

8. Merjenje z osciloskopom

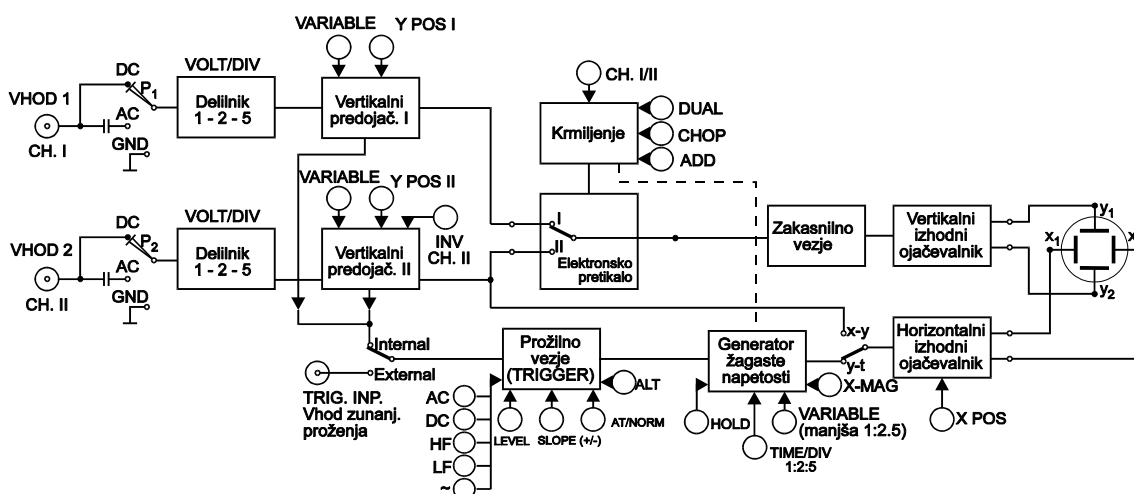
8.1 Elektronski osciloskop

Elektronski osciloskop (*EO*) je merilna naprava, ki omogoča opazovanje časovno spreminjajočih se električnih signalov na zaslonu. Zaradi tega je eden od najuporabnejših instrumentov na področju tehnike in naravoslovnih znanosti. V primerni izvedbi omogoča opazovanje napetosti, malih po velikosti in velikih po frekvenci, pri tem pa zelo malo obremenjuje vir merjenega signala.

Eden bistvenih delov *EO* je *Braunova elektronska cev*, ki je iz stekla in se na koncu razširi v ravni del-zaslon. V notranjosti cevi, kjer je brezračni prostor, so nameščene kovinske elektrode. Iz električno ogrevane katode izstopajo elektroni. Pod vplivom električnih napetosti med katodo in ostalimi elektrodami se elektroni združijo v ozek snop (žarek), ki z veliko hitrostjo udarja na notranjo stran zaslona, premazano s fluorescentno snovjo. Na mestu kjer žarek trči v zaslon se pojavi svetla pika, ki se ji da od zunaj s potenciometrom nastaviti osvetlitev (*INTENSITY*) in ostrino (*FOCUS*). Odklanjanje žarka v *Y* in *X* smeri je elektrostatično z dvema paroma odklonskih plošč $y_1 - y_2$ in $x_1 - x_2$.

Za odklon žarka čez ves zaslon je potrebnih okrog 100 V napetosti na *Y* in *X* paru odklonskih plošč. Za to poskrbita *merilna ojačevalnika* za *Y* in *X* odklon, ki morata v čim širšem frekvenčnem pasu dati na izhodu nepopačen signal.

Slika 8.1 prikazuje blokovno shemo dvokanalnega osciloskopa.



Slika 8.1: Blokovna shema dvokanalnega osciloskopa

Z delilnikom na vhodu je mogoče stopenjsko zmanjšati vhodni signal in s tem sliko na zaslonu. Opazovani signal se priključi na vhoda 1 in 2 preko *BNC* konektorja. Vsak od obeh vhodov ima preklopnik *P*. V položaju *DC* bo na zaslonu viden celotni signal in v položaju *AC* samo izmenični del. V položaju *GND* je signal izključen in

na zaslonu ni slike. Hkrati je vhod delilnika vezan na maso. Zvezno spreminjanje omogoča potenciometer *VARIABLE*, s katerim se menja ojačenje predojačevalnika. S potenciometrom *Y-POS* je možno pomikati sliko po zaslonu v *Y* smeri za vsak kanal posebej. Ob preklopniku vhodnega delilnika je napisano *napetostno merilo* ali odklonska konstanta osciloskopa k_y v *V/delec (VOLTS/DIV)*, ki velja le , ko je potenciometer za ojačenje v označenem položaju *CAL*. Pri nekaterih osciloskopih se da nastavljena konstanta k_y dodatno nekajkrat zmanjšati (s tipko *Y MAG*).

8.1.1 Časovno opazovanje signala

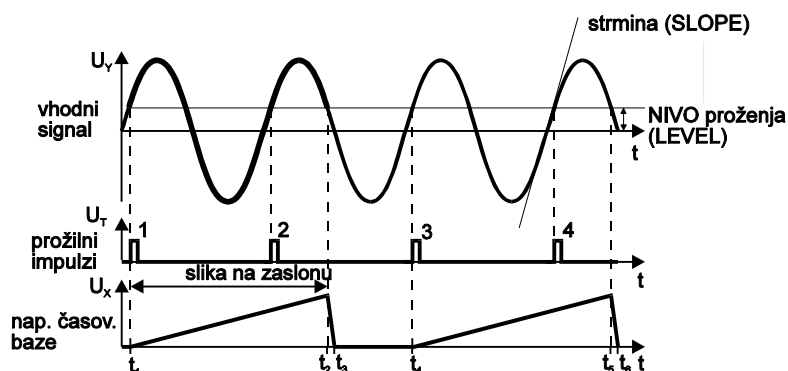
Če naj bo na zaslonu slika signala v odvisnosti od časa, maramo na *X* plošče priključiti napetost, ki narašča linearno s časom. Tedaj potuje žarek z enakomerno hitrostjo od leve na desno stran zaslona od koder se zatemnjen zopet vrne na začetek zaslona. Oblika te napetosti spominja na žago in odtod tudi ime žagasta napetost. Osciloskop je tedaj v *Y - t delovanju*.

8.1.2 Medsebojno opazovanje signalov

S primernimi napetostmi na vseh *Y* in *X* lahko dobimo na zaslonu sliko poljubne funkcije $y = f(x)$. V tem načinu se na vhod 1 priključi *Y* in na vhod 2 *X* signal. Na zaslonu bo tedaj slika medsebojne odvisnosti obeh signalov (*X-Y delovanje osciloskopa*, ki se izbere s tipko *X-Y*).

8.1.3 Proženje osciloskopa (Slika 8.2)

Da bo slika periodičnega signala na zaslonu mirovala, mora biti *X* odklon sinhroniziran z vhodnim signalom. To bo tedaj, ko bo merjeni signal sprožil vir žagaste napetosti (vir časovne baze) vedno pri enakih pogojih. Za to skrbi prožilni vezje, ki sprejme na vhod merjeni signal od znotraj iz vertikalnega ojačevalnika (*INTERN*) ali pa od zunaj (*EXTERN*) preko *BNC* vhoda *TRIG. INP*. Ko signal doseže s potenciometrom *LEVEL* nastavljeni nivo na izbrani strmini - naklon (*SLOPE*), (ta je pozitiven ko signal narašča ali negativen ko pada), se na izhodu vezja pojavi kratek prožilni impulz, ki v trenutku t_1 starta vir žagaste napetosti. V trenutku t_2 je risanje končano in žarek je došel na konec zaslona. V času $t_2 - t_3$ se žarek vrne na začetek zaslona in zatemnjen čaka naslednji impulz, ki se pojavi v trenutku t_4 in na zaslonu se na isto mesto kot prej izriše povsem enak del signala. Risanje se dovolj hitro ponavlja, tako da oko vidi mirujočo sliko. Jasno je, da se mora signal ponavljati. Enkratne pojave opazujemo le s spominskim osciloskopom.



Slika 8.2: Princip proženja osciloskopa

Da lahko opazujemo počasno in tudi hitro ponavljajoče se signale, mora imeti časovna baza spreminjajoče čase, ki se dajo stopenjsko nastaviti s preklopnikom časovne baze in zvezno s potenciometrom *VARIABLE* tako, da dobimo na zaslonu željen odsek opazovanega signala. Na preklopniku izpisane vrednosti *čas/del* ali *TIME/DIV* predstavljajo koeficient časovne baze k_t in veljajo le, ko je potenciometer *VARIABLE* v legi kalibrirano, ki je označena s *CAL*. Nastavljena hitrost žarka v *X* smeri se poveča 10 krat s tipko *X-MAG.x 10*, tako da je tedaj k_t desetina nastavljene vrednosti.

Predhodno opisan način proženja časovne baze se imenuje *NORMALNI*. Če je vhodni signal premajhen in ne doseže nastavljenega nivoja prožilnega vezja, ostane zaslon zatemnjen in brez slike. Pri drugem, *AVTOMATSKEM* načinu proženja deluje odklanjanje v *X* smeri tudi, če na vhodu ni signala. Tedaj je na zaslonu samo svetla horizontalna črta. V tem načinu ne deluje nastavitev nivoja in se osciloskop uporablja za manj zahtevne meritve.

Signale, ki vsebujejo šum ali pa ostanke mrežne napetosti 50 Hz je težko sinhronizirati. Zato se signal pred prožilnim vezjem filtrira. S preklopnikom *TRIGGER SELECT* je možno izbrati med več načini filtriranja. Če je preklopnik v legi:

- AC* filter prepusti le izmenični del signala, enosmernega pa zadrži. Se pogosto uporablja.
- DC* prepusti celoten signal z enosmernim delom.
- HF* prepusti le signale frekvence višje od mejne (1,5 kHz)
- LF* prepusti enosmerne in signale frekvence nižje od mejne (1 kHz) in je za nizko frekvenčne signale primernejši kot DC način.
- \sim je primeren za signale frekvence 50 Hz.

Za lažje opazovanje *TV video signala* ima večina osciloskopov vgrajen poseben *TV SEPARATOR*, ki sinhronizira sliko na horizontalne (*TV:H*) ali na vertikalne sinhro impulze (*TV:V*). Pri normalnem delu z drugimi signali to funkcijo izključimo.

Pri signalih sestavljenih iz serije impulzov različnih širin ni mogoče vedno umiriti slike na zaslonu z nastavitvijo nivoja. V takem primeru pomaga spreminjanje časa $t_3 - t_4$, to je časa, ko časovna baza ne deluje, s potenciometrom *HOLD OFF*. Normalno mora biti gumb potenciometra v skrajnem levem položaju, da ne pade osvetljenost slike.

Za hkratno opazovanje signalov na vhodu 1 in 2, ima osciloskop vgrajeno preklopno vezje, ki pripelje na vertikalni odklonski sistem en ali drugi signal. Izbirati je moč med dvema načinoma preklapljanja. Pri izmeničnem ali *DUAL* (tudi *ALTERNATE*) načinu se izriše na zaslonu najprej en signal v celoti, potem pa še celoten drugi signal. Ta način omogoča mirujočo sliko pri opazovanju signalov dveh virov napetosti različnih frekvenc.

Drugi je odsekovni (*CHOPPED*) način, kjer preklopno vezje zelo hitro preklaplja iz enega vhoda na drugi in nazaj, tako da je slika na zaslonu sestavljena iz posameznih odsekov merjenih signalov. Uporablja se za merjenje signalov nizkih frekvenc, kjer izmenični način zaradi utripanja odpove.

Z izbiro funkcije seštevanja (tipka *ADD*) se da videti na zaslonu slika vsote obeh signalov. Slika razlike signalov se pa dobi z invertiranjem enega od vhodnih signalov (tipka *INVERT*) ob sočasno izbrani funkciji seštevanja. Kot dodatek imajo

osciloskopi kalibriran izvor pravokotne napetosti točno znane frekvence in amplitude, ki služi za merjenje odklonskih koeficientov k_y in k_t (*CALIBRATOR*). Nekateri osciloskopi imajo vgrajeno vezje za hitro kontrolo diod, tranzistorjev, uporov, kondenzatorjev (*COMPONENT TESTER*). Na zaslonu se pokaže I-U odvisnost kontroliranega elementa iz katere se da sklepati o njegovi brezhibnosti. Potrebno je zelo paziti, da testirani element ni priključen na napetost! Med testiranjem elektronskih komponent sta izključena časovna baza in vertikalni predojačevalnik!

Potrebno je opozoriti, da vhoda osciloskopa nista galvansko ločena, saj imata skupno maso, ki je vezana z ohišjem in ozemljena. Tako je možno meriti le napetosti, ki se nanašajo na skupen potencial. Posebej previdni moramo biti pri merjenju napetosti na elementih, ki so galvansko povezani z omrežjem.

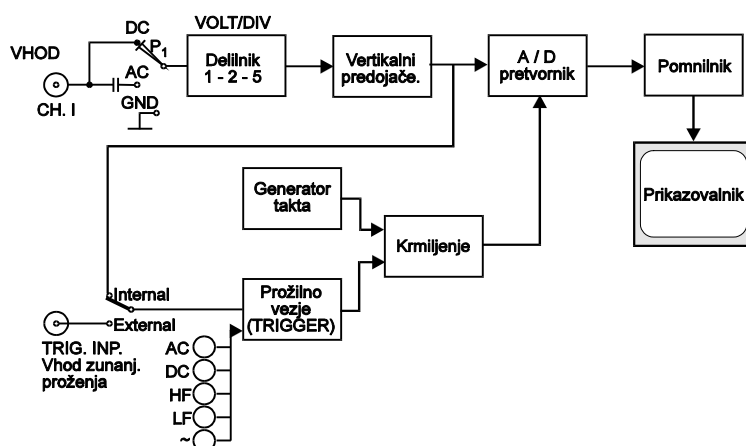
8.2 Digitalni osciloskop

Analogni osciloskopi omogočajo opazovanje periodičnih signalov na zaslonu katodne cevi. Pri neperiodičnih signalih, ki se zgodijo v določenem trenutku in se ne ponavljajo, pa želimo sliko prehodnega pojava ohraniti na zaslonu dlje časa. Pojavi se potreba po shranitvi slike prehodnega pojava. Pri analognih osciloskopih so problem shranitve slike reševali na dva načina:

1. z bistabilnim premazom zaslona katodne cevi, ki ima lastnost, da zadrži svetlobni žarek dlje časa na zaslonu in
2. z dodatnim osvetljevanjem zaslona katodne cevi, kjer enakomerno osvetljujemo celoten zaslon, vendar z majhno kinetično energijo, ki zadošča le za osvetljevanje prej vzbujenih območij zaslona.

Konec osemdesetih let so se na tržišču uveljavili *digitalni osciloskopi*. Razlog temu je razvoj *A/D* pretvornikov, ki predstavljajo osnovo digitalne obdelave signalov.

Slika 8.3 prikazuje blokovno shemo digitalnega osciloskopa.



Slika 8.3: Blokovna shema digitalnega osciloskopa.

Vhodni del digitalnega osciloskopa se veliko ne razlikuje od analognega. Izmenično - enosmernemu preklopniku sledi napetostni delilnik in vertikalni predojačevalnik, ki napetost ojača v merilno območje analogno digitalnega (*A/D*) pretvornika. V nasprotju z analognim osciloskopom, kjer generator žage odklanja žarek v x osi

zaslona, se pri digitalnem osciloskopu uporablja "krožni pomnilnik", v katerega se shranjujejo odtipane vrednosti od trenutka proženja naprej. Po določenem času (ki je nastavljen z zadrževalnim števcem) vsebino pomnilnika prikažemo na zaslonu.

Prikazovanje signala na zaslonu je lahko izvedeno na dva načina:

- z digitalno analogno (*D/A*) pretvorbo in katodno cevjo, kot pri analognih osciloskopih in
- z rastrskimi zasloni, kakršne imamo v računalniški tehnologiji.

Digitalni osciloskop omogoča shranjevanje in enostavno obdelavo merilnega signala, ki je časovno in amplitudno diskretiziran. Zaradi tega omogočajo digitalni osciloskopi še dodatne možnosti obdelave signala, kot so

- izračun mejnih (*peak to peak*), efektivnih in srednjih vrednosti,
- izračun periode in frekvence signala,
- izračun mrtvega časa in časa vzpona prehodne funkcije in druge možnosti.

8.2.1 Odtipanje signala pri A/D pretvorbi

Pri uporabi digitalnega osciloskopa moramo biti pozorni na *frekvenco odtipanja* f_v . Za pravilno rekonstrukcijo odtipanega signala mora biti izpolnjen Shannonov teorem odtipanja, ki zahteva, da je frekvenca odtipanja vsaj dvakrat večja od največje frekvence odtipanega signala:

$$f_{max} < \frac{f_v}{2} = \frac{1}{2 \cdot T_v} \quad (8.1)$$

Če ta teorem ni izpolnjen, se pojavi prekrivanje frekvenčnih pasov ali tako imenovan Aliasing pojav, ki med drugim povzroči frekvenčno preslikovanje iz visokih frekvenc v nizkofrekvenčno območje. To pa pomeni napačno časovno predstavitev odtipanega periodičnega signala. Problem je v tem, da napaka ni takoj opazna. Zato imajo nekateri osciloskopi *antialiasing filtre* na vhodu osciloskopa. To so v bistvu nizkofrekvenčni filtri z veliko strmino (>40 dB/dekado) in omejujejo vhodni signal.

8.2.2 Prikazovanje signalov

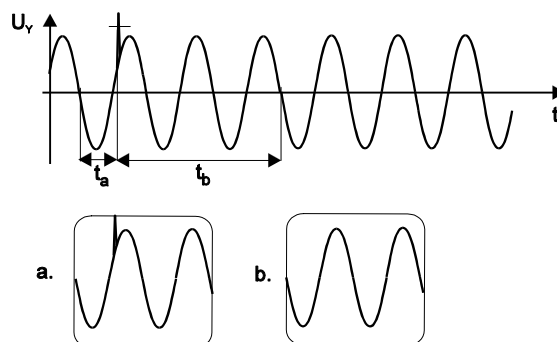
Odtipani signali se pri digitalnem osciloskopu shranijo v krožni pomnilnik. Poznamo tri načine prikazovanja signala na zaslonu digitalnega osciloskopa:

- **Ponovljiv izris** (*refresh mode*), kjer se novo shranjevanje v krožni pomnilnik začne takoj po prenosu podatkov v zaslonski pomnilnik. Signal se izriše po koncu prenosa.
- **Enojni izris** (*single shot*). Signal se po odtipanju prenese v zaslonski pomnilnik in novo odtipanje se ne začne. Slika ostane na zaslonu poljubno dolgo.
- **Sprotni izris**, ki je primeren za opazovanje počasnih pojavov. Odtipane vrednosti signala se na zaslon izrisujejo med odtipanjem.

Proženje osciloskopa

Proženje osciloskopa je neodvisno od načina prikazovanja signala na zaslonu. Ker je signal v krožnem pomnilniku, lahko na zaslonu prikažemo del signala, odtipanega pred proženjem. Torej lahko nastavimo pred proženje (*pretrigger*) ali zakasnjeno proženje (*posttrigger*).

Slika 8.4 prikazuje različno proženje osciloskopa.



Slika 8.4: Pred proženje (a) in zakasnjeno proženje (b).

Način izrisa signala

V pomnilniku osciloskopa so shranjene digitalno zapisane vrednosti odtipane signala. Na zaslonu pomnilnika lahko izrišemo le te točke, torej signal v *točkovni predstavitvi*. Ta predstavitev ni najboljša, saj se pri gosti porazdelitvi točk na zaslonu izgubi informacija o obliki in zveznosti merjenega signala. Ugodnejšo sliko predstavlja interpoliran signal skozi odtipane točke. Pogosto lahko izbiramo med *linearno interpolacijo* in *sinusno interpolacijo*. Prva je enostavnejša, točke so povezane med seboj s premicami, vendar zahteva za predstavitev signala sinusne oblike najmanj 10 točk na periodo. Pri sinusni interpolaciji je za predstavitev dovolj 2.5 - 2.7 točk na periodo.

8.3 Uporaba elektronskega osciloskopa

Osciloskop je merilnik trenutne napetosti. Uporabljamo ga za merjenje in opazovanje *oblike napetosti* ali, s posrednim merjenjem, drugih električnih in neelektričnih veličin. Merimo lahko *enosmerne* in *izmenične* veličine. Iz časovnega poteka signala lahko merimo *frekvenco* in *periodo* izmeničnih signalov, kakor tudi druge karakteristične čase, kot so *mrtvi čas*, *čas vzpona* signala in druge.

V *x-y* delovanju uporabljamo osciloskop za opazovanje medsebojnih odvisnosti dveh signalov. Na ta način lahko merimo *karakteristike* elementov, kot so *U-I karakteristika diode*, *karakteristika tranzistorja*, *histerezna zanka feromagnetnega materiala* pri magnetenju z izmeničnim tokom, *izgubni kot kondenzatorja* in podobne meritve. Uporabnost osciloskopa je zelo velika in zato predstavlja enega od osnovnih in nepogrešljivih merilnih instrumentov.