

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI STUDIJSKI CENTAR ZA STRUČNE STUDIJE
ODSJEK ZA ELEKTRONIKU**

ŽELJKO PERIŠIĆ

ZAVRŠNI RAD

***UPOTREBA OSCILOSKOPA ZA
MJERENJA U TELEKOMUNIKACIJAMA***

SPLIT, STUDENI 2009.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI STUDIJSKI CENTAR ZA STRUČNE STUDIJE
ODSJEK ZA ELEKTRONIKU**

PREDMET: APLIKACIJSKI PROGRAMI

ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT: ŽELJKO PERIŠIĆ

TEMA ZAVRŠNOG RADA: Opisati princip rada analognih i digitalnih osciloskopa te napraviti njihovu međusobnu usporedbu prilikom izvođenja različitih mjerenja. Analizirati metode izvođenja različitih mjerenja uz uporabu dodatne opreme. Izvršiti temeljna mjerenja bitna za primjenu osciloskopa u telekomunikacija primjenom Fluke osciloskopa i laboratorijskih modela "hps" i "Promax".

MENTOR: MR.SC. TONKO KOVAČEVIĆ, VIŠI PRED.

SPLIT, RUJAN 2009.

Svim profesorima i zaposlenicima SVEUČILIŠNOG STUDIJSKOG CENTRA ZA STRUČNE STUDIJE u Splitu, a osobito djelatnicima ODSJEKA ZA ELEKTRONIKU iskreno zahvaljujem što su mi olakšali studiranje. Posebno bih se zahvalio mentoru mr. sc. Tonku Kovačeviću, višem predavaču, voditelju studija prof. dr. sc. Ljubomiru Maleševiću, doc. dr. sc. Wintonu Afriću i višem predavaču Margiti Malešević.

SADRŽAJ

SAŽETAK	5
ABSTRACT	6
1. UVOD	7
2. OSNOVE OSCIOSKOPA	8
2.1. Analogni osciloskop	10
2.1.1 Vertikalni otklonski sustav	10
2.1.2 Horizontalni otklonski sustav	14
2.1.3 Načini rada vremenske baze	17
2.1.4 Dodatne funkcije	20
3. DIGITALNI OSCIOSKOPI	22
3.1. Digitalno pohranjivanje	22
3.2 Uzorkovanje i digitalizacija	23
3.3. Vertikalna razlučivost	24
3.4. Vremenska baza i horizontalna razlučivost	25
3.5. Maksimalna frekvencija uzorkovanja	26
3.6 Uzorkovanje u stvarnom vremenu	28
3.7 Smetnje zbog preklapanja	31
3.8 Vrste zaslona	32
3.9 Funkcije i kontrole digitalnih oscioskopa	32
3.10 Posebni načini okidanja	36
3.11 Analogni ili digitalni osciloskop ?	39
4. PROGRAMSKA PODRŠKA I DODATNA OPREMA	40
4.1 Sonde	40
4.2 Tipovi sondi	45
4.3. Dodatna oprema i pribor	46
4.4 Softver	47
5. MJERENJA OSCIOSKOPOM U TELEKOMUNIKACIJAMA	48
5.1 Potrebna oprema za izvođenje mjerenja	48
5.2 Primjeri mjerenja u telekomunikacijama	49
5.3 Pokazivači i automatska mjerenja	53
5.4 Mjerenja pomoću pokazivača	56
5.5 Mjerenja sa Digitalnim Oscioskopima sa pohranom	59
6. ZAKLJUČAK	63
7. LITERATURA:	64

UPOTREBA OSCILOSKOPA ZA MJERENJA U TELEKOMUNIKACIJAMA

SAŽETAK

Osciloskope koristimo za mjerenja električnih signala prilikom projektiranja, izgradnje i održavanja različitih tehničkih sustava. Cilj ovog rada predstavlja opis funkcionalnosti i primjene osciloskopa za izvođenje mjerenja osnovnih karakteristika signala u telekomunikacijskim sustavima.

U prvom dijelu su razmatrani analogni i digitalni osciloskopi te prezentirane njihove mogućnosti. Nakon toga dan je opis i primjena dodatne opreme s posebnim osvrtom na mjerne sonde. U zadnjem dijelu rada napravljen je detaljan opis izvedbe mjerenja različitih signala na laboratorijskim modelima te izvršena analiza dobivenih rezultata.

USAGE OF OSCILOSKOPES FOR MEASUREMENTS IN TELECOMMUNICATIONS

ABSTRACT

Oscilloscopes are used to measure electrical signals during the design, construction and maintenance of various technical systems. The aim of this paper is a description of the functionality and application performance oscilloscopes for measuring the basic characteristics of signals in telecommunication systems.

In first part, the analogue and digital oscilloscopes was considered and their capabilities was presented. After that a description of accessories was given, with special emphasis on the measurement probes. In the final part of work a detailed description of the performance measurements of different signals was made on laboratory models, as well analysis of the obtained results was performed.

1. UVOD

Energija, pokretne čestice i druge nevidljive sile prožimaju naš fizički univerzum. Čak i svjetlost sa svojom dualnom prirodom ima osnovnu frekvenciju, koja se može promatrati kao boja. Senzori mogu pretvoriti te pojave u električne signale koje zatim možemo promatrati i analizirati pomoću osciloskopa. Osciloskopi omogućavaju znanstvenicima, inženjerima, tehničarima, kao i raznim drugima da "vide" događaj koji se mijenja tijekom vremena. U današnjem svijetu, osciloskopi predstavljaju temeljni alat za sve zahtjevnija mjerenja, čija upotreba nije ograničena samo na područje elektronike. Danas osciloskope koriste svi, od atomskih fizičara do RTV tehničara. Mogućnosti njihove upotrebe su beskrajne. Rast implementacije elektroničke opreme povećava potrebu za korištenjem tih instrumenta za projektiranje, razvoj, traženje kvarova i održavanje sustava.

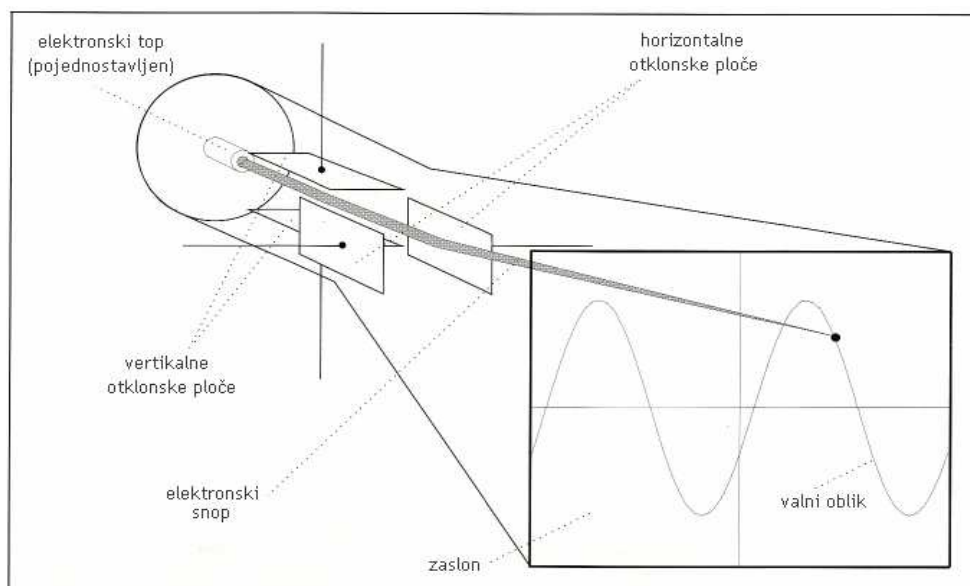
Cilj ovog rada je prezentirati mogućnosti osciloskopa prilikom izvođenja različitih mjerenja s posebnim osvrtom na mjerenja karakteristika signala u telekomunikacijskim sustavima. U drugom i trećem dijelu rada opisuju se funkcionalnosti analognih i digitalnih osciloskopa. Primjena dodatne mjerne opreme i pribora, s posebnim osvrtom na mjerene sonde, razmatra se u četvrtom poglavlju. U petom poglavlju detaljno je opisana izvedba mjerenja različitih signala koje susrećemo u telekomunikacijskim sustavima. Sva mjerenja su izvedena na sustavima u Laboratoriju za elektroniku Sveučilišnog studijskog centra za stručne studije.

2. OSNOVE OSCILOSKOPA

Osciloskop možemo jednostavno zamisliti kao voltmetar sa slikom. Uobičajeni voltmetar ima kazaljku koja se giba preko skale ili brojčanog pokazivača i pokazuje naponski nivo signala. Osciloskop s druge strane ima zaslon koji prikazuje grafički oblik naponske razine promjene signala, odnosno valni oblik. Osnovne razlike između osciloskopa i voltmetara su:

- Voltmetri daju brojčani prikaz, obično efektivne vrijednosti (Root Mean Squared, RMS), a neki mogu mjeriti vršne vrijednosti (peak-to-peak) i frekvenciju signala ali ne daju informacije o obliku signala, dok osciloskopi prikazuju vremensku promjenu signala u grafičkom obliku,
- Voltmetri obično mjere samo jedan signal, a osciloskopi mogu prikazati dva i više signala istovremeno.

Uređaj za prikaz podataka osciloskopa je katodna cijev (slika 2.1.).



Slika 2.1. Katodna cijev osciloskopa

Osnova katodne cijevi je top koji emitira elektrone i fokusira ih u snop koji udara u točku na centru ekrana. Fosfor na unutarnjoj strani katodne cijevi (Cathode Ray Tube, CRT) emitira svjetlo dok ga pogađaju elektroni te nastavlja zračiti svjetlost kratko vrijeme nakon što je elektronski snop uklonjen. To vrijeme nazivamo *perzistencija* i različito je za različite fosfore. Najčešće koristimo fosfor P31 s perzistencijom kraćom od milisekunde (ms) i fosfor P7 s dužom perzistencijom (oko 300 ms) što je veoma korisno za prikaz sporijih signala. Fosfor P31 emitira zeleno svjetlo dok je boja svjetlosti P7 više žućkastozelena. Na taj način elektroni prolaze kroz sistem koji se sastoji od *horizontalnih X i vertikalnih Y otklonskih ploča*, koji u skladu s oblikom ulaznog signala otklanja snop, pa svjetlosna točka "šeta" po zaslonu iscrtavajući kopiju oblika ulaznog signala, odnosno "valni oblik". Ovaj proces nazivamo *elektrostatskim otklanjanjem*.

Na unutarnjoj površini ekrana su iscrtane ili urezane horizontalne i vertikalne linije koje formiraju mrežu koju još nazivamo raster, koji se obično sastoji od 8 vertikalnih i 10 horizontalnih područja širine 1 cm. Neke linije rastera su detaljnije podijeljene na podpodručja označena od 0% do 100%. Te posebne linije koriste se, kada su linije rastera označene od 10% do 90%, npr. kada mjerimo vrijeme porasta signala.

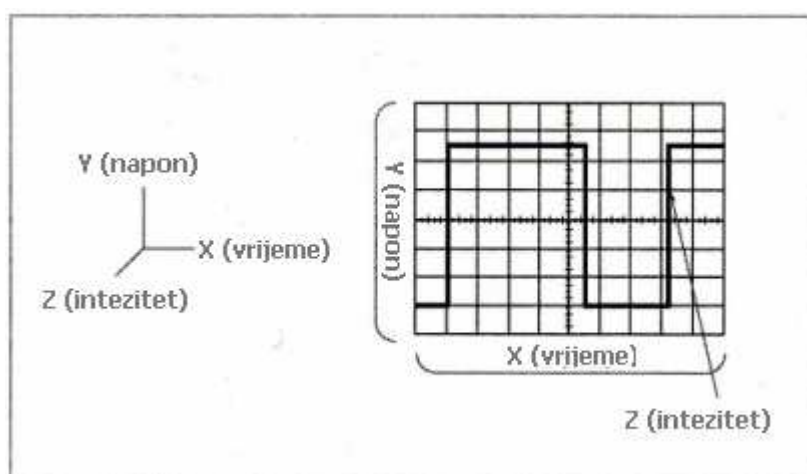
Kontrole koje utječu na izgled ekrana su: intenzitet, fokus, rotacija oblika, osvjetljenje rastera i Z-modulacija.

Intenzitet služi za podešavanje jakosti osvjetljenja ekrana. Razmatrani osciloskopi imaju sklopove za automatsko podešavanje intenziteta za različite brzine otklona. Kada se snop giba veoma brzo fosfor zrači svjetlost kraće vrijeme, pa moramo povećati intenzitet da bi vidjeli oblik. Ako se snop giba polako točka postaje veoma svijetla, pa moramo smanjiti intenzitet da izbjegnemo "žarenje" fosfora, što osigurava duži životni vijek katodne cijevi. Kontrola intenziteta za tekstualne znakove i oznake na ekranu odvojena je od ove kontrole.

Fokus se koristi za podešavanje veličine točke koja iscrtava valni oblik, optimiziran je i omogućava iscrtavanje obrisa različitih intenziteta i brzine otklona. Funkcija fokusa je predviđena za ručno podešavanje.

Rotacija oblika omogućava da se X-os izokrene tako da bude poravnana sa horizontalnim linijama rastera. Kako se zemljino magnetsko polje mijenja od mjesta do mjesta, može prouzročiti da promatrani valni oblik bude izokrenuto prikazan, što kompenziramo rotacijom oblika. Funkcija je unaprijed odabrana i podešava se ponovo samo u slučaju kad je osciloskop prenesen na novu lokaciju.

Osvjetljenje rastera može biti zasebno kontrolirano kada radimo u uvjetima slabog osvjetljenja, ili kod osciloskopa s funkcionalnošću snimanja. Jakost osvjetljenja valnog oblika može se mijenjati elektronički pomoću nekog vanjskog signala. Ulaz za ovaj signal je obično BNC konektor koji se nalazi na stražnjem panelu uređaja. Ovo je posebno korisno kad je horizontalno otklanjanje generirano izvana, kao i za traženje frekvencijskih odnosa kod X-Y prikaza. Ovaj proces osvjetljenja valnog oblika često se naziva *Z-modulacija* čija je posljedica prividna pojava z-osi (slika 2.2.).



Slika 2.2. x,y i z komponente prikazanog valnog oblika

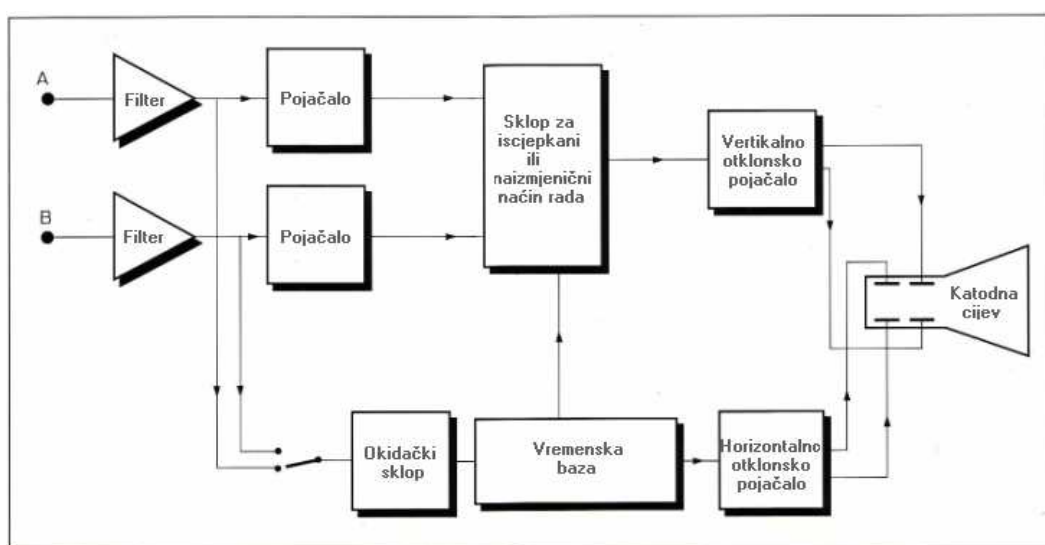
2.1. Analogni osciloskop

Na slici 2.3. prikazana je blok shema analognog osciloskopa. Glavni dijelovi analognog osciloskopa su:

- katodna cijev
- sustav za horizontalni otklon
- sustav za vertikalni otklon.

Sustav za vertikalni otklon sastoji se od ulaznog oslabljivača (atenuatora), elektroničkog preklopnika za odabir ulaznog kanala i vertikalnog otklonskog pojačala.

Horizontalni otklonski sustav sastoji se od okidnog sustava, generatora pilastog napona i horizontalnog otklonskog pojačala.



Slika 2.3. Blok shema analognog osciloskopa

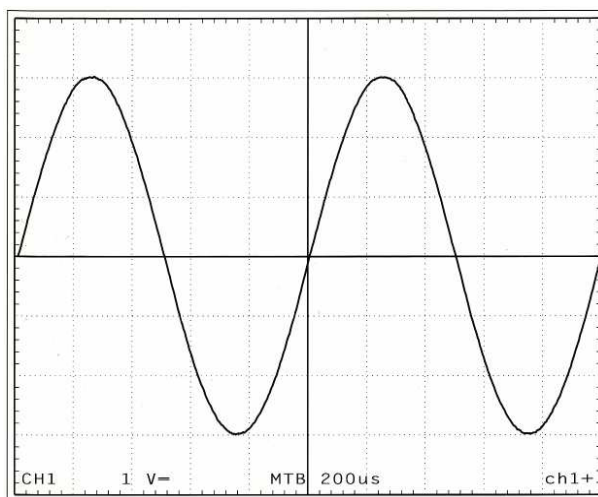
Intenzitet je elektronički kontroliran tako da uključi ili isključi valni oblik u pravom trenutku. Osnovne osobine osciloskopa su određene karakteristikama vertikalnog otklonskog sustava te one predstavljaju glavne parametre prilikom izbora instrumenta.

2.1.1 Vertikalni otklonski sustav

Vertikalni otklonski sustav skalira ulazni signal tako da može biti prikazan na ekranu. Osciloskopi prikazuju vršne (peak-to-peak) vrijednosti naponskih razina u rasponu od nekoliko millivolti do desetak volti. Sve to omogućava prilagodbu prikaza valnog oblika da bi ga mogli izmjeriti pomoću podjela rastera. Signali velikih amplituda moraju se prigušiti, a mali signali pojačati.

Osjetljivost predstavlja jedan od glavnih parametara i izražava se u *voltima po podjeli*.

U primjeru prikazanom na slici 2.3. osjetljivost je podešena na 1V po podjeli (1V/pod).



Slika 2.3. Prikaz signala s osjetljivošću od 1 V/pod

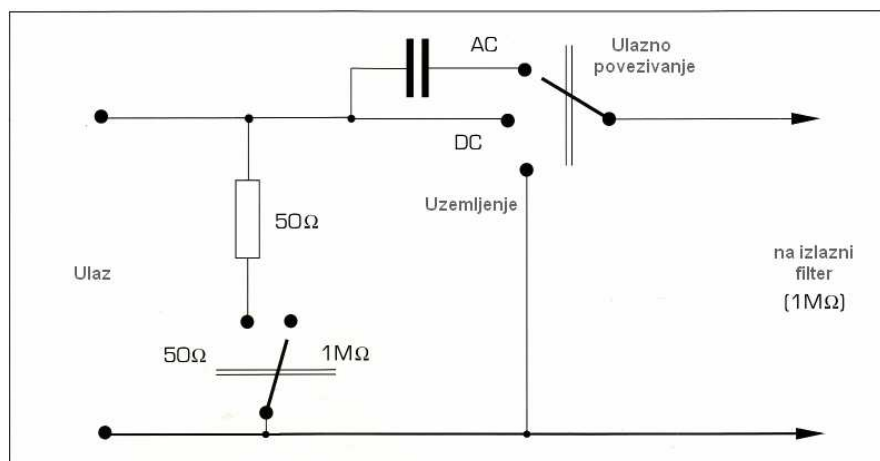
Ako znamo kako je podešena osjetljivost i broj vertikalnih podjela preko kojih se iscrtava valni oblik tada možemo izmjeriti bilo koji naponski signal. Osjetljivost se podešava pritiskom na tipku gore/dolje koja predstavlja amplitudu signala ili okretanjem potencijometra vertikalne osjetljivosti. Ukoliko ovi postupci ne podese signal točno kako se zahtjeva na zaslonu tada se može koristiti varijabilna (VARiable, VAR) kontrola.

VAR kontrola omogućava kontinuirano podešavanje u koracima iz 1-2-5 sekvence. Obično kada koristimo VAR kontrolu točna osjetljivost je nepoznata, ali je poznato da se nalazi između dva koraka iz 1-2-5 sekvence. Vertikalni Y otklon po kanalu je time određen kao nekalibriran (UNCALibrated, UNCAL), što je obično naznačeno na prednjem panelu ili zaslonu osciloskopa. Kod mnogih modernih osciloskopa osjetljivost se stalno mijenja između minimalne i maksimalne, te je potrebno izvršiti kalibriranje. Kod starijih instrumenata podešavanje osjetljivosti kanala se odredi gledanjem na skalu kontrole osjetljivosti. Kod novijih osciloskopa osjetljivost je prikazana jasno na zaslonu (slika 2.3.), ili naznačena na zasebnom LCD ekranu.

Kontrola povezivanja ili sprege (coupling control) određuje smjer ulaznog signala s BNC konektora na prednjem panelu do vertikalnog otklonskog sistema tog kanala. Postoje dvije vrste sprege: istosmjerna (DC coupling) i izmjenična (AC coupling).

DC sprega omogućava direktno spajanje signala, pri čemu će sve komponente signala (AC i DC) biti prikazane na zaslonu.

AC sprega dodaje kondenzator u seriju između BNC konektora i regulatora pojačanja, što blokira sve DC komponente signala kao i niskofrekvencijske AC komponente, koje su blokirane ili u velikoj mjeri prigušene. Donja granična frekvencija je ona na kojoj signal padne na 71 % stvarne vrijednosti amplitude (kriterij 3 dB) i ovisi o vrijednosti spojenog ulaznog kondenzatora. Njena uobičajena vrijednost je 10 Hz (slika 2.4.).



Slika 2.4. Ulazni krug s AC i DC spregom

Ulazna funkcija uzemljenja je pridodana kontroli povezivanja kojom se odspaja signal s regulatora pojačanja, a ulaz regulatora pojačanja izjednači sa uzemljenjem osciloskopa. Kada je odabrana funkcija uzemljenja možemo primjetiti liniju povrh referentnog nivoa od 0 V, koja se tada može postaviti pomoću kontrole pozicioniranja. Mnogi osciloskopi imaju ulaznu impedanciju od 1 MΩ u paralelnom spoju sa kondenzatorom od 25 pF, što je prihvatljivo za većinu uređaja opće namjene, zbog niske potrošnje sklopovlja. Neki signali dolaze iz izvora s izlaznom impedancijom od 50 Ω, pa je za točno mjerenje tih signala i izbjegavanje istitravanja potrebno koristiti kablove s karakterističnom impedancijom od 50 Ω, koji moraju biti zaključeni (terminirani) s opterećenjem od 50 Ω. Neke vrste osciloskopa, primjerice Fluke PM 3092 i PM 3394A, imaju takvo opterećenje od 50 Ω kao ugrađenu opciju u izborniku korisničkih funkcija. Da bi se izbjegle posljedice nestručnog rukovanja odabir ove funkcije moramo potvrditi. Iz istoga razloga 50 Ω-ska ulazna impedancija ne može se koristiti s nekim vrstama sonde.

Vertikalna kontrola pozicije (POS) služi za kontrolu valnog oblika na Y-osi zaslona. Kao što je već rečeno referentni nivo može se pronaći pomoću ground funkcije. Kod mnogih modernih instrumenata postoji poseban indikator uzemljenja koji korisniku omogućava da vrlo jednostavno pronađe referentni nivo za dani valni oblik.

Dinamički opseg (dynamic range) predstavlja maksimalnu amplitudu signala kojim se može rukovati bez izobličenja, dok god smo u mogućnosti vidjeti sve njegove dijelove promjenom vertikalne pozicije. Za Fluke osciloskope to je obično 24 podjele (3 ekrana).

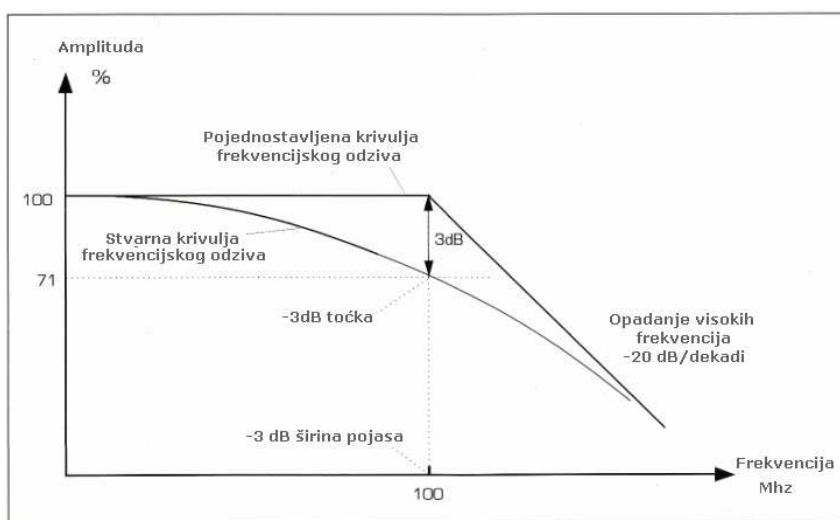
Zbrajanje dva signala pomoću osciloskopa može se jednostavno izvršiti. Osim toga, invertiranjem jednog od dva signala, a zatim njihovim zbrajanjem dobijemo efekt oduzimanja signala. Ovo je veoma korisno za uklanjanje zajedničkog signala (common mode) koji predstavlja smetnju ili šum za različita mjerenja. Oduzimanjem ulaznog signala od izlaznog signala, nakon ispravnog skaliranja, sva izobličenja koja uzrokuje ispitivani sustav postaju vidljiva.

Osciloskopi s katodnom cijevi mogu prikazati na zaslonu samo jedan valni oblik u realnom vremenu. Kod mjerenja signale često moramo uspoređivati, primjerice kod promatranja ovisnosti izlaznih i ulaznih signala ili određivanja kašnjenja signala koje je unio određeni sustav. To zahtjeva da osciloskopi mogu prikazati više od jednog signala istovremeno u realnom vremenu.

Da bi omogućili prikaz dva signala, mlaz elektrona možemo kontrolirati na dva načina:

- *Izmjenični mod* (ALTErnate mode, ALT) je način rada u kojem osciloskop prvo iscrtava jedan kompletan valni oblik, a nakon njega drugi. Izmjenični mod je bolji za prikaz signala visokih frekvencija.
- *Iscjepkani mod* (CHOPped mode, CHOP) prikazuje dva signala brzim prekidanjem ili cjepljanjem, i to prvo dio jednoga signala pa zatim dio drugoga. Na ovaj način se iscrtavaju dva valna oblika za vrijeme jednoga prebrisavanja zaslona (dio po dio). Iscjepkani mod je bolji za prikaz signala niskih frekvencija.

Propusni opseg (bandwidth) je najvažniji parametar bilo kojeg osciloscopa, a određuje ga frekvencijski odziv vertikalnog otklonskog sustava. Definira se kao najveća frekvencija za koju je razina signala manja za 3 dB od stvarne amplitude signala. Točka od -3 dB je frekvencija na kojoj je prikazana amplituda signala ' V_{disp} ', izražena sa 71% stvarne vrijednosti ulaznog signala ' V_{input} ' (slika 2.5.).



Slika 2.5. Frekvencijski odziv osciloscopa ($f_g = 100 \text{ MHz}$)

Amplituda signala iznad gornje granične frekvencije (f_g) opada za 6 dB po oktavi ili 20 dB po dekadi. Kod visoko osjetljivih mjerenja smanjivanje pojase širine eliminira smetnje i šum, primjerice za osciloskop s $f_g = 100 \text{ MHz}$ treba se umanjiti za 20 MHz.

Vrijeme porasta (risetime) signala i propusni opseg su izravno povezani. Vrijeme porasta se obično definira kao prijelazno vrijeme između razina signala od 10% do 90% stalne maksimalne vrijednosti. Za osciloskop ovo vrijeme predstavlja najbrži prijelaz signala koji teoretski može biti prikazan.

Veza između vremena porasta – t_r i pojase širine – B dana je sljedećom relacijom:

$$t_r (s) = 0,35 / B (hz) \quad (2.1)$$

odnosno za visokofrekvencijske osciloskope:

$$t_r (ns) = 350 / B (Mhz) \quad (2.2)$$

Primjerice, za osciloskop čija je gornja granična frekvencija (ili propusni opseg) 100Mhz, vrijeme porasta je 3.5 ns.

Na rasteru zaslona postoje posebne linije koje su označene s 0% i 100% te se koriste za mjerenja vremena porasta. Kontrola VAR se koristi za poravnanje dna i vrha prikazanog signala s linijama koje imaju oznaku 0% i 100%. Vrijeme porasta se zatim pročita duž X-osi kao vrijeme između presjecišta signala sa 10% i 90% linijama rastera. Za mjerenje vremena porasta osciloskopa slijedimo istu proceduru, osim što testni signal mora imati vrijeme porasta mnogo brže od vremena porasta osciloskopa, najmanje 5 puta brže uz pogrešku od 2%.

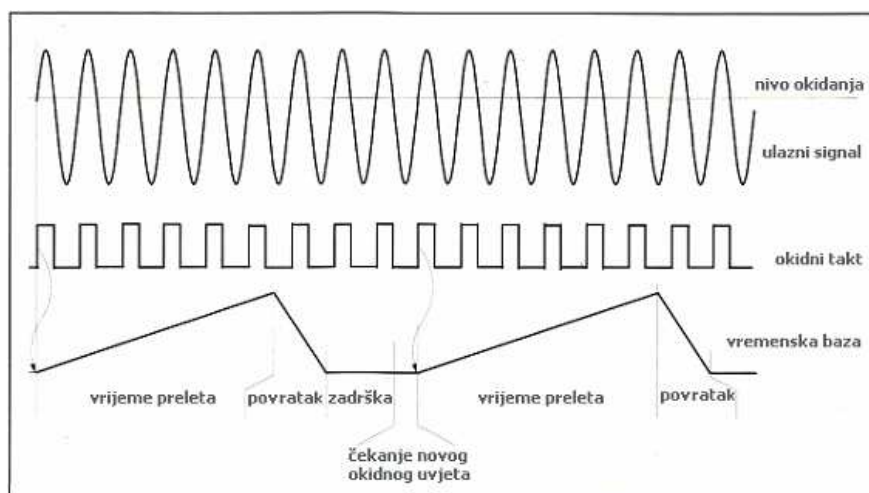
Prikazano vrijeme porasta je funkcija vremena porasta osciloskopa i vremena porasta signala i izraženo je sljedećom relacijom:

$$t_{r\ signal} = \sqrt{(t_{r\ signal}^2 + t_{r\ scope}^2)} \quad (2.3)$$

2.1.2 Horizontalni otklonski sustav

Za iscrtavanje grafa signala potrebne su horizontalne i vertikalne otklonske informacije. Osciloskopi iscrtavaju valni oblik koji prikazuje primjene signala tijekom vremena, te stoga horizontalni otklonski sustav mora biti razmjernan vremenu. Sustav koji kontrolira horizontalni otklonski sustav (X-osi) nazivamo *vremenska baza*. Unutar osciloskopa nalazi se generator za prebrisavanje (sweep generator) koji precizno iscrtava elektronski snop preko zaslona brzinom koju je podesio korisnik.

Izlaz generatora vremenske baze (timebase) prikazan je na slici 2.6.

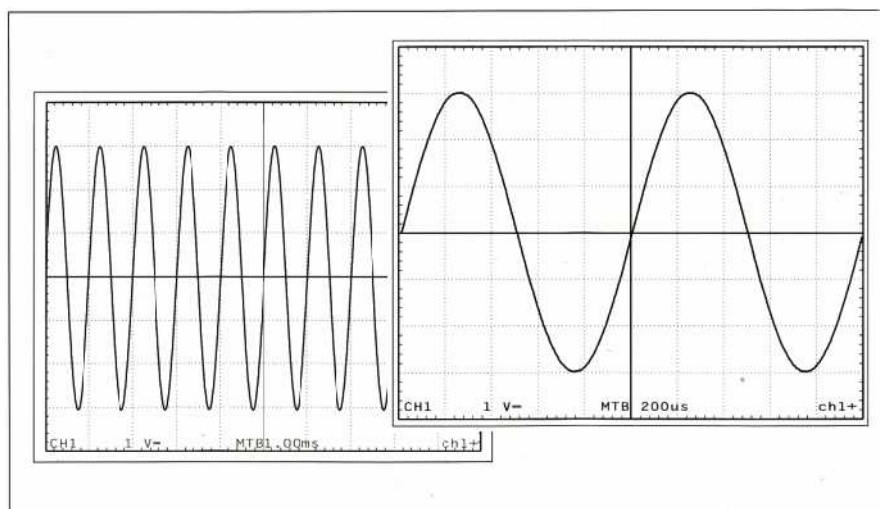


Slika 2.6. Izlaz generatora vremenske baze

Brzina iscrtavanja mjeri se u sekundama po podjeli (s/pod). Raspon brzina iscrtavanja osciloskopa je u granicama od 20 ns/pod do 0,5 s/pod. Podešavanje vremenske baze je u koracima iz sekvence 1-2-5, kao i kod kontrole osjetljivosti. Kada je ovaj parametar poznat vrlo lako se može mjeriti vrijeme između bilo koje dvije točke na valnom obliku.

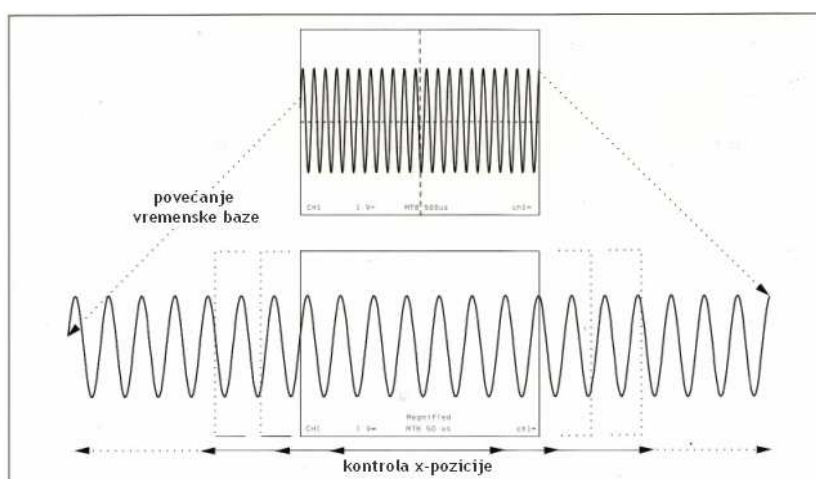
Kontrola horizontalne pozicije (horizontal position control) ili X-osi pomiče valni oblik horizontalno preko zaslona. To znači da određena točka na valnom obliku može biti poravnana sa vertikalnom linijom rastera čime se osigurava polazišna točka za mjerenje.

Na slici 2.7. lijevo, je prikazan sinusoidni valni oblik frekvencije 1 kHz, vremenske baze od 1 ms/pod, a na slici 2.7. desno, isti signal vremenske baze od 200 μ s/pod.



Slika 2.7. Vremenska baza sa 1ms/pod i 200 μ s/pod

Brzina prebrisavanja zaslona se može postaviti na vrijednosti koje su različite od standardnih postavki iz 1-2-5 sekvence. Na ovaj način moguće je prikazati cijeli period bilo kojeg valnog oblika preko cijelog zaslona. Kao i kod varijabilne kontrole za Y-os, većina osciloscopa prikazuje oznaku da se koristi varijabilna kontrola vremenske baze te da X-os nije kalibrirana. Većina modernih osciloscopa može raditi u kontinuiranom kalibriranom varijabilnom modu. Ovo omogućuje bolju vremensku razlučivost mjerenja, jer se cijeli zaslon može koristiti za prikaz zahtjevanog dijela signala, te znatno smanjuje mogućnost pogreške operatera. Povećavanjem brzine prebrisavanja vremenske baze raste brzina prebrisavanja horizontalnog otklonskog sustava, obično za deset puta (slika 2.8).



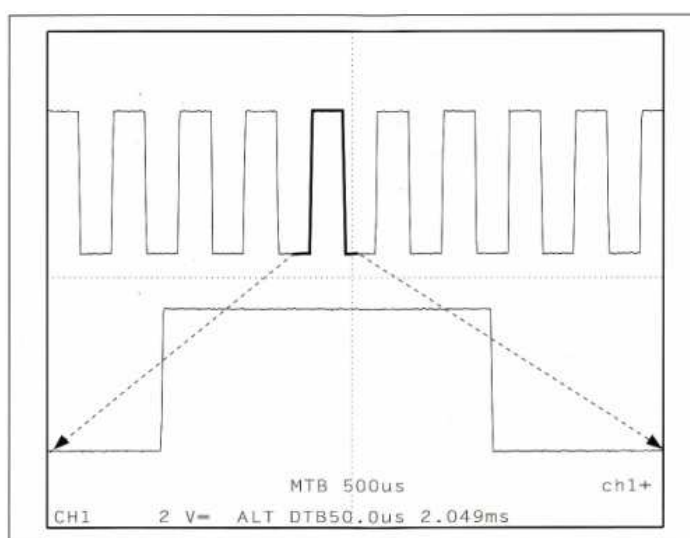
Slika 2.8. Povećanje vremenske baze i kontrola X-pozicije

Prednost ovoga načina u usporedbi s odabirom veće brzine prebrisavanja vremenske baze je mogućnost prikaza originalnog signala s puno više detalja. Manji dio valnog oblika može biti prikazan tako da ispunjava cijeli zaslon. Uobičajeno okidanje vremenske baze neće dati dobar rezultat kod analize složenog video signala.

Zbog toga moderni osciloskopi posjeduju dvije vremenske baze (dual timebase), i to;

Glavna vremenska baza (Main TimeBase, MTB) može biti okidana glavnim okidnim događajem unutar valnog oblika, primjerice vertikalnim sinkronizacijskim signalom u video sustavu. Dio traga glavne vremenske baze prikazuje se svjetlije, intenzivirani dio.

Usporena vremenska baza (Delayed TimeBase, DTB) je druga vremenska baza, koja započinje na početku ovog intenziviranog dijela i može se postaviti na vlastitu brzinu prebrisavanja, brže od otklonskih postavki glavne vremenske baze (MTB). Kašnjenje između početka glavne vremenske baze i početka intenziviranog dijela može se regulirati. Također je moguće aktivirati okidanje DTB-a nakon isteka selektiranog kašnjenja novim okidnim događajem. Kod osciloskopa s dvije vremenske baze elektronski snop naizmjenice prebrisuje zaslon s dvije različite brzine prebrisavanja (jedna brzina za jednu vremensku bazu, a druga za drugu).



Slika 2.9. Signal prikazan s dvije vremenske baze

Iz slike 2.9. vidimo da je glavna vremenska baza postavljena na 500 μs/pod., koja iscrtava valni oblik signala. Za vrijeme prebrisavanja, nakon 2 ms (4 podjele), dio valnog oblika se intenzivira. Ovo vrijeme je postavljeno pomoću kontrole kašnjenja (delay control). Trajanje intenziviranog područja je postavljeno pomoću kontrole prebrisavanja DTB na 50 μs/pod. Kada je DTB aktivirana nakon 2 ms kašnjenja, na njoj se prikazuje desetina valnog oblika glavne vremenske baze preko cijelog zaslona.

Kontrola kašnjenja (Delay control, DC) na starijim instrumentima je predstavljena pomoću množitelja vremenskog kašnjenja (Delay Time Multiplier, DTM). On se sastoji od skale i više-okretnog potencijometra. Tada se kašnjenje izračunava množenjem brzine prebrisavanja DTB s brojem na skali, kada je intenzivirani dio valnog oblika lociran na MTB. Mjenjanjem vremena kašnjenja mijenja se polazna točka na DTB, te se također mijenja duljina prikaza valnog oblika glavne vremenske baze. Glavna vremenska baza može se isključiti kada je DTB aktivirana te se na taj način prikazuje samo dio signala kojeg ispitujemo i to jače osvijetljen.

Načini rada osciloskopa s dvije vremenske baze su:

- **MTB** – samo je glavna vremenska baza aktivirana;
- **MTBI** – glavna vremenska baza intenzivirana, prikazuje prebrisavanje samo MTB, ali dio traga je intenziviran da pokaže početnu poziciju za DTB;
- **DTB** – usporena vremenska baza, prikazuje samo DTB prebrisavanje.
- **MTBI i DTB** – isto kao i MTBI način, ali također prikazuje prebrisavanje DTB;

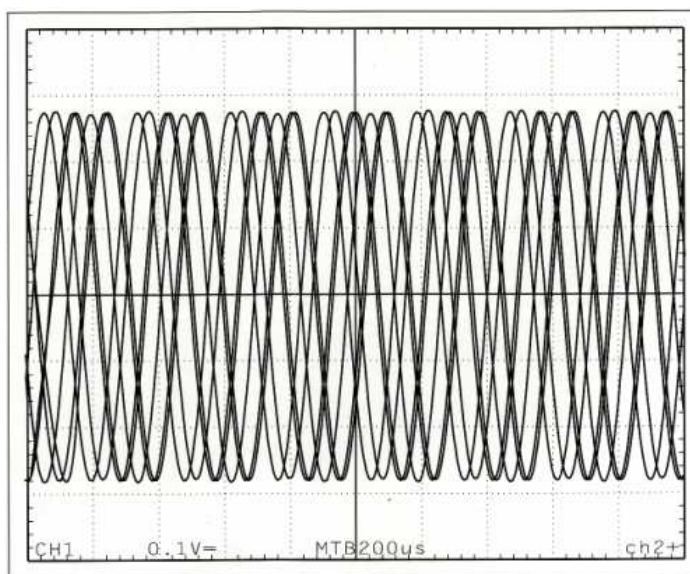
2.1.3 Načini rada vremenske baze

Krug vremenske baze analognog osciloskopa može koristiti slijedeće načine rada: automatski (automatic), uobičajeni ili okidni (normal or triggered) i pojedinačni ili pojedinačnim udarom aktivirani (single or single shot).

Automatski način rada omogućava 'prazan hod' prebrisavanja vremenske baze na niskim frekvencijama sa prikazom valnog oblika na zaslonu, što se koristi kada nema prisutnog signala. Ovaj način omogućava postavljanje vertikalne pozicije valnog oblika, primjerice ako se radi samo o istosmjernom signalu.

Uobičajeni načina rada zahtjeva prisustvo signala na odabranom ulazu, dovoljno visokog nivoa da obavi okidanje vremenske baze. Ovdje je primjenjeno jednostavno pravilo: 'nema signala, nema traga (no signal, no trace)'.

Pojedinačnim ili udarnim načinom rada vremenska baza će biti prebrisana po primitku okidnog događaja i to samo jednom. Okidni krug mora biti opremljen (pripremljen) za svaki okidni događaj. Ako nije pripremljen onda naknadni okidni događaji ne mogu startati vremensku bazu. Okidni krug je ponovo spreman pritiskom na tipku označenu sa 'SINGLE' ili 'RESET', ovisno o osciloskopu. Moderni osciloskopi mogu prikazati okidnu razinu u voltima na zaslonu, ili kao vodoravnu liniju. Sada se nameće logično pitanje: Kako elektronski snop točno slijedi jednaku putanju svaki put kada prelazi preko zaslona? Odgovor leži u okidnom krugu. Bez okidanja sve što bi vidjeli na zaslonu je zbrka valnih oblika s nasumičnim polazištima (slika 2.10.).

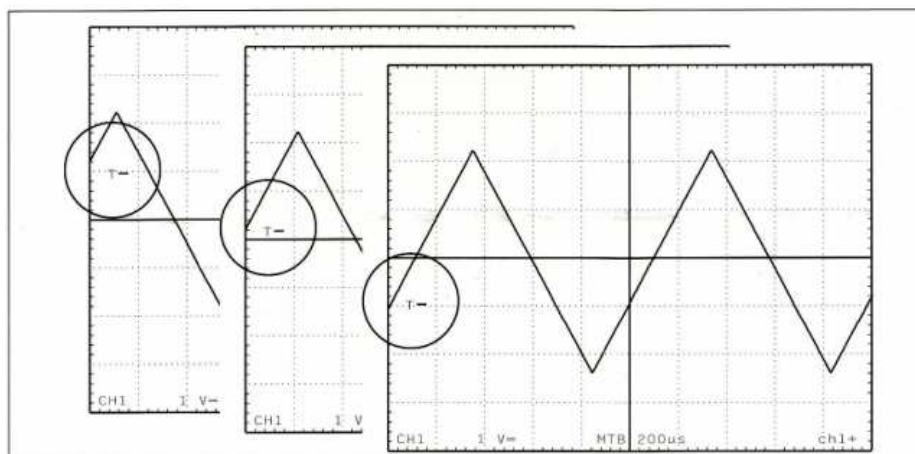


Slika 2.10. Neokidani signal

Svaki put kada vremenska baza prebriše zaslon, okidački krug osigurava da vremenska baza započne u točno određenoj točki na ulaznom signalu. Ova polazišna točka je određena sljedećim kontrolama: *izvorom, razinom, strminom i spregom okidanja*.

Kontrola izvora okidanja (trigger source) određuje od kuda dolazi okidački signal. U većini slučajeva okidački signal dolazi iz ulaznog signala. Ako se koristi samo jedan kanal onda je izvor okidanja također postavljen na taj kanal. Kada se koristi više kanala tada se izvor okidanja može odabrati iz bilo kojeg od njih. Spregnuto ili složeno okidanje (composite) se koristi za naizmjenično okidanje iz različitih kanala, redoslijedom kao što su prikazani. To je korisno za prikaz signala koji nisu međusobno frekvencijski ovisni. Ako koristimo osciloskop koji ima vanjski okidački ulaz (External trigger input, Ext), tada se okidanje obavlja pomoću signala spojenog na njega. Za rad na sustavima s mrežnom frekvencijom (mains frequency or line frequency), kod nas je 50 Hz ili frekvencijama izvedenim iz nje, moguće je postaviti linijsko okidanje na tu frekvenciju. Na ovaj način moguće je analizirati smetnje na mreži.

Kontrola razine okidanja (trigger level) postavlja se na razinu napona koju odabrani okidački signal mora prijeći da bi aktivirao okidački sklop vremenske baze (slika 2.11.).



Slika 2.11. Utjecaj postavki razine okidanja

Kontrola strmine okidanja (trigger slope) određuje da li će se okidanje izvršiti na rastućim (pozitivni) ili padajućim (negativni) bridovima signala izvora.

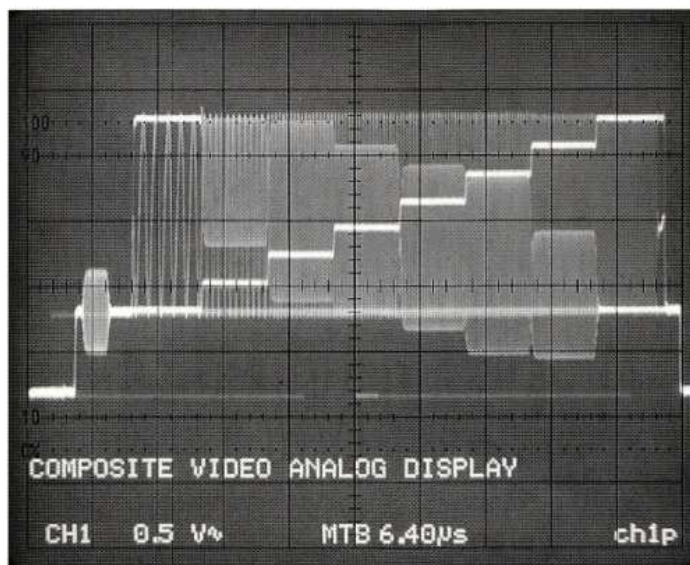
Okidačka sprega (trigger coupling) predstavlja vezu kojom je povezan izvorišni signal s okidačkim krugom, a može biti;

- *Istosmjerno povezivanje (DC coupling)*, kada je izvor spojen direktno na okidni krug.
- *Izmjenično povezivanje (AC coupling)*, kada je izvor spojen na okidni krug preko serijskog kondenzatora
- *Vršni nivo (peak to peak level)*, kada je raspon kontrole nivoa okidanja postavljen da bude nešto manji od vršnih vrijednosti signala. U ovom načinu rada nemoguće je postaviti nivo okidanja izvan vrijednosti ulaznog signala, tako da će osciloskop biti okidan uvijek kada je signal prisutan.

- *Niskopropusni filter*, ako izvorišni signal prolazi kroz niskopropusni filter za blokiranje visokih frekvencija (HF rejection, HF-Rej.). To znači da možemo okidati vremensku bazu na niskim frekvencijama signala čak i ako signal sadrži puno visokih frekvencija šuma ili buke.
- *Visokopropusni filter*, ako izvorišni signal prolazi kroz visokopropusni filter za blokiranje niskih frekvencija (LF rejection, LF-Rej.). Ovo je korisno na primjer za prikaz signala koji sadrži velike mrežne smetnje.
- *TV okidanje*, je način rada u kojem je kontrola razine okidanja neaktivirana i osciloskop koristi sinkronizacijske impulse unutar video signala. Postoje dva načina za TV okidanje: okvirno okidanje (frame triggering, TVF) i linijsko okidanje (line triggering, TVL):

Kod okvirnog okidanja - TVF, svaki okvir TV slike sastoji se od dva polja. Svako polje sadrži pola linija potrebnih za kompletan okvir. Brojna polja su tada isprepletena da formiraju okvire TV ekrana. Ova tehnika smanjuje propusni opseg prijenosnog kanala i treperenje slike. Postoji određeni niz sinkronizacijskih impulsa na početku svakog polja, koji se naziva sinkronizacija okvira, na kojoj se aktivira okidanje osciloskopa. Moderni Osciloskopi mogu razlikovati polje 1 i polje 2.

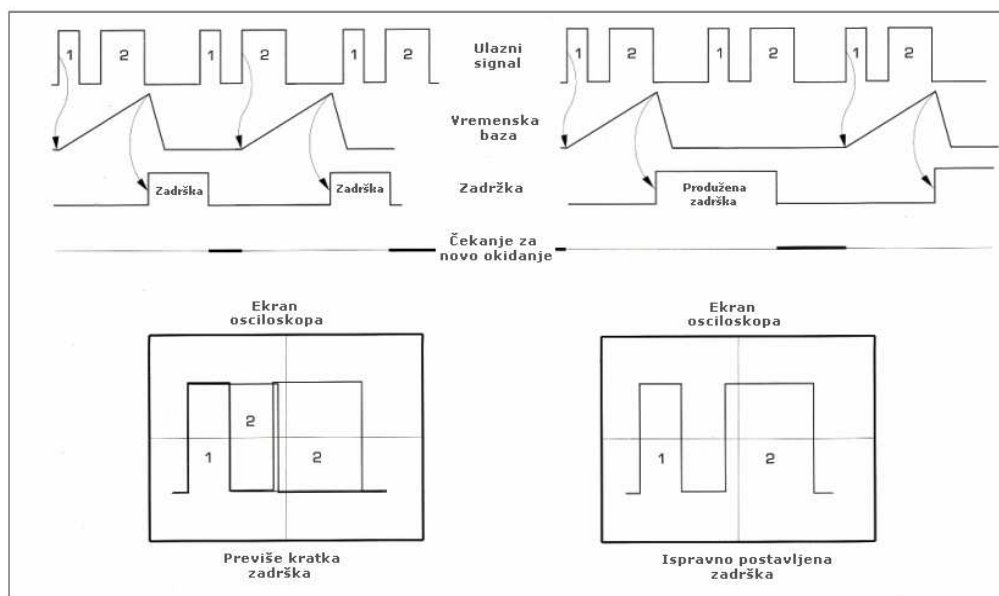
Kod linijskog okidanja - TVL, svako polje sadrži brojne linije. Svaka linija počinje sa linijskim sinkronizacijskim impulsima ili taktom. Osciloskop okida na svaki od tih impulsa i iscrtava sve linije jednu preko druge. Zasebne linije mogu biti prikazane korištenjem dvostruke vremenske baze i okidačkog okvira ili uz pomoć dodatne opreme pod nazivom 'Video Line Selektor', kao što je Fluke PM 8917. Kod Combi-Scope-a korištenog u ovom primjeru (slika 2.12.), ugradbeni (built-in) linijski brojač može se koristiti za jednostavno biranje zahtijevanog broja linije (samo PM 3394A serija).



Slika 2.12. Linijski video signal

Ponekad je porebno primjeniti tehniku *odgađanja okidanja* (trigger hold-off) kao što je prikazano na slici 2.13. Neki signali imaju mnogo potencijalnih točaka okidanja. Iako se signal ponavlja u dužem vremenskom periodu, situacija je sasvim različita u kratkom vremenskom periodu. Ako se detaljnije pogleda nekoliko impulsa vremenska baza mora biti brža, ali sada se prikazani dio signala mijenja prilikom prebrisavanja zaslona.

Ova pojava se izbjegava odgađanjem vremena okidanja između dva prebrisavanja zaslona rezultirajući okidanjem uvijek s istog brida impulsa (slika 2.13.).



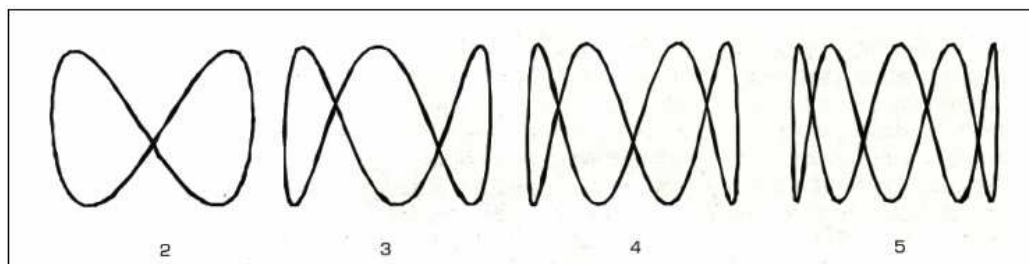
Slika 2.13. Odgađanje okidanja

DTB način rada je također moguć u okidnom modu, slično kao i MTB način. Za realizaciju ovoga načina rada postoje sljedeće kontrole: izvor okidanja DTB-a, razina, nagib i vrsta sprege, a djeluju neovisno od glavne vremenske baze. Odabirom ovih postavki DTB je pripremljena za okidanje u trenutku kad kašnjenje istekne, ali je aktivirana novim okidnim dodajem iz ulaznog signala. Ovaj način rada zovemo okidana DTB (triggered DTB).

2.1.4 Dodatne funkcije

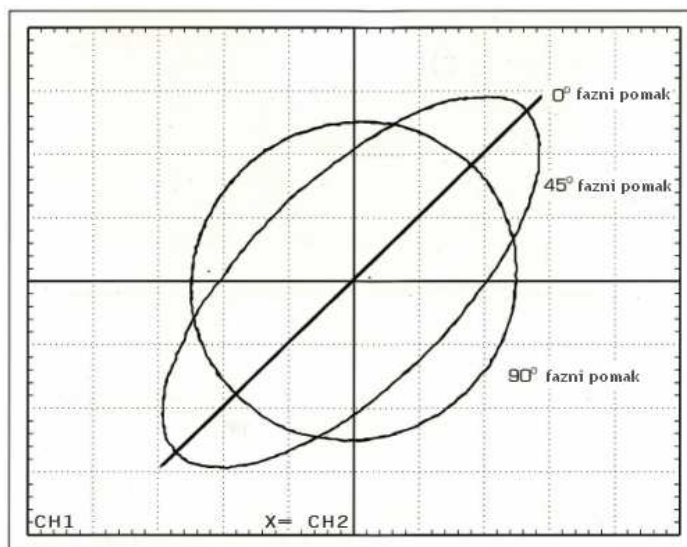
X-Y Otklon je način rada u kojem je vremenska baza isključena a ulazni signal, različit od onog koji se koristi za vertikalno otklanjanje, upotrebljen za otklon elektronskog snopa u horizontalnom smjeru. To znači da dva ulazna signala mogu biti prikazana kako bi se vidjela njihova međusobna povezanost.

Slika 2.14. pokazuje tvz. Lissajousove krivulje koje nastaju kada sinusoidalni valni oblik sadrži i više harmonike. Ako nema povezanosti glavnog signala i harmonika na zaslonu se pojavljuje nestabilan prikaz signala.



Slika 2.14. Lissajous-ove krivulje

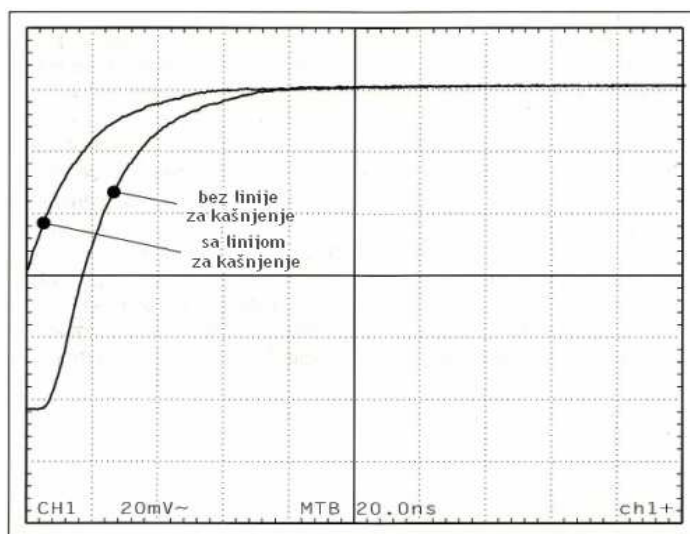
Ako su frekvencije signala međusobno ovisne sa zaslona možemo očitati fazni odnos. Na slici 2.15. su prikazana dva signala iste frekvencije s faznim pomakom od 0° , 45° i 90° .



Slika 2.15. Lissajous-ove krivulje za prikaz faznog pomaka

X-Y načina rada koristi se obično u elektro-mehaničkom okruženju, gdje se odnos između dva fizička parametara može prikazati pomoću pretvarača fizikalnih veličina u signale koje osciloskop može prikazati, primjerice istisnine naspram tlaka, i dr.. Može se koristiti i u elektronici za testiranje komponenti, kao što je plotanje karakteristike dioda, ili za bilo koju situaciju u kojoj se nalaze dvije međusobno ovisne veličine.

Linija za kašnjenje je dio vertikalnog otklonskog sistema, iako okidački sklop i horizontalni sistem također utječu na kašnjenje. Okidački i sklopovi vremenske baze brzo odgovoraju na okidni uvjet. Vremenska baza može imati mali nelinearni period na početku prebrisavanja, dok se ne postigne puna brzina. Za osciloskope nižeg propusnog opsega, ova vremena, reda nanosekundi, zanemariva su, u usporedbi sa najbržim signalima koje osciloskop može prikazati. Za osciloskope višeg propusnog opsega, sa brzinama zamaha do 2 ns/pod, ova vremena su značajna.



Slika 2.16. Efekt linije za kašnjenje na brzo rastućim bridovima

Da biste omogućili prikaz događaja, trajanja nekoliko nanosekundi, vremenska baza treba biti pokrenuta prije okidnog događaja u valnom obliku koji želimo prikazati na zaslonu. To znači da je svjetlosni snop već prebrisan kada okidni uvjet signala stigne na otklonske ploče. Puni rastući ili padajući brid valnog oblika signala može se vidjeti, nekoliko nanosekundi prije okidanja. Tih nekoliko nanosekundi nazivamo predhodno okidane informacije. To se postiže uključivanjem linije kašnjenja signala u vertikalni sistem nakon što okidački sklop akvizira točku, i prije završnog pojačanja. Ova linija za kašnjenje pohranjuje signal za vremenski period proporcionalan njenoj dužini. Nakon vremena u kojem signal dođe do kraja linije za kašnjenje, starta vremenska baza i započinje zamah prebrisavanja.

3. DIGITALNI OSCILOSKOPI

Kao što je već rečeno, perzistencija fosfora P31 običnog analognog osciloskopa je manja od ms, a fosfora P7 je oko 300 ms. Valni oblik se prikazuje na zaslonu katodne cijevi, sve dok signal ne prestane osvjetljivati fosfor, a kada se signal ukloni valni oblik blijedi, i to veoma brzo za P 31, odnosno polako za P7. Što se događa ako signal dolazi samo nekoliko puta u sekundi, ili ako je trajanje signala nekoliko sekundi, ili još gore, ako se signal dogodi samo jednom? U ovim slučajevima gotovo je nemoguće djelomično ili u potpunosti prikazati signal sa analognim osciloskopom koje smo razmatrali u prethodnom poglavlju. Potrebna je neka metoda zadržavanja prelaska signala preko fosfora. Stari način realiziranja ovog efekta je korištenje posebne vrste katodne cijevi (Storage Tube) za pohranjivanje koje koriste električki nabijene mreže iza sloja fosfora za pohranu putanje elektronskog snopa. Ove cijevi su veoma skupe i osjetljive, a mogu zadržati valni oblik ograničeno vrijeme.

Digitalni osciloskopi sa pohranjivanjem nadilaze sve te nedostatke, i donose veliki broj dodatnih mogućnosti kao što su:

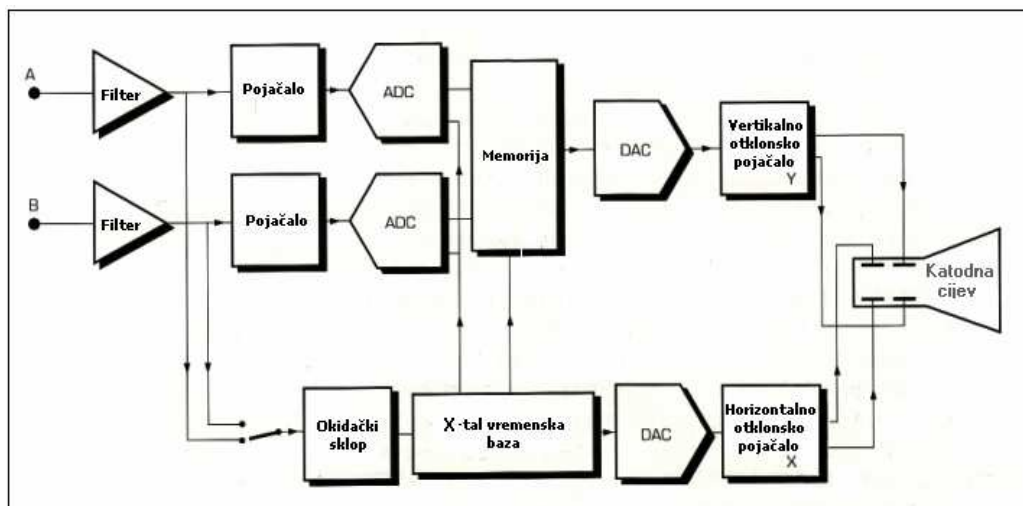
- mogu se prikazati velike količine pohranjenih informacija
- moguća su potpuno automatska mjerenja, (sa ili bez pokazivača)
- valni oblici mogu biti pohranjeni na neodređeno vrijeme
- valni oblici se mogu prenijeti u računalo za pohranu i daljnju analizu
- moguće je iscrtati valne oblike na pisaču ili ploteru za dokumentacijske svrhe
- novi valni oblik može se usporediti sa referentnim, (ručno ili automatski)
- odluke se mogu donositi na osnovi uspjelog (Passed) ili neuspjelog (Failed) testa
- informacije iz valnog oblika mogu biti obrađene matematički.

3.1. Digitalno pohranjivanje

Digitalna pohrana predstavlja ‘pamćenje’ podataka u digitalnom obliku u osciloskopu. Ulazni signal se prvo uzorkuje u pravilnim vremenskim intervalima, zatim se trenutne vrijednosti uzoraka dovode u sklop za analognu digitalnu pretvorbu (Analog to Digital Converter, ADC), na čijem izlazu dobijemo binarne riječi koje predstavljaju svaki uzorak signala. Ovaj process se naziva digitalizacija (Digitization). Brzina uzorkovanja za osciloskope razmatrane u ovom radu je u rasponu od 20 MS/s do 200 MS/s (mega-samples per second).

Binarne vrijednosti se pohranjuju u memoriju osciloskopa, te zatim čitaju iz memorije i vode u sklop za digitalno analognu pretvorbu (Digital to Analog Converter, DAC). Analogni signal se zatim povećava i prikazuje na zaslonu katodne cijevi. Važno je napomenuti da slika na zaslonu predstavlja rekonstrukciju originalnog signala, a ne signal koji je doveden na ulaze osciloskopa.

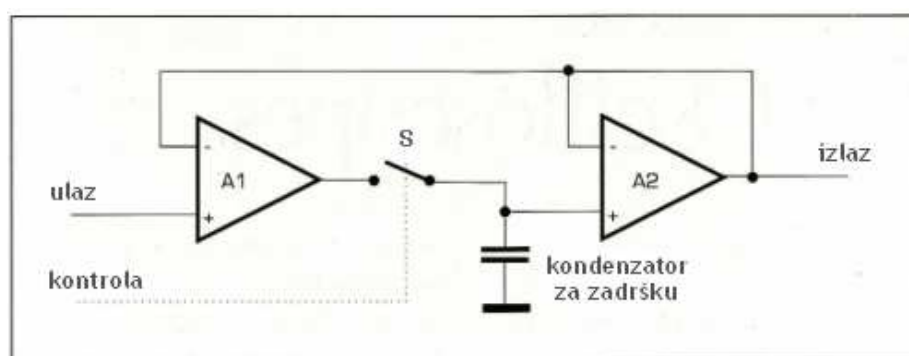
Shema osciloskopa sa digitalnom pohranom (Digital Storage Oscilloscope – DSO), prikazana je na slici 3.1.



Slika 3.1. Shema osciloskopa s digitalnom pohranom

3.2 Uzorkovanje i digitalizacija

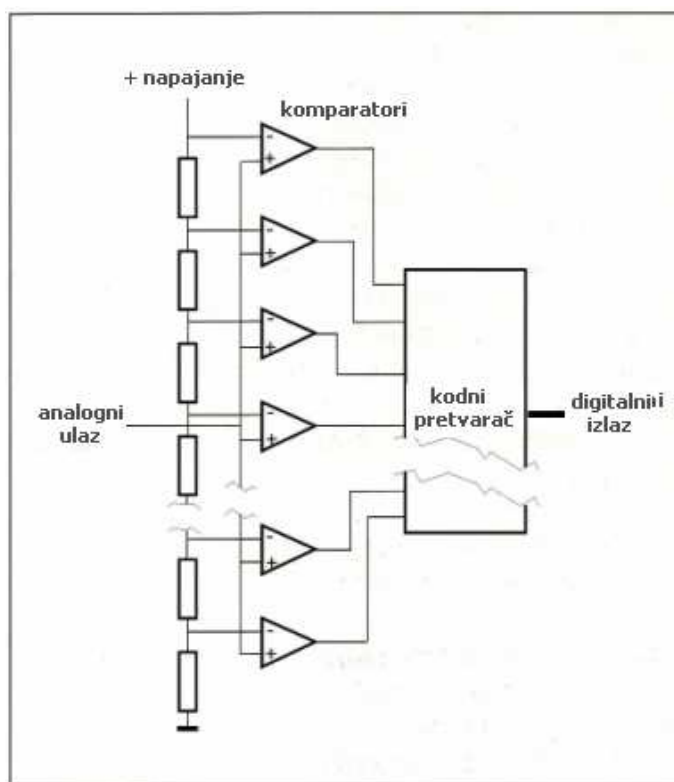
Digitalno pohranjivanje podataka izvodi se u dva koraka. Prvo se uzorkuje ulazni napon, pomoću sklopa za uzorkovanje i zadržku (Sample and Hold circuit), koji je prikazan na slici 3.2.



Slika 3.2. Sklop za uzorkovanje i zadržku

Ulazno pojačalo A1 puni i prazni kondenzator za zadržku kada je sklopka S zatvorena. Kada se sklopka S otvori, napon na kondenzatoru ne može se više mjenjati. Izlazni signal iz spremnika (Buffer) A2 se dovodi u Analogno-Digitalni pretvornik (Analog to Digital Converter – ADC) koji mjeri amplitudu uzorka i prezentira je pomoću digitalne riječi.

ADC pretvornik sastoji se od niza komparatora i lanca otpornika (slika 3.3).

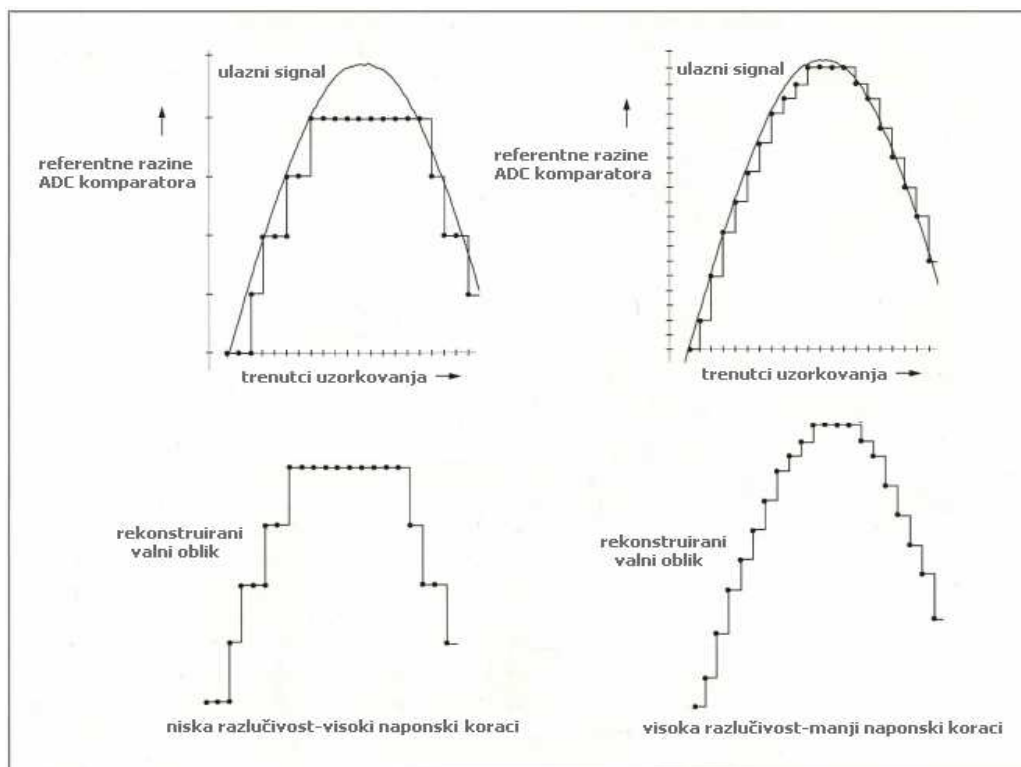


Slika 3.3. Analogno-Digitalni pretvarač

Svaki komparator provjerava da li je amplituda uzorka viša ili niža od referentnog napona (ako je viša izlaz je aktivan, a ako je niža, neaktivan). Svi komparatori imaju neznatno različite referentne napone, izvedene preko lanca otpornika iz jedinstvenog izvora referentnog napona. Za bilo koju vrijednost amplitude uzorka, određeni broj komparatora će biti aktivan a svi ostali neaktivni. Kodni pretvarač (Code Converter) u ADC pretvorniku vrijednost uzorka pretvara u digitalne riječi i šalje ih u memoriju. Ovu vrstu ADC pretvornika nazivamo i bljeskoviti pretvornik (Flash Converter), jer analogni ulazni napon „bljeskovito“ pretvara u digitalnu riječ. Također moguće je koristiti i druge vrste pretvornika, gdje se pretvorba signala obavlja u nekoliko koraka, ali oni imaju nedostatak da im je vrijeme pretvorbe po uzorku duže.

3.3. Vertikalna razlučivost

Osnovna funkcija AD pretvornika je odrediti amplitudu uzorka uspoređujući ga sa vrijednošću referentnog napona. Veći broj kompartora i duži lanac otpornika omogućavaju prepoznavanje više naponskih razina ulaznog signala, čime je određena vertikalna razlučivost (rezolucija) osciloskopa. Veća vertikalna razlučivost omogućava prikaz manjih detalja signala u valnom obliku (slika 3.4.).



Slika 3.4. Efekt vertikalne rezolucije na prikaz valnog oblika

Broj naponskih razina koji se može prepoznati i kodirati, može se izračunati kao:

$$N_r = 2^n \quad (3.1)$$

gdje je: N_r – broj nivoa, a n – broj bitova

Većina Osciloskopa koristi 8-bitne pretvarače koji su u stanju opisati signal sa $2^8 = 256$ različitih naponskih razina. To daje dovoljno podataka za mjerenja i proučavanje signala. Na taj način, najmanji korak signala prikazan je otprilike iste veličine kao promjer pixela na CRT ekranu. Jedna izlazna riječ ADC pretvornika predstavlja vrijednost jednog uzorka, sadrži 8 bita, te se naziva Byte. Praktično ograničenje za sve veću razlučivost jeste cijena. Rekonstrukcijom ADC pretvornika svaki dodatni bit u izlaznoj riječi zahtjeva dvostruko veći broj komparatora i veći broj kodnih pretvarača. To uzrokuje dvostruko zauzimanje memorijskog prostora i procesorske snage, i usporava rad okolnog sklopovlja. Dodatna rezolucija, dakle povećava cijenu izvedbe.

3.4. Vremenska baza i horizontalna razlučivost

Zadatak horizontalnog sistema digitalnih osciloskopa je da osigura pohranu akviziranih uzoraka u pravom trenutku. Kao i kod analognih osciloskopa, brzina horizontalnog otklona ovisi o postavkama vremenske baze (s/pod.). Ukupnu skupinu uzoraka koja čini jedan valni oblik, nazivamo zapis, a može se koristiti za rekonstrukciju jednog ili više ekrana. Broj uzoraka koji se mogu pohraniti zovemo duljina zapisa ili akvizicijska duljina, izraženo u Byte ili KByte, gdje 1 KByte (1 KB) sadrži 1.024 uzorka. Obično, osciloskopi prikazuju 512 uzoraka preko horizontalne osi. Zbog jednostavnog korištenja, ovaj broj uzoraka je prikazan kao horizontalna rezolucija od 50 uzoraka po podjeli. To znači da je vodoravna os dužine $512 / 50 = 10,24$ podjele.

Iz toga proizlazi da se vremenski interval između uzoraka može izračunati. Za postavku vremenske baze od 1 ms/div. i 50 uzoraka po podjeli, interval uzorkovanja može se izračunati kao:

$$I_u = 1/50 = 20 \mu s. \quad (3.2)$$

Brzina (frekvencija) uzorkovanja je obrnuto proporcionalna intervalu uzorkovanja:

$$V_u = 1/I_u. \quad (3.3)$$

Obično je broj uzoraka koji se mogu prikazati stalan, a mjenjanje postavki vremenske baze uzrokuje promjenu brzine uzorkovanja. Brzina uzorkovanja određena je za pojedinačni instrument i vrijedi samo za određene postavke vremenske baze. Na nižim postavkama vremenske baze, koristi se niža učestalost uzorkovanja.

Za osciloskop koji ima maksimalnu brzinu uzorkovanja od 100 MS/s, postavke vremenske baze za neke brzine uzorkovanja su;

$$P_{vb} = 50 * I_u = 50/V_u = 50/(100 * 10^6) = 500 ns / pod \quad (3.4)$$

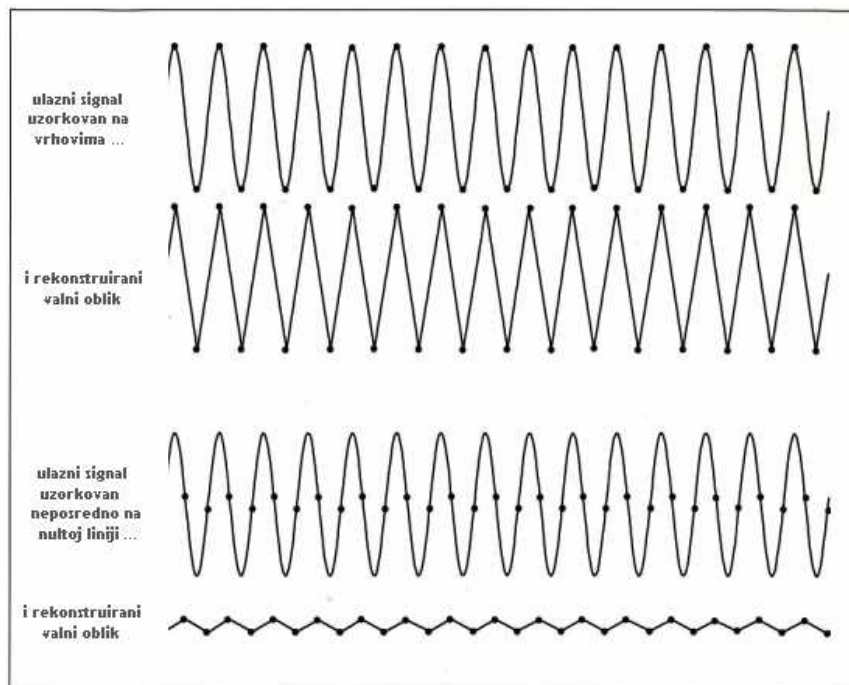
Važno je znati da su ovako dobivene postavke vremenske baze, postavke za najbržu akviziciju ne-ponavljajućih signala, koje daju najbolje moguće vrijeme razlučivosti. Te postavke poznate su kao 'maksimalne-udarne postavke vremenske baze' za koje se koristi 'maksimalna brzina uzorkovanja u stvarnom vremenu'. To je brzina uzorkovanja koje je navedena u specifikacijama instrumenta.

Korisno vrijeme porasta instrumenta definira najbrže prijelazne pojave koje je instrument u mogućnosti ispravno obraditi. Za analogni osciloskop, to ovisi samo o analognom sklopovlju. Ako koristimo DSO, najbrži prijelaz koji može doseći, ovisi o analognim sklopovima, kao i o vremenskoj rezoluciji. Za ispravno mjerenje vremena porasta, dovoljan broj detalja mora biti akviziran na graničnim dijelovima, odnosno tijekom prijelaznih promjena. To vrijeme porasta nazivamo korisno vrijeme porasta kod DSO, a određuju ga postavke vremenske baze. Za ispravno mjerenje vremena porasta, dovoljno detalja mora biti akvizirano na rubnim dijelovima, što znači da brojni uzorci moraju biti akvizirni tijekom prijelaznih pojava. Različite primjene osciloskopa zahtijevaju mjerenje prekidnih karakteristika signala, npr. rast i opadanje.

3.5. Maksimalna frekvencija uzorkovanja

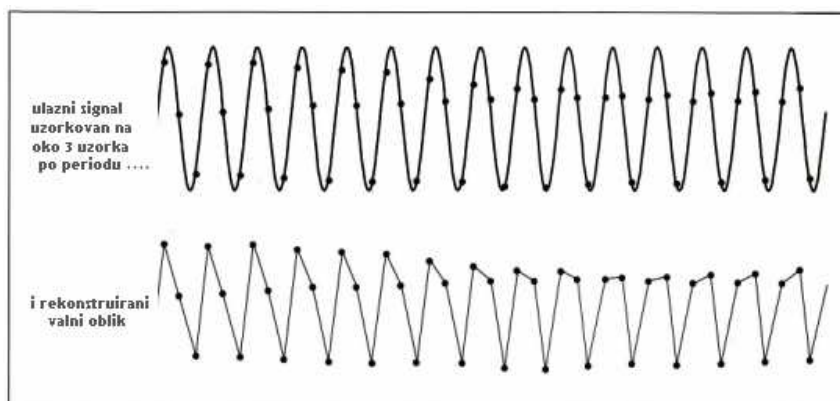
Od kada su započeli prvi pokušaji digitalizacije signala, istraživanja su pokazala da je za pravilan oporavak signala potreban takt uzorkovanja frekvencije najmanje dvostruko više od frekvencije samog signala, što je općenito poznato kao Shannonov teorem uzorkovanja. Međutim, treba imati na umu da je ovo istraživanje provedeno za komunikacije, a ne za osciloskope. Ako pogledamo sliku 3.5. (gore) čini se da se frekvencija signala zaista može rekonstruirati ako je takt uzorkovanja dvostruko veći od frekvencije signala kojeg koristimo. Uz odgovarajuće rekonstrukcijske uvjete dobiti ćemo valni oblik koji je približno nalik na originalni signal. Međutim, da li je to zaista tako jednostavno?

Pretpostavimo da se uzorci uzimaju u neznatno različitim vremenskim trenutcima s istim taktom uzorkovanja, ali ne nužno na vrhovima signala. Svaka informacija o amplitudi biti će pogrešna, ili čak potpuno izgubljena. U stvari, ako su uzorci uzimani točno na presjeku sa nultom linijom (vidi sliku 3.5. dolje), nemoguće je rekonstruirati signal, jer svi uzorci predstavljaju istu vrijednost signala: nula.



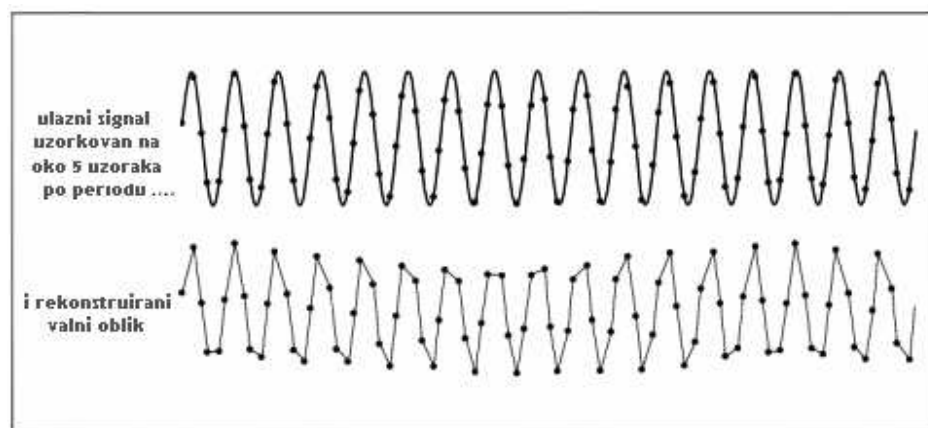
Slika 3.5. Sinusoidni signal uzorkovan sa dvije frekvencije signala, uz vrhove i uz nultu liniju

Osciloskopi se koriste za proučavanje signala, što zahtijeva precizan valni oblik ispravane amplitude i frekvencije. Na slici 3.6. prikazano je kako tri uzorka u periodu pogoršavaju vjernost rekonstrukcije signala.



Slika 3.6. Signal uzorkovan sa 3 uzorka u period

Kao praktično pravilo, uzima se da je deset uzoraka u periodu minimalni broj koji garantira dovoljno signalnih detalja. Signali sa manje detalja zahtijevaju pet uzoraka u periodu što može biti dovoljno za prikaz osnovnih karakteristika signala (vidi sliku 3.7.).

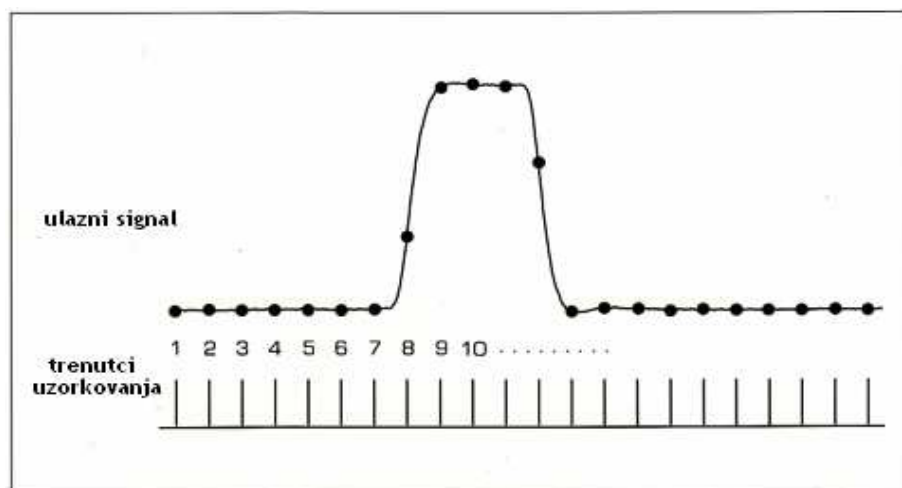


Slika 3.7. Signal uzorkovan sa 5 uzoraka u periodu

Za osciloskope sa maksimalnom brzinom uzorkovanja od 200 MS/s., proizlazi da je maksimalna frekvencija ispravno rekonstruiranog signala od 20 do 40 MHz. U tim slučajevima, kvaliteta prikaza može se poboljšati posebnim sistemom prikaza koji najbolje iscrtava sinusni valni oblik kroz uzorke, što je poznato kao sinusna interpolacija.

3.6 Uzorkovanje u stvarnom vremenu

Uzorkovanje u stvarnom vremenu ili akvizicija predstavlja prethodno opisani postupak digitalizacije. Svi uzorci uzimaju se na isti način, određenim redoslijedom kako se ponavljaju dijelovi signala na zaslonu osciloskopa. Samo jedan okidni uvjet uzrokuje ukupnu akviziciju. To je prikazano na slici 3.8.



Slika 3.8. Uzorkovanje u stvarnom vremenu

U mnogim primjenama, vremenska rezolucija koja je dostupna u stvarnom vremenu uzorkovanja nije dovoljna. Često se signali za ove namjene ponavljaju, tj. jednak uzorak signala se ponavlja u pravilnoj rezoluciji koja je dostupna u stvarnom intervalima. Za te signale, osciloskopi mogu izgraditi valni oblik iz skupine uzoraka, uzimanih u uzastopnim ciklusima signala. Svaka nova skupina uzoraka uzima se od novog okidnog uvjeta.

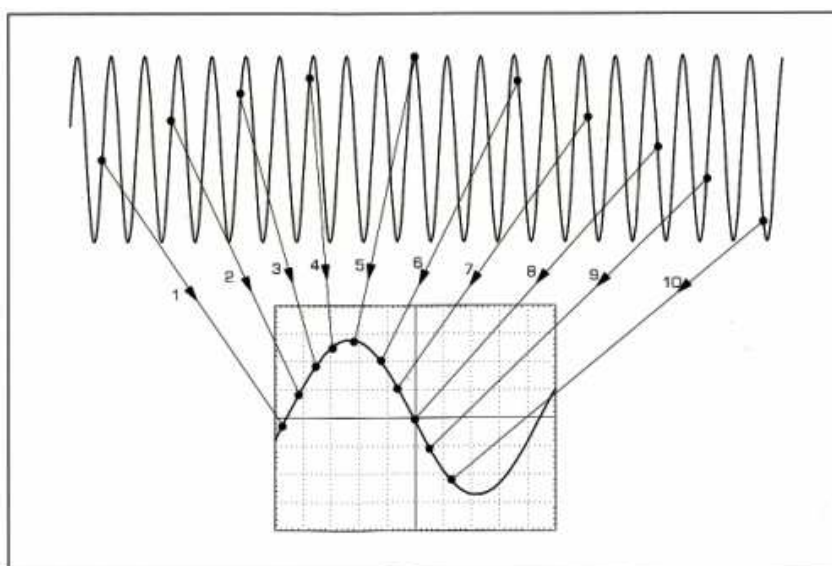
To nazivamo *odgovarajuće vrijeme uzorkovanja*. Na taj način, nakon jednog okidnog uvjeta osciloskop akvizira mali dio signala, na primjer pet uzoraka, i pohranjuje ih u memoriju. Slijedeći okidni uvjet koristi se za uzimanje slijedećih pet koji su pohranjeni na različitim lokacijama u istoj memoriji, i tako dalje. Nakon velikog broja okidnih događaja, dovoljno uzoraka je pohranjeno u memoriji za rekonstrukciju kompletnog valnog oblika na zaslonu.

Odgovarajuće vrijeme uzorkovanja poboljšava rezolucija osciloskopa kod rekonstrukcije ponavljajućih valnih oblika iz različitih perioda. Na primjer, za digitalni osciloskop sa vremenskom bazom postavljenom na 5 ns/pod., koji prikazuje 50 uzoraka po podjeli možemo izračunati učestalost odgovarajućeg vremena uzorkovanja – V_{eu} kao:

$$V_{eu} = \frac{50}{5ms} = \frac{50}{5 \cdot 10^{-9}} = 10000 Ms/s = 10Gs/s \quad (3.5)$$

Ova brzina odgovarajućeg uzorkovanja je neizravni način prikaza horizontalne rezolucije za visoke postavke vremenske baze. To također pokazuje brzinu uzorkovanja koje bi bila potrebna da se dostigne ista vremenska rezolucija, ako je korišteno uzorkovanje u stvarnom vremenu. Ova brzina odgovarajućeg uzorkovanja je daleko veća nego brzina u stvarnom vremenu uzorkovanja koja se može postići u sadašnjosti. Odgovarajuće uzorkovanje koristi dvije različite tehnike: uzastopno i slučajno uzorkovanje.

Uzastopno uzorkovanje, je način uzimanja uzoraka u fiksnom redoslijedu, s lijeva na desno preko ekrana. Svaki uzorak je nastao kao rezultat novog okidnog uvjeta. Da bi popunili cijelovit blok podataka, okidni uvjeti redoslijedom formiraju zahtijevane pozicije memorije (vidi sliku 3.9.).

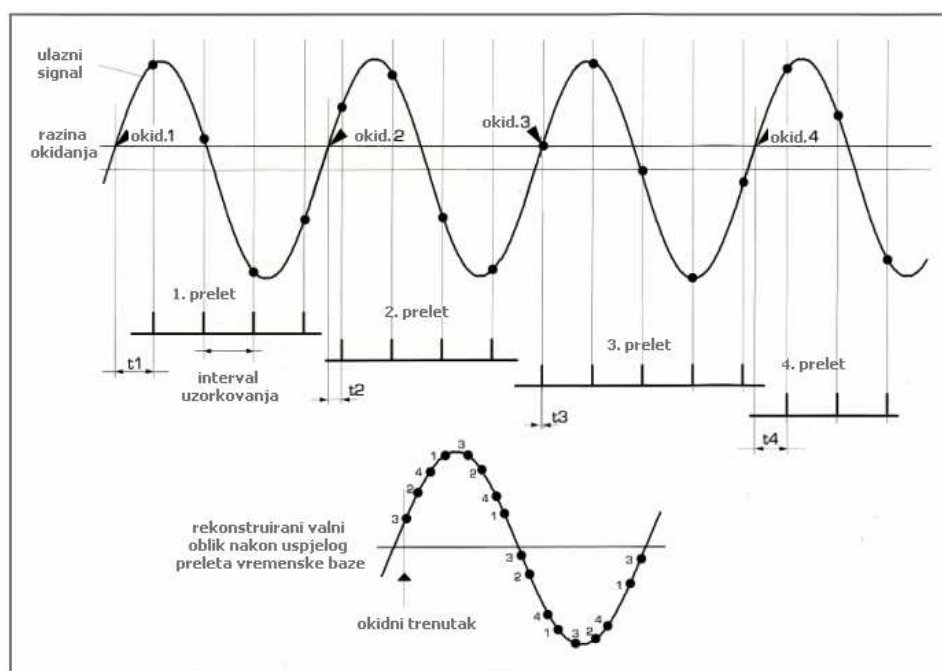


Slika 3.9. Prikaz uzastopno uzorkovanog valnog oblika

Prvi uzorak se uzima upravo nakon prvog okidačkog uvjeta i pohranjuje se trenutno. Slijedeći okidni uvjet se koristi za pokretanje mjerenja vremena koje uzrokuje malo kašnjenje Δt , prije uzimanja drugog uzorka. Vremenska razlučivost trasiranja memorije jednaka je malom kašnjenju Δt i može biti manja od 50 piko-sekundi.

Nakon trećeg okidnog uvjeta, mjerenje vremena uzrokuje kašnjenje jednako $2At$, prije uzimanja trećeg uzorka, i tako dalje. Svaki novi 'n' –ti uzorak uzima se nakon neznatno dužeg kašnjenja $(n-1)*At$ s obzirom na slične okidačke uvjete. Rezultat toga je zaslon predložen s uzorcima fiksnog redoslijeda, od prvog uzorka na krajnjoj lijevoj strani zaslona, pa do svakog slijedećeg uzorka na desno, koji prikazuju valni oblik. Broj uzimanja uzoraka, a time i broj okidnih događaja, jednak je duljini zapisa. Uzastopno uzorkovanje omogućava kašnjenje naknadnim okidanjem, ali ne može osigurati informaciju koja prethodi okidnom uvjetu. Punjenje sloga podataka sa brzim postavkama vremenske baze traje vrlo ograničeno vrijeme i puno je brže nego kod slučajnog uzorkovanja.

Slučajno uzorkovanje je način akviziranja grupe uzoraka u slučajnim trenucima neovisno o okidnim uvjetima. Ti uzorci pripadaju određenom vremenskom intervalu, a određeni su taktom uzorkovanja. Dok se uzorci uzimaju i pohranjuju neprekidno, instrument čeka da se dogodi okidni uvjet. Kada nastane jedan okidni uvjet, tajmer određuje vrijeme mjerenja do slijedećeg trenutka uzorkovanja. Budući da je interval uzorkovanja određen, mjerenje omogućuje osciloskopu da obuhvati mjesta u memoriji za sve akvizirane uzorke (vidi sliku 3.10).



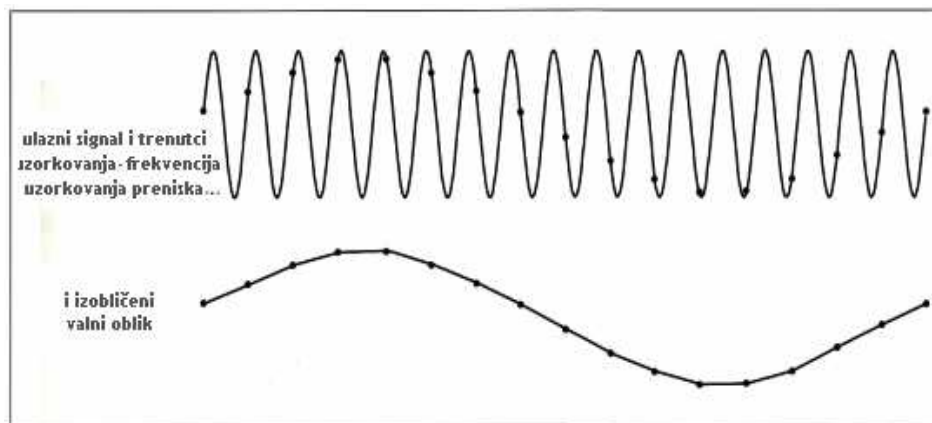
Slika 3.10. Nasumično uzorkovanje i prikaz valnog oblika signala

Nakon što su pohranjeni svi uzorci prve akvizicije, nova grupa uzoraka se akvizira i čeka se novi okidni uvjet. Čim dođe do njega, novo vrijeme mjerenja daje pozicije tih novih uzoraka. Nadajmo se da će ispuniti prazna mjesta u memoriji, između pozicija ispunjenih tijekom prvog slijeda. Na taj način, valni oblik predočavaju skupine uzoraka koji se pojavljuju nasumično duž vodoravne osi. Za najbrže postavke vremenske baze, spremanje potpunih slogova podataka slučajnim uzorkovanjem zahtijeva mnogo više vremena nego kada koristimo uzastopno uzorkovanje, jer je bit statistike ispuniti sve prazne memorijske lokacije. Velika korist od tehnike slučajnog uzorkovanja je u tome što omogućava predhodno i naknadno okidanje kod spremanja informacija.

Nabojem spregnuti uređaj (Charge Coupled Device, CCD) koriste neki osciloskopi kao analogni posmični registar. On se sastoji od niza malih ćelija, koje mogu pohraniti određeni električni naboj, a predstavljaju uzorak signala. Sukladno taktnim impulsima, ćelije mogu prenijeti svoje stanje određenim smjerom od jedne do druge. CCD se može koristiti s veoma brzim taktom uzorkovanja za pretvorbu analognih informacija. Nakon što su popunjene sve ćelije, brzi takt se zaustavlja, a sporiji se koristi za izčitavanje informacija standardnom analogno-digitalnom pretvorbom, a brzina prihvata podataka ovisi samo o brzini CCD ulaznog takta. Ako takt uzorkovanja kontinuiran i prestaje čim okidni signal dolazi, sve ćelije unutar CCD-a će sadržavati uzorke koji su akvizirani prije okidnog momenta. Zbog toga će cijeli CCD biti ispunjen informacijama koje prethode okidanju, što je veoma dragocjeno za proučavanje uzroka i ponašanja sustava.

3.7 Smetnje zbog preklapanja

Kao što smo vidjeli, minimalni broj uzoraka je potreban za rekonstrukciju valnog oblika. U svim slučajevima uzorkovanja takt mora biti pet do deset puta veći od frekvencije signala. Ako je takt uzorkovanja niži od frekvencije signala, dobit ćemo neočekivane rezultate. Pogledajmo situaciju kao na slici. 3.11.



Slika 3.11. Poduzorkovan sinusoidni valni oblik

Kao što pokazuje crtež, uzastopni uzorci uzimani su iz različitih ciklusa valnog oblika, međutim, svaki novi uzorak akviziran je s nešto dužim vremenskim intervalom, s obzirom na križanje sa nultom linijom. Ako prikažemo rekonstruirani valni oblik iz tih uzoraka, na zaslonu će se ponovo prikazati sinusoidni valni oblik, ali frekvencije potpuno drugačije od frekvencije ulaznog signala! To je poznato kao problem prikazivanja kretanja u stvarnom vremenu – *alias* – odnosno 'duh' (ghost signal) pogrešne frekvencije. On može, međutim predočiti ispravan valni oblik, a često i ispravnu amplitudu! Većina modernih osciloskopa opremljena je s tzv. 'Autoset' mogućnostima za automatsko biranje odgovarajućeg faktora otklona i postavki vremenske baze dok je ulazni signal prespojen, a isto tako pomaže kod izbjegavanja preklapanja (*aliasa*)! U slučajevima gdje frekvencija signala odstupa toliko da su odabrane postavke vremenske baze ispravne u jednom trenutku, ali u drugom (ili za drugi dio signala) prikazuje preklapanje, detekcija vrhova (vidi stavak 3.11) može se koristiti za određivanje ispravne amplitude signala u svakom trenutku.

Da bi postigli izvornu sliku nekog kompleksnog signala, preporuča se analogni *CombiScope* mod. Osim toga preklapanje (*aliasing*) je nemoguće u analognom modu!

Pojedinačni udarni signali se mogu akvizirati digitalnim osciloskopom koji posjeduje mogućnosti naknadnog pohranjivanja informacija o valnom obliku, za razliku od analognih osciloscopa. To čini DSO posebno vrijednim za proučavanje pojava koje imaju nisku učestalost ponavljanja ili koje se ne ponavljaju u cijelosti, tzv single-shot odnosno udarnim signalima. Takvi primjeri su mjerenja navalnih struja električnih sustava ili mjerenja tijekom destruktivnih testova koji se u pravilu mogu izvršiti samo jednom. U praktičnoj primjeni neponavljajući ili single-shot signali pojavljuju se u mnogim sustavima. Premda analogni osciloskopi često imaju single-shot opcionalnosti koje omogućavaju da se izvrši samo jedan prebris vremenske baze, osciloskopi sa digitalnom pohranom najbolje prikazuju detaljne podatke valnog oblika. Za single-shot akvizicije, instrument prvo mora biti pripremljen za okidanje. Obično su za to predviđene dodatne kontrolne opcije, pod nazivom 'singl' ili 'singl-reset'.

3.8 Vrste zaslona

Na samom početku objasnili smo zašto je katodna cijev srce svakog osciloscopa. Kao što je tamo opisano, otklon elektronskog snopa se postiže promjenom napona između dvije otklonske ploče, što nazivamo elektrostatsko otklanjanje. Ovaj otklonski sustav može raditi u veoma širokom rasponu frekvencija, od DC pa do najviših. To koriste analogni osciloskopi gdje se ulazni signal, nakon prigušenja ili pojačavanja, dovodi neposredno na otklonski sustav. Zato se analogni osciloskopi često uzimaju kao 'najpouzdaniji' instrumenati za mjerenje signala, jer ono što vidimo na zaslonu katodne cijevi je upravo to što se događa u sustavu koji testiramo. Otklon određuju ulazni signal i vremenska baza, koji zajedno vode elektronski snop na pozicije zaslona koje treba osvijetliti. Ovaj tip zaslona zove se *vektorski skeniran zaslon*.

Kod osciloscopa sa digitalnom pohranom, valni oblik je akviziran i zapisan u memoriji prije nego što se prikazuje. Kod nekih osciloscopa sa digitalnom pohranom, postoji i drugi tip katodne cijevi, sličan onome kod PC monitora i televizora, kod kojih snop otklanja magnetsko polje pomoću zavojnice koja je montirana izvan katodne cijevi, što nazivamo magnetski otklon. Ove cijevi mogu raditi sa ograničenim opsegom otklonskih frekvencija, na istom principu kao i TV ekrani, gdje su linije napisane za fiksne frekvencije s lijeva na desno, jedna blizu druge. Ispisivanje jednog kompletnog ekrana (punog polja) može uzeti 500 ili više linija. DSO izračunava koje točke na ekranu moraju biti osvijetljene, a kad otklonski sustav dosegne te točke na zaslonu mlaz elektrona ih intenzivira. Ovaj tip zaslona se naziva *rasterski skeniran zaslon*, a koriste ga samo digitalni osciloskopi sa pohranom, a nikako analogni. Ono što vidimo na zaslonu nije ulazni signal, već rekonstrukcija podataka koji opisuju ulazni signal, uzetih u nekim ranijim vremenskim trenucima.

3.9 Funkcije i kontrole digitalnih osciloscopa

Osnovne mogućnosti Digitalnih osciloscopa sadrže neke kontrole koje nemaju analogni osciloskopi. Ovdje ćemo analizirati najčešće od njih.

Prethodno i naknadno okidanje su mogućnosti koje posjeduju digitalni osciloskopi za prikaz zahtijevanog dijela valnog oblika koji može nastupiti nakon ili čak prije samog okidanja. Kod analognih osciloscopa, svako prebrisavanje vremenske baze pokrenuto je okidačkim uvjetom. Zbog toga se ponašanje signala može promatrati od okidnog trenutka pa dalje. Zahtijevani dio valnog oblika može se pojaviti kasnije ili čak i ranije nakon dijela signala koji je određen okidanjem.

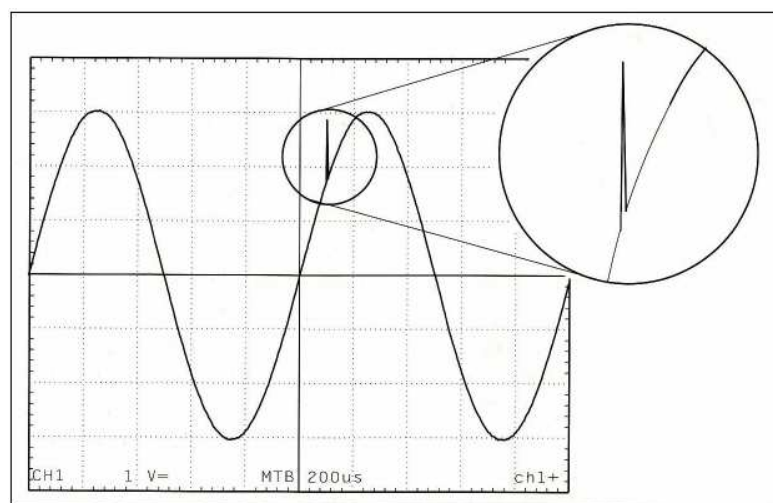
Na primjer, ako poluvodič provodi, izlazni signal može biti visoke amplitude i može se koristiti za okidanje u osciloskopu. Međutim, ako želite proučavati mali ulazni signal koji uzrokuje da poluvodič započne provoditi, on može biti premalen za ispravno okidanje osciloskopa. To nazivamo tzv. *Sposobnost prikaza prethodnim okidanjem*, odnosno sposobnost okidanja signala (u ovom slučaju visokog izlaznog signala), dok se on prikazuje prije okidnog trenutka. To omogućuje detaljan višekanalni prikaz sustava s ulaznim i izlaznim signalima da se vidi što uzrokuje odziv sustava.

U drugim situacijama, ako želimo veoma detaljno proučavati dio signala koji se odvija nakon okidnog uvjeta, na primjer, za odrediti količinu istitravanja pravokutnog signala, možemo koristiti osciloskop s kašnjenjem sa naknadnim okidanjem ili *Sposobnost prikaza naknadnim okidanjem*. Osciloskop se tada okida na rubu, a vremenska baza se postavi na visoku brzinu za prikaz istitravanja. Za određivanje okidanja, uključujemo tajmer kašnjenja naknadnog okidanja. Ovo se može podesiti da odredi trajanje punog perioda. Nakon što je odabrano vrijeme kašnjenja isteklo, osciloskop počinje akviziranje signala. U ovom primjeru to je neposredno prije sljedećeg rastućeg brida pravokutnog signala. Budući da je kašnjenje tajmera kontrolirano veoma stabilnim kristalnim digitalnim satom koji radi neovisno o signalu kojeg testiramo, svako istitravanje signala biti će prikazano na dostignutom bridu kao nestabilnost. To znači da će uzastopnim akviziranjem brid dosegnuti u različitim trenutcima (različitim pozicija na ekranu) s obzirom na okidne uvjete.

Kontrolu pozicioniranja okidanja koriste osciloskopi koji pružaju mogućnosti prethodnog i naknadnog pokretanja okidanja, kao neki način njihove kontrole što omogućava pomicanje točke okidanja preko ekrana ili preko akviziranog zapisa. Na nekim instrumentima točka okidanja može biti postavljena na ograničen broj unaprijed programiranih vrijednosti ali samo na početku, u sredini i na kraju akviziranog zapisa. Fluke 3394A stoga omogućava da trenutak okidanja možemo postaviti na bilo koje mjesto u ukupno akviziranom zapisu. Okidni trenutak je također stalno promjenljiv.

Pojava izboja podrazumijeva nastajanje izobličenja (glitch) signala koji su obično u obliku šiljaka ili oštih propusta a mogu biti rezultat preslušavanja iz drugih krugova ili blizine energetske vodova u okolini testiranog sustava.

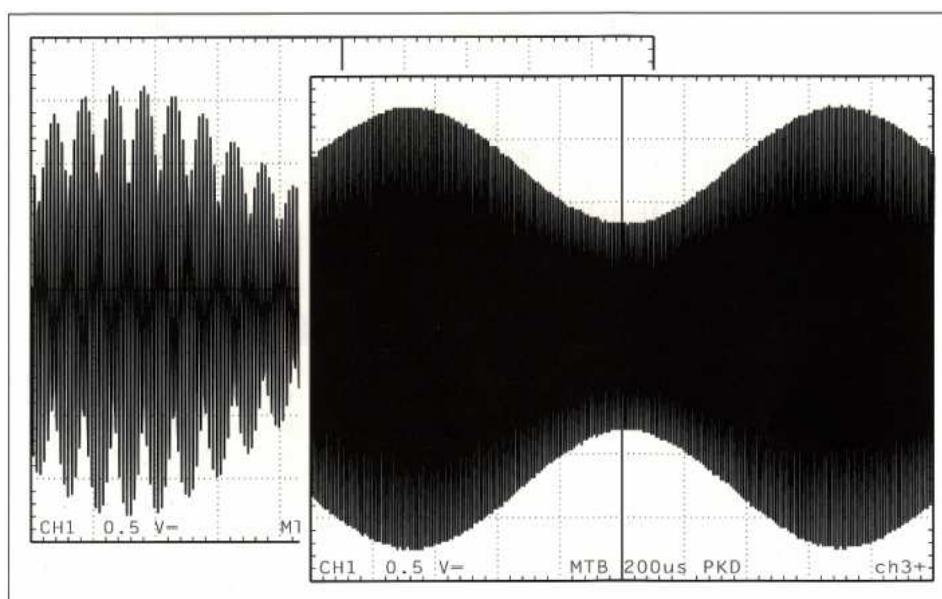
Slika 3.12. pokazuje sinusoidni val koji je izobličen brzim izbojem ili šiljkom.



Slika 3.12. Sinusoidni val sa preklapajućim izbojem

Ovi izboji su često uzrok kvara sustava. Međutim, dali ih možemo pronaći na zaslonu osciloskopa? Analognim osciloskopom, te izboje ćemo vidjeti samo ako se ponavljaju i ako su sinkroni s glavnim signalom. Ili, ako imamo sreće, a nastane više tih izboja, možda ćemo ih vidjeti kao "maglu" oko glavnog signala. Obično se ovi izboji dogode samo ponekad i tada obično nisu sinkroni budući da potječu iz drugog sustava. Dakle, možemo ih pronaći s digitalnim osciloskopima? Ne nužno, jer moramo biti sigurni da je osciloskop opremljen za hvatanje tih brzih izboja. Kao što smo vidjeli, digitalni osciloskop uzima uzorke ulaznih signala u određenim trenucima. Vrijeme između uzoraka ovisi o postavkama vremenske baze, što je ranije opisano (vidi 'Horizontalna razlučivost'). Ako je izboj uži od vremenske rezolucije, pitanje je sreće, dali će biti akviziran. Odgovor na ovo pitanje daje Otkrivanje šiljaka ili hvatanje izboja. Za otkrivanje šiljaka, osciloskop stalno prati amplitudu valnog oblika i privremeno pohranjuje šiljke amplitude, pozitivne i negativne, pomoću detektora šiljaka. U trenutku kada uzorak treba biti prikazan, sadržaj bilo pozitivnog ili negativnog detektora šiljka se digitalizira i detektor se izbriše. Prikazani uzorci, kako slijedi naizmjenično daju pozitivne ili negativne šiljke kao što su otkriveni u signalu od posljednje digitalizacije. Otkrivanje šiljaka pomaže pronaći signale koji bi inače mogli biti propušteni zbog preniske brzine uzorkovanja ili koji bi mogli biti izobličeni kao rezultat preklapanja.

Otkrivanje šiljaka je također veoma korisno za izdvajanje moduliranih signala poput AM valnog oblika na slici. 3.13.



Slika 3.13. AM modulirani signal izdvojen bez i sa detekcijom šiljaka

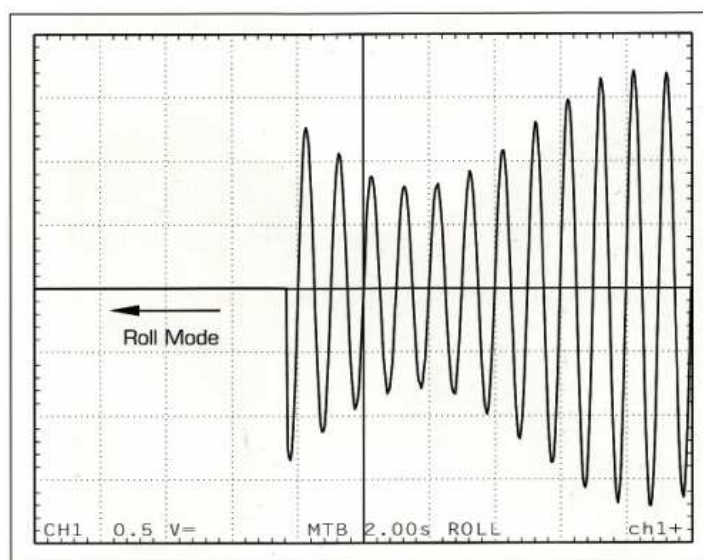
Za ovu vrstu signala, vremenska baza mora biti postavljena tako da odgovara frekvenciji modulacije koja je obično u audio opsegu dok je frekvencija vala nosioca obično 455 kHz ili iznad. Bez otkrivanja izboja signal se ne može ispravno akvizirati, a uz otkrivanje izboja slika na zaslonu biti će slična onoj na analognom osciloskopu.

Otkrivanje šiljaka provodi se u osciloskopu pomoću hardverskog (ili analognog) detektora šiljaka ili pomoću brzog (digitalnog) uzorkovanja.

Analogni detektor šiljaka je pridodani dio hardvera koji pohranjuje šiljke signala kao napon u kondenzatoru. Zbog toga je relativno spor, obično može pohraniti samo šiljke ili izboje razboritih amplituda šire od nekoliko mikrosekundi.

Digitalni detektori šiljaka su izgrađeni oko ADC, u kojem se uzorkovanje mora odvijati neprekidno na najvišoj mogućoj brzini uzorkovanja. Te vršne vrijednosti se potom pohranjuju u dodjeljenoj memoriji i tretiraju kao trenutna vrijednost uzorka koji se treba prikazati. Digitalni detektor šiljaka ima prednost jer mu brzina odgovara brzini digitalizacije. Instrument koji koristimo kao primjer je, Fluke PM 3394A, koji snima izboje uže od 5 ns ispravnih amplituda, čak i pri vrlo niskim postavkama vremenske baze kao što je 1 sekunda po podjeli!

Kotrljajući način rada je također jedna od posebnih mogućnosti osciloskopa. Digitalni osciloskop prikazuje valni oblik na sličan način kao što se vidi na analognom osciloskopu, počevši od okidačkog uvjeta, instrument stječe uzorke i pohranjuje ih na uzastopne pozicije u memoriju. Nakon što je posljednje mjesto u memoriji ispunjeno novim podacima, zaustavlja se proces akvizicije kako bi se omogućilo instrumentu da kopira podatke o valnom obliku u memoriju zaslona. Za to vrijeme nema prikupljanja novih podataka, baš kao i kod analognih osciloskopa koji nisu u mogućnosti prikazati valni oblik za vrijeme dok se vremenska baza ne vrati na početak. Kod nisko frekventnih primjena, gdje promjene prije mogu trajati nekoliko minuta nego mikrosekunda, digitalni osciloskopi se mogu koristiti na način koji omogućava potpuno kontinuirani prikaz, tzv., kotrljajući način (roll mode). U ovom načinu rada, uzorci se akviziraju i trenutno kopiraju na zaslon. Međutim, ovi novi uzorci pojavljuju se na desnoj strani ekrana, a postojeći valni oblik pomiče se u lijevo, što možemo vidjeti na slici 3.14.



Slika 3.14. Pomični Roll način rada

Najstariji uzorci nestaju nakon što dosegnu lijevu stranu zaslona katodne cijevi. Ovaj način prikaza uvijek pokazuje kontinuirani pregled ponašanja najnovijih signala tijekom vremena. U ovom načinu rada, osciloskop možemo koristiti kao zamjenu za grafoskop kod prikazivanja sporo promjenjivih pojava, npr. kemijskih procesa, punjenja i pražnjenja baterija ili utjecaja temperature na ponašanje sustava.

Prikaz povećanja koristi se kod analognih i digitalnih osciloskopa. Kod analognih osciloskopa, vremenska baza može biti uvećana do deset puta za povećanje sitnih detalja, za razliku od digitalnih gdje prikazan valni oblik možemo proširiti na više i manje korake. Obično povećalo vremenske baze radi s bazom 2, odnosno povećava 2, 4, 8 ili 16 puta itd.,. Vertikalno povećanje je pogodno kao zamjena za povećanje vertikalne osjetljivosti dok je valni oblik pohranjen u memoriji, npr. kod single-shot udarne akvizicije.

3.10 Posebni načini okidanja

Mogućnost pohranjivanja čini digitalne osciloskope iznimno korisnim za akviziciju signala koje se događaju vrlo rijetko ili samo jednom, kao što su udarne single-shot pojave ili zaključivanje sustava. Prikupljanje podataka takvih signala zahtijeva svestran okidni sustav za detekciju posebnih uvjeta za pokretanje akvizicije. Okidanje bridom često je nedovoljno za ove signale, pa su zato razvijene dodatne okidne mogućnosti, od kojih ćemo neke razmotriti.

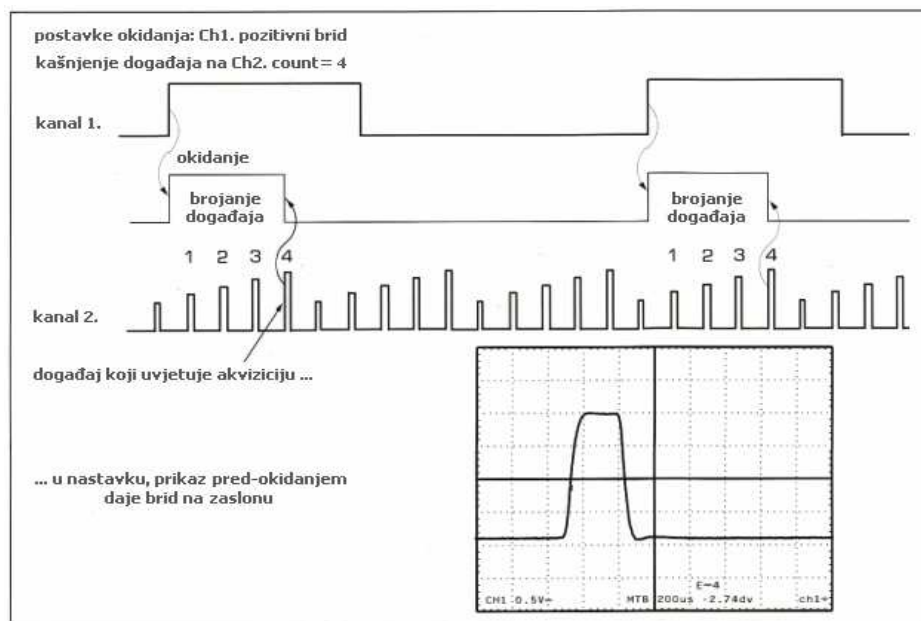
Okidanje po uzorku koristi se u hardverskoj logici, gdje se signali transportiraju pomoću velikog broja paralelnih linija. Trenutno stanje hardvera opisano je stanjem brojeva na ovim linijama, koje očitava instrument u nekom trenutku. Korištenjem okidanja po uzorku moguće je pratiti, npr., stanje na četiri linije. Trenutno se detektira korisnički opisan uzorak (npr. HHLH ili 1101) ili riječ, koja okida osciloskop. Budući da je okidnje po uzorku dizajnirano za korištenje u digitalnoj logici, logička stanja na pojedinim linijama mogu se pratiti kao visoka (High) ili niska (Low) stanja, ili se mogu ignorirati (neprepoznatljivo ili x).

Okidnje logičkim stanjem koristi se također u hardverskoj logici koja je obično izgrađena oko glavnog taktnog sustava. Sav hardver sprema svoje ulazne signale sukladno taktu ovog sustava. Testni instrumenti također. Kada koristimo okidanje logičkim stanjem (state), ulazni signali se tretiraju kao sa okidanjem po uzorku, ali jedan od ulaznih signala je sada taktni signal. Osciloskop započinje okidanje ako unesena riječ sa tri ulaza, pohranjena u osciloskopu na rastući ili padajući rub taktnog impulsa, odgovara korisnički programiranom okidnom riječi.

Vremenski određeno okidanje omogućava osciloskopu da se aktivira na bilo koji od prethodno objašnjenih načina, ako je ispunjen uvjet za navedeno vrijeme, koje može biti minimalne ili maksimalne duljine trajanja ili vrijeme od najmanje do najviše vrijednosti. Vremenski određeno okidanje je vrlo korisno za okidanje osciloskopa u uvjetima koji ne odgovaraju normalnom ponašanju sustava. Također se može koristiti za pronalaženje prekida u signalu za koji se očekuje da bude stalno aktivan.

Uvjetno kašnjenje predstavlja sposobnost osciloskopa da koristi događaje odgode za okidanje na kombinaciju ulaznih signala, gdje se koristi jedan za odgodu akvizicije. Ciklus okidanja je inicirao glavni okidni signal, obično s jednog od ulaznih kanala. Nakon što je to primio, osciloskop počinje provjeru drugog ulaznog signala (koji isto tako može biti glavni okidač signala, ali na drugoj razini) i zbraja broj okidnih uvjeta za ovaj ulazni signal.

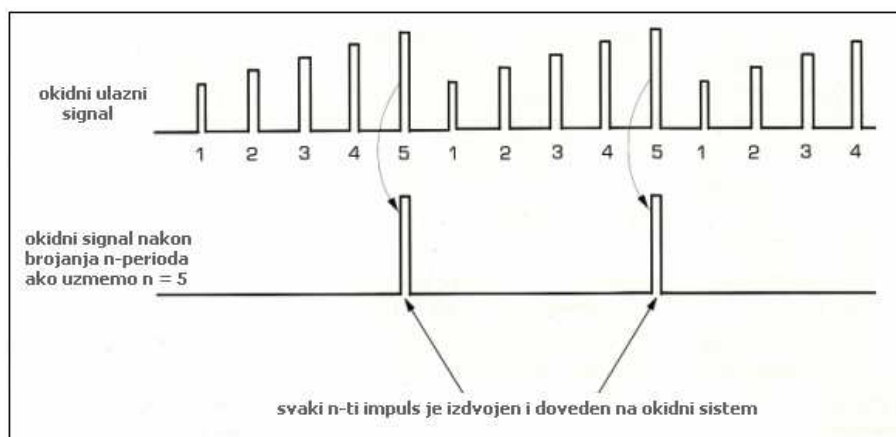
Kada se prethodno postavljeni broj uvjetnih događaja dosegne, akvizicija počinje, što možemo vidjeti na slici 3.15.



Slika 3.15. Uvjetno kašnjenje

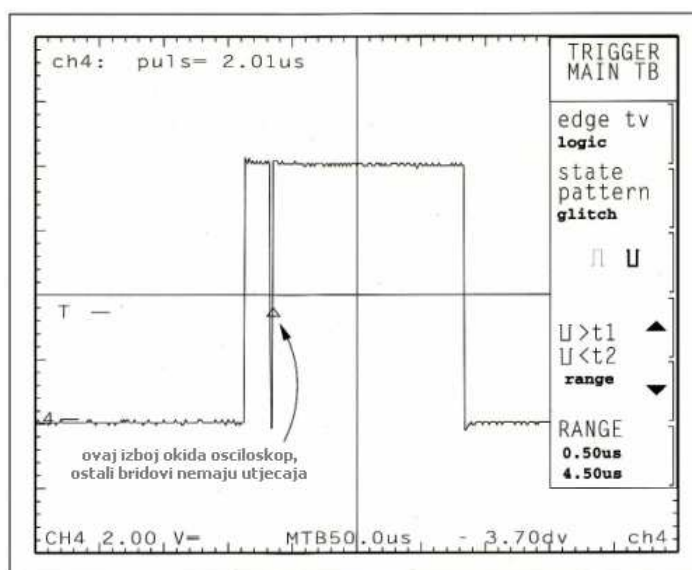
Tipične primjene uvjetnog kašnjenja su u serijske podatkovne linije, sustavi upravljanja i mehanička okolina.

N-ti ciklus koristi se za odabiranje svake n -te pojave ulaznog signala i može se primijeniti za uobičajeno okidanje sustava. To je korisno ako je signal izobličen nižim harmonicima, odnosno ako je signal periodičan, ali mu nisu svi periodi potpuno isti, primjerice, u sustavu u kojem se koristi fiksna frekvencija, ali je svaki 12. impuls širi od ostalih. Osciloskop sada možemo postaviti za odziv samo jednog od ovih širih impulsa odabirom ' N -ti ciklus = 12'.



Slika 3.16. n -ti ciklus okidanja

Okidanje po izboju omogućava okidanje osciloskopa na kratkim impulsima, odnosno izbojima ili šiljcima koje uzrokuju greške u radu sustava. Ako je sustav dizajniran za rad sa signalima od istosmjernih do signala određenih frekvencija, veće frekvencije mogu biti inducirane smetnjama u ožičenju, npr. kao rezultat preslušavanja ili preklapanja visokonaponskih prijelaznih pojava. Osciloskop može biti postavljen za okidanje na impulsima koji imaju trajanje kraće od polovine perioda najviše dozvoljene frekvencije, budući da možemo pretpostaviti da se oni ne pojavljuju za vrijeme normalnog rada. Još jedno područje upotrebe je u hardverskoj logici, gdje se sva stanja mijenjaju sinkrono sistemskom taktu. Kao rezultat toga, svi impulsi u takvom hardveru trebaju biti trajanja višestrukih perioda sistemskog takta. U takvim sustavima, greške se ponekad mogu pojaviti u kombinaciji sa impulsima različitih trajanja. Osciloskop možemo sada postaviti za okidanje na impulsima koji imaju trajanje kraće od taktnog ciklusa.



Slika 3.17. Preklapajuće (Glitch) okidanje

Pohranjivanje valnog oblika obavlja se u memoriji osciloskopa, nakon čega se on može kopirati u back-up memoriju, poznatu kao *registar memorijskih lokacija*, za analizu u kasnijoj fazi ili referentnu vrijednost u svrhu usporedbe. Digitalni osciloskopi su opremljeni određenim kapacitetom te memorije koja omogućava pohranu 2-200 valnih oblika. Memorija može biti organizirana za pohranu valnih oblika, u kojem je svaki višekanalno akvizirani valni oblik pohranjen zasebno ili kao podatkovna memorija, u kojoj su istovremeno pohranjeni svi akvizirani blokovi podataka istovremeno, bez obzira na broj kanala, a prikladnija je za čuvanje svih međusobno ovisnih podataka zajedno. Velika količina memorije je također prikladna za inženjere koji rade na terenu. Ona se može koristiti za pohranu svih svrsishodnih valnih oblika za vrijeme terenskih mjerenja, kao i njihovo naknadno kopiranje, odnosno premještanje u računalu zbog daljnje analize.

Prikaz algoritma, interpolacija i pridruživanje točaka podrazumjeva načine na koje se prikazuju rekonstruirani signali na zaslonu sastavljeni od brojnih uzoraka iz memorije osciloskopa. Ti uzorci su prikazani iscrtavanjem linije kroz njih, što se može učiniti na nekoliko načina. *Linearna interpolacija* je najlakši način iscrtavanja linije između točaka pomoću ravnih crta, koja daje dovoljno dobru rekonstrukciju valnog oblika dok su uzorci veoma blizu jedan drugoga, npr. 50 uzoraka po podjeli. To omogućuje vidjeti rubove signala, kada su uzorci akvizirani prije i poslije prijelazne pojave.

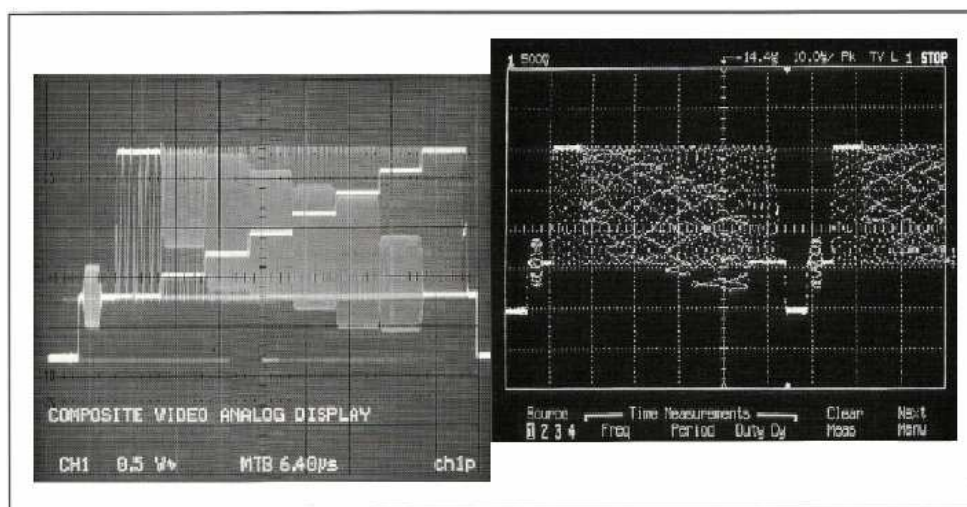
Ako je zaslon proširen vodoravno, zbog povećanja razmaka između uzoraka, izgubimo osvijetljenje signala. Zato osciloskopi izračunavaju interpolirane ili prikazane uzorke da zadrže broj prikazanih uzoraka visokim. Uz veće proširivanje, postaje važnije prikazati neprekidnu krivulju kroz uzorke nego ravne crte između njih. Za to koristi *sinusna interpolacija*, koja najbolje aproksimira sinusoidni valni oblik simulacijom amplitude i frekvencije kroz akvizirane uzorke. Sinusna interpolacija omogućava rekonstrukciju koja ima prirodnu izglađenost analognih osciloskopa, čak i ako je broj uzoraka po podjeli nizak. Da biste provjerili koji su uzorci zaista akvizirani, *točkasti način rada* obično onemogućava bilo koju interpolaciju. Kad je jednom odabran, možemo vidjeti uzorak samo kao zasebne svijetle točke na zaslonu, bez međusobnog povezivanja.

Windows način rada može se koristiti za uspoređivanje novo stečenog valnog oblika sa prethodno pohranjenim signalima, što može biti korisno za prikaz valnih oblika na zasebnim dijelovima zaslona osciloskopa. Omogućava podjelu ekrana na dva ili više dijelova (prozora) za prikaz različitih oblika. Smanjivanjem vertikalne amplitude prikaza, ovaj način rada omogućuje korištenje punog dinamičkog opsega analognog sučelja digitalnog osciloskopa. Točnost mjerenja tako može biti optimizirana, smanjivanjem amplitude prikazanog valnog oblika.

3.11 Analogni ili digitalni osciloskop ?

Prilikom nabavke, obično se razmatraju osobine i mogućnosti, kao i vrsta instrumenta. Izbor ovisi o zahtijevanim mjerenjima i osobinama signala. Za prikaz brzih bridova jednostavnih signala dovoljne brzine ponavljanja, vrlo mala je razlika između performansi digitalnih ili analognih osciloskopa. Oba će se predložiti valni oblik jednako dobro. Ako obavljamo mjerenja parametara signala, digitalni osciloskop ima prednost u automatskom postavljanju mjerenih mogućnosti. Uz analogni osciloskop, korisnik mora postaviti pokazivače ili interpretirati zaslon kako bi dobio mjerni rezultat. Ako se moraju izvršiti prilagodbe preporučuju se analogni osciloskopi, koji kod prikaza u stvarnom vremenu pokazuju ulazni napon u svakom trenutku.

Na slici 3.18. lijevo, vidimo na analognom osciloskopu prikaz video signala velike količine detalja i promjenjivog intenziteta. Na slici 3.18. desno, prikazan je sličan signal na tipičnom rasteru katodne cijevi digitalnog osciloskopa.



Slika 3.18. Video signal prikazan na analognom i na digitalnom osciloskopu

Ako će samo mali dio video linija biti prikazan, npr. određena linija TV test signala, teleteksta ili signala boje (burst), preporuča se digitalni osciloskop. Sa analognim osciloskopom, relativno niske učestalosti ponavljanja, zajedno s kratkim trajanjem samog događaja, jednostavno dobijemo sliku koja je previše tamna da bi je vidjeli. Digitalni osciloskop ima jednoliki intenzitet, bez obzira na učestalost ponavljanja signala, te stoga prikazuje signal visoke jačine osvjetljenja. Ako u složenoj valnoj formi, ponavljajući valni oblik sadrži kratkotrajne šiljke ili izboje, koje je nemoguće prikazati na analognom osciloskopu, koristimo digitalni osciloskop, koji prikazuje te bodlje koristeći način rada detekcije šiljaka.

Kao što smo vidjeli, za svakodnevnu upotrebu inženjeri zahtijevaju i analogne i digitalne osciloskope da bi dobili najbolji pregled njihovih signala. Za neke namjene prihvatljiviji je analogni osciloskop, dok je za druge digitalni osciloskop bolji izbor. Brojni digitalni osciloskopi dostupni na tržištu reklamiraju se kao da imaju 'analogni izgled i osjet'. To su čisti digitalni osciloskopi, iako neki mogu imati kontrole postavljene na isti način kao i mnogi analogni osciloskopi, dok drugi imaju visoku stopu ažuriranja pa oponašaju sposobnosti pravog analognog osciloskopa. Ili, pak mogu imati visoku učestalost uzorkovanja, zajedno s akviziranim zapisom vrlo ograničene duljine, tako da je ograničena vremenska rezolucija potrebna kako bi se izbjeglo preklapanje na više složenih signala. Naravno, ovi instrumenti ne samo da imaju prednosti digitalnih osciloskopa, već imaju i sve njegove nedostatke.

Srećom, postoji jedan instrument koji kombinira mogućnosti i prednosti i analognih i digitalnih osciloskopa u jednom instrumentu: CombiScope. To je kombinacija visoko kvalitetnog analognog i potpuno opremljenog digitalnog osciloskopa za pohranu, uz jednostavno prebacivanje s jednog načina rada na drugi. Izbor CombiScope-a znači da inženjer pri ruci uvijek ima samo jedan instrument, bez obzira na vrstu zahtjeva. Korisnici mogu izvršiti automatska mjerenja ako je instrument postavljen kao digitalni osciloskop koji pohranjuje akvizirane valne oblike, pravi kopije od njih, a pored toga ima i beskonačnu rezoluciju i poznati, pouzdan prikaz analognih osciloskopa kada je to potrebno. CombiScope može imati najsajjniji zaslon, bez obzira na učestalost ponavljanja signala. Drugim riječima, CombiScope kombinira najbolje od oba u samo jednom instrumentu. Fluke PM 3394A je jedan od tih CombiScope-a.

4. PROGRAMSKA PODRŠKA I DODATNA OPREMA

4.1 Sonde

Sonde osciloskopa su više nego samo komadi žice koji dovode mjerni signal na ulaz osciloskopa i sastavni su dio mjernog sustava. Dostupne su različite vrste sondi, sa karakteristikama koje ih čine prikladnima za određene namjene. Neke sonde zovemo aktivne sonde, jer sadrže aktivne elektroničke komponente kako bi omogućile pojačavanje signala. Sonde bez aktivnih komponenti nazivamo pasivne probe, koje sadrže samo pasivne komponente kao što su otpornici i kondenzatori, pa obično obavljaju prigušivanje ulaznog signala.

Prvo ćemo razmatrati pasivne sonde opće namjene, njihove glavne osobine i utjecaj na sklopove i signale koje testiramo. Zatim ćemo na kratko pregledati nekoliko posebnih tipova sondi kao i pripadajućeg im pribora.

Propusni opseg sonde nije beskonačan i ovisi o njihovoj namjeni. Ako koristimo osciloskop propusnog opsega 100 MHz i sondu propusnog opsega 100 MHz, odziv te kombinacije je manji od 100 MHz. Kapacitet sonde dodaje se ulaznom kapacitetu osciloskopa, što smanjuje propusnost sustava i maksimalno prikazano vrijeme porasta. Za daljnu analizu prisjetimo se formula za propusni opseg osciloskopa.

Sada možemo izraziti vrijeme porasta signala – t_r , kao;

$$t_r (ns) = 350 / BW (Mhz) \quad (4.1)$$

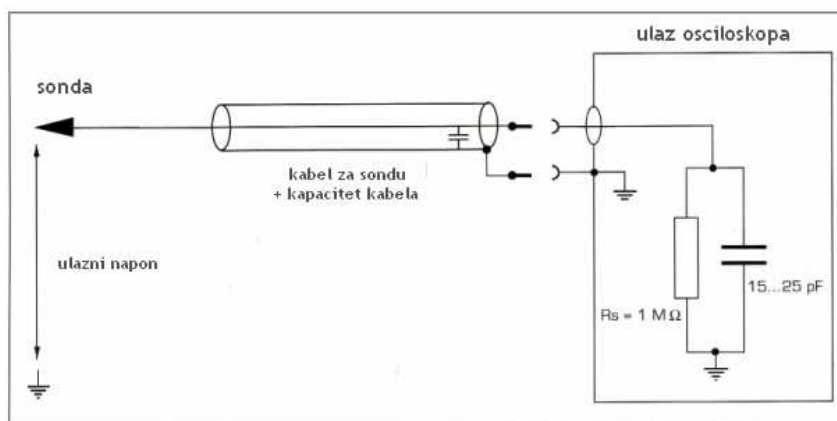
Osciloskop i sonda, imaju svaki po 100 MHz pojasne širine, i sukladno tome, svaki ima vrijeme porasta $t_r = 3,5$ ns. Vrijeme porasta učinkovitog sustava je zadano kao:

$$t_{r\ system} = \sqrt{(t_{r\ signal}^2 + t_{r\ scope}^2)} = \sqrt{(3,5^2 + 3,5^2)} ns = 4,95 ns \quad (4.2)$$

Sustav sa vremenom porasta od 4,95 ns ima propusni pojas $350 / 4,95$ MHz = 70,7 MHz.

Fluke opskrbljuje sve vrste osciloskopa sondama koje također daju određenu propusnost za osciloskop ovisno o tipu sonde. Kao što možemo vidjeti iz prethodnih izračuna, ovo zahtjeva sonde koje su mnogo veće propusnosti, od samog osciloskopa.

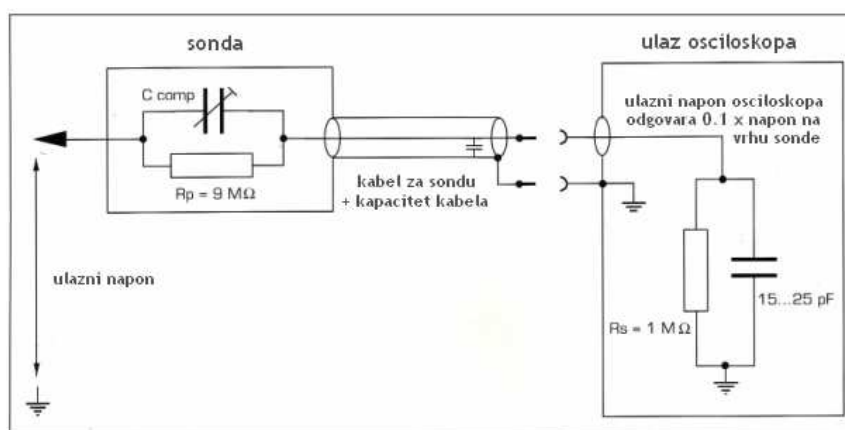
Djelovanje opterećenja sonde na mjerni sustav uzrokom je dodatnog pada napona na mjernom sustavu, što degradira izmjerene rezultate. Prilikom mjerenja često smatramo da će mjereni napon biti jednak, kao i u slučaju kada sonda nije prespojena na uređaje. Svaka sonda ima neku ulaznu impedanciju, koji se sastoji od radne, kapacitivne i induktivne komponente otpora. Spajanje takve sonde će utjecati na sklop kojeg testiramo zbog dodatnog opterećenja koje unosi sonda. Zbog toga karakteristike sonde moramo uzeti u obzir kada gledamo rezultate mjerenja, kao i impedanciju testiranog kruga. Neke sonde nemaju serijski otpor. U osnovi, one se sastoje od kabela određene duljine i testnog vrha. Unutar njihovog radnog frekventnog opsega ili korisne širine propusnog pojasa, dakle, nema pojačavanja signala. Ove sonde se nazivaju 1:1 ili *1 sonde. One su uzrok dodatnog opterećivanja tastiranog kruga, zato jer ulaznoj impedanciji osciloskopa pridodaju svoju vlastitu kapacitivnost (uključujući kapacitivnost kabela). Vidi sliku 4.1.



Slika 4.1. Nadomjesna shema sonde

Djelovanje kapacitivnog opterećenja postaje značajano, kako se povećava frekvencija signala. Sonda omjera 1:1 obično ima ulazni kapacitet od oko 35 pF do preko 100 pF, ovisno o vrsti i duljini kabela, kućišta sonde, konstrukciji, itd. To će opteretiti sklop koji testiramo sa niskom impedancijom. Sonda omjera 1:1 sa ulaznom kapacitivnošću od 47 pF ima samo induktivni otpor od 169 Ω pri frekvenciji od 20 MHz, što je čini neprikladnom za rad na tim frekvencijama.

Učinak opterećenja sonde možemo smanjiti dodavanjem impedancije u sondu koja je u seriji sa ulaznom impedancijom osciloskopa. Međutim, to znači da se ukupni napon signala neće pojaviti na ulazu osciloskopa, budući da opterećenja sonde i osciloskopa formiraju naponski djelitelj.

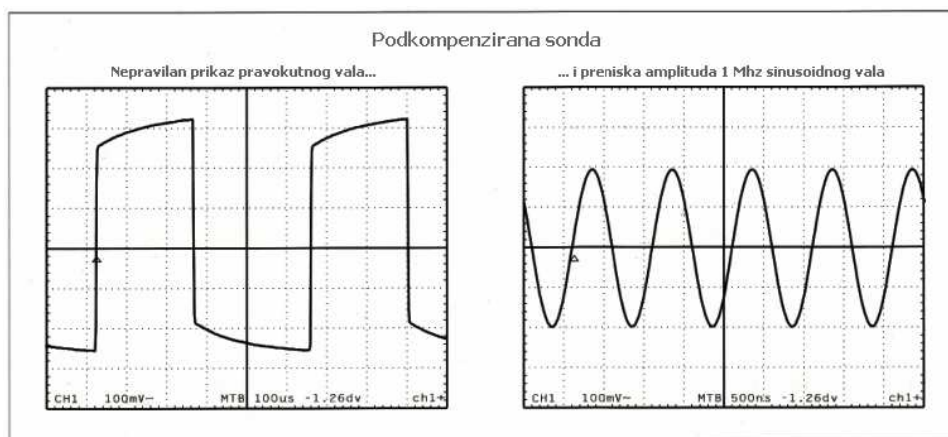


Slika 4.2. Nadomjesna shema sonde 10:1 omjera

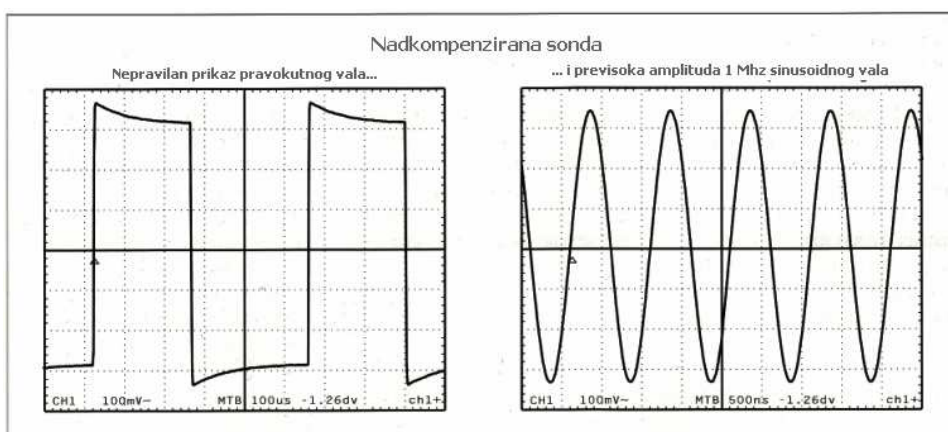
Slika 4.2. prikazuje pojednostavljenu shemu sonde. Otpori R_p i R_s predstavljaju djelitelj omjera 10:1, gdje otpor R_s predstavlja ulaznu impedanciju osciloskopa. Kompenzacijski kondenzator, C_{comp} prilagođen je kako bi uskladio sondu za osciloskop. To osigurava da je krivulja ispravnog frekvencijskog odziva održiva na testnom vrhu sonde. Frekvencijski odziv ovog tipa sonde je sada puno širi od odziva sonde omjera 1:1. Standardni ulazni otpor osciloskopa je reda 1 M Ω . Njemu se pridodaje serijski otpor sonde od 9 M Ω , što određuje ulaznu impedanciju testnog vrha sonde od 10 M Ω na niskim frekvencijama.

Kompenzacija sonde podrazumijeva postupak prilagođavanja sonde na ulaz osciloskopa. Praktična sonda omjera 10:1, ima nekoliko podešivih kondenzatora i otpornika što garantira ispravan odziv preko širokog frekvencijskog opsega. Većina njih je postavljena u tvornici za vrijeme proizvodnje sonde. Postoji samo jedan trimmer kondenzator namijenjen korisniku za podešavanje. Nazivamo ga kondenzator za kompenzaciju na niskim frekvencijama. On služi da ulaz osciloskopa prilagodi na sondu, ako se koristi. Podešavanje je jednostavno, koristeći izlaz za podešavanje sonde na prednjoj ploči većine osciloskopa, što je označeno kao 'Probe Adjust', 'Calibrator', 'CAL', ili 'Probe Cal.' i pruža pravokutni oblik izlaznog napona. Pravokutni valni oblik sadrži mnoge frekvencijske komponente. Kada su sve ove komponente pristigle u osciloskop ispravane amplitude, pravokutni signal se pravilno reproducira na zaslonu.

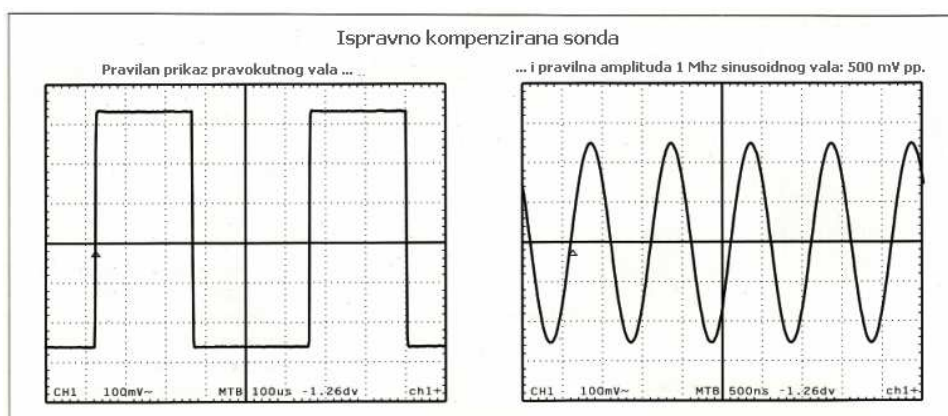
Na slici 4.3 pokazani su efekti pod-kompenzirane sonde,



zatim nad-kompenzirane sonde,



odnosno ispravno kompenzirane sonde na prikazanim valnim oblicima;



Slika 4.3. Učinak kompenzacije sonde na 2 kHz pravokutnom i 1MHz sinusoidnom valu

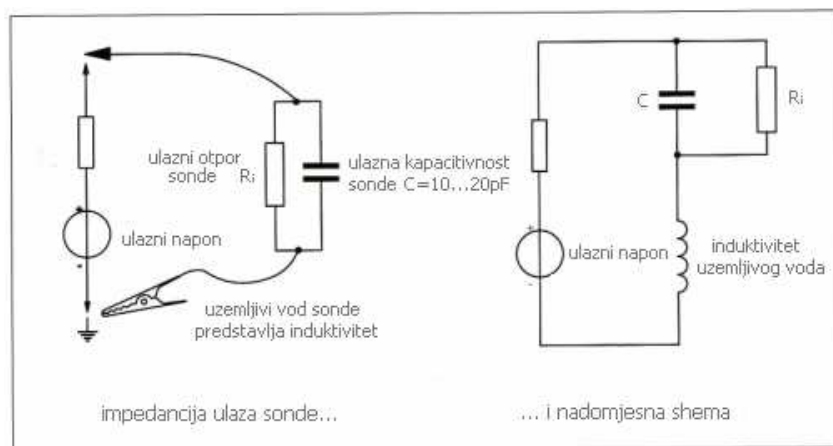
Učinak neispravne nad-kompenzacije i pod-kompenzacije sonde je vrlo primjetan na višim frekvencijama. Prikazana amplituda sinisoidnog vala od 1 MHz sada je vrlo netočna. Stoga zapamtite da uvijek provjerite kompenzaciju sonde prije korištenja prigušnih sondi. Tu može biti neznatnih razlika ulaznih kapacitivnosti između kanala, tako da uvijek iznova treba kompenzirati sondu na kanal koji želite koristiti.

Oklopljeni vodovi koriste se za povezivanje sonde sa osciloskopom kako bi osigurali da se na ulazu osciloskopa pojave samo zahtijevani signali. Ako za dovođenje signala na ulaz osciloskopa koristimo samo komad žice, ona će djelovati kao antena. Mnogo neželjenih smetnji uplelo bi se u signal od emitiranja radio stanica, fluorescentnih svjetala, električnih motora, bruma napajanja od 50 ili 60 Hz, pa čak i lokalnog CB-manijaka! Neke vrste ovih smetnji, mogle bi se čak vratiti natrag u krug koji testiramo. Zbog toga je potrebno za uzemljenje koristiti oklopljeni vod, koji povezuje krug koji testiramo preko sonde do BNC konektora osciloskopa, što osigurava dobru zaštitu od smetnji.

Maksimalni ulazni napon određen je konstrukcijom sonde i razlikuje se ovisno o tipu sonde. Najčešće se koriste sonde omjera 10:1 koje su dizajnirane za maksimalni ulazni napon na vrhu sonde od 400 ili 500 V vršne vrijednosti. Ove sonde možemo zbog toga koristiti za širok spektar namjena za sve uobičajene razine signala, čak do stotina volti. Za više naponske razine, preporuka je koristiti sonde omjera 100:1 sa širim naponskim opsegom.

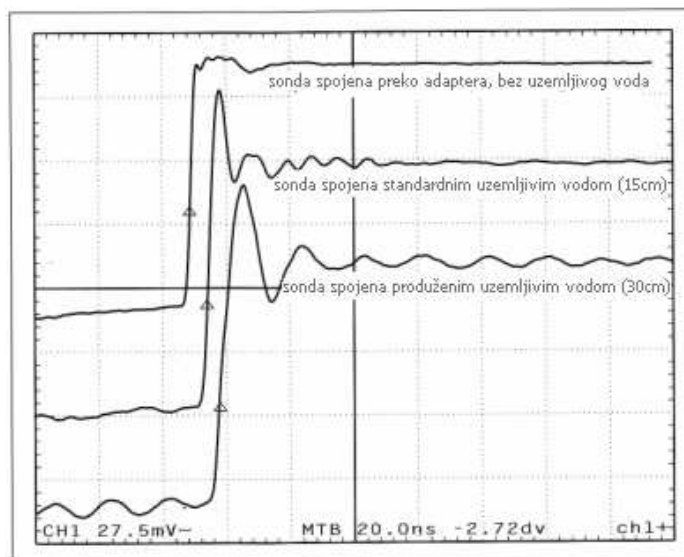
Prepoznavanje sondi je mogućnost ugrađena u moderne sonde za osciloskope koje su opremljene sustavom kodiranja koji omogućuje osciloskopu da prepozna vrstu sonde na koju je prespojen. Prema tome, osciloskop može kompenzirati indikaciju vertikalnog otklona i sva amplitudna mjerenja, da nebi došlo do zabune. Kada se koriste sonde bez takvog sustava za raspoznavanje, korisnik mora ručno podesiti sve valne oblike i mjerenja za kompenzaciju gušenja sondi.

Induktivitet odvoda uzemljenja formira serijski podešen krug od kombinacije ulazne kapacitivnosti sonde i osciloskopa, što je prikazano na slici 4.4.



Slika 4.4. Nadomjesna shema sonde sa induktivitetom odvoda uzemljenja

Povezani krug je prigušen ulaznim otporom. Kao i bilo koji drugi podešeni sklop, ovaj će također rezonirati ako na njega dovedemo stepenasti napon. Pretjerana induktivnost odvoda uzemljenja može, također smanjiti prikazano vrijeme porasta. Na slici 4.5. prikazano je brzo vrijeme porasta impulsa spojenih na osciloskop preko odvoda uzemljenja različitih dužina. Utjecaj induktiviteta odvoda uzemljenja može se jasno vidjeti na zaslonu. Zbog toga zadržite svoj odvod uzemljenja što kraćim, a posebno na visokim frekvencijama i signalima brzog vremena porasta.



Slika 4.5. Utjecaj odvoda uzemljenja na impulsni odziv

Sigurnosno uzemljenje se koristi kod većine osciloskopa zbog električne sigurnosti. Signal koji se testira može biti na istom referentnom potencijalu, ali to nije nužno potrebno. Prije povezivanja sonde na točku uzemljenja, provjerite da nije u kratkom spoju bilo koji dio sustava kojeg testiramo! S druge strane, ako je ispitivani sustav na istom referentnom potencijalu kao i odvod uzemljenja osciloskopa, to ne znači da se sigurnosno uzemljenje može koristiti kao povratni put signala. Dugo ožičenje sigurnosnog odvoda uzemljenja ima i suviše induktiviteta za ovu namjenu. Preporučeno je koristiti odvod uzemljenja sonde kod povezivanja signala.

4.2 Tipovi sondi

Sonde omjera 10:1 kao i 1:1 opisane su ranije, a sada ćemo pojasniti neke od više vrsta sondi za opću upotrebu.

Kombinirana sonda omogućava olakšavanje upotrebe kombinirajući sonde omjera 10:1 i 1:1 u jednu cjelinu. Sonda omjera 10:1 je pogodna zbog svog niskog opterećenja i širokog propusnog opsega, dok je sonda omjera 1:1 pogodna za signale niskih razina na niskim frekvencijama.

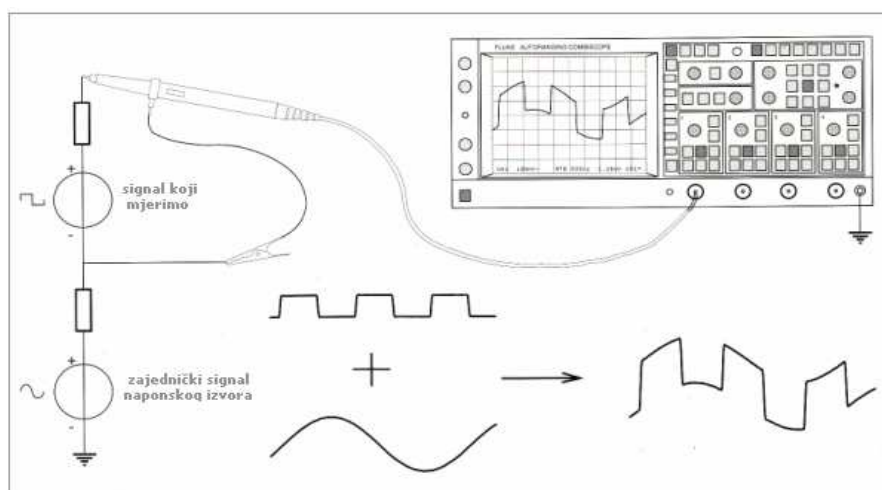
Prigušivačka sonda je obično omjera 100:1, koja ima nisku kapacitivnost, obično 2,5 pF, i ulazni otpor od 20 M Ω . Naponski opseg je puno veći od obično 4 kV, što ovu sondu čini pogodnom za mjerenja na visoko-naponskim pretvornicima.

Strujna sonda, kao što samo ime govori pokazuje valni oblik struje u vodiču, točnije od napona. Ona koristi strujno osjetljivi transformator u glavi sonde. Štipaljke na kabelu, eliminiraju potrebu za prekidanjem strujnog kruga. Signal iz glave sonde pretvara se u napon, prilagodi i dovodi na ulaz osciloskopa. Osciloskop sada pokazuje A/pod. ili mA/pod.. Raspon frekvencija je iznad 70 MHz. Osciloskopi matematičkih sposobnosti obrade sada mogu, koristeći strujne sonde, obavljati mjerenja napajanja množenjem naponskih i strujnih valnih oblika.

FET sonda je aktivna sonda za korištenje na visokim frekvencijama do 650 MHz. Ona ima vrlo nisku ulaznu kapacitivnost do 1,4 pF, što je čini vrlo pogodnom za mjerenje brzih prijelaznih pojava u sklopovima sa visokom impedancijom izvora, ili tamo gdje se zahtjeva najmanji učinak opterećenja. Zbog aktivne konstrukcije, FET sonda može se, također, koristiti kao sonda 1:1 omjera sa iznimno niskim ulaznim kapacitetom.

Sonda sa prekidačem za upravljanje namijenjena je korisnicima koji puno rade sa sondama. To je sonda sa jednim od posljednjih poboljšanja za seriju PM 3094 i PM 3394A Fluke osciloskopa. Svodi se na korištenje malog prekidača na tijelu sonde, koji može aktivirati prethodno odabranu funkciju kao što je automatsko podešavanje ili izbor neke druge postavke iz memorije postavki. CombiScop, također, može koristiti ovu funkciju za startanje 'Touch, Hold and Measure' postavke koja akviziranje može izvršiti i zamrznuti, kao i višestruka mjerenja koja su izvedena na pohranjenim valnim oblicima.

Izolacijsko pojačalo nije sonda u pravom smislu riječi. Možemo ga promatrati kao posebnu vrstu 'sonde' koja odvaja mjernu točku osciloskopa od potencijala zemlje. To je nužno jer je masa na ulazu osciloskopa na potencijalu zemlje, osim u slučaju kad je osciloskop napajan preko transformatora za galvansko razdvajanje ili iz baterija. Izolacijsko pojačalo također omogućuje mjerenje malih signala koji se preklapaju sa velikim zajedničkim signalom napajanja (vidi sliku 4.6.).



Slika 4.6. Sklop sa zajedničkim načinom napajanja

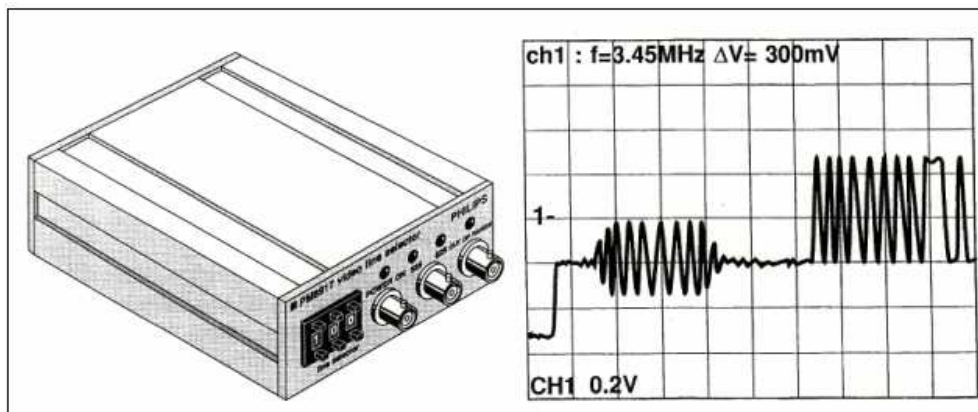
Jedinica za unos je u cijelosti izrađena od plastike i napaja se baterijama zbog sigurnosti. Najčešće se koriste u području napajanja i kontrolnih sustava.

4.3. Dodatna oprema i pribor

Širok izbor dodatne opreme i pribora je dostupan. Neki od njih pomažu kod prilagodbe mjernih instrumenata okolini, kao što su sučelja i programski paketi, dok drugi olakšavaju prijenos osciloskopa i sonde ili pomažu kod određenih vrsta mjerenja.

Izbornik video linija je idealan pribor za video inženjere, koji proizvodi linije, polja i okvire sinkronizacijskih impulsnih slijedova za okidanje osciloskopa, što omogućava inženjeru proučavanje pojedinih dijelova specifičnih video linija. Zahtijevani broj linije se postavi pomoću tastera i kada se dostigne ta linija okida se osciloskop.

Neki instrumenti kao što su PM3394A imaju ugrađen birač video linija, koji je tada sastavni dio kontrole instrumenta (vidi sliku 4.7.).



Slika 4.7. Birač video linija i odabrana video linija

Zaključivanje linijskim opterećenjem obavezno je kod sustava niske impedancije, kako bi se izbjeglo izobličenje signala. Neki osciloskopi imaju ulaze impedancije od 50 Ω. Ulazi koji nisu te impedancije, moraju biti zaključeni linijskim opterećenjem koje odgovara impedanciji ulaza osciloscopa. Oni su dostupni sa atenuacijskim faktorima 1:1, 10:1 i 100:1. Verzija impedancije od 75 Ω je dostupna za video sustave.

Baterije i pretvarači omogućavaju rad osciloscopa na terenu, gdje glavno napajanje nije dostupno, kao što je u vozilu ili zrakoplovu. Uz to omogućuju osciloskopu da obavi 'plutajuća' mjerenja s obzirom na zemlju, što znači da ih mogu koristiti kako bi se izbjegla petlja prema tlu, ako je sustav na potencijalu zemlje.

4.4 Softver

Sučelja koja se najčešće koriste na osciloskopima su RS-232 i GPIB, koji omogućuju da se podaci prenose od i prema osciloskopu. Iako je njihova uporaba za prijenos valnih oblika moguća samo sa digitalnim osciloskopima, ta sučelja su također dostupna na analognim osciloskopima da omoguće daljinsko upravljanje postavki instrumenta.

Komunikacijski softver predstavljaju raspoloživi programski paketi za prijenos valnih oblika iz osciloscopa na računalu. Valni oblici mogu biti prikazani na zaslonu računala i zajedno sa postavkama instrumenta mogu biti pohranjeni na disku za trenutni opoziv u bilo koje vrijeme. Neki paketi omogućavaju slanje valnih oblika natrag na osciloskop, koji će se koristiti za referentne namjene. Ako vrijeme prenosa nije upitno, često se koristi RS-232 komunikacija jer je najčešća na svakom računalu. Neki paketi omogućavaju prijenos i pohranu valnog oblika kao HPGL datoteke koja može biti pridodana dokumentu kao grafički prikaz, za kopiranje zaslona ukoliko je potrebno. Paketi, kao AnyWave, obogaćuju osciloskope automatiziranim testnim procedurama za stvaranje test maske (predložka) koja definira gornju i donju granicu valnog oblika, a koristi se kao referentna za testiranje snimljenih signala automatskim 'pass/fail' testovima. AnyWave također omogućuje lako uređivanje i testiranje omotnica pomoću računalne tipkovnice i miša ili za stvaranje valnog opisa za proizvoljni valni oblik generatora. Pohranjeni valni oblici mogu se obraditi kao proračunske tablice ili sa pridjeljenim softverom za analizu.

Programibilno okruženje podrazumjeva okrolinu za pisanje programa za testne namjene korištenjem standardnih programskih jezika kao što su 'Quick-Basic', 'C' ili drugi. Programski paketi poput TestTeam ili LabWindows, čine razvoj programa efikasnijim i bržim, a olakšavaju korištenje različitih instrumenata, kao što su multimetri, signal generatori, programibilni izvori napajanja, frekventmetri i signalni prekidači. Pisani programi mogu biti izvršeni iz Test-Team okoline ili kao samostalne izvršne datoteke.

5. MJERENJA OSCILOSKOPOM U TELEKOMUNIKACIJAMA

Osciloskopi mjere dvije osnovne veličine: napon i vrijeme, iz kojih su izvedena sva ostala mjerenja, bilo ručno pomoću pokazivača ili automatski. Kada obavljamo mjerenja, veoma je važno znati mogućnosti osciloskopa, kao i dodatne opreme ako se koristi.

5.1 Potrebna oprema za izvođenje mjerenja

- Osciloskop: analogni osciloskop kao što je PM 3092 (samo za analogne vježbe) ili CombiScope TM iz serije od 3382A PM 3394A ili slično.
- Dvije sonde omjera 10:1, PM 9010/091 i 9020/091 ili slične s alatom za podešavanje kompenzacije sonde.
- Funkcijski generator koji osigurava osnovne valne oblike do 2 MHz ili više, npr.. PM 5135 or PM 5136 ili sličan.
- Dva 50Ω-ska kabela sa BNC konektorima.

Kontrolni paneli analognog osciloskopa Fluke PM 3094, odnosno kombiniranog analognog-digitalnog Fluke PM 3394A, kao i CombiScope™ osciloskopa koji se koriste u primjerima, prikazani su u prilogu, a poželjno ih je pogledati za vrijeme čitanja.

Početni postupak;

- Odspojite sonde sa osciloskopa ako su spojene.
- Priključite osciloskop na glavno napajanje pomoću ispravnog kabela za napajanje.
- Spojite sondu na kanal CH1 i na izlaz za prilagodbu sonde na prednjoj ploči osciloskopa, pomoću krokodil hvataljki.
- Ako koristite CombiScope, odaberite analogni način rada.
- Pritisnite Autoset (zelenu tipku na vrhu prednje ploče).
- Na starijim osciloskopima bez ovih funkcija (Autoset), postaviti sljedeće:
 - Intenzitet - na pola skale (Midway)
 - Kontrola vertikalne pozicije - na pola skale (Midway)
 - Kontrola horizontalne pozicije - na pola skale (Midway)
 - Vremenska baza na 0,2 ms/pod.
 - Osjetljivost na kanalu CH 1, na 0,2 V/pod.
- Pripazite! Omogućite prigušenje sonde, ako to osciloskop ne učini automatski.
- Izvor okidanja postavite za kanal CH1, a način rada na AUTO (peak-to-peak)

Izvedite kompenzaciju sonde. Možda ćete morati prilagoditi LF trimer za kompenzaciju. Pogledajte dio o kompenzaciji sonde ako je potrebno.

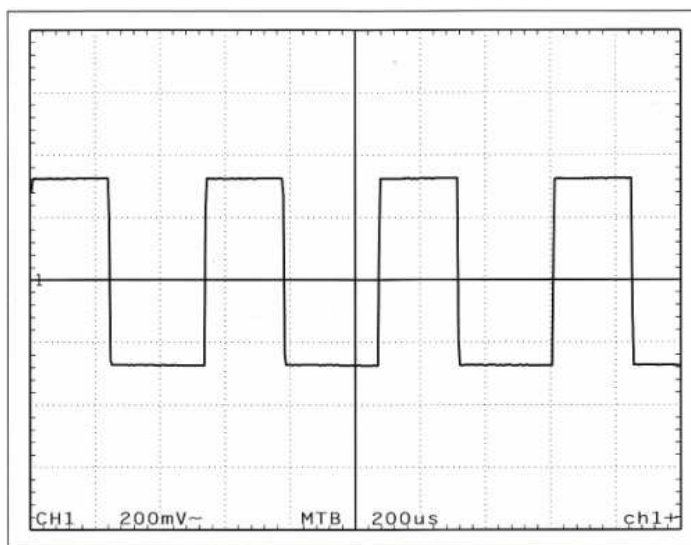
5.2 Primjeri mjerenja u telekomunikacijama

Nakon razmatranja kontrola osciloskopa, spremni smo napraviti neka stvarna mjerenja.

Mjerenja frekvencije i napona na kalibriranom izlazu sonde

- Spojite sondu na kanal CH1 i na izlaz za prilagodbu sonde,
- Pritisnite AUTOSET, da se dobije optimiziran prikaz.

Ako instrument nema funkciju AUTOSET, postavi osjetljivost, vremensku bazu, horizontalnu i vertikalnu kontrolu pozicije da bi dobili prikaz sličan ovom na slici 5.1.



Slika 5.1. Kalibrirani izlaz (200mV/pod i 200 μ s/pod)

- Izbrojite trajanje perioda i amplitude u podjelama za ovaj signal.
- Pomnožite to sa postavkama u V/pod i t/pod, što daje amplitudu i period valnog oblika.
- Frekvencija se izvodi iz rezultata mjerenja, kao recipročna vrijednost perioda.

Rezultati izvedenih mjerenja mogu se bitno razlikovati od prikazanih slika zbog odstupanja u karakteristikama uređaja.

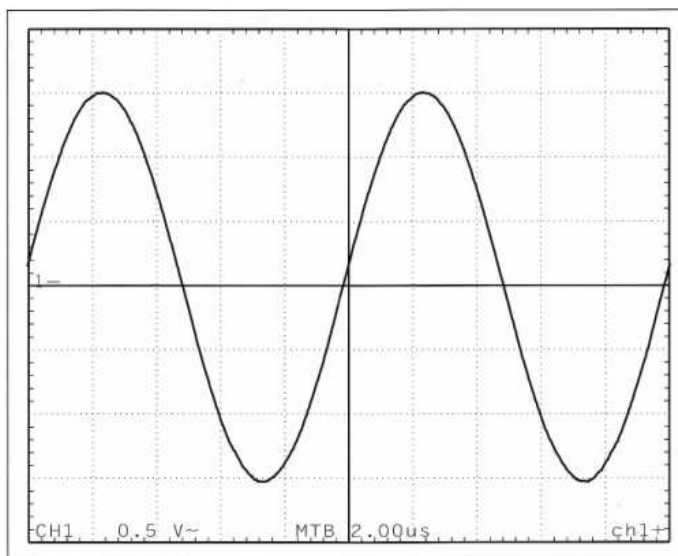
Korištenje osciloskopa kao generatora funkcija određene amplitude i frekvencije

Upotrijebiti ćemo osciloskop kao funkcijski generator tako da daje sinusoidni valni oblik kao na slici 56, frekvencije 100 kHz, efektivne vrijednosti amplitude 3 V (p-p).

- Postavite okidanje na 'level p-p',
- odaberite AC spregu,
- postavite kanal CH1 kao izvor signala
- vremensku bazu postavite na AUTO.
- Postavite osjetljivost 500 mV/pod.

Otklon od 6 vertikalnih podjela sada iznosi 3 V.

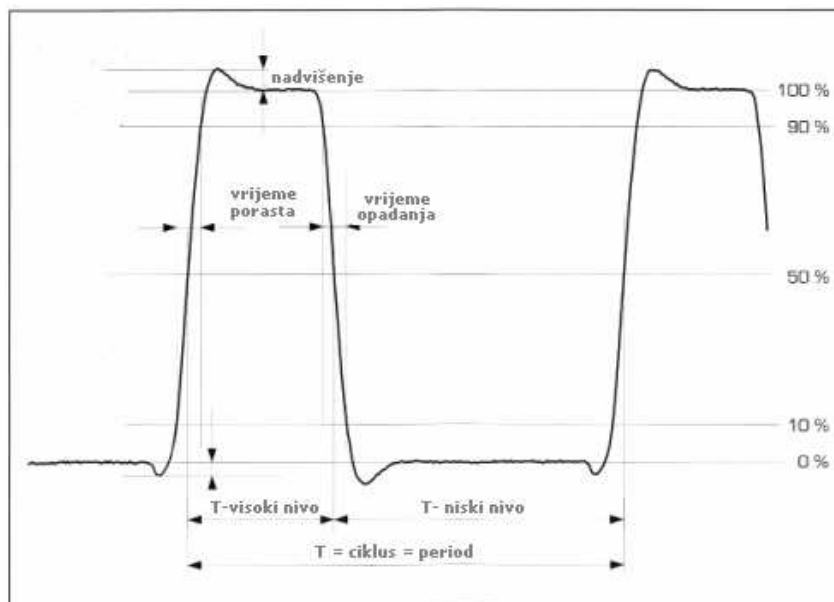
Valni oblik od 100 kHz ima period od $10 \mu\text{s}$, $1 / (100 \times 10^3) = 10 \times 10^{-6}$. Dakle, ako smo postavili vremensku bazu na $2 \mu\text{s}/\text{pod.}$, jedan period vala će zauzeti 5 podjela. Podesite izlazni nivo 'generatora', pomoću kontrola frekvencije, razine okidanja i strmine osciloskopa da biste dobili izgled zaslona prikazan na slici 5.2.



Slika 5.2. Upotreba osciloskopa kao generatora određene amplitude i frekvencije

U stvarnom svijetu, signali nikada nisu jednakog oblika, kao oni koje dobijemo sa funkcijskog generatora. Pogledajmo uobičajeni impuls valnog oblika.

Slika 5.3. pokazuje vremensku i amplitudnu karakteristiku impulsnog valnog oblika.



Slika 5.3. Parametri impulsa

'Radni ciklus' ili 'radni period' je važan u impulsnim valnim oblicima, a koristi se za izračun prosječne snage u ritmičkim sustavima kao što je radar, kontroler brzine motora, kontrole osvjjetljenja i ostalima.

Možemo ga izračunati pomoću izraza;

$$R_p = T_w / T_{rep} \quad (5.1)$$

gdje je; R_p - radni period,
 T_w - vrijeme kad je impuls aktivan,
 T_{rep} - vrijeme ponavljanja perioda impulsa.

Radni period može biti izražen u postotcima ili kao broj između 0 i 1. Prosječnu snagu možemo dobiti dijeljenjem ukupne snage sa radnim periodom;

$$P_{av} = P_{pp} / R_p \quad (5.2)$$

gdje je; P_{av} - prosječna snaga
 P_{pp} - ukupna snaga
 R_p - radni period

1) *JITTER* je mjera stabilnosti impulsnog signala, koji se izražava u vremenu ili kao postotak od vremena ponavljanja.

Amplitudne karakteristike su uglavnom izobličenja idealnog pravokutnog impulsa. Posebnu pozornost treba posvetiti razinama gdje parametri započinju i završavaju (0%, 10%, 50%, 90%, 100%). Sada možete vidjeti zašto su dodatne linije označene sa 0% i 100% na rasteru osciloskopa. Kada koristimo promjenu osjetljivosti signala postavljenih na tim linijama, možemo izvršiti mjerenja na ostalim razinama. Sva amplitudna mjerenja koja su prikazana na slici 5.3. odnose se na 100% -tni nivo.

Mjerenje vremena porasta pravokutnog valnog oblika pomoću usporene vremenske baze – prvi način

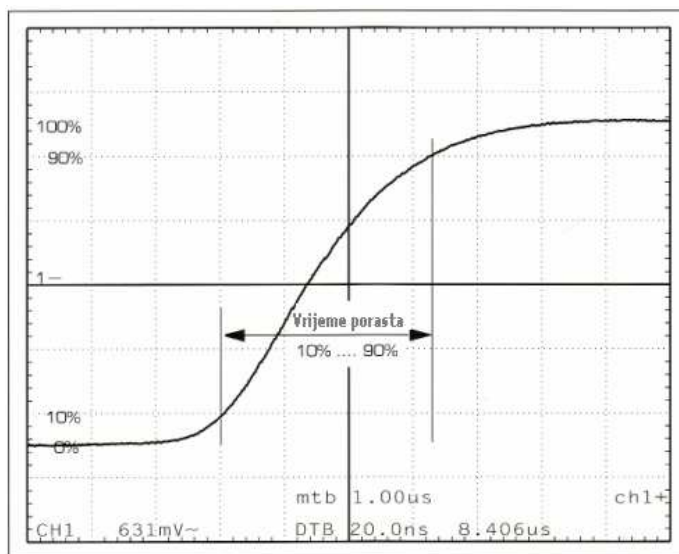
Postavite generator na sinusoidni valni oblik 3 V_{p-p}, oko 120 kHz, isključene vremenske baze, spojite ga na kanal CH1 osciloskopa.

- Pritisnite AUTOSSET.
- Mjenjajte brzinu prebrisavanja MTB da prikaže više od punog perioda na zaslonu.
- Prebaci na usporenu vremensku bazu i postavi intenzivirani dio na rastući brid impulsa.

Odaberite brid na lijevoj strani ekrana da bi umanjili učinke podrhtavanja signala (jitter).

- Postavite brzinu prebrisavanja usporene vremenske baze tako da je rastući brid prikazan preko nekoliko horizontalnih podjela.
- Podesite kašnjenje DTB i intenzitet valnog oblika ako je potrebno.
- Isključite glavnu vremensku bazu.
- Prebaci spregu kanala CH1 na uzemljenje i postavi oblik na središnju liniju zaslona.
- Prebaci kanal CH1 na AC spregu.
- Korištenjem promjenjive osjetljivosti, postavi vrh na 100% a dno signala na 0% linije rastera.
- Možda će trebati neznatna podešavanja pomoću kontrole vertikalne pozicije.
- Pomoću X-POS kontrole pomičemo rastući brid impulsa na sjecište glavne vertikalne linije rastera i 10% vodoravne linije.

Sada izmjerimo vrijeme od presjecišta valnog oblika sa 90% horizontalnom linijom rastera. Vidi sliku 5.4.



Slika 5.4. Mjerenje vremena porasta korištenjem usporene vremenske baze DTB

Vrijeme koje je potrebno signalu da naraste od 10% točke amplitude do 90% svoje konačne vrijednosti nazivamo vrijeme porasta.

Mjerenje vremena porasta pravokutnog valnog oblika pomoću kašnjenja vremenske baze – drugi način

Koristite postavke iste kao i u prethodnom primjeru.

- Pomoću promjene osjetljivosti, postavi vrh i dno signala na 100% i 0% linije rastera.
- Možda će trebati neznatna podešavanja pomoću kontrole vertikalne pozicije.
- Koristite kontrolu kašnjenja na 'Delay Time Multiplier' za pomicanje traga na sjecište glavne vertikalne i 10% horizontalne linije rastera.
- Zabilježite vrijeme kašnjenja.
- Koristite kontrolu kašnjenja ili Delay Time Multiplier za pomicanje traga na sjecište glavne vertikalne i 90% horizontalne linije rastera.
- Opet zabilježite vrijeme kašnjenja.
- Oduzmite prvo očitavanje od drugoga što daje vremensku razliku između 10% i 90% razine. I na ovaj način dobili smo vrijeme porasta.

Veće rezolucije mogu se dobiti na ovaj način, ako povećamo brzinu prebrisavanja usporene vremenske baze. Ova metoda se također može koristiti za točno mjerenje širine impulsa i učestalosti ponavljanja impulsa.

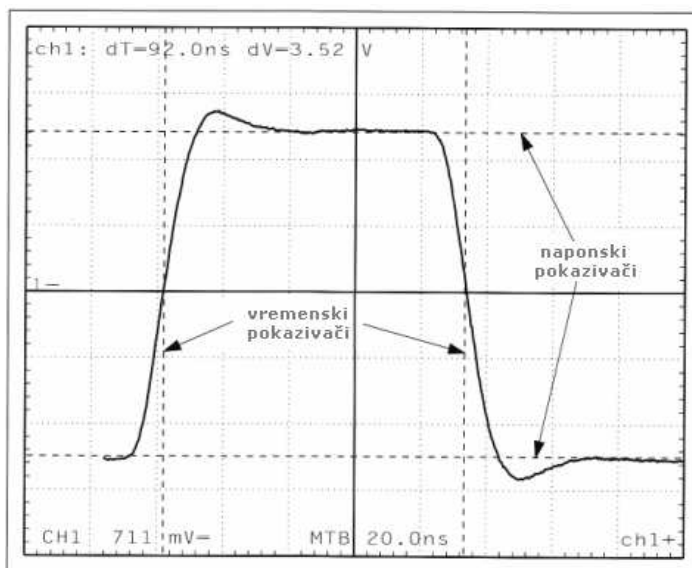
5.3 Pokazivači i automatska mjerenja

U svim mjerenjima koje smo izveli do sada, koristili smo linije rastera za podešavanje postavki automatske regulacije pojačanja i vremenske baze. Posljednje generacije analognih instrumenta imaju pokazivače koji čine mjerenja lakšim i bržima. Pokazivači su linije iscrtane na ekranu pomoću elektronskog snopa, a mogu biti vertikalni i horizontalni. Njihovu poziciju na ekranu određuje odnos napona i vremena, a služe osciloskopu kao osnova za mjerenje napona i vremena te ostalih mjerenja koja iz njih proizlaze, kao što su učestalost, vrijeme porasta itd.

Pokazivač vremena i naponska očitavanja se automatski podešavaju, kada se mijenja osjetljivost ili postavke vremenske baze. Očitavanje može biti apsolutnog iznosa u voltima, tj. naponski nivo u odnosu na zemlju, relativnim voltima, tj. naponskoj razlici između pokazivača, ili u postotcima. Postotci su posebno korisni za mjerenja impulsa jer se neka mjerenja, kao što smo već vidjeli, kod radnih perioda, izražavaju kao postotak perioda.

Postoje pokazivači pridruženi ekranu, memorijski pokazivači i pokazivači za ograničavanje amplitude.

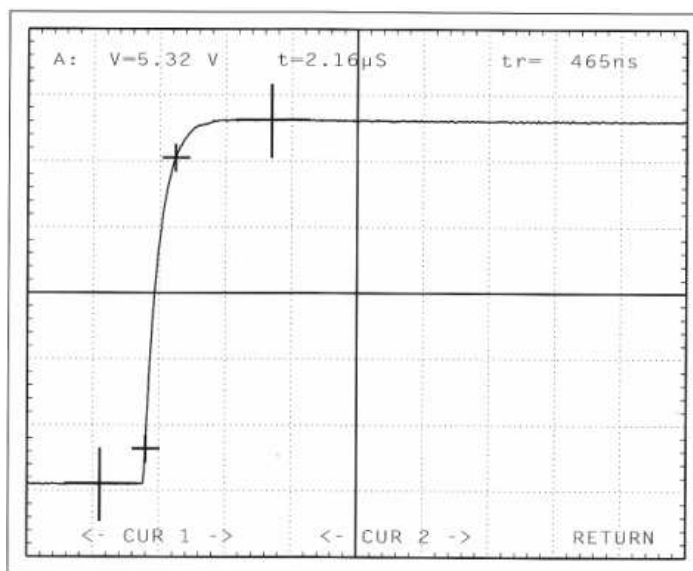
Pokazivači pridruženi ekranu se koriste na analognim i nekim digitalnim instrumentima. Ne postoji veza između pokazivača i ulaznog signala. što znači da operator mora ručno uskladiti pokazivače s valnim oblikom da bi izvršio mjerenja kao što se vidi na slici 5.5.



Slika 5.5. Pokazivači pridruženi ekranu

Ručno poravnavanje ostavlja prostor za pogreške, budući da operator mora izvršiti poravnanje na osnovi vidljivog valnog oblika i pokazivača, koji mogu biti pogrešno predočeni zbog bilo koje male nepravilnosti na zaslonu, što uzrokuje mjerne pogreške.

Memorijski pokazivači temelje se na pohranjenim podacima digitaliziranih valnih oblika u memoriji osciloskopa. Oni ne sadrže pogreške koje mogu biti uzrokovane od strane otklonskog sustava. Pokazivači slijede valni oblik na zaslonu. Budući da su svi podaci o valnom obliku sadržani u osciloskopu, ostala mjerenja kao što su vrijeme porasta, frekvencija i period mogu se izračunati za određene dijelove valnog oblika. Ovaj tip pokazivača nalazimo, između ostalih, i na PM 3365A, a prikazani su na slici 5.6.



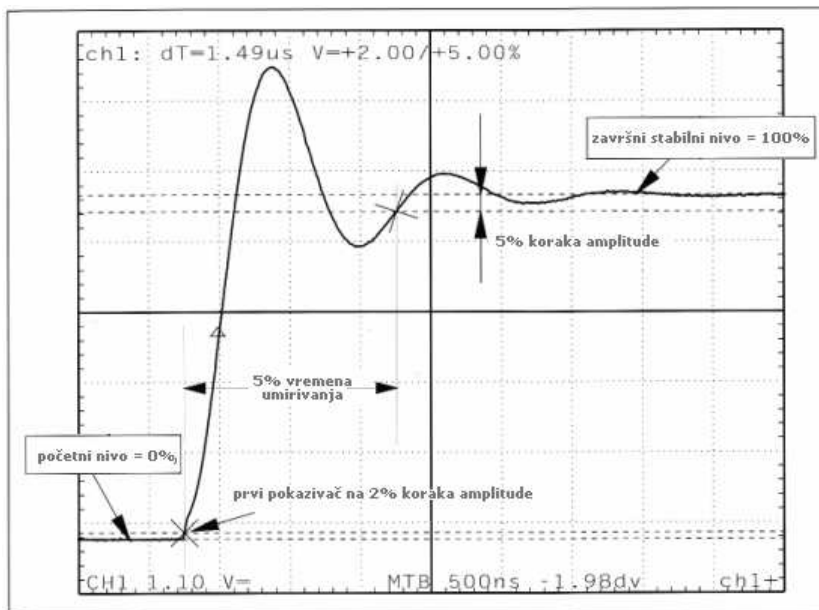
Slika 5.6. *Memorijski pokazivači kod PM 3365A*

Na nekim instrumenatima poput PM 3394A, pokazivači se mogu pridružiti različitim valnim oblicima, što omogućava mjerenja kao što su kašnjenje prostiranja, vrijeme prebacivanja itd.

Pokazivači za ograničavanje amplitude su najmanje zastupljena vrsta pokazivača, a posebno su korisni za mjerenje vremena posebnih namjena poput vremena porasta. Koriste se kod testiranja komponenti (npr. test vremena oporavka u zapornom području diode), vremena odziva kontrolnih petlji, vremena PLL uključivanja i drugih. Ime im dolazi od činjenice da se obavljaju postavljanjem pokazivača na određenim prijelazima u amplitudi signala. Na primjer, jedan pokazivač se postavi na točku gdje signal postigne 20% svoje konačne amplitude, bez obzira na stvarnu amplitudu, a drugi pokazivač na točku gdje signal postigne 80% od njegove amplitude. Očitavanja pokazivača daju vrijeme između dva pokazivača, koje je potrebno da se signal prebaci sa 20% do 80% od njegove amplitude.

Korištenjem amplitudno ograničenih pokazivača, mjerenja vremena su neovisna od stvarne amplitude signala. Fleksibilnost mjerenja je veoma velika, pokazivači se mogu postaviti na bilo kojem nivou u odnosu na definirani referentni nivo, koji se može odabrati iz popisa stvarnih odnosa vrijednosti amplitude, npr.: minimalne i maksimalna vrijednosti, apsolutne razine, uzemljenja ili statistički visokog ili niskog nivoa. Pokazivač ne mora biti postavljen kada je prvi put prešao određeni nivo, svaki slijedeći prijelaz, kao što su drugi, treći ili posljednji prijelaz, također se mogu koristiti.

Da bi iskazali snagu ovog sustava, pogledajmo sljedeći primjer izveden na osciloskopu PM 3394A, prikazan na slici 5.7.



Slika 5.7. Amplitudno ograničeni pokazivači za mjerenje vremena umirivanja signala

- 2) Primjetite da su za određena mjerenja kod naprednih instrumenata kao PM 3094 ekranu pridruženi pokazivači povezani sa signalom. Ovi instrumenti koriste okidni krug efektivnih vrijednosti 'peak to peak', za mjerenje ulaznog napona iz kojeg se mogu izvesti druga mjerenja.

Ovdje je prikazan izlazni napon kontrolne petlje čiji je ulazni signal nastao naglom promjenom (koračni napon). Za ovaj sustav, vrijeme umirivanja signala je određeno kao vrijeme potrebno da petlja ponovo dosegne i ostane unutar 5% ispravnog izlaznog napona. Kod većine osciloskopa, mjerenja vremena izvode operateri postavljanjem pokazivača pomoću ručnih kontrola i to amplitudno ograničenim pokazivačima koji su automatski zadani. Mjerenje počinje u trenutku kad ulazni signal proizvodi korak. Ako ulazni signal nije dostupan, može se koristiti početak porasta izlaznog signala. Osciloskop je postavljen da pronađe trenutak u kojem je valni oblik blizu početka rastućeg brida, recimo da je na nivou 2% od njegove amplitude. Za praktična mjerenja, ovo je dovoljno dobro za odrediti početak koraka ulaznog napona. Za prvi pokazivač, početni stabilan nivo odgovara 0%, konačne vrijednosti koja je uzeta kao 100%. Prvi pokazivač se nalazi na 2%, između 0% i 100% referentne razine. Drugi pokazivač može imati različite referentne razine, koje idu do točke na kojoj signal prelazi 5% razine valnog oblika, nakon što je definirano kao 0% konačne vrijednosti i 100% kao početnu vrijednosti napona koraka! Konačna vrijednost je vrijednost postignuta nakon prestanka svih istitravanja, a odabrana je kao statistički visoka razina. Da bi pronašli trenutak u vremenu, nakon čega valni oblik ostaje unutar 5% od njegovog konačnog napona, odabrali smo pokazivač postavljen na točku u kojoj je signal posljednji put premašio 5% amplitude. Dobiveni izgled zaslona, uključujući pokazivače i referentne linije, prikazan je na slici. 5.7. Vrijeme umirivanja signala može se očitati iz gornje linije teksta kao 1,49 μ s. Ovo mjerenje automatski daje vrijeme umirivanja signala, bez obzira na amplitudu ulaznog koraka, što je korisno kod ponavljajućih testova, npr. testiranja u proizvodnji, a omogućavaju stalno izvođenje ovih testova bez operatora.

5.4 Mjerenja pomoću pokazivača

Mjerenja koja smo izvodili do sada zahtijevaju ručno podešavanje postavki instrumenta pomoću linija rastera ili u najboljem slučaju automatsko. Ovdje ćemo upotrijebiti pokazivače za postavke parametara instrumenta ovisno o zahtijevanim mjerenjima. Korištenjem pokazivača mjerenja postaju jednostavnija i brža, a služe kao osnova za mjerenje napona i vremena i ostalih mjerenja koja iz njih proizlaze.

Mjerenje perioda i frekvencije pomoću pokazivača

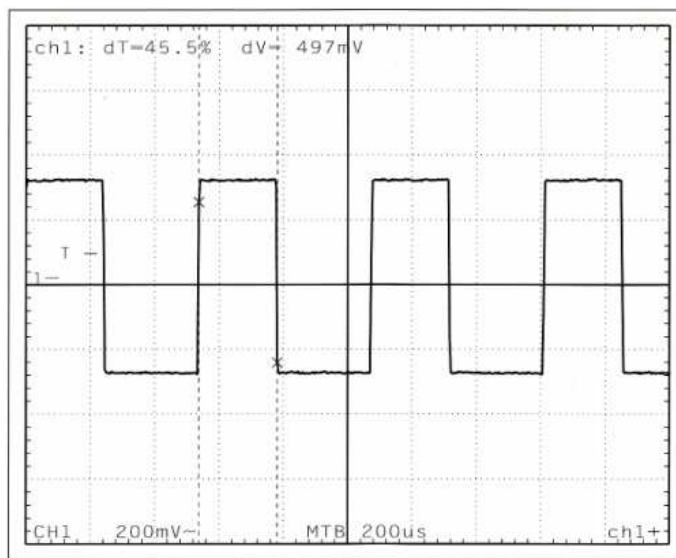
- Spojite sondu na kanal CH1 i na izlaz za prilagodbu sonde.
- Pritisnite AUTOSet da biste dobili prikaz.
- Aktivirajte pokazivače, odaberite 'time' način rada za vertikalne pokazivače, kako bi izvršili mjerenja vremena.
- Postavite jedan pokazivač na početak, a drugi na kraj istog perioda signala.

Pokazivači sada označavaju period signala. Izbor očitavanja može biti kao AT (vrijeme između pokazivača), koji daje period signala ili kao VAT koji daje frekvenciju.

Mjerenje radnog perioda pomoću pokazivača

Koristeći iste postavke kao u prethodnom primjeru, lako je pronaći radni period kalibriranog signala.

- Promjena očitavanja daje AT kao omjer.
- Provjerite da li pokazivači obuhvaćaju točno jednu cijelu periodu signala.
- Pritiskajući dugme 'AT = 100%' uvjetujemo osciloskop da ovaj vremenski raspon iznosi točno 100% perioda signala.
- Postavite prvi pokazivač na početak periode, a drugi pomaknite do ruba na sredini perioda, kao što je prikazano na slici 5.8.

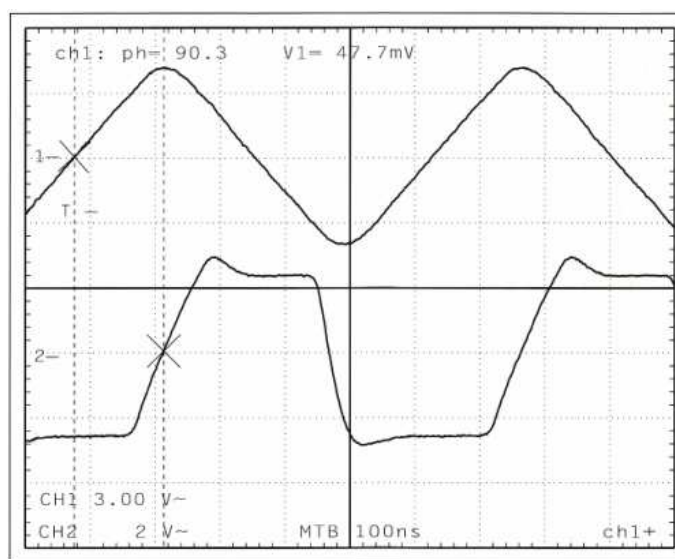


Slika 5.8. Mjerenje radnog perioda pomoću pokazivača

Očitavanje pokazivača sada označava radni period zatvorenog dijela impulsa, što je otprilike 50%.

Mjerenja faze pomoću pokazivača

- Spojite izlaz funkcijskog generatora na kanal CH1, a TTL izlaz (na stražnjem dijelu generatora) na kanal CH2.
- Podesite frekvenciju generatora na najvišu moguću vrijednost, koristeći trokutasti izlazni signal.
- Aktivirajte AUTOSET funkciju osciloskopa.
- Provjerite da se kanal CH1 koristi kao izvor okidanja.
- Podesite vertikalni otklon i vertikalni položaj valnih oblika da su jasno odvojeni.
- Promjenom vremenske baze dobijemo prikaz malo više od jedne periode signala na zaslonu pomoću promjenjivog načina rada ako je potrebno.
- Podesi razinu okidanja da prikaže dovoljno informacija na rastućem bridu impulsa valnog oblika na kanalu CH1 (vidi sliku 5.9).



Slika 5.9. Mjerenja faze pomoću pokazivača

- Postavi svaki valni oblik simetrično oko vodoravne linije rastera,
- uključi pokazivače i odaberi vertikalne pokazivače za mjerenje vremena,
- odaberi očitavanje faze.
- Sada postavi pokazivač da označi jedan period valnog oblika sa kanala CH1, počevši od prvog rastućeg brida. Koristite križanja sa horizontalnim linijama rastera kao referentnima za pronaći sredinu bridova.

Pritisnite dugme 'AT = 360' da osciloskop prepozna ovaj vremenski interval kao puni period. PM 3394A, automatski prepozna period iz frekvencije okidačkog izvora. Ne mijenjajte poziciju prvog pokazivača, dok drugi pokazivač postavljate na sredinu rastućeg brida impulsa valnog oblika na kanalu CH2. Kod PM 3394A, mali križić, koji označava sjecište valnog oblika i linije vertikalnog pokazivača može se postaviti na bilo koji valni oblik. Pomoću 'select cursor trace' odabiremo način u izborniku pokazivača. Očitavanje fazne razlike između dva valna oblika je u stupnjevima. PM 3394A automatski prepoznaje frekvenciju signala sa odabranog izvora okidanja. Od ove frekvencije, 360 stupnjeva je referenca za automatski izvedena mjerenja faze. Ako se frekvencija signala mijenja, PM 3394A, stoga prilagođava referentne pokazivače automatski. Kod drugih instrumenta, uključujući PM 3092, odabir novog perioda obavlja se ručnim kontrolama.

Mjerenje amplitude signala pomoću pokazivača

- Primijenite ulazni signal na osiloskop,
- pritisnite AUTOSET,
- prebaci na pokazivače i odaberi horizontalni ili amplitudni mjerni pokazivač,
- postavi jedan pokazivač da razdvoji najniže vrijednosti signala, a drugi da identificira najviše vrijednosti signala.

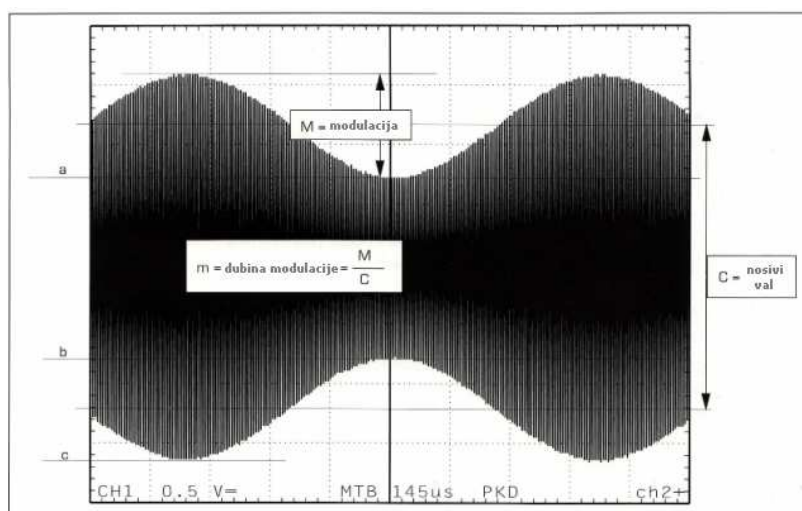
Očitavanje pokazivača sada daje razliku između dvije razine napona, koje su efektivne vrijednosti (peak-to-peak) amplitude valnog oblika. Na nekim osciloskopima poput PM 3092, očitavanje se može mijenjati tako da prikaže apsolutnu razinu svakog pokazivača pojedinačno. To je osobito korisno kada se DC komponente signala preklapaju, kao i za mjerenja logičkih signala.

Mjerenje dubine modulacije AM signala

Prethodna mjerenja amplituda izgledaju prilično jednostavna i ne pokazuju sve mogućnosti mjerenja pokazivačima. Mnogo složenija mjerenja pomoću pokazivača izvodimo za pronaći odnos između dvije amplitude. Dubina modulacije amplitudnog modularnog signala se definira kao omjer amplitude modulacije naspram amplitude vala nosioca.

- Za mjerenje dubine modulacije, postavimo generator da daje amplitudno modulirani signal. Ako je moguće, postavite dubinu modulacije na poznati nivo.
- Dovedite modulirani signal na kanal CH1 i na CH2.
- Pritisnite AUTOSET, što kod Fluke osciloskopa automatski odabire najniže frekvencije signala kao uvjet okidanja.
- Isključite kanal CH2, jer želimo pogledati samo modulirane signale.
- Sa PM 3394A, odaberite analogni način rada, odnosno, kada je u digitalnom načinu, odaberite način rada detekcije vrhova.

Podešavanje vremenske baze i vertikalne osjetljivosti daje sličan prikaz kao na slici 5.10.



Slika 5.10. Dubina modulacije AM signala

- Prebaci na pokazivače, odaberi horizontalni pokazivač,
- prebaci sa očitavanja na AV omjer,
- bez obzira na iznos modulacije, amplituda vala nosioca može se mjeriti postavljanjem pokazivača iznad valnog oblika na razini **a** i **c** (vidi sliku 5.10).
- Pritisnite tipku $\Delta V=100\%$ da to prepozna kao amplitudu vala nosioca, koji se smatra 100%.
- Pomakni gornji pokazivač prema dolje dok ne bude na razini **b** (vidi sliku 5.10).

Očitavanja pokazivača sada daju dubinu amplitudne modulacije u postocima.

3) Ova mjerenja zahtijevaju izvor signala sa mogućnošću amplitudne modulacije, npr. PM 5134, PM 5133A or PM 5139.

5.5 Mjerenja sa Digitalnim Osciloskopima sa pohranom

Većinu mjerenja koje smo izvršili do sada, možemo izvršiti analognim osciloskopom ili digitalnim osciloskopima sa pohranom. U nastavku ćemo razmatrati specifične mogućnosti digitalnih osciloskopa sa pohranom, kao što su akviziranje single-shot udarnih signala i automatska mjerenja. Digitalni osciloskop sa pohranom, jedini ima sposobnost za pohranu valnog oblika, što nam omogućuje akviziranje signala u situacijama u kojima nismo mogli zamisliti da je bilo koji signal bio na raspolaganju.

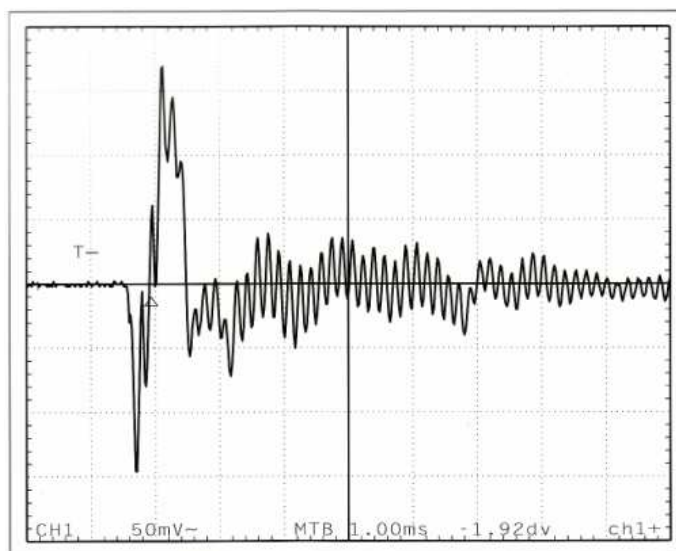
Akviziranje single-shot udarnih signala

Priključite kabel sa BNC konektorima na CH1 ulazni kanal PM 3394A, i ostavite drugi kraj kabla odspojen. Provjerite da li je način rada osciloskopa digitalni sa pohranom.

- Pritisnite AUTOSET i zamjetite da instrument nije pronašao niti jedan ulazni signal, ali je na osnovu toga odabrao standardne postavke;
 - 50 mV/pod.,
 - 1 ms/pod.,
 - uključen kanal CH1, okidan pozitivnim bridom signala,
 - koristi AUTO okidanje u odsustvu signala.
- Odaberi 2 podjele predhodno okidanog prikaza.
- Prebaci na 10 mV/pod.
- Odaberi DC okidanje iz okidnog izbornika,
- isključi efektivnu razinu okidanja (peak-to-peak).
- Prebaci na okidački način rada iz izbornika TB načina rada, što onemogućuje automatsko okidanje.
- Postavite pokazivač razine okidanja 'T—' oko polovine podjele iznad referentne vrijednosti.

Uzmi otvoreni kraj kabla sa BNC konektorima i baci ga da odskoči po stolu.

Primjeti da ovo uzrokuje mali električni signal koji generira odskakanje kablenskog konektora, te da ga je akvizirao osciloskop (vidi sliku 5.11).



Slika 5.11. Signal koji generira odskakanje odspojenog kablenskog konektora od stola

Pohranjivanje valnog oblika

Sad kad smo akvizirali pravi single-shot udarni događaj, pohraniti ćemo ga u back-up memoriju za kasniju upotrebu.

- Odaberi SAVE izbornik što omogućava pohranu u bilo koju memoriju.
- Pomoću TRACK okretne kontrole odaberi upravo tu memoriju.
- Spremi valni oblik u memoriju 3 (m3).

Krug ispred m3 sada će biti ispunjen, što znači da memorija 3 sada sadrži podatke o valnom obliku. Ako je krug već ispunjen, osciloskop će vas prvo pitati da li je u redu prebrisati ovu memoriju novim podacima.

Automatska mjerenja

Većina modernih digitalnih osciloskopa kao Fluke PM 3394A mogu obaviti mjerenja potpuno automatski, bez uporabe pokazivača. Dostupna su sva uobičajena mjerenja. Instrument koristi pohranjene podatke valnog oblika i slijedi standardne algoritme definirane od IEEE udruženja, za postizanje odabranih mjernih rezultata.

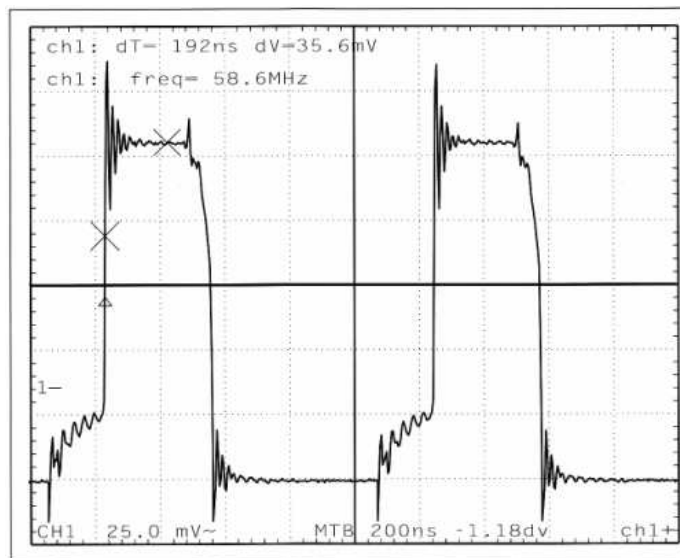
Kao primjer, izmjeriti ćemo amplitudu akviziranog single-shot udarnog signala.

- Otvorite izbornik MEASURE.
- Odaberite 'MEASurement 1'. Standardno je postavljen za mjerenja efektivne vrijednosti (peak-to-peak) amplitude, što upravo odgovara našoj primjeni.
- Prebaci na ova mjerenja, a rezultat je trenutno prikazan na ekranu.

Imajte na umu da široki spektar takvih automatskih mjerenja može biti izveden kombiniran u izborniku kao amplitudno-ovisna, vremenski-ovisna uključujući period i frekvenciju i mjerenja kašnjenja.

Pokazivačem ograničena mjerenja

Razmotri signal prikazan na slici 5.12.



Slika 5.12. Pravokutni valni oblik sa istitravanjem

Ako je uočeno istitravanje na nekim frekvencijama odziv osciloskopa odgovarat će zadanim frekvencijama pravokutnog vala. Za automatski mjerenje frekvencije istitravanja, postavke osciloskopa možemo mijenjati samo na način na koji je istitravanje akvizirano. Alternativno, usporena vremenska baza DTB može se koristiti za akviziranje samo tog specifičnog dijela signala, ali na taj način se gubi pregled ukupnog signala. Neki osciloskopi imaju mogućnost da obave automatski mjerenja unutar određenog dijela valnog oblika, koji je identificiran pomoću pokazivača. Time se prikaz ukupnog signala održava a izvođenje mjerenja kontrolira na osnovu određenog detalja signala, kao što je frekvencija ili amplituda istitravanja, odnosno frekvencija unutar praska impulsa.

Primjer mjerenja ograničenih pokazivačima

- Unutar RECALL izbornika možemo obaviti ponavljanje valnih oblika pohranjenih u memoriji br. 3 te njihov prikaz na ekranu osciloskopa.
- Prelazite kroz izbornik listanjem memorije br. 3 dok ne bude istaknuta.
- Prebacite se na prikaz tog valnog oblika.
- Prikaz ulaznih kanala može se onemogućiti pritiskom Channel 1 tipke oznake 'ON'.

Budući da je još jedan valni oblik prikazan na zaslonu, akvizicijska memorija biti će isključena.

- Otvorite izbornik mjerenja, te postavite 'measurements1' da izračunava efektivnu vrijednost amplitude.
- Odaberite ugnježdeni izbornik 'Cursor limit' i uključite ograničeno pokazivanje.
- Pokazivači će se automatski pojaviti.
- Postavi pokazivač na detalj signala i primjeti oznaku na amplitudi.
- Pomakni dva pokazivača da izdvoje slijedeći dio signala i pogledaj kako se efektivne vrijednosti očitavanja razlikuju za različite dijelove valnog oblika.

Mjerenje u samopodešavajućem načinu rada

- Spojite izlaz generatora funkcija na bilo koji od ulaza PM 3394A.
- Postavite generator za davanje sinusoidnog vala od oko 1 kHz, 1 Vp-p.
- Pritisnite AUTOSET.
- Provjerite dali je instrument u digitalnom načinu pohrane.
- Pritisnite ljubičastu tipku AUTORANGE u izborniku vremenske baze, kao i na ulaznom kanalu koji nosi signal.
- Sada mijenjajte postavke amplitude i frekvencije na signal generatoru i primjetite da se osciloskop automatski podešava kako se mijenja signal.

Kao što možete vidjeti, samopodešavajući CombiScope slijedi bilo kakve promjene u signalu. To ga čini savršenim alatom za testiranje nekoliko različitih signala, primjerice u održavanju ili popravljanju kvarova, odnosno pokretanju prototipova. Ako imate bilo kakav elektronički sustav pri ruci, pokušajte sami odrediti ispitne točke za sonde u tom sustavu. Primijetite kako signale različitih amplituda i frekvencija prepoznaje instrument, i omogućava njihov postojani prikaz točnih amplituda i ispravne brzine preleta. Za usporedbu, provjerite iste ispitne točke ponovo bez samopodešavanja. Primjetno je olakšano rukovanje u samopodešavajućem *hands-free* načinu rada!

6. ZAKLJUČAK

Mjerenja električnih veličina predstavljaju vrlo važan segment u električnim tehnologijama čovječanstva. Stoga su razvijani, isprva primitivni i mehanički mjerni postupci i uređaji, a zatim sve sofisticiraniji mjerni instrumenti, od kojih je svakako najznačajniji osciloskop. Ovdje smo razmatrali njegovu primjenu u telekomunikacijama, gdje se upotrebljava za široki raspon mjerenja.

Prezentacija osnova osciloskopa u prvom dijelu započinje usporedbom sa voltmetrom i objašnjenjem osnovnih načela rada. U nastavku slijedi opis osobina, osnovnih dijelova i dodatnih funkcija analognih osciloskopa, te objašnjenje njihova utjecaja na mjerne mogućnosti instrumenta. Mogućnostima pomoću kojih digitalni osciloskopi nadilaze analogne, u drugom dijelu započinje razmatranje digitalnih osciloskopa sa pohranom, osvrtnom na uzorkovanje i digitalizaciju, odnosno opisom primjene i njihovih osnovnih dijelova, uključujući i razlike u odnosu na analogne osciloskope. Izbor analognog ili digitalnog, odnosno dileme oko nabavke osciloskopa, objašnjavaju vrste i karakteristike promatranih signala kao i osobine zahtijevanih mjerenja. Prikazani su i primjeri, čija usporedba olakšava korisnicima odluku koji je od ova dva tipa ili njihova kombinacija najbolji izbor ovisno o upotrebi. Povezivanje različitih mjernih sondi na sistem kojeg testiramo i njihov utjecaj na rezultate mjerenja, kao i ostale dodatne opreme prikazan je u četvrtom dijelu. Objašnjenje je kako kompenzirati degradiranje mjernih rezultata kod korištenja sondi prilikom mjerenja. Prikazana su najčešće korištena sučelja, softverske mogućnosti kao i programibilno okruženje digitalnih osciloskopa.

U praktičnom dijelu koji objašnjava upotrebu osciloskopa za mjerenja u telekomunikacijama, dan je pregled i uputstva za opremu koju smo koristili, te primjeri nekih osnovnih telekomunikacijskih mjerenja. U nastavku je razmatrano korištenje pokazivača prilikom izvođenja mjerenja kao i primjeri mjerenja pomoću pokazivača. Na kraju su prikazani neki primjeri i objašnjena mjerenja pomoću digitalnih osciloskopa sa pohranjivanjem. Sva prikazana mjerenja su izvedena primjenom Fluke osciloskopa i laboratorijskih modela "hps" i "Promax" u Laboratoriju za elektroniku Sveučilišnog studijskog centra za stručne studije.

7. LITERATURA:

- [1] Grupa autora Fluke kompanije: The ABC's of oscilloscopes, Everett, 1997.
- [2] Dr. Kamilo Feher and Engineers of Hewlett-Packard, Telecommunications measurements, analysis and instrumentation, Noble Publishing Corporation, 1997.
- [3] Textronics, XYZs of oscilloscopes, Oregon, 2001.
- [4] D.Begušić, J.Ožegović, M. Pervan, V. Roje, N. Rožić, A. Štambuk, M. Vrdoljak, I. Zanki: Rječnik komunikacijske tehnologije – drugo izdanje, Dictionary of Communications Technology – second edition, Nakladnik – FESB Split, R. Boškovića b.b.
- [5] Lj. Malešević: Repetitorij elektroničkih sklopova, Veleučilište u Splitu, 2001.