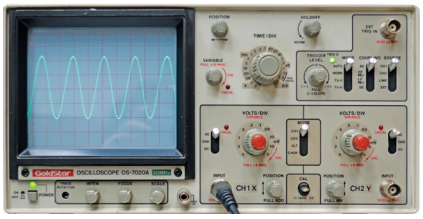
1.

Mjerni instrumenti

1.1. Uvod u instrumente s dvodimenzionalnim prikazom – vrste osciloskopa
1.2. Analogni osciloskopi
1.3. Digitalni osciloskopi

element

1.1. Uvod u instrumente s dvodimenzionalnim prikazom – vrste osciloskopa



Slika 1.1.
Analogni dvokanalni osciloskop

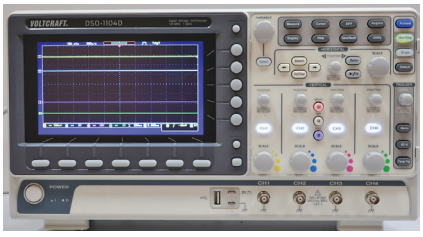
Osciloskop je instrument za dvodimenzionalno prikazivanje trenutačnih vrijednosti mjerene električne veličine (napona) u ovisnosti o vremenu ili nekoj drugoj veličini.

Na zaslonu osciloskopa prikazuje se slika (dijagram) mjerene veličine i to:

- ovisnost napona o vremenu
- ovisnost dvaju napona.

Osciloskopom možemo mjeriti: istosmjerni napon, izmjenični napon, vremenski interval, period, frekvenciju, fazni kut između dva napona, prijenosnu karakteristiku i drugo.

Osciloskopom možemo mjeriti i neelektrične veličine ako se prethodno pretvore u napon i prikažu kao funkcija vremena.



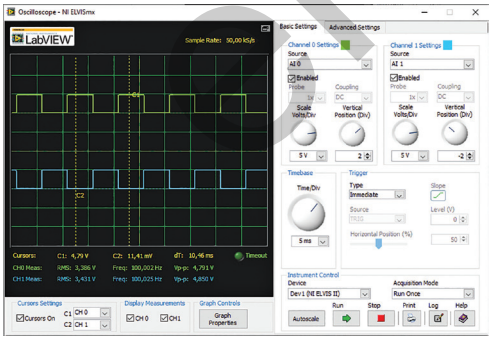
Slika 1.2.
Digitalni četverokanalni osciloskop

Prema broju mjernih kanala osciloskopi mogu biti:

- **dvokanalni** – mjere istovremeno dvije veličine
- **četverokanalni** – mjere istovremeno četiri veličine.

Prema izvedbi osciloskopi mogu biti **analogni** (katodni osciloskop) slika 1.1 i **digitalni** slika 1.2.

Rad analognih osciloskopa zasniva se na primjeni katodne cijevi, a na zaslonu osciloskopa prikazuje se slika mjerenog signala u stvarnom vremenu. Slika 1.1 prikazuje dijagram mjerenog sinusnog napona u ovisnosti o vremenu.



Slika 1.3.
Računalna simulacija dvokanalnog osciloskopa

Kod digitalnih osciloskopa mjereni se signal digitalno obrađuje te pohranjuje u memoriji i prikazuje na zaslonu. Neke od prednosti digitalnih osciloskopa su dodatno automatsko proračunavanje parametara, povezivanje s računalom i zaslon u boji.

Kod osciloskopa, kao i kod drugih instrumenata, sve se više koristi primjena računala kao mjernog sustava ("virtualni instrumenti") gdje se mjerena veličina (električni napon) pretvara u digitalni oblik i naknadno digitalno obrađuje. Takav virtualni osciloskop koji se prikazuje na zaslonu računala ima istu funkciju kao i stvarni osciloskop (slika 1.3).

Tijekom mjerenja osciloskopom mogu nastati pogreške mjerenja (i do nekoliko postotaka). Pogreške mogu biti zbog nesavršenosti samog osciloskopa i mjernih sondi. Dodatne pogreške mjerenja nastaju tijekom samog očitanja mjeritelja.

element.hr

U ovom ćemo poglavlju prvo opisati rad analognog osciloskopa koji je još uvijek jako zastupljen u laboratorijima i industriji. Zatim ćemo opisati digitalni osciloskop s naglaskom na njegove dodatne mogućnosti u usporedbi s analognim osciloskopom.

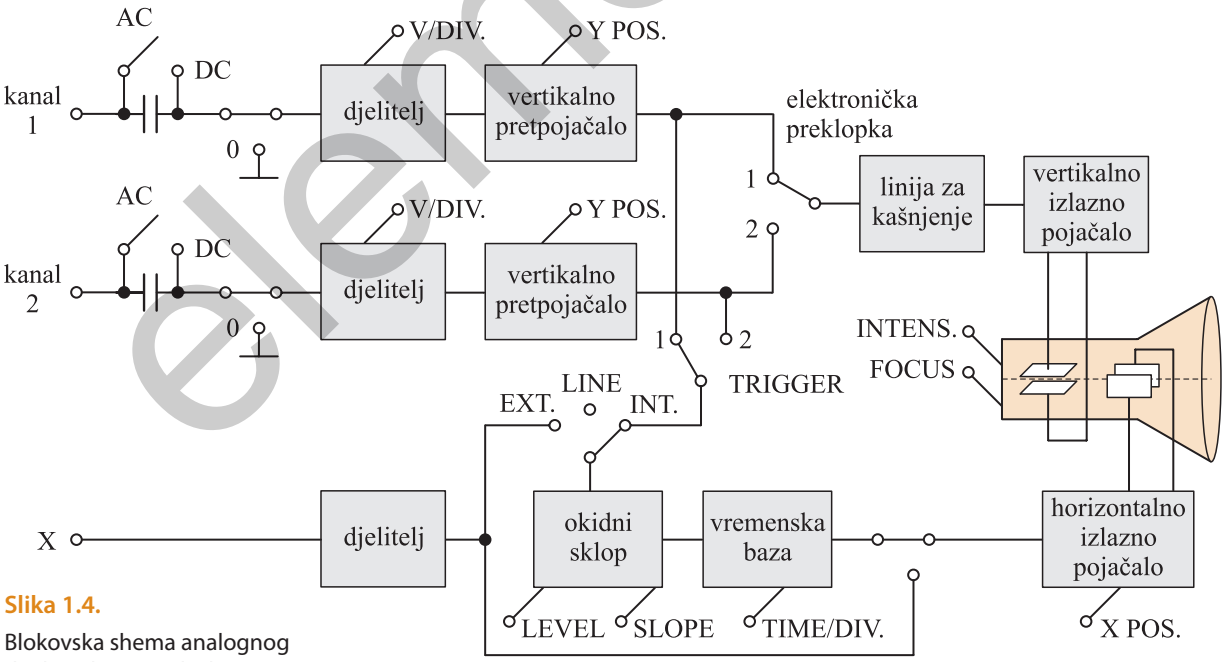
Razlika između analognih i digitalnih osciloskopa je u izradi, namjena je ostala ista, a podešavanje mjerenja je jako slično.

1.2. Analogni osciloskopi

Analogni osciloskop sastoji se od katodne cijevi i pripadajućih upravljačkih sklopova: sustava za vertikalni otklon, sustava za horizontalni otklon i okidnog sustava. Za analogni osciloskop koristi se i naziv katodni osciloskop.

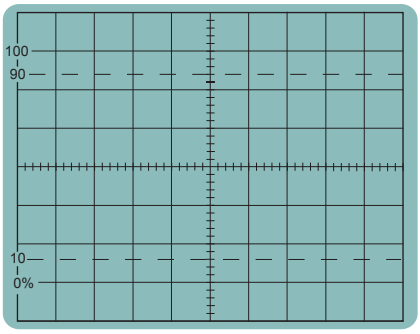
Na sva tri navedena sustava možemo dovoditi signal s vanjskog izvora dok horizontalni otklonski sustav (vremenska baza) i okidni sustav većinom koriste interne izvore. Obično osciloskopom promatramo vremenski promjenjive signale i to periodične signale. U tom slučaju na vertikalni otklonski sustav dovodimo naponski signal koji promatramo, a horizontalni otklonski sustav služi kao vremenska baza.

Načelo rada osciloskopa objasnit ćemo na primjeru dvokanalnog osciloskopa čija je blokovska shema prikazana na slici 1.4.



Slika 1.4.
Blokovska shema analognog dvokanalnog osciloskopa

element.hr



Slika 1.5.
Zaslon katodnog osciloskopa

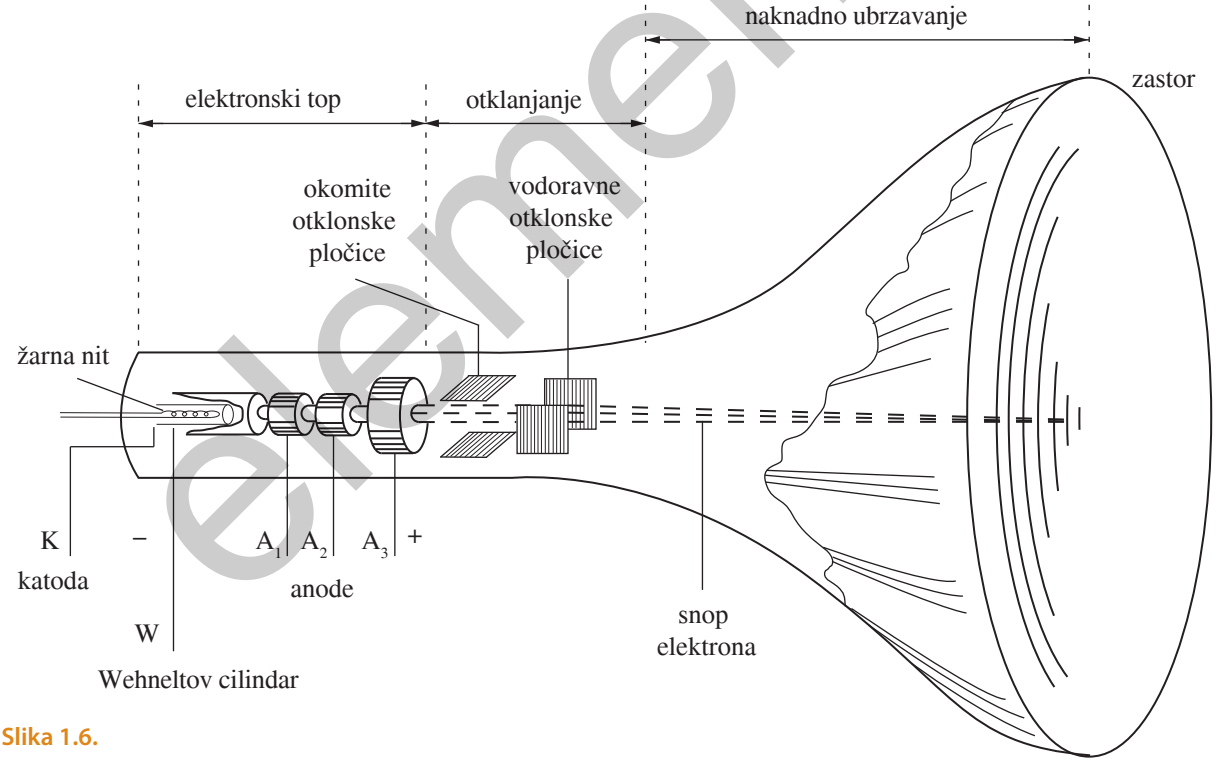
1.2.1. Opis rada analognog (katodnog) osciloskopa

Opis rada katodne cijevi

Glavni dio katodnog osciloskopa je **katodna cijev**, a njeni dijelovi su: staklena vakumirana cijev, elektronski top koji čine grijana katoda i sustav anoda A1, A2, A3, vertikalne i horizontalne otklonske pločice, sustav za naknadno ubrzavanje i fluorescentni zastor. Na unutarnjoj strani stakla ispred zastora ucrtan je raster (slika 1.5), odnosno kvadratična mreža najčešćih dimenzija 10 cm × 8 cm.

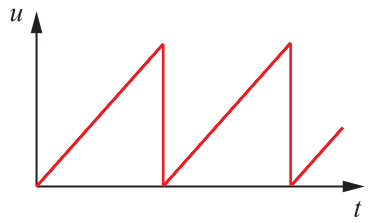
Na slici 1.6 je pojednostavljeni prikaz katodne cijevi.

U katodnoj cijevi (slika 1.6) se elektroni, generirani na posredno grijanoj katodi te u sustavu anoda zbijeni u tanki mlaz, dodatno ubrzavaju prema fluorescentnom zastoru. Na mjestu udara mlaza elektrona zaslon će zasvijetliti. Mlaz elektrona u vertikalnom i horizontalnom smjeru lako je otkloniti električnim poljima koja stvaraju naponi priključeni na horizontalne i vertikalne otklonske pločice.

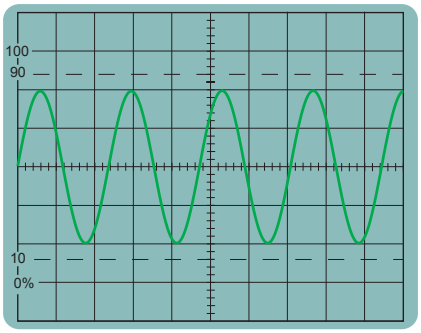


Slika 1.6.
Katodna cijev

element.hr



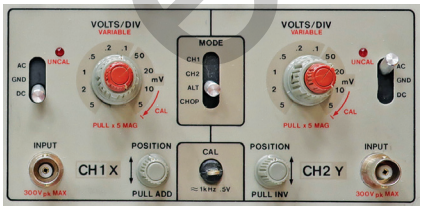
Slika 1.7.
Pilasti napon



Slika 1.8.
Dijagram mjerenog sinusnog napona u ovisnosti o vremenu na zaslonu osciloskopa

Napomena

Konstanta za vertikalni otklon:
k_y, V/podjeljak (V/DIV).



Slika 1.9.
Kontrole sustava za vertikalni otklon na prednjoj ploči osciloskopa

U horizontalnom smjeru elektrone najčešće otklanja pilasti napon generiran u sklopu vremenske baze, dok promatrani signal mlaz otklanja vertikalno.

Dovođenjem pilastog napona (slika 1.7) na horizontalne otklonske pločice katodne cijevi, uz istovremeno nulti napon na vertikalnim pločicama, jakost električnih polja uzrokuje pomicanje elektronskog snopa, pa se na zaslonu prikazuje linija po sredini ekrana, slijeva nadesno. Za vrijeme jednog perioda pilastog napona svijetla točka putuje od lijevog do desnog ruba zaslona. Pilasti napon tada pada na nulu i svijetla točka vraća se (nevidljivo) u početni položaj na lijevu stranu. Novim porastom pilastog napona svijetla točka ponovno putuje po zaslonu, a njezina brzina ovisi o brzini porasta pilastog napona.

Pri dovođenju mjerenog napona, primjerice sinusnog oblika na vertikalne otklonske pločice, dolazi do pojave slaganja dvaju međusobno okomitih gibanja, što rezultira nastajanjem slike na zaslonu katodnog osciloskopa koja predstavlja amplitudno-vremensku karakteristiku mjerenog signala (slika 1.8).

Analogni osciloskop radi u stvarnom vremenu. Prikaz signala na zastoru katodne cijevi je ono što se događa u tom trenutku.

Sustav za vertikalni otklon

Sustav za vertikalni otklon osciloskopa pojačava ulazni mjereni signal i određuje osjetljivost. Sastoji se od nekoliko stupnjeva: elektroničke preklopke za prikaz više signala istovremeno, djelila (atenuatora), ulaznog pojačala, linija za kašnjenje i izlaznog pojačala. Na prednjoj ploči osciloskopa nalazi se višepolna preklopka s "faktorom otklona" (**VOLTS/DIV ili V/DIV**) kojom ugađamo omjer između ulaznog napona i otklona svijetle točke na zaslonu (za dvokanalni osciloskop nezavisno za svaki kanal). Položaj preklopke označava broj volti po podjeljku (V/podjeljak) i predstavlja osjetljivost sustava na vertikalni otklon, odnosno konstantu za vertikalni otklon k_y. Najčešće je jedan podjeljak veličine 1 cm na rasteru zaslona.

Slika 1.9 prikazuje kontrole sustava za vertikalni otklon i mjesto priključka signala na prednjoj ploči osciloskopa.

Mjereni signal se na vertikalno pojačalo dovodi preko ulazne preklopke (INPUT) koja ima tri položaja DC, AC i GND. Ako je ulazna preklopka u položaju DC, na ulaz vertikalnog pojačala dolazi originalni valni oblik signala (istosmjerna + izmjenična komponenta). U položaju AC na ulaz pojačala dolazi samo izmjenična komponenta

element.hr

signala. Položaj GND znači da je ulaz pojačala spojen na masu (signal koji promatramo je pritom odspojen).

Dvokanalni osciloskop ima dva vertikalna pojačala i dva djelitelja. Katodni osciloskop s jednom zrakom naizmjence koristi zraku za jedan i drugi kanal, a prebacivanje obavlja elektronička preklopka. Zbog tromosti oka na zaslonu opažamo dvije pojave.

Višepolna preklopka dvokanalnog osciloskopa omogućuje odabir prikaza samo jednog kanala na zaslonu (CH1 ili CH2) ili oba kanala (ALT ili CHOP način).

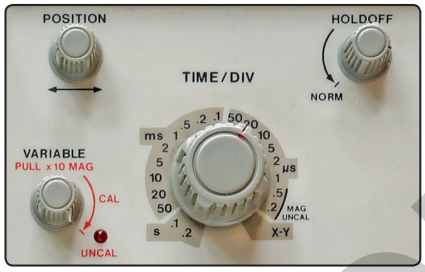
Sustav za horizontalni otklon

Napomena

Konstanta za horizontalni otklon: k_x, s/podjeljak (TIME/DIV).

Sustav za horizontalni otklon osciloskopa čine okidni sklop (engl. *trigger*), generator pilastog napona i horizontalno pojačalo, a omogućuje konstantnu brzinu otklona svijetle točke u horizontalnom smjeru i mirnu sliku. Generator pilastog napona (vremenska baza) generira pilasti napon.

Mirna slika na zaslonu nastaje kada je period pilastog napona cjelobrojni višekratnik perioda mjerenog napona. Sinkronizacija se obavlja u okidnom sklopu te može osim unutarnje biti i vanjska. Generator okidnih impulsa osigurava izbor okidne razine i nagiba okidanja. Nakon pojačanja pilasti se napon dovodi na horizontalne otklonske pločice. Višepoložajna preklopka je mjerilo vremena, a služi za ugađanje trajanja porasta pilastog napona izraženog u vremenu po podjeljku (TIME/DIV). Položaj preklopke označava broj sekundi po podjeljku (s/podjeljak) i predstavlja osjetljivost sustava za horizontalni otklon, odnosno konstantu za horizontalni otklon k_x. I ovdje je jedan podjeljak (DIV) najčešće veličine 1 cm.



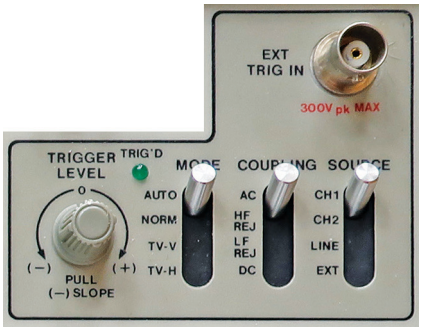
Slika 1.10.
Kontrole sustava za horizontalni otklon na prednjoj ploči osciloskopa

Slika 1.10 prikazuje kontrole sustava za horizontalni otklon na prednjoj ploči osciloskopa.

Okidni sustav (sustav za sinkronizaciju) osigurava stabilnu (mirnu) sliku na osciloskopu prilikom promatranja vremenskih dijagrama periodičkog signala. Okidni sustav osigurava ispisivanje signala na zaslonu tako da poslije jednog prolaska zrake preko zaslona sljedeći prolazak ide po istoj putanji.

Odnos između frekvencije mjerenog signala i frekvencije pilastog napona generatora vremenske baze mora biti cijeli broj koji se ne mijenja tijekom promatranja.

element.hr



Slika 1.11.

Kontrole okidnog sustava na prednjoj strani osciloskopa

Slika 1.11 prikazuje kontrole okidnog sustava (engl: *trigger level*) na prednjoj strani osciloskopa.

Za dobivanje mirne slike najčešće se koristi način rada AUTO, a često postoji i indikator da je sinkronizacija uspješna (LED na slici).

Napajanja osciloskopa

Osciloskop se priključuje na izmjenični napon gradske mreže (230 V, 50 Hz). Uz primjenu ispravljača i stabilizatora dobivamo istosmjerne napone potrebne za rad pojedinih elektroničkih sklopova i katodne cijevi osciloskopa. Za katodnu su cijev potrebni visoki naponi, od nekoliko kilovolta do nekoliko desetaka kilovolta.

Značajke osciloskopa

Osnovne podatke o osciloskopu navodi proizvođač, a to su:

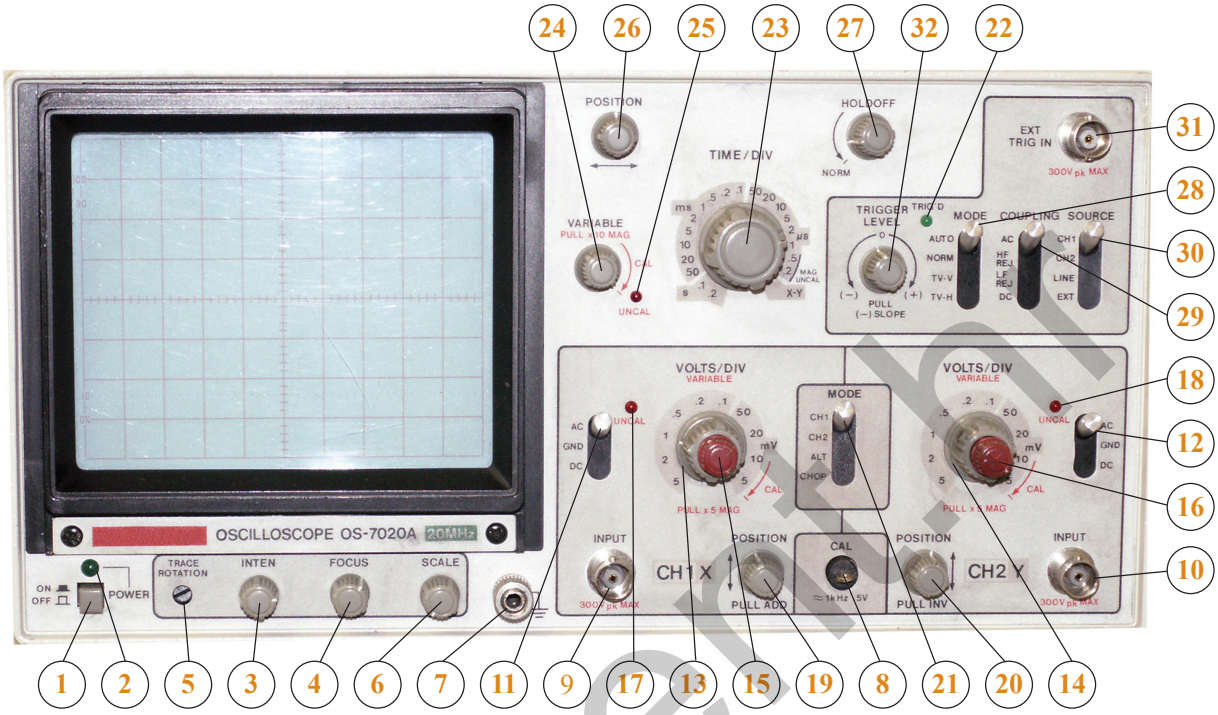
- raspon faktora otklona i točnost za očitanje napona (npr. 10 mV/DIV do 5 V/DIV, ±3 %)
- najveći dozvoljeni ulazni napon (npr. 400 V)
- ulazna impedancija osciloskopa (ulazni otpor – 1 MΩ, ulazni kapacitet – 30 pF)
- trajanje pilastog napona i njegova tolerancija (npr. 0,2 μs/DIV do 0,2 s/DIV, ±3 %)
- gornja granična frekvencija (npr. 20 MHz)
- izvor pravokutnog napona 5 V frekvencije 1 kHz
- napon napajanja – 230 V, 50 Hz (ili 110 V, 60 Hz).

Prednja ploča osciloskopa

Slika 1.12 prikazuje prednju ploču dvokanalnog osciloskopa. Iako prednje ploče različitih proizvođača nemaju isti izgled, sve imaju iste funkcije, pa ćemo na primjeru jednog osciloskopa objasniti osnovnu ulogu pojedinih tipki, potenciometara i preklopki, poredanih u grupama prema funkciji koju obavljaju.

Osciloskopi su najčešće strane proizvodnje pa imaju oznake na engleskom jeziku. Njihovo je značenje objašnjeno na slici 1.12.

element.hr



Slika 1.12.

Prednja ploča osciloskopa

1 – uključenje i isključenje (POWER ON/OFF)

3 – prilagođavanje svjetline (INTEN)

4 – prilagođavanje oštrine svijetle točke (FOCUS)

6 – prilagođavanje osvjetljenja zaslona (SCALE)

5 – vijak za rotaciju signala (ROTATION)

7 – spoj na masu

8 – izvor pravokutnog napona frekvencije 1 kHz (CAL)

9 ili **10** – BNC konektor za priključak signala (INPUT CH1, CH2)

11 ili **12** – izbor prikaza signala; izmjenični/spoj na masu/istosmjerni (AC/GND/DC)

13 i **14** – višepoložajne preklopke s "faktorom otklona" (VOLTS/DIV ili V/DIV)

15 i **16** – za neprekidno ugađanje faktora otklona (VARIABILE CAL)

2, **17**, **18**, **22**, **25** – signalne lampice

19, **20** – vertikalno pomicanje svijetle točke (Y-POSITION)

21 – odabir prikaza na zaslonu jednog ili oba kanala (MOD-CH1, CH2, ALT, CHOP)

22 – signalna lampica

23 – višepoložajna preklopka, mjerilo vremena (TIME/DIV)

24 – potenciometar za neprekidno ugađanje (TIME VARIABLE)

26 – horizontalno pomicanje zrake (X-POSITION)

27 – prilagođavanje okidanja (HOLD OFF)

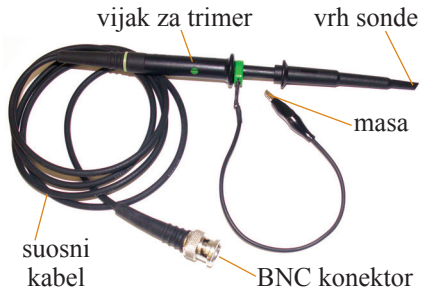
28, **29** i **30** – prilagođavanje okidanja (MODE, COUPLING, SOURCE)

31 – ulaz za vanjski okidni signal (EXT TRIG IN)

32 – potenciometar za prilagođavanje razine okidanja (TRIGGER LEVEL)

Na stražnjoj strani nalazi se priključak za mrežni napon, vanjski priključak signala na pločice za horizontalni otklon (EXT INPUT).

element



Slika 1.13.
Mjerna sonda

1.2.2. Mjerne sonde i kalibracija

Mjerne sonde (slika 1.13) imaju zadatak prenijeti mjereni signal od njegovog izvora do ulazne priključnice mjerenog instrumenta, a da pritom ne izobliče mjereni signal. Mjerne sonde ne spadaju u osnovne dijelove katodnog osciloskopa, ali predstavljaju vrlo važan pomoćni pribor o kojem u velikoj mjeri ovisi kvaliteta samog mjerenja.

Izrađuju se **pasivne** sonde koje se mogu postaviti u dva položaja:

1. ×1 znači da sonda ne smanjuje signal
2. ×10 znači da sonda smanjuje signal deset puta i dobiveno očitanje na zaslonu moramo pomnožiti s deset.

Rjeđe se izrađuju sonde ×100 ili ×1000 i uglavnom su za specijalne namjene.

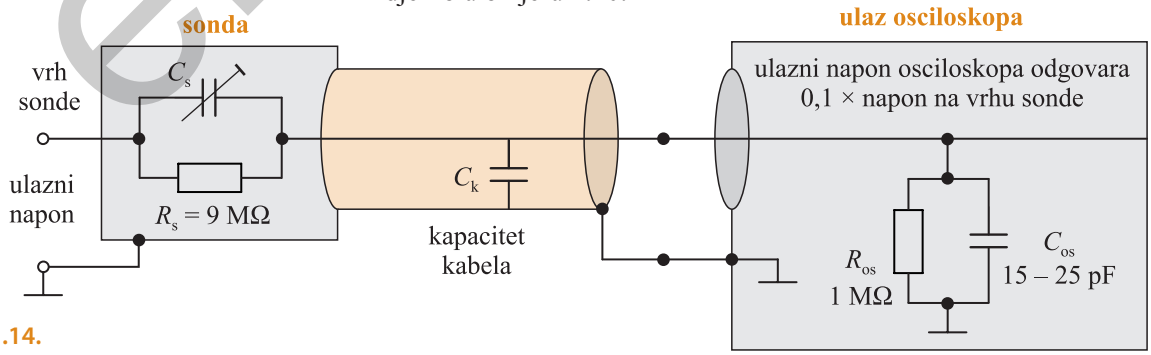
Pasivne sonde izrađuju se tako da njihova karakteristična impedancija bude jednaka ulaznoj impedanciji osciloskopa. Ako to nije ispunjeno, nastaje izobličenje signala pa je potrebna prilagodba impedancije, odnosno **kalibracija sonde**.

Ulazna impedancija osciloskopa je paralelni spoj ulaznog otpora koji tipično iznosi R_{os} ~ 1 MΩ i ulaznog kapaciteta osciloskopa koji obično ima vrijednost oko desetak pF (C_{os} ~ 10 do 50 pF).

Ako i suosni kabel (koaksijalni kabel) sonde ima značajniji kapacitet, potrebno je i njegov iznos pribrojiti kapacitetu osciloskopa.

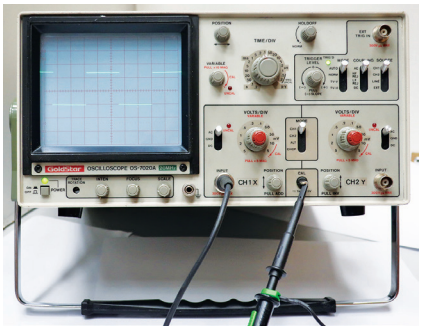
U sondu je ugrađen paralelni spoj otpornika R_s i kondenzatora (trimer) promjenjivog kapaciteta C_s (približno od 8 do 50 pF) s kojima se postiže prilagodba impedancije i dijeljenje napona neovisno o frekvenciji.

Slika 1.14 prikazuje nadomjesnu shemu spoja osciloskopa i sonde u položaju ×10. Ako sonda smanjuje deset puta, u njoj se nalazi otpornik 9 MΩ i s ulaznim otporom osciloskopa od 1 MΩ čini otporno djelilo u omjeru 1:10.



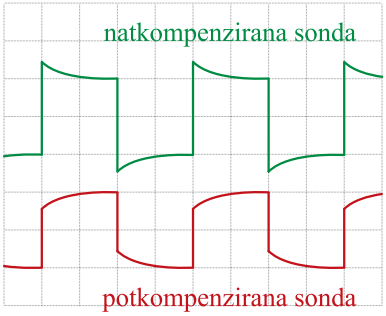
Slika 1.14.
Nadomjesna shema spoja osciloskopa i sonde u položaju ×10

element.hr



Slika 1.15.

Priključak sonde za kalibriranje i kompenzirana sonda



Slika 1.16.

Pravokutni napon mjeren natkompenziranom i potkompenziranom sondom

Pri kalibriranju sondu priključimo na izvor referentnog pravokutnog napona koji postoji na svakom osciloskopu (slika 1.15). Frekvencija pravokutnog napona je obično 1 kHz, a amplituda 2 V ili 5 V ovisno o modelu.

Vrijednost kapaciteta promjenjivog kondenzatora u sondi mijenjamo (vijkom koji se nalazi na jednom kraju sonde) sve dok se na zaslonu ne pojave pravokutni impulsi (slika 1.15), čime je ostvarena potpuna kompenzacija sonde. Uvjet kompenzacije je:

$$C_s R_s = C_{os} R_{os}.$$

Ako sonda nije kompenzirana, na zaslonu će biti izobličeni pravokutni impulsi, pa pritom može nastati potkompenzacija gdje je $C_s R_s < C_{os} R_{os}$, što znači premala kapacitivnost C_s ili natkompenzacija gdje je $C_s R_s > C_{os} R_{os}$, što znači prevelika kapacitivnost C_s.

Na slici 1.16 prikazan je vremenski dijagram pravokutnog napona mjerenog natkompenziranom i potkompenziranom sondom.

Prije svakog mjerenja potrebno je provjeriti je li sonda kompenzirana.

1.2.3. Mjerenje dvokanalnim osciloskopom

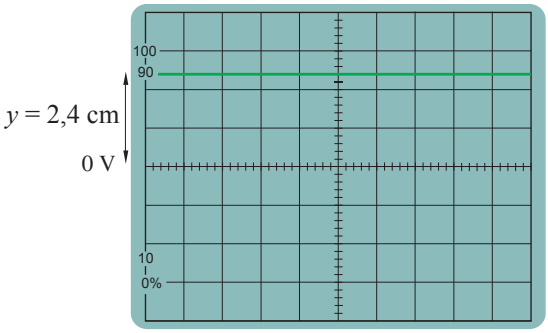
Osciloskop priključimo na mrežni napon i uključimo tipku "uklj.--isklj." (POWER), nakon čega će zasvijetliti signalna lampica. Tipke i preklopke na prednjoj ploči postavimo u takav položaj da se na zaslonu pojavi (nakon tridesetak sekundi) svijetli zeleni trag za jedan ili oba kanala. Brzinu vremenske baze postavimo tako da dobijemo liniju na ekranu – zraku. Kontrolom oštrine (FOCUS) i svjetline (INTEN) prilagođavamo svjetlinu i oštrinu zrake. Potenciometrima za vertikalni i horizontalni otklon (Y-POSITION i X-POSITION) zraku postavimo na željenu liniju zaslona, koju ćemo smatrati referentnom. Mjereni signal priključit ćemo na jedan kanal (npr. CH1) i objasniti postupak mjerenja, a isti se postupak može primijeniti i na drugi kanal (CH2).

a) Mjerenje istosmjernog napona

Na osciloskop s pomoću mjerne sonde na ulazni BNC konektor (CH1 INPUT) priključimo signal.

Na mjereni se sklop sonda priključuje paralelno (kao voltmetar). Jedan kraj sonde priključi se na masu, a drugi (neizolirani) na mjernu točku sklopa. Obratite pažnju da je masa osciloskopa povezana s kućištem. Postavimo automatsko okidanje vremenske baze (AUTO).

element.hr

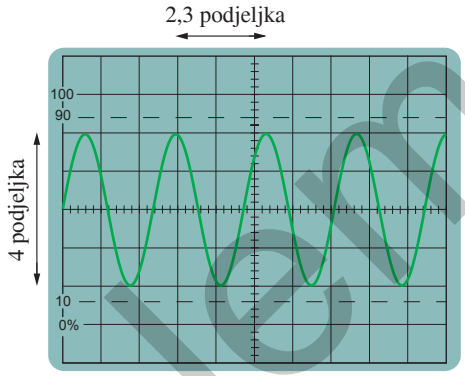


$$k_y = 0{,}1 \text{ V/podjeljka}$$

$$U = k_y y = 0{,}1 \frac{\text{V}}{\text{podjeljak}} \cdot 2{,}4 \text{ podjeljak} = 0{,}24 \text{ V}$$

Slika 1.16.

Mjerenje istosmjernog napona



Slika 1.17.

Mjerenje izmjeničnog napona i vremena

Preklopku izmjenično/masa/istosmjerno (AC/GND/DC) postavimo na masu (GND), a vertikalnim otklonom (Y-POSITION) zraku postavimo na željenu liniju zaslona koju ćemo smatrati referentnom, 0 V. Vratimo preklopku u položaj za istosmjerni signal (DC) nakon čega će se svijetla točka otklanjati proporcionalno mjerenom signalu. Preklopkom faktora otklona (VOLTS/DIV) odaberemo konstantu voltmetra (slika 1.17). Očitamo broj podjeljaka od referentne linije i pomnožimo s konstantom, odnosno brojem na kojem se nalazi preklopka VOLTS/DIV.

$$U = k_y y.$$

Ako se signal spaja preko mjerne sonde u položaju ×10, dobiveni rezultat treba pomnožiti s deset.

b) Mjerenje amplitude izmjeničnog periodičnog napona

Mjerenje amplitude izmjeničnog napona U_m prikazat ćemo na primjeru sinusnog napona.

Postupak priključivanja napona primijenimo kao pri mjerenju istosmjernog napona. Preklopku izmjenično/masa/istosmjerno (AC/GND/DC) postavimo u položaj izmjenično (AC) nakon čega će se na zaslonu prikazati mjereni napon. Preklopkom faktora otklona (VOLTS/DIV) prilagođavamo osjetljivost za okomiti otklon k_y, a preklopku mjerila vremena (TIME/DIV) postavimo u takav položaj da dobijemo željeni broj perioda na zaslonu. Očitamo broj podjeljaka u vertikalnom smjeru (y) (slika 1.17) od dna do vrha signala i pomnožimo s konstantom k_y, odnosno brojem na kojem se nalazi preklopka VOLTS/DIV, pa napon izračunamo prema izrazu:

$$2U_m = k_y y.$$

Dobiveni broj predstavlja $2U_m$, pa je rezultat potrebno podijeliti s dva.

Efektivni napon računamo prema izrazu:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

element.hr