) je izboljšano in zajema tudi prikaz poljubnega dela signala, proženje po širini impulza ter izbiro vrstičnih impulzov video signalov.

4 – Sam osciloskop omogoča prikaz furierjeve analize vhodnih signalov.

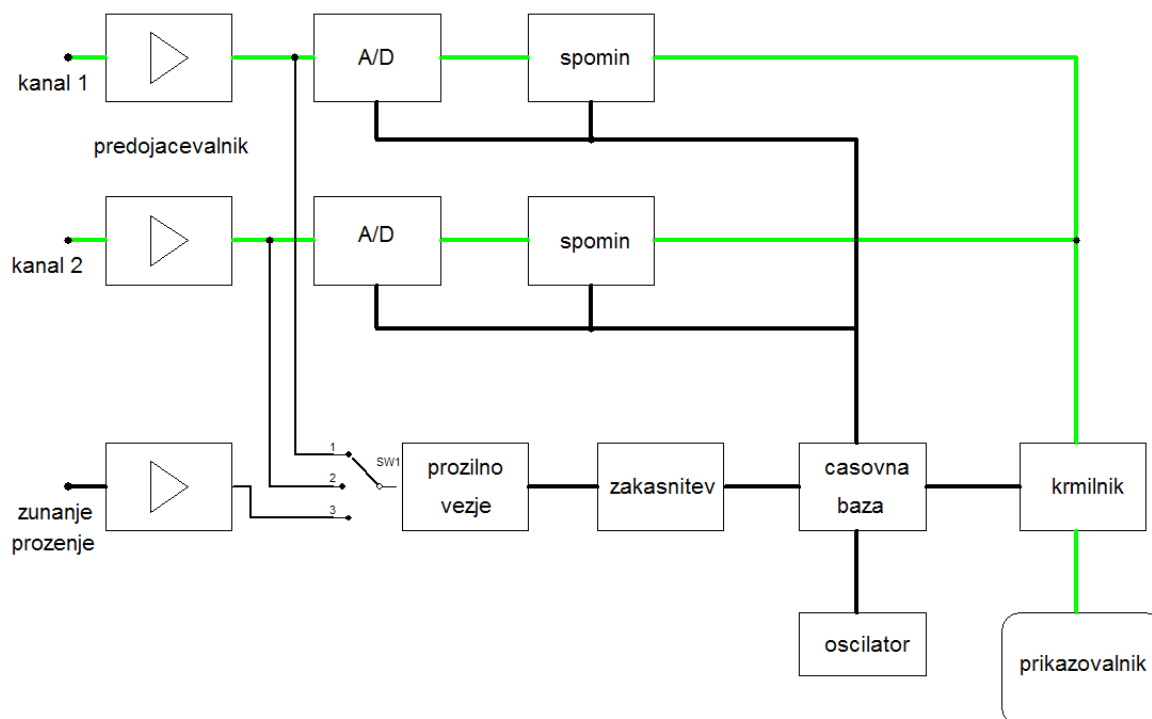
5 – Enostavno nastavljanje parametrov osciloskopa oziroma setup.

6 – Priročni uporabniški vmesnik, s katerim si lahko naprej določimo funkcije tipk in tako poenostavimo rokovanje z osciloskopom.

7 – Pripomoček, s katerim preverimo naše nastavitve in kalibracije.



Opis delovanja osciloskopa



Pri digitalnih osciloskopih je število vhodnih kanalov lahko več kot samo dva, navadno štiri. Za vhodnim delilnikom (atenuatorjem) je ojačevalnik in nato takoj pretvorimo analogni signal v digitalno obliko z A/D pretvornikom. Število bitov pretvornika nam podaja tudi kvaliteto in ceno osciloskopa. Digitalno obliko vhodnega signala spravimo v spomin oziroma pomnilnik, ki mora biti dovolj hiter za prikaz signala. Krmilnik je osrednji računalniški del, ki poskrbi za nadzor in upravljanje funkcij osciloskopa. shranjene Vrednosti v spominu prikaže na prikazovalnik. Krmilnik usklajuje, s prožilnim vezjem in časovno bazo za pravilen izpis in prikaz tistega dela signala, ki ga mi želimo videti. Sama funkcija oziroma ideja delovanja digitalnega osciloskopa pa je podobna analognemu osciloskopu.

Spektralni analizator

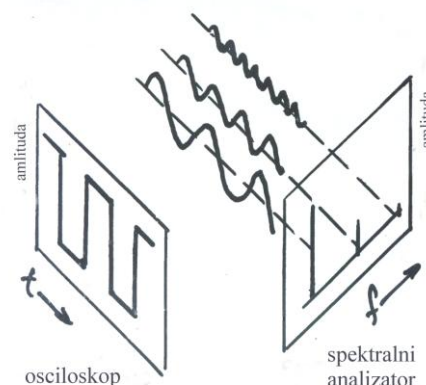
Iz fizike poznamo ,da se sončna svetloba, ki potuje skozi stekleno prizmo, razkloni na mavrično svetlobo. Vsaka barva ima svojo valovno dolžino oziroma svojo frekvenco, tako nastane svetlobni spekter.

Napravo, ki jo imenujemo spektralni analizator, bi lahko predstavili z radijskim sprejemnikom na katerem ves čas iščemo postaje in spreminjamo frekvenco, izhodni signal pa prikazujemo na zaslonu (VU-meter) v obliki večjih ali manjših navpičnih črtic, ki predstavljajo napetost sprejetega signala. Tako smo napravili analizo vseh oddajnikov na našem frekvenčnem področju. Tako navadno večkrat delamo, ko iščemo najbolj zanimivo in prijetno glasbo.

Enako analizo delamo ob gledanju TV postaj in preklapljammo kanale, ki niso nič drugega kot določene frekvence – opravimo frekvenčno ali spektralno analizo.

Osciloskop nam prikazuje električne signale v odvisnosti od časa. V časovnem prostoru naredi časovno analizo. Ker pa ima izmenični signal neko frekvenco ali celo več frekvenc (če ni popolni sinus), lahko napravimo tudi frekvenčno analizo merjenega signala.

Ločitev osciloskopa od spektralnega analizatorja je le v tem, kako gledamo merjeni signal, skozi čas ali frekvenco.

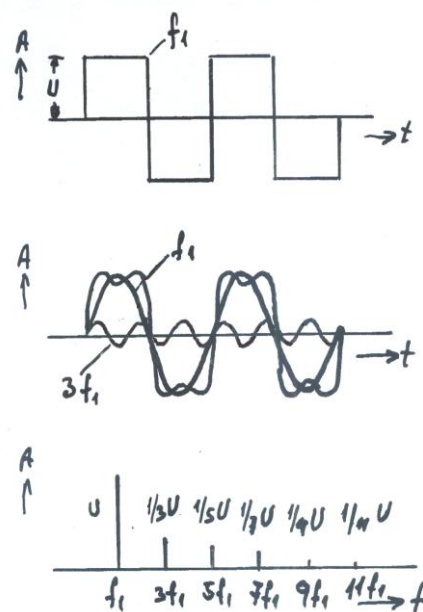


Osnovna oblika izmeničnega signala je sinus in tako lahko izmenično napetost izrazimo z:

$$u(t) = U_m \sin \omega t$$

Vsak signal, ki odstopa od sinusne oblike, je že sestavljen iz več sinusnih oblik signalov, ki pa so različne velikosti (napetosti) in frekvence. Frekvenca je navadno mnogokratnik osnovne frekvence, zato te frekvence imenujemo višje harmonske komponente oziroma frekvence osnovnega signala.

Desna slika prikazuje izmenično napetost pravokotne oblike, ki je sestavljena iz množice višjih harmonskih komponent, kar prikazuje tretja slika. Na drugi sliki pa vidimo, da če seštejemo sinusna signala osnovne frekvence in trikrat višje frekvence, dobimo signal, ki nas že spominja na pravokotno obliko, le da ima še preveč zaobljene robove.



Spektralne analizatorje lahko delimo na:

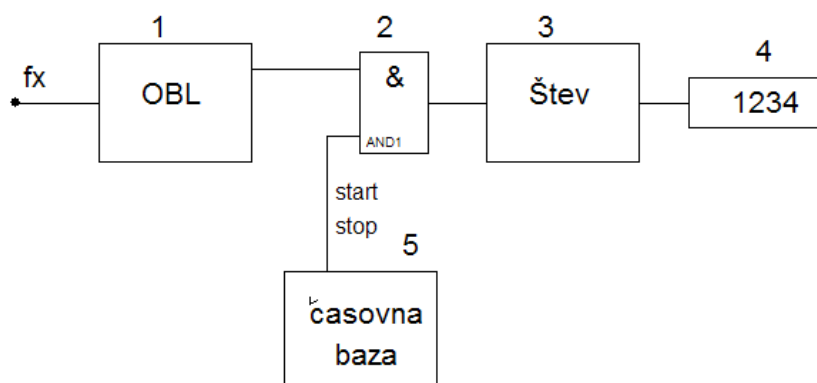
- analizatorji s filtri,
- analizatorji z izračunom Fourier-jeve vrste,
- superheterodinske analizatorje s preletom po vsem frekvenčnem področju (sweep), ki je najpogostejši in katerega delovanje si bomo ogledali.

Univerzalni elektronski števci

Univerzalni elektronski števec je instrument, ki omogoča točno merjenje frekvence, periode, časovnih intervalov, štetje dogodkov itd. Osnovno vezje tega instrumenta je digitalni števec, zelo točen oscilator za določanje začetka in konca štetja ter digitalna vrata, ki odpirajo in zapirajo vhod do števca. Ločimo dve vrsti meritev:

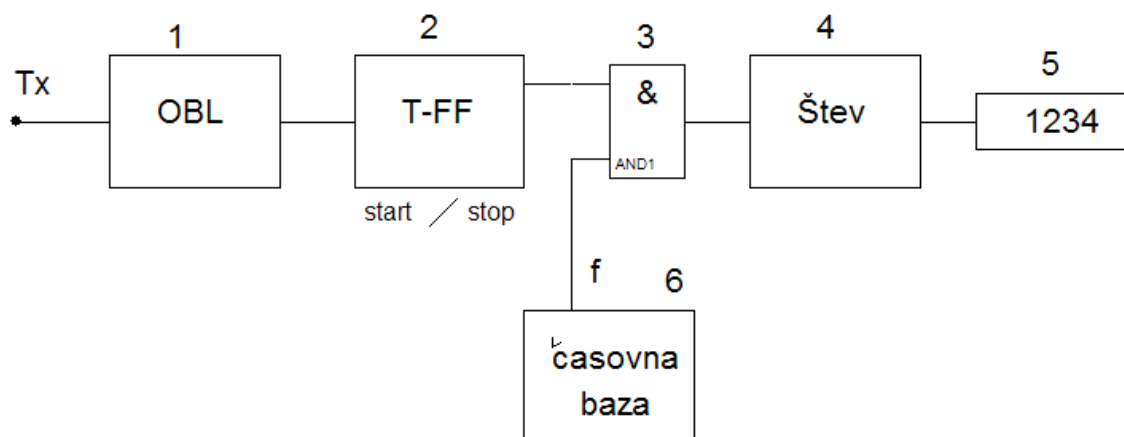


Merjenje frekvence



Na vhod pripeljemo napetost neznane frekvence, ki jo preoblikujemo (1) v impulze iste frekvence. Te pripeljemo na en vhod IN vrat, ki prepuščajo le, če je na drugem vhodu vrat logična ena. Logično eno formiramo s pomočjo časovne baze (5), ki vsebuje oscilator in krmilno vezje, ki zagotavlja časovni interval v katerem bomo šeli (3) impulze iz vhoda. Število impulzov na časovno enoto je frekvenca, ki jo pokaže prikazovalnik (4).

Merjenje periode



Vhodno napetost, ki ji želimo izmeriti periodo preoblikujemo (1) v zaporedje impulzov dolžine merjene periode Tx. Impulzi v taktu periode prožijo T-flip-flop (2), ki z izhodnim signalom odpira in zapira vrata (3). Zato so vrata odprta točno eno periodo merjenega signala. V tem času prihajajo impulzi iz časovne baze, ki jih števec prešteje. Število impulzov v času ene periode je čas periode.

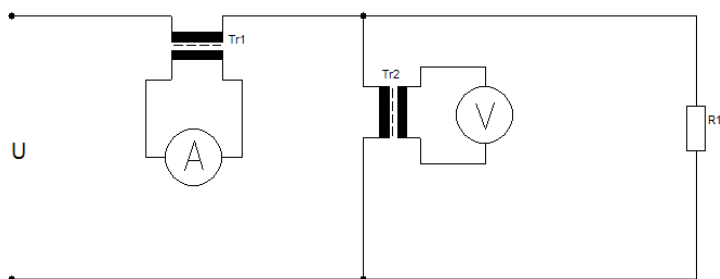
Napake merilnikov frekvence in periode

Napaka merilnika je predvsem odvisna od točnosti časovne baze in proženja števca.

- Točnost časovne baze zagotavljamo z oscilatorjem, ki je kontroliran s kremenčevim kristalom ali še dodatno zagotavljamo konstantno temperaturo s termostatom.
- Napaka zaradi proženja števca nastopi tik pred proženjem, ko lahko motnja predčasno sproži števec.
- Napaka lahko nastopi tudi zaradi štetja impulzov v določenem intervalu. Impulz, ki je tik ob robu intervala, je lahko ob majhnem premiku intervala, v intervalu ali zunaj. S tem nastopi napaka za ± 1 impulz.

MERILNI TRANSFORMATORJI

Merilne transformatorje uporabljamo za razširjanje merilnega območja merilnih instrumentov na izmenični tok in za varnostno ločitev visokonapetostnih krogov od nizkonapetostnih pri meritvah napetosti. Za razširjanje napetostnega merilnega območja uporabljamo napetostne merilne transformatorje (Tr2), za razširjanje tokovnega območja pa tokovne transformatorje (Tr1).

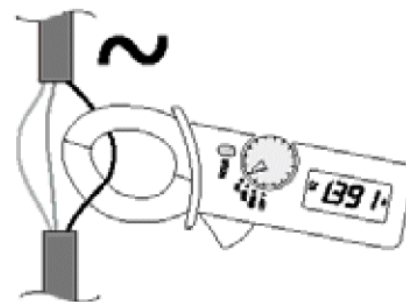


Tokovni merilni transformator

Tokovne klešče

Tokovne klešče so namenjene meritvi tokov brez prekinjanja vodnika, po katerem teče električni tok. Okoli vodnika s tokom se inducira magnetno polje, ki je odvisno od jakosti električnega toka. Klešče delujejo tako, da se na vodnik natakne feromagnetni obroč, na katerem je navita žica, ki je priključena na instrument. Ko so klešče nataknjene na vodnik, se obnašajo kot transformator, ki ima na primarju en ovoj, na sekundarju pa jih je več. Več sekundarnih navojev je zato, da je izhodna napetost večja in meritev lažja.

Merjenje izmeničnega toka



Pri merjenju enosmernega toka pa indukcije ni in v transformatorju se nič ne inducira! Za meritve enosmernega toka se uporablja Hallova sonda. To je polprevodniški element, ki ga vstavimo v jedro oziroma jarem, ki oklepa vodnik. Sonda daje napetost sorazmerno velikosti magnetne gostote v jedru, ki jo merilnik pokaže kot enosmerni tok skozi vodnik.

