



Osciloskop je neophodan instrument za sve one koji se bave dizajnom, proizvodnjom ili popravkom elektronske opreme. Primjena osciloskopa nije ograničena na elektroniku. Uz pomoć odgovarajućeg senzora, osciloskopom se mogu posmatrati i mjeriti najrazličitiji fenomeni.

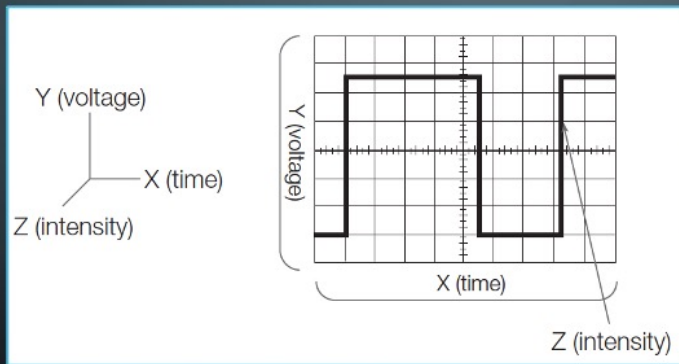
Kada je u pitanju tačno mjerenje napona, osciloskop nije najbolje rješenje. Ono što ga čini nezamjenjivim jeste mogućnost grafičkog prikaza, a ne tačnost mjerenja.

Osciloskop prikazuje napon u funkciji vremena. Prikazuje napone koji se ne mogu jednostavno numerički predstaviti. Na primjer, izlaz baterije se u potpunosti opisuje naponom i strujom. Međutim, za opis izlaza složenijih izvora signala potrebne su mnoge dodatne informacije kao što su frekvencija, perioda, *peak-to-peak* vrijednost, *overshoot*, *rise-time*, *fall-time*, ... Osciloskop je veoma pogodan za opis upravo ovakvih signala.

Osciloskop je elektronski instrument koji veoma vjerno prikazuje talasni oblik brzo promjenjivog napona na ulazima.

Osim mogućnosti da prikaže napon u funkciji vremena, osciloskop može prikazati napon u funkciju drugog napona – *Lissajous* prikaz.

## UVOD



- *Period*
- *Frequency*
- *Rise-time*
- *Fall-time*
- *Duty cycle +*
- *Duty cycle -*
- *Peak-to-peak*
- *Mean*
- *Minimum*
- *Maximum*
- *RMS*
- ...

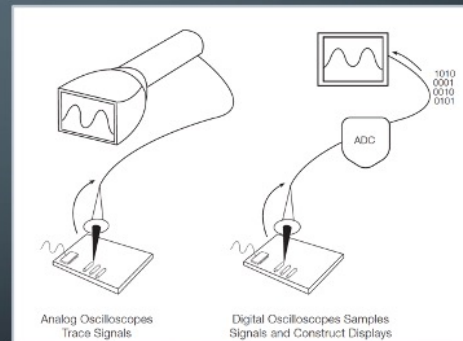
U većini aplikacija osciloskop prikazuje kako se signal mijenja u vremenu: vertikalna (Y) osa predstavlja napon, dok horizontalna (X) osa predstavlja vrijeme. Intenzitet osvjetljenosti displeja se nekada označava kao Z osa.

Savremeni osciloskopi posjeduju funkcionalnosti koje olakšavaju proces mjerenja.

Rezultat automatizovanih mjerenja koji se ispisuje na ekranu osciloskopa je uglavnom tačniji nego rezultat do koga se može doći direktnom interpretacijom na osnovu mreže na ekranu.

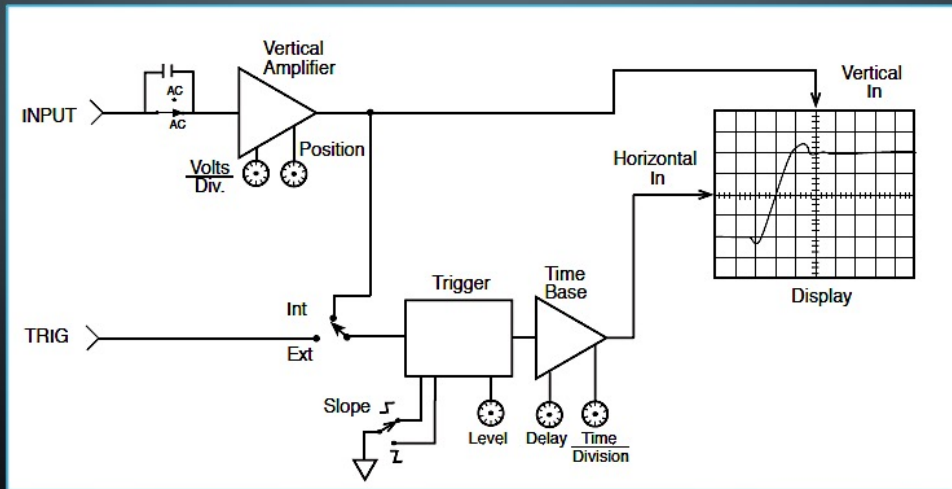
## TIPOVI OSCILOSKOPA

- Analogni
- Digitalni
  - DSO (*Digital Storage Oscilloscope*)
  - DPO (*Digital Phosphor Oscilloscope*)
  - MSO (*Mixed Signal Oscilloscope*)
  - *Digital Sampling*



Za razliku od analognog osciloskopa, digitalni osciloskop posjeduje AD konvertor koji konvertuje napon u digitalnu informaciju. Vrší se akvizicija signala u vidu serije odbiraka, smještanje odbiraka u memoriju, a potom i prikaz na ekranu.

## OSCILOSKOP – BLOK DIJAGRAM



Osciloskop se sastoji od četiri osnovna bloka:

- vertikalni pojačavač
- vremenska baza
- *trigger*
- displej

Najuočljiviji od navedenih blokova je naravno displej. U slučaju analognog osciloskopa sa katodnom cijevi, na displeju se prikazuje napon koji je doveden na vertikalnu osu katodne cijevi.

Na slici je prikazana blok šema osciloskopa koja se može odnositi i na analogni i na digitalni osciloskop. U slučaju digitalnog osciloskopa, vertikalni pojačavač uključuje i ADC i memoriju visoke brzine. U slučaju analognog osciloskopa, vertikalni pojačavač sadrži blokove za kašnjenje, kao i pojačavač snage kao *driver* za ploče CRT-a.

Vertikalni pojačavač kondicionira ulazni napon tako da se on može prikazati na displeju. Omogućava kontrolu odnosno odabir naponske skale (V/div), vertikalno pomjeranje, *coupling*. Vertikalni pojačavač mora imati dovoljno širok frekventni opseg.

*Trigger* je odgovoran za prikaz signala od iste tačke prilikom svakog narednog

osvježavanja displeja. Za posmatranje ponašanja sistema koji se testira, veoma je važno da osciloskop daje stabilan prikaz. Upravo za to je značajan pravilan odabir *trigger*-a.

Vremenska baza ili horizontalni sistem omogućava prikaz napona u vremenu.

Omogućava kontrolu vremenske ose (time/div) kao i pomjeranje po horizontalnoj osi (*delay*). Opseg vremenske podjele se kreće od nekoliko ns/div do nekoliko s/div kod većine osciloskopa.

## ANALOGNI VS DIGITALNI OSCILOSKOP



Instek GOS-622G 20MHz Analog Oscilloscope

Osciloskopi se dijele na analogne i digitalne. Prvi osciloskopi su bili analogni. Bazirani su na katodnoj cijevi. Kod ovih osciloskopa, ulazni napon se dovodi na vertikalne ploče CRT-a gdje dolazi do skretanja snopa elektrona visoke energije prema fluorescentnom ekranu. Snop elektrona formira svijetlu tačku na mjestu gdje udari u fosforni sloj na ekranu. Intenzitet svjetlosti je direktno proporcionalan koncentraciji elektrona koji su došli u kontakt sa datom površinom fosfornog sloja. To znači da će se manje česta pojava prikazati manjim intenzitetom osvijetljenosti. Kako prikaz zavisi od produkcije vidljive svjetlosti pobuđenog fosfora od strane snopa elektrona, displej se mora veoma često osvježavati, tako da su pogodni za prikaz brzo promjenljivih signala.

Analogni osciloskopi imaju i svoje nedostatke. Prikaz signala baziran na katodnoj cijevi je problematičan iz razloga što je potrebno stalno osvježavanje. Ovi osciloskopi ne posjeduju memoriju u kojoj bi bilo moguće čuvati signal. Ukoliko se signal na ulazu ne ponavlja često, na ekranu će se prikazati samo blijesak svjetlosti. Ukoliko je frekvencija ispod 100 Hz, prikaz na ekranu je nejasan.

Još jedno ograničenje analognih osciloskopa je vremenska tačnost. Vremenska baza osciloskopa se bazira na linearnosti naponske rampa funkcije. Vremenska tačnost ovih

osciloscopa je tipično  $\pm 3\%$  pune skale. Dakle, ukoliko je vremenska baza podešena na 100 ns/div, kako bi se uočio impuls trajanja 100 ns, puna skala će biti 1000 ns. Tačnost (greška) u ovom slučaju iznosi  $\pm 30$  ns, ili  $\pm 30\%$  širine impulsa.

## ANALOGNI VS DIGITALNI OSCILOSKOP



Rigol DS7034 350MHz 4-Ch Digital Oscilloscope

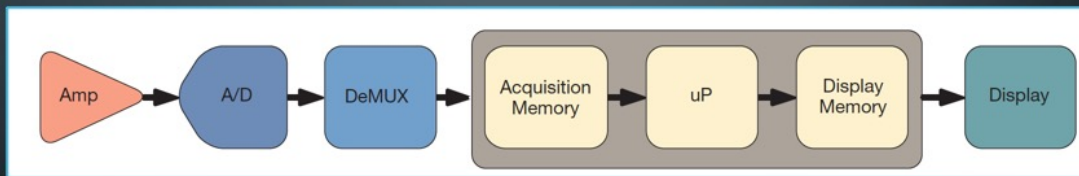
Digitalni osciloskop DSO (*Digital Storage Oscilloscope*) se razlikuje od analognog osciloscopa u tome što se ulazni signal konvertuje u digitalni podatak, pa je moguća dalja obrada uz pomoć mikroprocesora. Moguće je izvršiti odgovarajuće korekcije u okviru faze akvizicije, i tako obrađeni podaci se mogu sačuvati, mjeriti, ili prikazati. Do greške dolazi u samoj konverziji analognog u digitalni signal.

DSO ima mnoge prednosti u odnosu na analogni osciloskop. Prije svega tačnost. Mikroprocesor može izvršiti korekciju podataka kako bi se uklonile greške u kalibraciji vertikalnog sistema osciloscopa. Vremenska tačnost je za red veličine veća nego u slučaju analognog osciloscopa. Čuva podatke, pa ih je moguće preuzeti i dalje obrađivati. Nije neophodno da se ulazni signal kontinualno obnavlja u vremenu kako bi se dobio jasan prikaz. Kratak impuls je moguće veoma jasno prikazati kao i signal koji se ponavlja periodično u vremenu u okviru frekventnog opsega osciloscopa. Nedostaci digitalnog osciloscopa mogu biti *aliasing* (rezultat *under-sampling-a*), kao i performanse displeja. AD konvertor služi za konverziju analognog signala u niz diskretnih vrijednosti, ili odbiraka, uniformno distribuiranih u vremenu, koji se mogu sačuvati u memoriji. Rezolucija AD konvertora određuje rezoluciju napona. Veća rezolucija uglavnom znači manju frekvenciju odabiranja. Nedostatak displeja je manja horizontalna rezolucija. Ovaj nedostatak može doći do izražaja u slučaju prikazivanja veoma kompleksnih signala.



Performanse savremenih digitalnih osciloskopa uglavnom prevazilaze pomenute probleme.

## DSO (DIGITAL STORAGE OSCILLOSCOPE)



Displej DSO-a se zasniva na raster tipu displeja, za razliku od analognih osciloskopa. DSO omogućava prikaz prelaznih procesa koji se dešavaju samo jednom. Kako je informacija u digitalnom formatu, može se analizirati, štampati, obrađivati pomoću samog osciloskopa ili računara. Za razliku od analognog osciloskopa, DSO omogućava trajno čuvanje signala i njegovu dalju obradu. Međutim, DSO uglavnom nemaju mogućnost izražavanja promjenljivog nivoa intenziteta (*intensity grading*) signala u realnom vremenu.

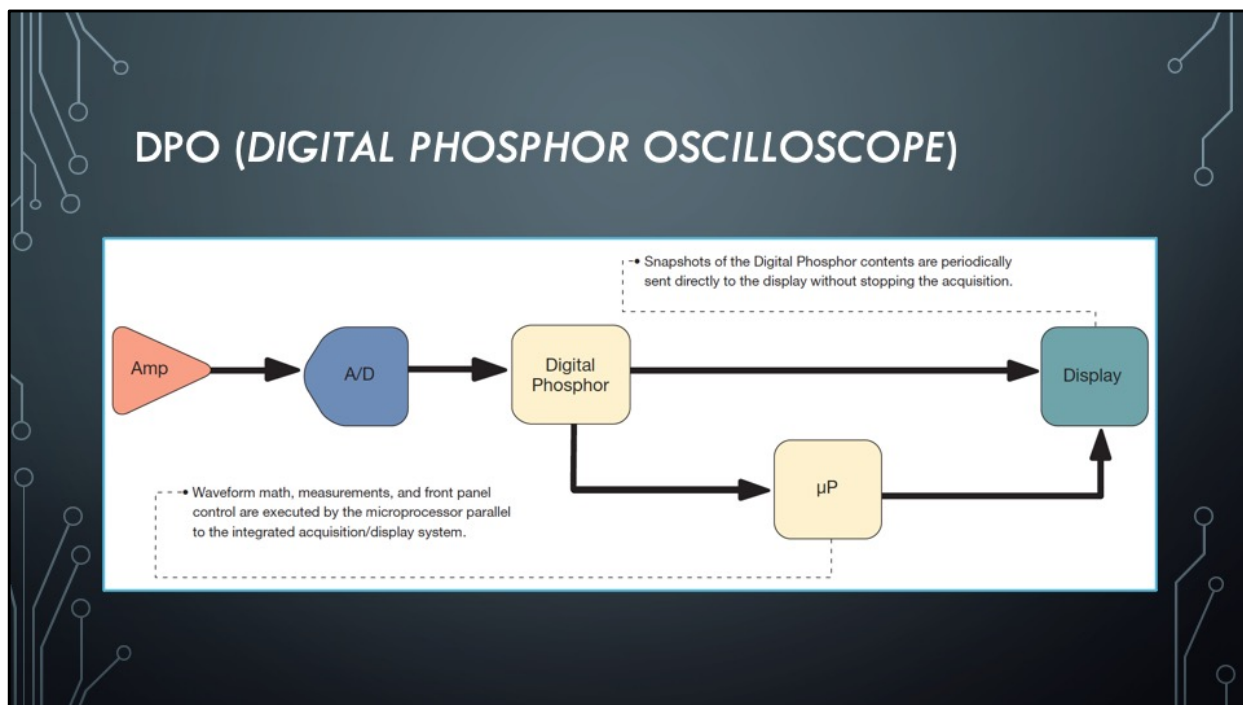
Neki od podsistema u sklopu DSO-a su slični onima u analognim osciloskopima. Sa druge strane, DSO sadrži dodatne podsisteme za obradu podataka koji se koriste za prikupljanje i prikaz signala. DSO podrazumijeva serijsko procesiranje, kako je prikazano na slici.

Kao i u slučaju analognog osciloskopa, i kod DSO-a, prvi stepen je vertikalni pojačavač. Vertikalna kontrola omogućava podešavanje amplitudskog opsega i pozicije. Slijedi AD konvertor koji odabira signal u određenim vremenskim trenucima i konvertuje napon u tim trenucima u digitalne vrijednosti koje se označavaju kao odbirci (*sample points*). Ovaj proces se označava kao digitalizacija signala.

Takt horizontalnog sistema određuje frekvenciju odabiranja ADC-a. Ova brzina se označava kao brzina odabiranja (*sample rate*). *Sample points* iz ADC-a se skladište u akvizicionu memoriju kao tačke talasnog oblika (*waveform points*). Ove tačke

formiraju snimak talasnog oblika (*waveform record*). Broj tačaka u sklopu jednog snimka se označava kao dužina snimka. *Trigger* sistem određuje početnu i krajnju tačku snimka.

Mikroprocesor obrađuje signal, koordinira aktivnosti displeja, upravlja kontrolnim panelom,... Signal se dalje prosljeđuje memoriji displeja, a potom se i prikazuje na ekranu osciloskopa.



DPO nudi novi pristup arhitekture osciloskopa. Dok DSO koristi serijsko procesiranje, DPO se bazira na paralelnoj arhitekturi kako je prikazano na slici. Paralelna arhitektura omogućava visok stepen vizuelizacije signala.

Prvi stepen je vertikalni pojačavač, drugi stepen predstavlja ADC, kao i u slučaju DSO, međutim ostatak sistema se značajno razlikuje.

Svaki osciloskop ima određeno vrijeme zadržavanja (*holdoff time*) u toku koga instrument procesira najskorije podatke, resetuje sistem i čeka sljedeći *trigger*. Za ovo vrijeme, osciloskop je "slijep" za sve aktivnosti signala. Vjerovatnoća registrovanja neke rijetke pojave opada sa porastom vremena zadržavanja.

DSO procesira preuzete talasne oblike serijski. Brzina mikroprocesora ograničava brzinu preuzimanja signala. DPO rasterizuje talasni oblik u digitalnom formatu (konvertuje signal u piksele za prikaz) u digitalnu fosforu bazu. Svakih 1/30 sekundi (onoliko brzo koliko ljudsko oko može da registruje), snimak slike signala koji se nalazi u bazi se direktno dovodi sistemu za prikaz. Upravo direktna rasterizacija digitalnog talasnog oblika i direktno kopiranje u memoriju displeja iz fosforne baze zaobilazi "usko grlo" koje se odnosi na mikroprocesorsku obradu podataka iz drugih

arhitektura. Rezultat je unaprijeđeni prikaz na ekranu u realnom vremenu. Detalji signala, nasumični događaji, kao i dinamičke karakteristike signala se snimaju i prikazuju u realnom vremenu. DPO mikroprocesor radi paralelno sa integrisanim sistemom za akviziciju, kako bi se ostvarilo upravljanje, automatizacija mjerenja i kontrola instrumenta bez uticaja na brzinu akvizicije.

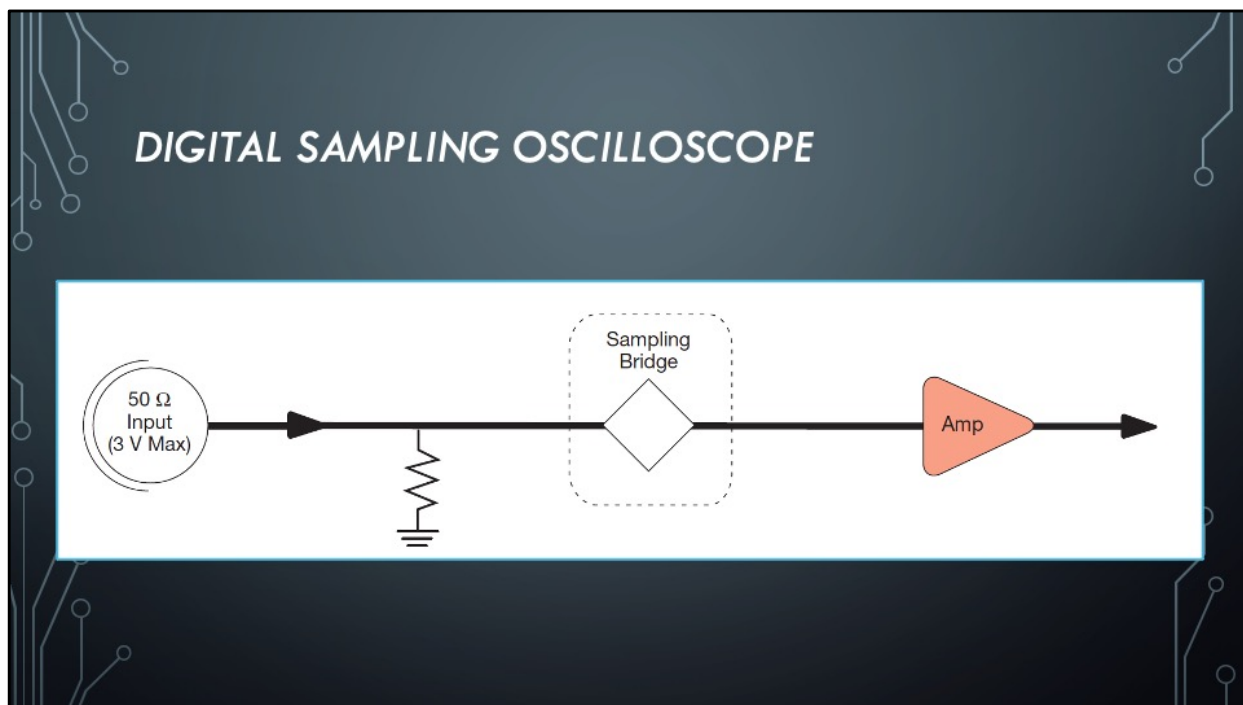
DPO vjerno oponaša najbolje osobine analognog osciloskopa u smislu prikaza, prikazujući signal u tri dimenzije: vrijeme, amplituda i distribucija amplitude u vremenu, sve u realnom vremenu.

Za razliku od analognog osciloskopa koji se oslanja na hemijski fosfor, DPO koristi "čisti elektronski digitalni fosfor" koji je zapravo kontinualno obnavljanje baze. Ova baza ima posebnu ćeliju za svaki piksel displeja osciloskopa. Svaki put kada se talasni oblik snimi, odnosno, svaki put kada se aktivira *trigger*, dolazi do mapiranja u odgovarajuću ćeliju fosforne baze. Svaka ćelija koja predstavlja lokaciju na ekranu, pri kontaktu sa talasnim oblikom, "se dopunjava" informacijom o intenzitetu.

Kada se digitalna fosforna baza dovede na displej osciloskopa, prikazuje se talasni oblik kod koga je intenzitet pojedinačnih oblasti proporcionalan frekvenciji pojavljivanja svake tačke. Moguć je i prikaz u više boja u zavisnosti od učestanosti pojavljivanja. Sa DPO-om, jednostavno je uočiti razliku između talasnog oblika koji se pojavljuje na gotovo svaku ivicu *trigger*-a, i onog koji se dešava sto puta rjeđe.

Samo DPO, među digitalnim osciloskopima, podržava Z osu (intenzitet) u realnom vremenu.

DPO se koristi za napredne analize komunikacionih signala, *debug* signala koji se preklapaju, dizajn digitalnih kola i razne vremenski kritične aplikacije.



Za razliku od DSO i DPO, kod ovih osciloskopa zamijenjeno je mjesto pojačavaču i kolu za odabiranje, kako je prikazano na slici. Ulazni signal se odabira prije nego je izvršeno bilo kakvo vertikalno skaliranje. Kako je signal već odabran, ograničen frekventni opseg pojačavača neće uticati na ukupni frekventni opseg osciloskopa, što rezultira značajno većim frekventnim opsegom ovog tipa osciloskopa.

Sa druge strane, dinamički opseg ovog osciloskopa je ograničen. Kolo za odabiranje mora biti u mogućnosti da obavlja svoju funkciju za čitav opseg ulaznog napona u svakom trenutku. Iz ovog razloga, dinamički opseg većine *digital sampling* osciloskopa je ograničen na 1 V *peak-to-peak* vrijednost. DSO i DPO podržavaju 50 V do 100 V.

Diodna zaštita na ulazu je takođe izostavljena kako se ne bi ograničio frekventni opseg. Iz tog razloga ulazni napon ne smije preći 3 V, dok je za ostale osciloskope ova vrijednost i do 500 V.

Kada se vrši mjerenje visoko-frekventnih signala, DSO ili DPO često nisu u mogućnosti da prikupe dovoljno odbiraka u jednom prolazu. *Digital sampling* osciloskop je idealno rješenje za snimanje signala čije komponente imaju frekvenciju iznad frekvencije odabiranja osciloskopa. Ovi osciloskopi imaju značajno širi frekventni

opseg od svih ostalih, čak do 80 GHz.

## OSTALI TIPOVI OSCILOSKOPA

- **MSO (Mixed Signal Oscilloscope)**
  - analiza analognih i digitalnih signala (DPO + logic analyzer)
  - primjena za analizu digitalnih kola i sistema
- **MDO (Mixed Domain Oscilloscope)**
  - analiza analognih, digitalnih i RF signala (MSO ili DPO + RF spectrum analyzer)



## SISTEMI I KONTROLE OSCILOSKOPA

- Vertikalni sistem
- Horizontalni sistem
- *Trigger* sistem



Vertikalni sistem služi za pojačanje/slavljenje ulaznog signala. Koristi se volts/div kontrola da se prilagodi amplituda signala odgovarajućem mjernom opsegu.

Horizontalni sistem podrazumijeva podešavanje vremenske baze. Koristi se sec/div kontrola za podešavanje vremenskog intervala po diviziji horizontalno na ekranu.

*Trigger* sistem služi za podešavanje *trigger*-a osciloskopa.

## VERTIKALNI SISTEM I KONTROLE

- Pozicija i volts/div
- *Input Coupling*:
  - DC, AC, ground
- Ograničenje frekventnog opsega
- Proširenje frekventnog opsega

Vertikalne kontrole se mogu koristiti za pozicioniranje i skaliranje talasnog oblika po vertikalnoj osi, podešavanje *coupling*-a. Prilikom odabira podjele volts/div treba uzeti u obzir i podešavanje na sondi (1X ili 10 X).

*Input coupling* se odnosi na vezu kola koje se testira osciloskopom i samog osciloskopa. *Coupling* može biti podešen na DC, AC, ili ground. Odabirom *DC coupling*, prikazuje se cjelokupan signal na ekranu, odabirom *AC coupling* prikazuje se samo AC komponenta (blokira se DC komponenta). Odabirom *grounded input coupling* ulazni signal se prekida sa vertikalnog sistema, pa je moguće vidjeti na ekranu gdje je nula volti (ukoliko je odabran *auto trigger*).

Prelaskom sa DC na *ground* i obratno je praktičan način mjerenja napona u odnosu na masu.

Većina osciloskopa ima mogućnost ograničavanja frekventnog opsega.

Ograničavanjem opsega redukuje se šum. Treba imati na umu da se na ovaj način redukuju/eliminiraju i više komponente signala.

Neki osciloskopi posjeduju mogućnost poboljšanja odziva nekog od kanala.

Poboljšanje odziva se odnosi na proširenje frekventnog opsega, poboljšanje

linearnosti faze (značajno za redukovanje grupnog kašnjenja, konstantno grupno kašnjenje se ostvaruje ako je izvod faze konstantan), smanjenje *rise-time*-a, poboljšanje odziva na pobudu odskočnog tipa.

## HORIZONTALNI SISTEM I KONTROLA

- Vremenska baza
- Skala
- Rezolucija
- Brzina odabiranja
- Zoom
- Dužina zapisa

Horizontalni sistem osciloskopa se najviše odnosi na akviziciju ulaznog signala – brzinu odabiranja i dužinu zapisa. Horizontalne kontrole se koriste za pozicioniranje i skalu talasnog oblika po horizontalnoj osi.

Kontrola akvizicije se odnosi na odabir načina na koji sistem za akviziciju procesira signal.

Mod akvizicije određuje na koji način se tačke talasnog oblika (*waveform points*) formiraju na osnovu odbiraka. Odbirci (*sample points*) su digitalne vrijednosti koje se dobijaju na izlazu ADC-a. Interval odabiranja se odnosi na vrijeme između odbiraka. Tačke talasnog oblika su digitalne vrijednosti koje su smještene u memoriji i prikazuju se u cilju formiranja talasnog oblika. Vremenski interval između tačaka talasnog oblika se označava kao interval talasnog oblika (*waveform interval*). *Sample* interval i *waveform* interval mogu, ali ne moraju biti jednaki. Naime, moguće je vršiti akviziciju na način da se jedna tačka talasnog oblika formira na osnovu nekoliko susjednih odbiraka. Osim toga, tačke talasnog oblika se mogu formirati na osnovu odbiraka koji su preuzeti u toku više sukcesivnih akvizicija.



**Sample mode** je najjednostavniji način akvizicije. Osciloskop formira talasni oblik tako što čuva jedan odbirak u toku svakog intervala talasnog oblika, odnosno interval talasnog oblika i interval odabiranja su jednaki.

**Average Mode:** U ovom modu, osciloskop čuva jedan odbirak u toku svakog intervala talasnog oblika, kao i u *sample* modu. Međutim, tačke talasnog oblika iz sukcesivnih akvizicija se “usrednjavaju” kako bi se dobio konačan prikaz. Na ovaj način se redukuje šum, bez gubitaka frekventnog opsega, ali zahtijeva periodične signale.

**Peak Detect Mode:** osciloskop čuva minimalnu i maksimalnu vrijednost većeg broja odbiraka preuzetih u toku dva intervala talasnog oblika i koristi te odbirke kao dvije odgovarajuće tačke talasnog oblika. Ovdje je, dakle, interval odabiranja značajno manji od intervala talasnog oblika. AD konvertor radi na visokim brzinama odabiranja, čak iako je podešena “spora” vremenska baza (“spora” vremenska baza odgovara dugim intervalima talasnog oblika), tako da je moguće prikazati brze promjene signala, kao i uske impulse koji su razdvojeni u vremenu.

**Hi-Res Mode:** Kao u slučaju *peak detect* moda, i ovdje AD konvertor vrši odabiranje brže nego što to zahtijeva vremenska baza. U toku jednog intervala talasnog oblika

računa se srednja vrijednost odbiraka kako bi se dobila jedna tačka talasnog oblika. Rezultat je redukovan šum i poboljšanje rezolucije signala male brzine. Prednost ovog moda u odnosu na *average* mod je u tome što se može iskoristiti i u slučaju impulsa veoma kratkog trajanja.

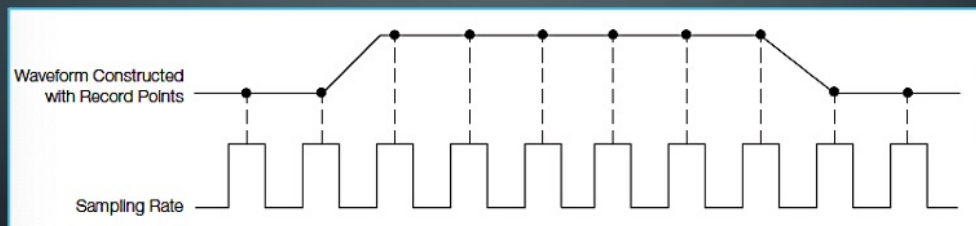
***Envelope Mode:*** Sličan je *peak detect* modu. Međutim, u ovom slučaju se minimalna i maksimalna vrijednost iz više akvizicija kombinuju kako bi se formirao talasni oblik koji prikazuje min/max akumulaciju u toku vremena. *Peak detect* mod se zapravo koristi za akviziciju snimaka na osnovu kojih se formira *envelope* talasni oblik. Ovim modom se prikazuje maksimalna vrijednost šuma.

## POČETAK I KRAJ AKVIZICIJE

- *start/stop*
- *single sweep* ili *single sequence*

Jedna od osnovnih prednosti digitalnog osciloskopa je mogućnost čuvanja talasnih oblika za kasniju analizu. U tom smislu, postoji jedna ili više kontrola kojima se može startovati i zaustaviti akvizicija (**Start/Stop**). Takođe, moguće je zadati da se akvizicija automatski zaustavi nakon što je izvršen jedan akvizicioni ciklus, ili nakon što je izvršen set akvizicija u cilju formiranja *envelope* ili *average* talasnog oblika. Ova funkcionalnost se obično označava kao *single sweep* ili *single sequence* i nalazi se zajedno sa ostalim kontrolama za akviziciju ili u okviru *trigger* kontrola.

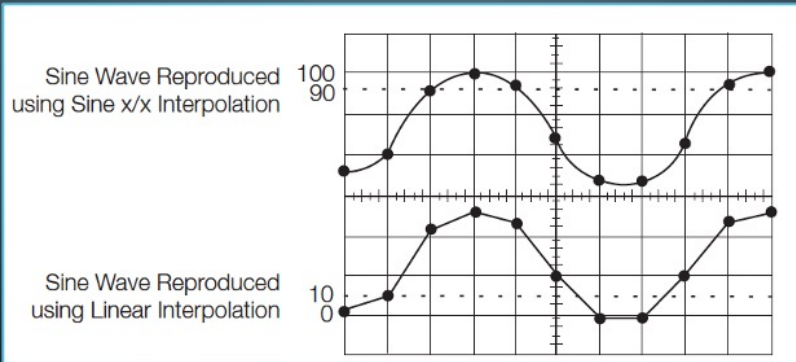
## REAL-TIME SAMPLING



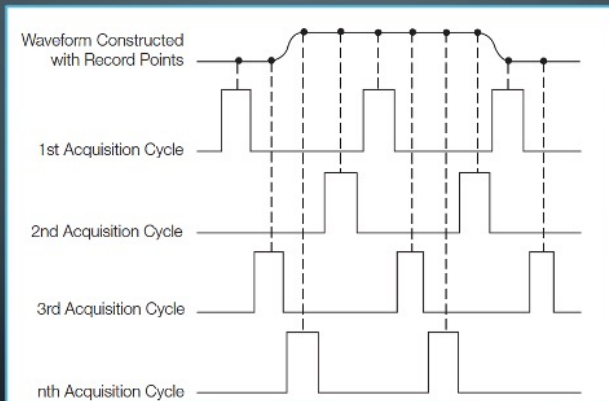
**Real-time Sampling** je idealan za signale čiji je frekventni opseg manji od polovine maksimalne brzine odabiranja osciloskopa. Osciloskop je u mogućnosti da u jednom prolazu formira pouzdan prikaz ulaznog signala, slika. *Real-time Sampling* je jedini način za detektovanje brzih *single-shot* signala uz pomoć digitalnog osciloskopa. Ukoliko brzina odabiranja nije dovoljna, može doći do *aliasing*-a.



## REAL-TIME SAMPLING SA INTERPOLACIJOM



## EQUIVALENT-TIME SAMPLING



Ukoliko je ulazni signal visoko-frekventan, može se desiti da osciloskop ne može prikupiti dovoljno odbiraka u jednom prolazu. **Equivalent-time sampling** formira sliku periodičnih signala snimajući po dio informacije u pojedinim prolazima, slika. Na ovaj način osciloskop je u stanju da prikaže signal čije komponente imaju učestanost koja je van frekventnog opsega osciloskopa.

## HORIZONTALNE KONTROLE

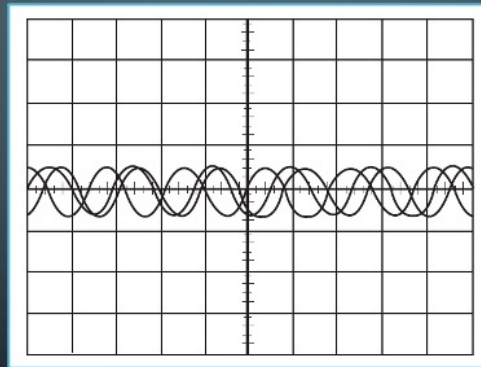
- Pozicija
- sec/div
- Zoom/Pan
- XY Mode

Horizontalna kontrola pozicije pomjera talasni oblik lijevo i desno na željenu poziciju. sec/div omogućava odabir brzine kojom će se talasni oblik iscrtavati na ekranu (*sweep speed*). Promjenom ove kontrole mogu se posmatrati duži ili kraći intervali ulaznog signala.

**Zoom/Pan** služi za uvećanje nekog dijela talasnog oblika.

**XY Mode** omogućava prikaz ulaznog signala u funkciji drugog ulaza, umjesto vremenske baze. Koristi se za mjerenje faznog pomaka.

## TRIGGER SISTEM I KONTROLE



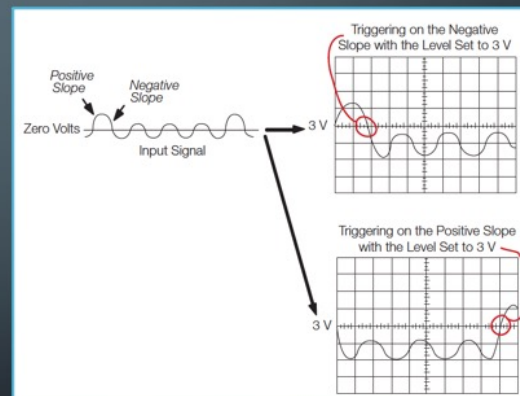
prikaz bez trigger-a

**Trigger** osciloscopa je neophodan za jasan prikaz signala. *Trigger* kontrola omogućava stabilizaciju talasnih oblika koji se ponavljaju i snimanje *single-shot* talasnih oblika. *Trigger* čini da signali koji se ponavljaju izgledaju statično na ekranu na način što se ponavlja prikaz istog dijela ulaznog signala.

**Edge triggering**, dostupno kod analognih i digitalnih osciloscopa, je osnovni i najčešće korišćen tip.

## TRIGGER SISTEM I KONTROLE

- Horizontalna pozicija trigger-a
- Triger Level and Slope



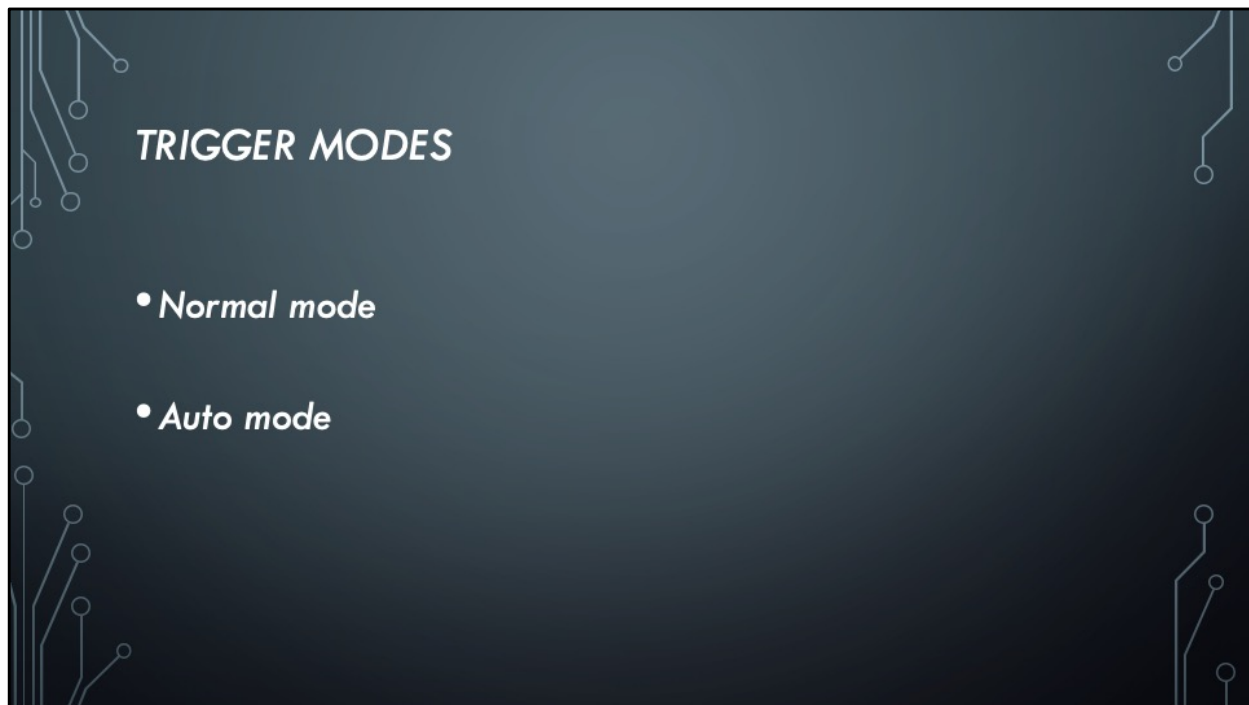
Kontrola horizontalne pozicije *trigger*-a je dostupna samo kod digitalnih osciloskopa. Analogni osciloskopi prikazuju signal nakon *trigger*-a. Omogućava prikaz signala prije *trigger*-a (*pre-trigger viewing*), što znači da se ovom kontrolom omogućava definisanje dužine prikazanog signala prije i poslije *trigger* tačke.

**Trigger level and slope** kontrole omogućavaju zadavanje osnovne tačke *trigger*-a, i određuju način na koji će signal biti prikazan, slika. *Trigger* sistem se ponaša kao komparator. Odabira se nagib i nivo napona na jednom ulazu komparatora. Kada se *trigger* signal na drugom ulazu komparatora poklopi sa podešavanjima na prvom ulazu, osciloskop generiše *trigger*.

Kontrola nagiba određuje da li je *trigger* tačka na rastućoj ili opadajućoj ivici signala. Kontrola nivoa određuje gdje će se na zadatoj ivici desiti *trigger*.

## TRIGGER SOURCES

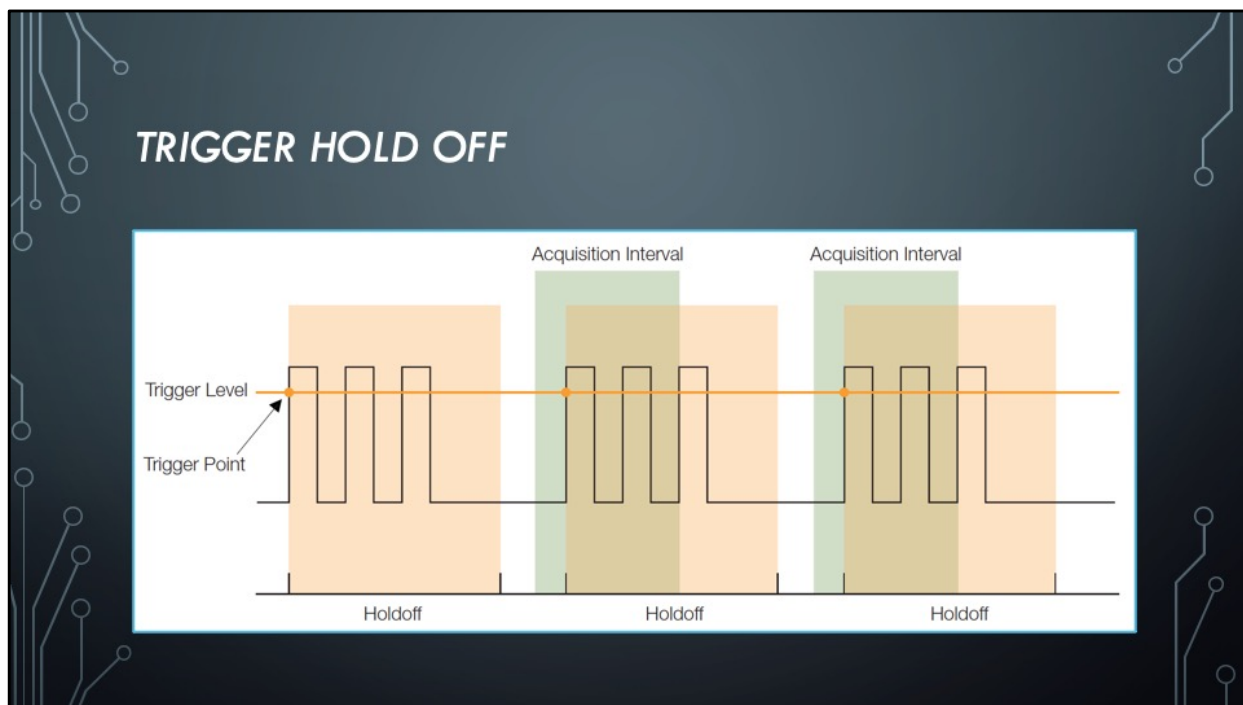
- **Bilo koji ulazni kanal**
- **Eksterni izvor**
- **Signal interno definisan od strane osciloskopa, na osnovu jednog ili više ulaznih kanala**



U **normal** modu osciloskop osvježava ekran samo kada ulazni signal dostigne *trigger* tačku. U suprotnom, ekran je prazan (u slučaju analognog osciloskopa) ili je zamrznuta prethodna slika (u slučaju digitalnog osciloskopa). Ukoliko na početku *trigger* nije pravilno odabran u *normal* modu, signal neće biti prikazan.

U **auto** modu, osciloskop prikazuje signal čak iako *trigger* nije zadat.

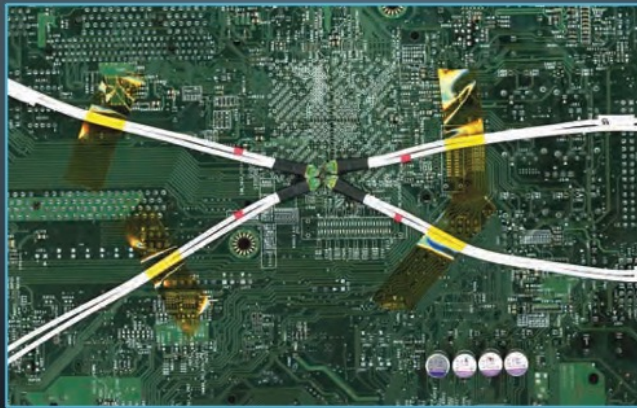
Kod nekih osciloskopa moguće je odabrati *coupling* (AC, DC, *high-frequency rejection*, *low-frequency rejection*, *noise rejection trigger*). Ova specijalna podešavanja mogu biti korisna za eliminisanje šuma iz *trigger* signala u cilju prevencije lažnog *trigger*-a.



**Trigger hold-off** je vrijeme nakon validnog *trigger-a* u toku koga ne može doći do novog *trigger-a*.



## KOMPLETAN MJERNI SISTEM. SONDE



Čak i najnapredniji instrumenti mogu biti precizni samo onoliko koliko i podatak koji im se prosljeđuje. Sonda je sastavni dio mjernog sistema i u velikoj mjeri određuje pouzdanost mjerenja. Odgovarajuće sonde, uparene sa osciloskopom i uređajem koji se testira su uslov tačnosti mjerenja.

Osim opterećenja koje unose u kolo, bitna karakteristika sonde je i njihova forma, slika.

Kako bi se osigurala tačna rekonstrukcija signala, treba odabrati sonde koje kada se upare sa osciloskopom prevazilaze frekventni opseg signala 5 puta.

## PASIVNE SONDE

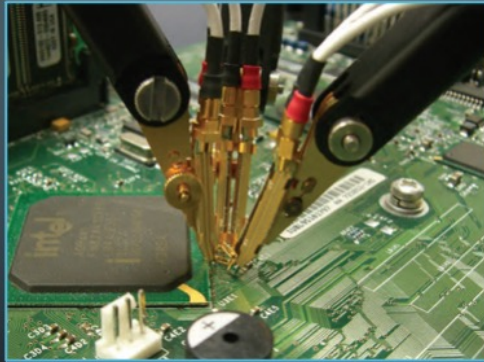


Za mjerenje tipičnih signala i naponskih nivoa, pasivne sonde predstavljaju pogodno rješenje. Mnoge pasivne sonde imaju faktor slabljenja 10X, 100X,...

10X sonda redukuje opterećenje kola u odnosu na 1X, što ima značajnu ulogu ukoliko su u pitanju veće frekvencije ili visokoimpedansni izvor signala. Osim što se odabirom slabljenja 10X povećava tačnost mjerenja, amplituda se redukuje 10 puta.

Ukoliko ista sonda ima mogućnost odabira 1X ili 10X, potrebno je izvršiti kompenzaciju sonde u zavisnosti od izbora (1X ili 10X). Ovaj tip sondi je dobro rješenje za generalnu upotrebu, međutim sa njima se ne mogu mjeriti signali sa ekstremno velikim *rise-time*. Takođe, nije moguće testirati "osjetljiva" kola zbog dodatnog opterećenja koje sonde neminovno unose. Aktivne sonde visoke brzine kao i diferencijalne sonde su rješenje kada su u pitanju mjerenja visokih brzina i/ili diferencijalni signali.

## AKTIVNE I DIFERENCIJALNE SONDE

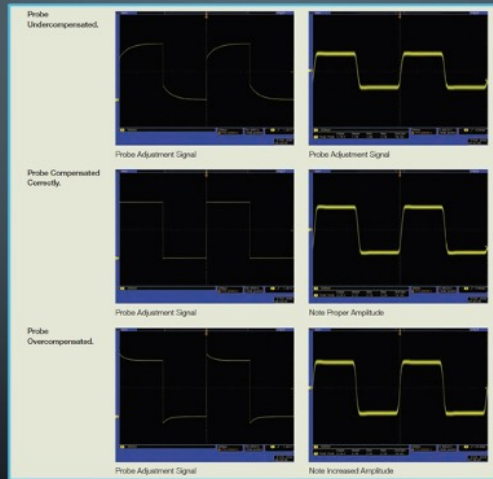


Aktivne i diferencijalne sonde koriste specijalno razvijena integrisana kola za "očuvanje" signala u toku pristupa i prenosa prema osciloskopu, obezbjeđujući integritet signala.

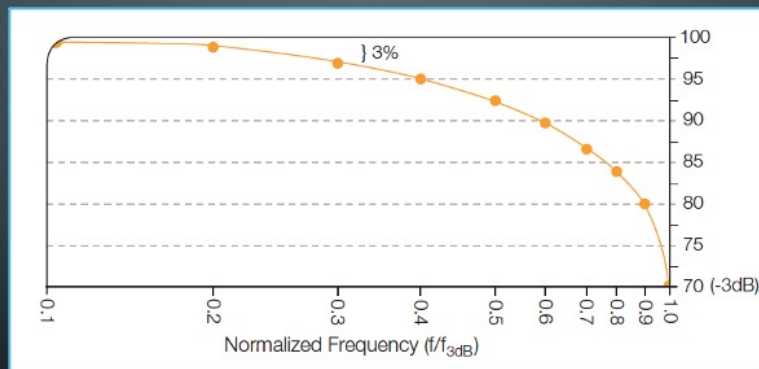
Novije sonde omogućavaju tri tipa mjerenja bez dodatnih podešavanja: diferencijalno, *single-ended* i *common mode* mjerenja.

Postoje mnoge vrste specijalizovanih sonda, kao što su strujne, optičke, visokonaponske,...

# KOMPENZACIJA SONDI



## FREKVENTNI OPSEG (BANDWIDTH)



Frekventni opseg osciloskopa je ona učestanost na kojoj "pojačanje" opadne za 3 dB (0.707), slika. Ukoliko se na ulaz dovede sinusoida amplitude 1 V čija se frekvencija postepeno povećava, frekventni opseg osciloskopa će biti ona učestanost za koju amplituda ulaznog napona iznosi 0.707 V. Greške u amplitudi se zapažaju već na 20 % frekventnog opsega osciloskopa, slika. Ukoliko je u pitanju DC ili prostoperiodični napon, tačniji rezultat će dati voltmetar (određene tačnosti).

Kako bi se odredio frekventni opseg osciloskopa potreban za tačnu karakterizaciju amplitude signala u okviru specifične aplikacije, koristi se "5 Times Rule":

$$BW_{OSC} \geq (\text{frekvencija najviše komponente signala}) \times 5$$

Greška dobijena koristeći prethodno pravilo je manja od  $\pm 2\%$

## RISE TIME

*Oscilloscope Rise Time*  $\leq$  *Fastest Rise Time of Signal*  $\times \frac{1}{5}$

$$BW = \frac{K}{\text{Rise Time}}$$

$$0.35 < K < 0.45$$

$K = 0.35$  za  $BW < 1$  GHz

$0.4 < K < 0.45$  za  $BW > 1$  GHz

Osciloskop mora imati dovoljno malo *rise-time*, kako bi pouzdano prikazivao detalje pri brzim tranzicijama. *Rise-time* opisuje korisni frekventni opseg osciloskopa.

## SAMPLE RATE, WAVEFORM CAPTURE RATE

- $\sin(x)/x$  interpolacija:  
*Sample Rate > 2.5 × Highest frequency component*
- linearna interpolacija:  
*Sample Rate > 10 × Highest frequency component*

Prikazana brzina odabiranja se mijenja sa promjenom horizontalne skale u cilju očuvanja konstantnog broja tačaka talasnog oblika koji se prikazuje na ekranu.

*Nyquist*-ov kriterijum podrazumijeva beskonačnu dužinu signala i kontinualan signal. Kako osciloskop ne može imati beskonačnu dužinu uzorka, a *glitch*-evi nisu kontinualni, odabiranje na učestanosti dva puta većoj od učestanosti najviše komponente signala je nedovoljno.

Rekonstrukcija signala zavisi od brzine odabiranja kao i od metoda interpolacije koji se koristi.

Za pouzdanu rekonstrukciju signala sa  $\sin x/x$  interpolacijom, osciloskop treba da ima brzinu odabiranja najmanje 2.5 puta veću od učestanosti najviše komponente ulaznog signala. Ukoliko je u pitanju linearna interpolacija, ovaj odnos treba da bude 10.

*Waveform capture rate* predstavlja broj talasnih oblika po sekundi (wfms/s).

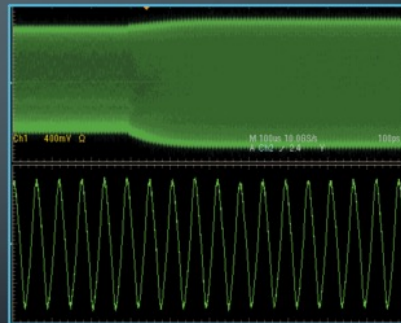
Označava koliko brzo osciloskop akvizira talasni oblik.

Ova vrijednost veoma varira. Kod DPO je za nekoliko redova veličine veća nego kod DSO.

## RECORD LENGTH

$$\text{Time interval} = \frac{\text{Record Length}}{\text{Sample Rate}}$$

**Primjer.** Posmatraju se dva osciloskopa. Maksimalna brzina odabiranja oba osciloskopa je 100 MSa/s. Jedan osciloskop ima memoriju 5 Kpts, dok drugi ima memoriju 1 Kpts. Ukoliko je brzina prikaza 1 us/div, oba osciloskopa će imati prostora da smjeste podatke za maksimalnu brzinu odabiranja (1000 tačaka), pri čemu će u prvom slučaju biti zauzeta 1/5 memorije, dok će u drugom slučaju biti zauzeta čitava memorija. Ukoliko se brzina prikaza smanji na 5 us/div, za maksimalnu brzinu odabiranja, potrebno je smjestiti 5 K tačaka. Dakle, brzina odabiranja drugog osciloskopa se mora smanjiti 5 puta.



**Record length**, izražen kao broj tačaka koje čine kompletan snimak talasnog oblika, određuje količinu podataka koja se može snimiti svakim od kanala. Kako osciloskop može čuvati samo ograničen broj odbiraka, trajanje talasnog oblika će biti inverzno proporcionalno brzini odabiranja osciloskopa.

Savremeni osciloskopi omogućavaju odabir *record length*-a u cilju optimizacije nivoa detalja koji je potreban. Ukoliko se, na primjer, analizira stabilna sinusoida, vjerovatno je dovoljno svega 500 tačaka, ali ukoliko se analiziraju neke vrste anomalija u kompleksnim digitalnim podacima, moguće je da će biti potrebno milion ili više tačaka.

Svi proizvođači digitalnih osciloskopa specificiraju maksimalnu brzinu odabiranja sistema za akviziciju osciloskopa, kao i veličinu memorije i broj bita. Brzina odabiranja se prilagođava vremenskoj osi na način da se signal uvijek prikazuje sa istim brojem tačaka.

Memorijski kapacitet podrazumijeva smještanje svih odbiraka pune horizontalne skale. Memorijski kapacitet određuje brzinu odabiranja prilikom specifičnog mjerenja.



Što je veći memorijski kapacitet, osciloskop će brže moći da vrši odabiranje ulaznog signala za datu vremensku bazu. Međutim, brze memorije su skupe, osim toga upis veće količine podataka traje duže što rezultira manjom brzinom osvježavanja ekrana.

## LITERATURA

- J. G. Webster and H. Eren, *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014
- XYZ of Oscilloscopes, Tektronix
- <http://www.saelig.com/product/ds7034.htm>