

Elektrotehnički fakultet u Beogradu

Predrag Pejović

PRINCIP RADA I PRIMENA OSCILOSKOPA

- priručnik za rad u laboratoriji -

Beograd, 1999.

PREDGOVOR

Osciloskop nesumnjivo predstavlja najznačajniji indikatorski i merni instrument svake laboratorije za elektroniku. Mnoštvo mogućnosti koje osciloskop pruža, izvanredna mogućnost vizuelizacije i široka oblast primene, uslovljavaju poznavanje rukovanja osciloskopom preduslovom za bilo kakav eksperimentalni rad u elektronici. Osposobljavanje studenata da samostalno uspešno rukuju osciloskopom je minimalni cilj svakog kursa električnih merenja. Obrazovanje inženjera elektrotehnike bez potpunog osposobljavanja za rukovanje osciloskopom je nepotpuno.

Klasični udžbenici električnih merenja osciloskop tretiraju prevashodno teorijski, a za niz za praksu značajnih detalja upućuju na uputstva za dostupni osciloskop. Ova uputstva su studentima najčešće nedostupna. Uz to, razvojem osciloscopa je došlo do konvergencije komandi do gotovo standardnog skupa, čak i do skoro standardnog rasporeda komandi na kontrolnoj ploči. Zanimljivo je da moderni digitalni osciloskopi za niz komandi koje imaju i analogni osciloskopi koriste gotovo identična rešenja. Stoga je postalo smisljeno napisati priručnik za korišćenje osciloscopa koji bi imao opštiju važnost od uputstva za upotrebu određenog osciloscopa.

U ovom priručniku su prvo prikazani principi rada osciloscopa, a zatim je naveden niz metoda za posmatranje talasnih oblika signala i različita merenja na njima. Teorijska razmatranja su ilustrovana na primerima osciloscopa Tektronix 2205 i 2215A. Osnovna namena priručnika je da pomogne studentima u savladavanju rukovanja osciloskopom, koje se obično predaje u okviru kurseva električnih merenja, kao i da pomogne studentima u izradi laboratorijskih vežbi iz elektronike. Autor se nada da će ovaj priručnik biti od koristi i svima ostalima koji manje ili više uspešno koriste osciloskop.

U Beogradu, 9.9.1999. godine,

Autor

SADRŽAJ

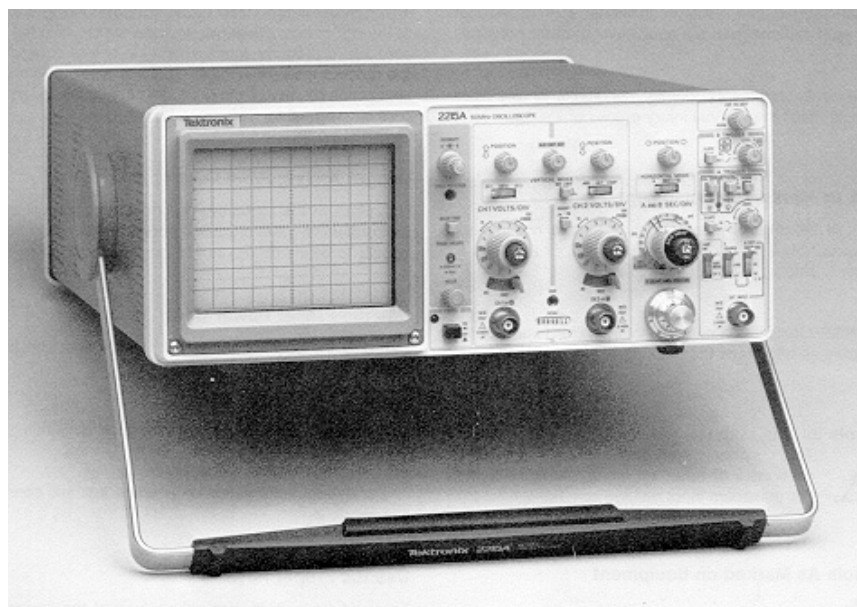
1. UVOD	1
2. PRINCIP RADA OSCILOSKOPA.	3
2.1. KATODNA CEV	3
2.2. STRUKTURA OSCILOSKOPA	9
2.3. POJAČAVAČI ULAZNIH SIGNALA	10
2.4. SISTEM ZA HORIZONTALNO SKRETANJE	14
2.5. SISTEM ZA SINHRONIZACIJU	19
2.6. OSVRT NA DIGITALNE OSCILOSKOPE	25
3. OSCILOSKOPSKE SONDE	27
4. MERENJA POMOĆU OSCILOSKOPA	29
4.1. GRADUACIJA EKRANA	29
4.2. MERENJE NAPONA	30
4.3. MERENJE AMPLITUDE	31
4.4. MERENJE JEDNOSMERNE KOMPONENTE NAIZMENIČNIH SIGNALA	32
4.5. MERENJE VREMENSKIH INTERVALA	33
4.6. MERENJE PERIODE I FREKVENCIJE	34
4.7. MERENJE TRAJANJA USPONSKE I SILAZNE IVICE DIGITALNIH SIGNALA	35
4.8. MERENJE FAZNE RAZLIKE	37
4.9. MERENJE FAZNE RAZLIKE PRIMENOM LISAŽUOVIIH FIGURA	39
5. PROBLEM SA MASOM	41
LITERATURA	44

1. UVOD

Osciloskop je uz univerzalni instrument za merenje napona, struje i otpornosti najčešće korišćen merni instrument u elektronici. Osnovna namena mu je prikazivanje vremenskih oblika periodičnih naponskih signala, ali se može koristiti i za prikazivanje međusobne zavisnosti dva naponska signala (merenje faze i učestanosti primenom Lizažuovih figura, snimanje prenosne karakteristike nelinearnih rezistivnih kola, snimanje krive magnećenja feromagnetskih materijala), kao i prikazivanje aperiodičnih signala. Uz primenu odgovarajućih strujnih sondi koje konvertuju strujne signale u naponske, moguće je prikazivanje vremenskih oblika strujnih signala. Takođe, uz primenu odgovarajućih senzora koji konvertuju neelektrične fizičke veličine u električni napon, moguće je vršiti posmatranja i merenja na neelektričnim signalima.

Osciloskop je instrument sa velikim mogućnostima, a ujedno i osnovni instrument u elektronici. Uspeh u primeni osciloskopa mnogo više nego kod drugih instrumenata zavisi od kvalifikovanosti operatera za njegovu svestranu i uspešnu primenu. Višegodišnja iskustva pokazuju da studenti najčešće nepotpuno ovladaju tehnikom primene osciloskopa tokom studija, a da potpunu rutinu i uvid u sve mogućnosti osciloskopa steknu tek po završetku studija, kroz praktičan rad. Cilj ovog priručnika je da omogući studentima da se efikasno pripreme za rad u laboratoriji i potpuno ovladaju tehnikom primene osciloskopa kroz relativno mali broj laboratorijskih vežbi. U priručniku su prikazani osnovni principi rada osciloskopa, čije je poznavanje neophodno za njegovu uspešnu primenu, kao i opisi tehnika sinhronizacije osciloskopa i merenja pomoću osciloskopa. Iskustvo pokazuje da je sinhronizacija osciloskopa jedan od prvih i najvećih problema sa kojim se korisnici sreću tokom obučavanja za rad sa osciloskopom, pa je problemu sinhronizacije slike na osciloskopu posvećena posebna pažnja.

Poslednjih godina je došlo do drastičnog pada cene i unapređenja performansi digitalnih osciloskopa, tako da oni ulaze u sve širu primenu na učestanostima do 100 MHz. Današnji digitalni osciloskopi imaju komande veoma slične komandama analognog osciloskopa, a pružaju i dodatne pogodnosti u oblasti lakog prenosa rezultata merenja na računar, njihove dalje digitalne obrade, kao i niza automatizovanih merenja na posmatranom vremenskom dijagramu. Osim ovoga, noviji digitalni osciloskopi



Slika 1. Analogni osciloskop Tektronix 2215A.

napuštaju koncept katodne cevi kao indikatorskog sistema i prelaze na displej na bazi tečnog kristala, čime se bitno smanjuju dimenzije i težina osciloskopa. Očigledno, i kod osciloskopa sve više prodire koncepcija računara kao mernog sistema, svodeći merenje na senzorski deo koji vrši konverziju posmatrane fizičke veličine u električni napon ili struju, konverziju tog signala u digitalni oblik i njegovu naknadnu digitalnu obradu.

U ovom priručniku će prvo biti obrađeni analogni osciloskopi koji su još uvek jako zastupljeni u laboratorijama i industriji i čije razumevanje je preduslov za uspešnu primenu osciloskopa. Potom će biti analizirani digitalni osciloskopi sa naznakom njihovih dodatnih mogućnosti u poređenju sa analognim osciloskopima.

Priručnik je baziran na primeru dva osciloskopa firme Tektronix, jednog od najvećih svetskih proizvođača, na analognom osciloskopu Tektronix 2215A i digitalnom osciloskopu Tektronix TDS 210. Osciloskop Tektronix 2215A je prikazan na slici 1, na kojoj se vidi ekran osciloskopa na kome se prikazuju dijagrami posmatranih signala, komande osciloskopa i priključna mesta za osciloskopske sonde. Osciloskop je dvokanalni, što znači da omogućava istovremeno posmatranje dva nezavisna signala.

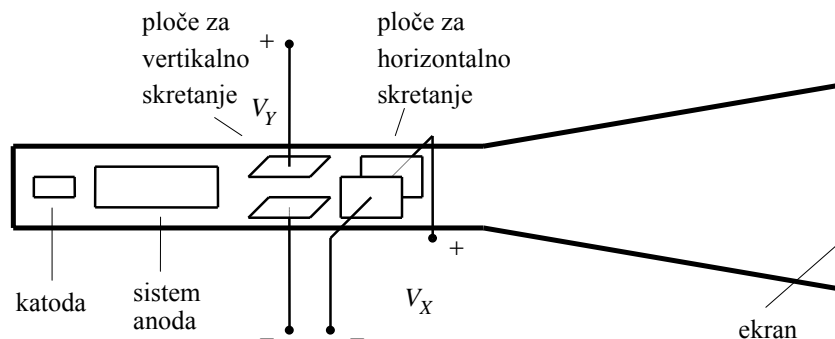
2. PRINCIP RADA OSCILOSKOPA

2.1. KATODNA CEV

Kod svih analognih i većeg broja digitalnih osciloskopa katodna cev (*crt*, *cathode ray tube*) je jedan od osnovnih elemenata. Namena katodne cevi je da se na njenom ekranu prikažu dijagrami posmatranih signala. Analizu principa rada osciloskopa prikazanu u ovom priručniku započecemo baš od katodne cevi.

Katodna cev se sastoji iz staklene posude (cevi) iz koje je evakuisan vazduh. Poprečni presek cevi je prikazan na slici 2. Princip rada katodne cevi se zasniva na emisiji svetlosti sa fluorescentnog ekrana kada je pogođen snopom ubrzanih elektrona. Stoga se u katodnoj cevi nalazi izvor elektrona baziran na termoelektronskoj emisiji. Katoda, koja je izvor elektrona, zagreva se do usijanja grejnim vlaknom i usled intenzivnog termičkog kretanja neki elektroni je napuštaju. Tako se oko katode stvara oblak elektrona koji se ubrzavaju i fokusiraju sistemom anoda. Funkcija sistema anoda je da usmeri kretanje elektrona ka ekranu katodne cevi, da ih ubrza i da ih fokusira u uzak snop. Fokusiranje i ubrzavanje elektrona se vrši na elektrostatičkom principu. Regulacijom potencijala pojedinih anoda iz anodnog sistema može se podešavati fokusiranost elektronskog mlaza na ekranu, kao i njegov intenzitet.

Formirani elektronski mlaz se na putu ka ekranu kreće kroz sistem za skretanje. Sistem za skretanje elektronskog mlaza je kod osciloskopa baziran na elektrostatičkom principu, čime je omogućena dobra linearnost, mala potrošnja i veliki propusni opseg.



Sistem za skretanje elektronskog mlaza se sastoji iz dva para ploča, ploča za vertikalno skretanje mlaza (par od dve horizontalno postavljene ploče) i ploča za horizontalno skretanje mlaza (par od dve vertikalno postavljene ploče).

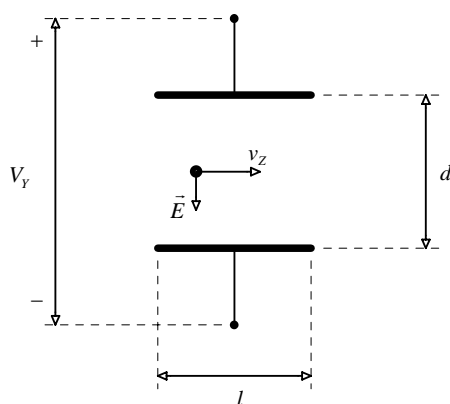
Posmatrajmo par ploča za vertikalno skretanje elektronskog mlaza, prikazan na slici 3. Pretpostavićemo da je na ploče doveden napon V_y i da je komponenta brzine kretanja elektrona usmerena ka ekranu osciloskopa po izlasku iz sistema anoda v_z . Pod dejstvom primenjenog napona u prostoru između ploča je stvoreno električno polje intenziteta

$$|\vec{E}| = \frac{V_y}{d}, \quad (1)$$

gde je d rastojanje između ploča sistema za skretanje, označeno na slici 3. U analizi skretanja elektrona pod dejstvom električnog polja zanemarićemo efekte krajeva. Na elektron koji se kreće u električnom polju nastalom usled napona V_y u prostoru između ploča deluje sila

$$\vec{F} = m_e \frac{d\vec{v}}{dt} = -q\vec{E}, \quad (2)$$

gde je $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C elementarno naelektrisanje, a m_e je masa elektrona. Kako je sila koja deluje na elektron usmerena duž vertikalne (y) ose, jednačina (2) se može pisati u skalarnom obliku kao



Slika 3. Ploče za vertikalno skretanje elektronskog mlaza.

$$m_e \frac{d v_Y}{d t} = -q E_Y = -q \frac{V_Y}{d} \quad (3)$$

Zanemarujući efekte krajeva i smatrajući intenzitet električnog polja između ploča sistema za skretanje konstantnim, možemo preći na konačne razlike

$$m_e \frac{\Delta v_Y}{\Delta t} = -q \frac{V_Y}{d}, \quad (4)$$

gde je Δv_Y promena komponente brzine elektrona duž y ose, a Δt vreme koje protekne tokom kretanja elektrona u prostoru između ploča sistema za skretanje, odnosno vreme tokom koga je elektron izložen delovanju električnog polja skretnog sistema. Vreme Δt je dato sa

$$\Delta t = \frac{l}{v_Z}, \quad (5)$$

gde je l dužina ploča sistema za skretanje označena na slici 3.

Kako je elektron pre ulaska u sistem za skretanje imao komponentu brzine duž y ose jednaku nuli, promena te komponente njegove brzine tokom kretanja kroz sistem za skretanje je jednaka krajnjoj vrednosti brzine elektrona duž y ose, v_Y ,

$$\Delta v_Y = v_Y - 0 = v_Y. \quad (6)$$

Zamenom (5) i (6) u (4) dobija se krajnja vrednost brzine elektrona duž y-ose nakon izlaska iz sistema za skretanje kao

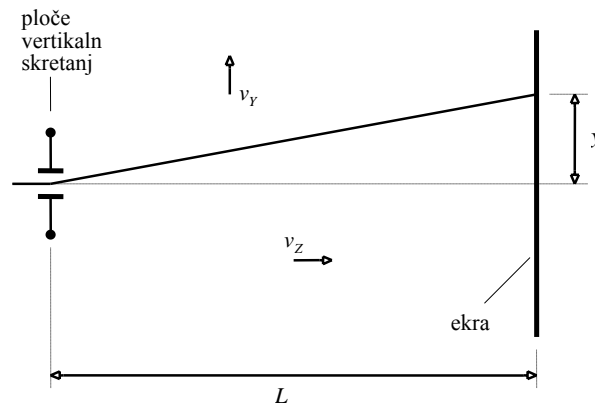
$$v_Y = -\frac{q}{m_e} \frac{l}{d} \frac{V_Y}{v_Z}. \quad (7)$$

Analogno se može izvesti i jednačina koja opisuje ubrzavanje elektrona u sistemu za horizontalno skretanje, duž x-ose.

Da bi odredili mesto udara elektronskog mlaza u ekran osciloskopa, gde će ostati svetleći trag, posmatrajmo kretanje elektrona nakon izlaska iz sistema za skretanje, ilustrovano na slici 4. Elektron se nakon izlaska iz sistema za skretanje kreće po inerciji, i njegova komponenta brzine duž y ose se ne menja. Pod pretpostavkom da je unutar sistema za skretanje elektron prešao zanemarljivo mali put u y pravcu, što je prihvatljiva pretpostavka obzirom na već učinjeno zanemarivanje efekta krajeva, koordinata y u kojoj će elektron udariti u ekran se može odrediti iz odnosa njegove brzine duž horizontalne ose od katode ka ekranu v_Z i komponente njegove brzine duž y ose v_Y kao

$$y = L \frac{v_Y}{v_X}, \quad (8)$$

gde je L rastojanje od sistema za skretanje mlaza do ekrana katodne cevi, označeno na slici 4.



Slika 4. Kretanje elektrona nakon izlaska iz sistema za skretanje.

Zamenom (8) u (7) dobija se

$$y = -\frac{q}{m_e} \frac{l}{d} L \frac{V_Y}{v_Z^2}. \quad (9)$$

Komponenta brzine elektrona u smeru ka ekranu osciloskopa v_Z je posledica ubrzavanja elektrona u sistemu za ubrzavanje i fokusiranje elektronskog mlaza. Pod pretpostavkom da je u sistemu za ubrzavanje elektron prešao potencijalnu razliku V_A , kinetička energija elektrona po izlasku iz sistema za ubrzavanje je

$$\frac{m_e v_Z^2}{2} = q V_A \quad (10)$$

odakle je

$$v_Z^2 = \frac{2}{m_e} q V_A. \quad (11)$$

Zamenom (11) u (9), za skretanje elektronskog mlaza duž y ose se konačno dobija

$$y = \frac{1}{2} L \frac{l}{d} \frac{V_Y}{V_A}. \quad (12)$$

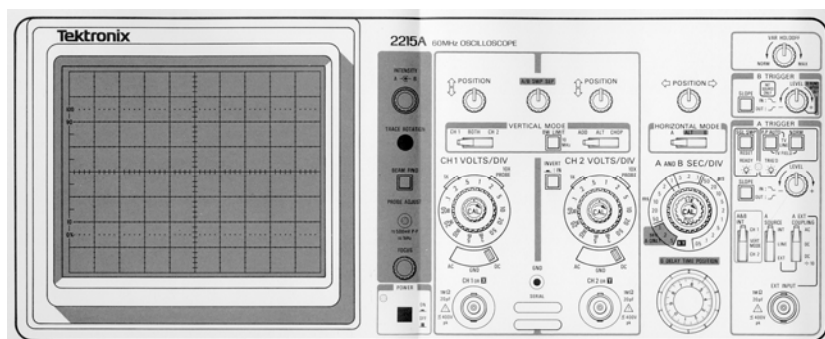
Analognim postupkom može se izvesti jednačina za skretanje elektronskog mlaza duž x ose kao

$$x = \frac{1}{2} L \frac{l V_x}{d V_A}. \quad (13)$$

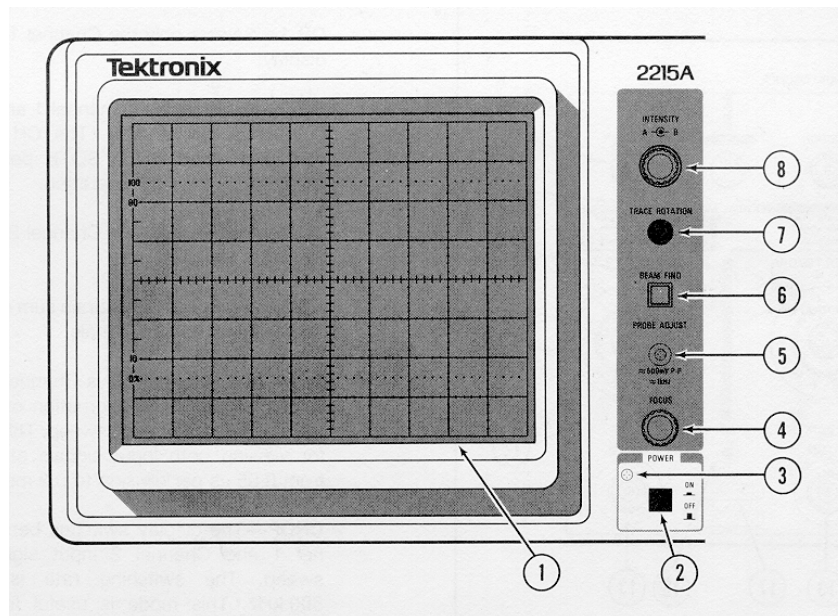
Na osnovu jednačina (12) i (13) može se zaključiti da je koordinata na kojoj elektronski mlaz udara u ekran osciloskopa proporcionalna naponu primenjenom na pločama sistema za skretanje. Ovaj zaključak ima fundamentalan značaj za dalju analizu rada osciloskopa i predstavlja vezu između geometrije slike na ekranu osciloskopa i primenjenih napona na skretnom sistemu koji kontrolišu sliku katodne cevi. Zadatak ostalih sklopova osciloskopa je da obezbede potrebne napone na skretnom sistemu kako bi se omogućilo iscertavanje dijagrama signala u željenom opsegu ulaznih napona i učestanosti.

Ekran osciloskopa je sa unutrašnje strane presvučen jedinjenjem na bazi fosfora koje ima osobinu fluorescencije, čime se na mestu udara elektronskog mlaza o ekran stvara svetleća tačka. Tačka izložena elektronskom snopu nastavlja da svetli i neko vreme nakon prestanka dejstva elektronskog mlaza. Ova osobina je od značaja kada se posmatraju sporo promenljivi signali i kada perzistencija osvetljenosti tačke pogođene elektronskim mlazom treba da obezbedi veću trajnost i malo treperenje posmatranog dijagrama.

Na slici 5 je prikazana prednja ploča analognog osciloskopa Tektronix 2215A. Na levoj strani prednje ploče se vidi ekran osciloskopa, dok se na desnoj strani nalaze brojne komande osciloskopa.



Slika 5. Prednja ploča osciloskopa Tektronix 2215A.



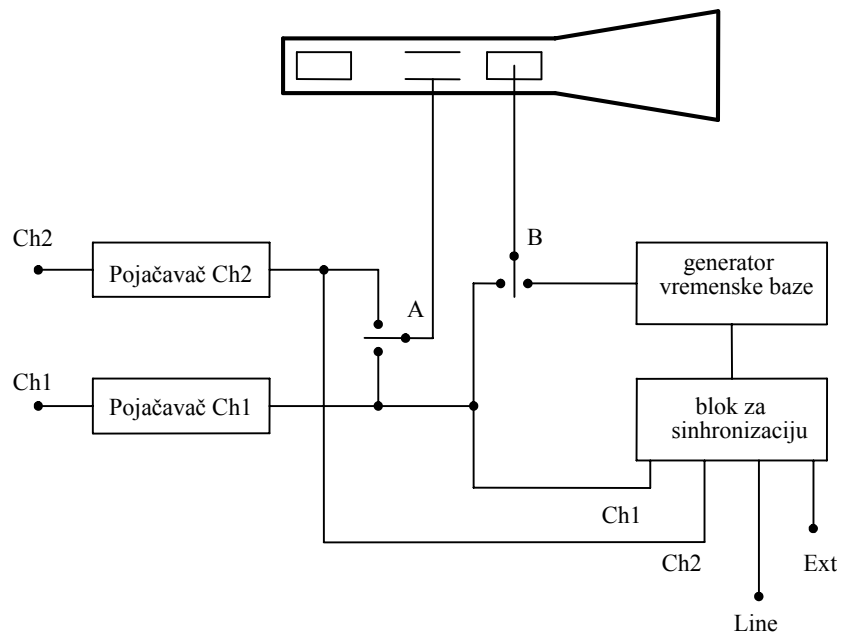
Slika 6. Ekran i komande za kontrolu elektronskog mlaza.

Na slici 6 je prikazan ekran osciloskopa (označen brojem 1) i dugmad za osnovnu kontrolu slike na osciloskopu. Ekran razmatranog osciloskopa je širine 10 cm i visine 8 cm. Ova dimenzija ekrana se može smatrati tipičnom. Čak i u slučaju da ekran nije te dimenzije, najčešći odnos njegove visine i širine jeste 8/10. Ekran osciloskopa ima graduaciju ucrtanu sa unutrašnje strane katodne cevi, kako bi se izbegla greška očitavanja usled paralakse. Ekran je izgraduisan na podeoke, 8 vertikalnih i 10 horizontalnih. Podeok se na kontrolnim dugmadima i u uputstvima za osciloskope označava sa DIV (*division*). Na ekranu osciloskopa su pojačane dve centralne ose, koje se koriste za merenja na posmatranim dijagramima. Na tim osama je uneta i dodatna graduacija kojom je svaki podeok podeljen na pet jednakih delova (u laboratorijskom slengu se ti delovi nazivaju "crtice", nasuprot podeocima koji se nazivaju "kockice"). Vrednost jednog pod-podeoka ("crtice") iznosi 0.2 podeoka (0.2 div ili 0.2 "kockice"). Podrazumevajući maksimalnu rezoluciju definisanu rastojanjem između dva pod-podeoka na graduisanim osama osciloskopa, rezolucija osciloskopa po vertikalnoj osi je $0.2/8 = 2.5\%$ pune skale, dok je rezolucija po horizontalnoj osi $0.2/10 = 2\%$ pune skale.

Osim ekrana, na slici 6 se vide i dugmad za opštu kontrolu slike na osciloskopu. Brojem 2 je označeno dugme za uključenje i isključenje osciloskopa (ON/OFF), a brojem 3 je označena indikatorska svetleća dioda koja označava da je osciloskop uključen. Potencijometrom označenim brojem 4 (FOCUS) se podešava potencijal fokusirajuće anode u sistemu za fokusiranje i ubrzavanje elektronskog mlaza, čime se podešava oštrina slike na osciloskopu, odnosno fokusira elektronski mlaz. Brojem 5 je označen pristup izvoru signala (PROBE ADJUST) koji se koristi za testiranje i podešavanje sonde (*probe*) osciloskopa, o čemu će biti više reči kasnije. Veoma korisna komanda osciloskopa je ostvarena tasterom označenim brojem 6, BEAM FIND. Veoma često se desi da je zbog promene posmatranog signala ili promene položaja nekog od kontrolnih dugmadi dijagram prikazanog signala izvan slike osciloskopa. Pritiskom na taster BEAM FIND sabija se slika na osciloskopu i može se utvrditi gde se elektronski snop kreće, levo, desno, iznad ili ispod ekrana. Pogodnim podešavanjem se onda lako može elektronski mlaz dovesti na ekran, o čemu će biti više reči kasnije. Trimer označen brojem 7 (TRACE ROTATION) služi za podešavanje nagutosti traga elektronskog mlaza. Njegovo podešavanje je potrebno veoma retko. Suštinski, on reguliše "preslušavanje" između sistema za vertikalno i horizontalno skretanje elektronskog mlaza. Veoma često podešavanje zahteva potencijometar označen brojem 8 (INTENSITY) kojim se reguliše osvetljenost ekrana. Intenzitet osvetljenosti treba prilagoditi spoljnjem svetlu tako da se na ekranu vidi jasna slika. Osvetljenost najčešće treba povećati prilikom posmatranja signala veoma visokih i veoma niskih učestanosti.

2.2. STRUKTURA OSCILOSKOPA

Blok šema osciloskopa je prikazana na slici 7. Osim katodne cevi, razmatrane u prethodnom poglavlju, na slici 7 su blokovima predstavljeni pojačavači ulaznih signala (često ih nazivaju i "pojačavači za vertikalno skretanje elektronskog mlaza" i "pojačavači kanala"), generator vremenske baze i blok za sinhronizaciju slike. Ovi blokovi predstavljaju osnovne podsisteme osciloskopa i biće detaljnije razmotreni. Blokovi su međusobno povezani preklopnicama A i B. Preklopnik A reguliše koji će od ulaznih signala (kanala) biti prikazan na ekranu osciloskopa (prvi, drugi, ili oba), dok se



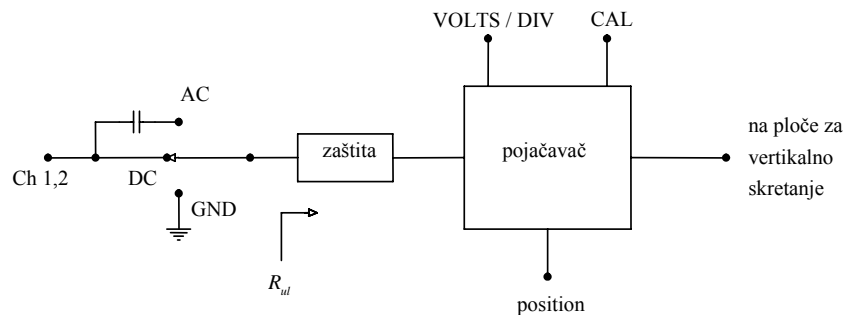
Slika 7. Blok šema osciloskopa.

preklopnikom B određuje hoće li biti prikazan vremenski dijagram ili dijagram međusobne zavisnosti dva signala.

2.3. POJAČAVAČI ULAZNIH SIGNALA

Pojačavači ulaznih signala su složeni sistemi i mogu biti predstavljeni blok šemom sa slike 8. Ulazni signal se do pojačavača dovodi preko preklopnika sa tri položaja: AC, DC i GND. Na slici 9 je prikazan deo prednje ploče osciloskopa sa komandama za kontrolu rada pojačavača ulaznih signala na kojoj je brojem 12 označen pomenuti tropoložajni preklopnik.

U položaju GND ulazni signal nije priključen na ulaz pojačavača, već je ulaz pojačavača vezan za nulti potencijal (masu). Ovaj položaj se koristi prilikom podešavanja položaja nultog nivoa napona na ekranu osciloskopa, koji ne mora nužno biti na centralnoj horizontalnoj liniji graduacije ekrana.

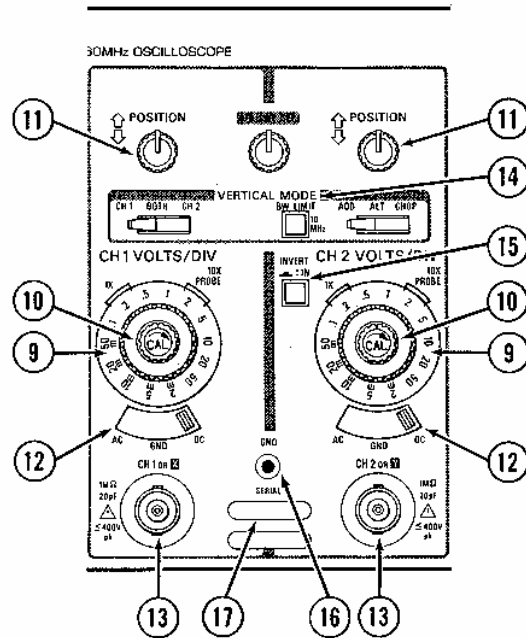


Slika 8. Pojačavač ulaznog signala.

U položaju DC signal se direktno dovodi na ulaz pojačavača. Na taj način se omogućava posmatranje trenutnih vrednosti signala (ne samo jednosmerna komponenta, nego i jednosmerna i naizmjenična komponenta istovremeno).

U položaju AC se signal dovodi na ulaz pojačavača preko razdvojnog kondenzatora koji sa ulaznom otpornošću pojačavača čini filter propusnik visokih učestanosti. Na taj način se na rednom kondenzatoru izdvaja jednosmerna komponenta signala, a pojačavaču se prosleđuje samo njegova naizmjenična komponenta. Sa položajem AC treba biti oprezan prilikom posmatranja niskofrekventnih signala, poput napona mreže. Filter propusnik visokih učestanosti koji redni kondenzator čini sa ulaznom otpornošću pojačavača najčešće ima propusni opseg koji počinje na oko 10 Hz i nije precizno definisan. Stoga je na učestanostima reda 50 Hz moguće očekivati izobličenje posmatranog signala. Stoga, pri posmatranju niskofrekventnih signala treba biti svestan ovog ograničenja i po mogućnosti izbegavati AC položaj preklopnika. U svakom slučaju, pri radu sa niskofrekventnim signalima na nekom od signala posmatrane učestanosti koji nema izraženu jednosmernu komponentu treba proveriti ponašanje pojačavača sa AC položajem preklopnika upoređenjem sa istim signalom posmatranim sa DC položajem preklopnika.

Posle preklopnika za selekciju tipa signala koji se prosleđuje pojačavaču, a nekad i pre preklopnika, nalazi se zaštita. Zaštita je najčešće elektronski sklop koji bi trebalo da zaštiti pojačavač ulaznog signala od prevelikog napona priključenog na ulaz osciloskopa. Maksimalno dopušteni napon na ulazu osciloskopa je specificiran u uputstvu za osciloskop i frekvencijski je zavistan. Na primer, kod osciloskopa Tektronix 2215A maksimalna trenutna vrednost napona na ulazu koja neće dovesti do



Slika 9. Komande za kontrolu pojačavača za vertikalno skretanje mlaza.

oštećenja je 400 V na frekvencijama do 10 kHz, da bi na frekvencijama iznad 500 kHz bila svega 12.5 V. Iskustvo pokazuje da se ne treba previše oslanjati na zaštitu i da treba voditi računa o primenjenom naponu na ulazu, kako ne bi došlo do velikog oštećenja osciloskopa.

Pojačavač treba da obezbedi pojačanje signala u veoma širokom propusnom opsegu, tipično od 0 do 60 MHz. Retki su osciloskopi kod kojih je propusni opseg pojačavača manji od 10 MHz. Osim toga, pojačavač treba da obezbedi promenu pojačanja u diskretnim skokovima (slika 9, preklopnik za podešavanje pojačanja je označen brojem 9, VOLTS/DIV), kao i kontinualnu promenu pojačanja u opsegu između dva diskretna položaja preklopnika za podešavanje pojačanja, što se postiže potencijetrom označenim brojem 10 (CAL). Takođe, zbog potrebe optimalnog korišćenja ekrana osciloskopa, potrebno je obezbediti kontrolisano dodavanje jednosmerne komponente izlaznom naponu pojačavača, čime se podešava položaj nultog naponskog nivoa kada je položaj ulaznog preklopnika (označen brojem 12)

GND. Ovo podešavanje se postiže potenciometrom označenim brojem 11 (POSITION). Osim navedenih mogućnosti, kod većine osciloskopa je moguće smanjiti propusni opseg pojačavača kako bi se smanjio šum pri posmatranju niskofrekventnih signala. Na našem primeru moguće je smanjiti propusni opseg na 10 MHz prekidačem označenim sa BW LIMIT (*bandwidth limit*), iz grupe komandi označenih brojem 14. Takođe, moguće je invertovati izlaz drugog pojačavača (dijagram signala se množi sa -1) uključanjem prekidača označenog brojem 15 na slici 9 (INVERT CH2).

Ulazni signali se dovode sondama ili preko koaksijalnog kabla na BNC konektore označene brojem 13. Konektori su označeni sa Ch1 i Ch2 (od *channel 1* i *channel 2*). Sonde za osciloskop mogu biti direktne, sa prenosnim odnosom 1:1, ili sa oslabljivačem, što je mnogo češći slučaj), sa prenosnim odnosom 10:1 ili 100:1. U praksi se najčešće sreću sonde 10:1. Prenosni odnos sonde treba uzeti u obzir prilikom merenja na posmatranim vremenskim dijagramima i zanemarivanje ove činjenice je čest izvor grešaka.

Pojačanje pojačavača se očitava na skali dugmeta za podešavanje pojačanja, označenog brojem 9 na slici 9. Veoma je važno naglasiti da skala tog dugmeta važi samo ako je dugme za kontinualnu promenu pojačanja, označeno brojem 10, u krajnjem desnom položaju na koji pokazuje strelica pored natpisa CAL (*calibrated*). Taj položaj se još zove i *locked position* i prepoznaje se po blagom otporu koji mehanizam potenciometra pruža pri uvođenju i izvođenju iz tog položaja. Veoma česta greška kod merenja jeste merenje bez prethodne provere da li je dugme za kontinualnu promenu pojačanja u poziciji kada podela skale važi. Stoga pre svakog merenja treba proveriti da li podela skale važi ili je neki prethodni korisnik osciloskopa izveo dugme za kontinualnu promenu pojačanja iz kalibrisanog položaja.

Pojačanje pojačavača se izražava u voltima po podeoku (VOLTS/DIV) i očitava se na mestu za očitavanje označenom sa 1X za sonde bez slabljenja i na mestu za očitavanje označenom sa 10X PROBE za sonde (*probe*) sa slabljenjem od 10 puta. Za sonde sa većim slabljenjem potrebno je izvršiti preračunavanje.

U grupi komandi označenoj brojem 14 na slici 9 nalazi se i preklopnik za izbor kanala čiji će signal biti prikazan na ekranu osciloskopa. Mogući položaji ovog preklopnika su Ch1, kada se prikazuje signal doveden na prvi kanal, Ch2, kada se prikazuje signal doveden na drugi kanal i BOTH kada se prikazuju oba signala. Način

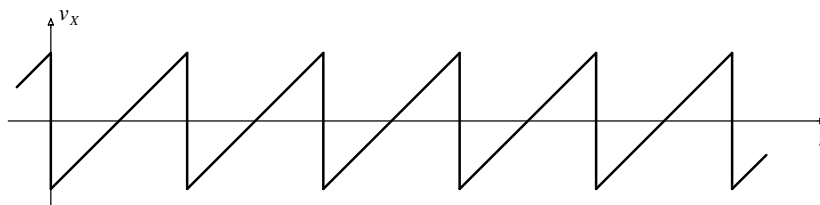
na koji će biti prikazani signali ako je preklopnik za izbor signala u položaju BOTH zavisi od položaja desnog preklopnika iz ove grupe, koji ima moguće položaje ALT, CHOP i ADD. U položaju ALT (*alternate*) se naizmenično isertavaju dijagrami signala dovedenih na ulaze osciloskopa. U jednom horizontalnom skretanju mlaza sa leva na desno iscertava se signal sa Ch1, a u sledećem prolazu signal sa Ch2. U položaju CHOP (*chop*) tokom jednog prelaska sa leva na desno elektronski mlaz naizmenično "skače" sa crtanja signala sa Ch1 na signal sa Ch2. Učestanost prebacivanja sa iscertavanja signala po Ch1 na iscertavanje po Ch2 je oko 500 kHz. Položaj CHOP je izuzetno povoljno rešenje kod prikazivanja signala niskih učestanosti, kad relativno mala perzistencija ekrana dovodi do treperenja slike (*blinking*). Signale visokih učestanosti, kada se primećuje diskontinuitet u iscertavanju signala ako je preklopnik u položaju CHOP, priyatnije je posmatrati u položaju ALT. U položaju preklopnika ADD na ekranu se prikazuje samo jedan signal koji odgovara zbiru signala dovedenih na Ch1 i Ch2.

2.4. SISTEM ZA HORIZONTALNO SKRETANJE

Na osciloskopu se najčešće posmatraju vremenski oblici periodičnih signala. Do sada je pokazano da je skretanje elektronskog mlaza u katodnoj cevi direktno proporcionalno naponu na pločama za skretanje. Ukoliko je ulazni signal doveden na ploče za vertikalno skretanje, položaj svetle tačke na y osi osciloskopa će indikovati trenutnu vrednost posmatranog signala. Kako bi se dobio vremenski dijagram, horizontalna osa treba da bude graduisana po vremenu, odnosno duž horizontalne ose treba pomerati elektronski snop konstantnom brzinom, tako da je x koordinata elektronskog mlaza data sa

$$x(t) = k_t t \quad (14)$$

gde je k_t brzina kretanja mlaza duž x ose izražena u podeocima po sekundi. Po prelasku celog ekrana osciloskopa (*sweep*) potrebno je vratiti elektronski mlaz u krajnji levi položaj, kako bi se otpočelo novo iscertavanje dijagrama. Ovakvo kretanje elektronskog mlaza obezbeđuje napon na pločama za horizontalno skretanje v_x , čiji je vremenski dijagram prikazan na slici 10. Tokom usponskih ivica napona v_x , elektronski mlaz se



Slika 10. Napon na pločama za horizontalno skretanje.

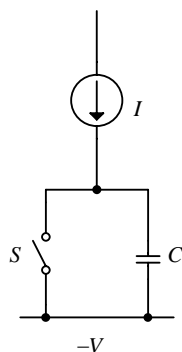
konstantnom brzinom kreće po ekranu sa leva na desno. Tokom kratkotrajnih silaznih ivica elektronski snop se brzo vraća u krajnji levi položaj ekrana.

Kola za generisanje testerastog napona prikazanog na slici 10 se nazivaju generatori linearne vremenske baze. Principijska šema generatora linearne vremenske baze je prikazana na slici 11. Rad generatora linearne vremenske baze se zasniva na punjenju kondenzatora izvorom konstantne struje čime se napon na njegovim krajevima linearno menja, i naglom pražnjenju kondenzatora primenom prekidača. U slučaju da je u vremenskom trenutku $t = 0$ prekidač sa slike 10 otvoren, napon v_x će se do narednog uključjenja menjati po zakonu

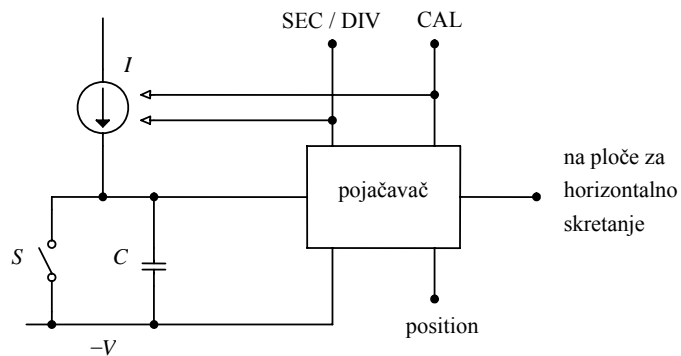
$$v_x(t) = -V + \frac{I}{C}t. \quad (15)$$

Stanje prekidača u generatoru linearne vremenske baze kontroliše sistem za sinhronizaciju slike, o čemu će biti više reči kasnije.

Sistem za horizontalno skretanje elektronskog mlaza kao osnovni element sadrži generator linearne vremenske baze ali treba i da omogući promenu podele vremenske



Slika 11. Principijska šema generatora linearne vremenske baze.

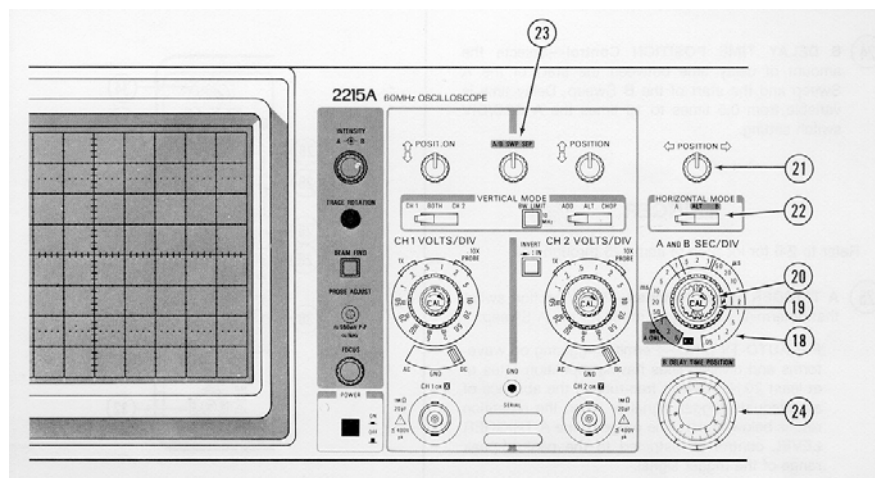


Slika 12. Sistem za horizontalno skretanje mlaza.

ose u širokim granicama, kako u diskretnim koracima tako i kontinualno između njih, nalik podešavanju pojačanja pojačavača ulaznih signala. Osim toga, potrebno je omogućiti i horizontalno pozicioniranje slike ne osciloskopu.

Promena podele vremenske ose se postiže promenom struje punjenja kondenzatora, bilo u diskretnim koracima, bilo kontinualno između njih. Horizontalno pozicioniranje slike na ekranu osciloskopa se postiže podešavanjem napona $-V$ (slike 11 i 12) koji definiše poziciju krajnjeg levog položaja elektronskog mlaza.

Komande sistema za horizontalno skretanje (*horizontal controls*) kod osciloskopa Tektronix 2215A su prikazane na slici 13. Brojem 21 je označen

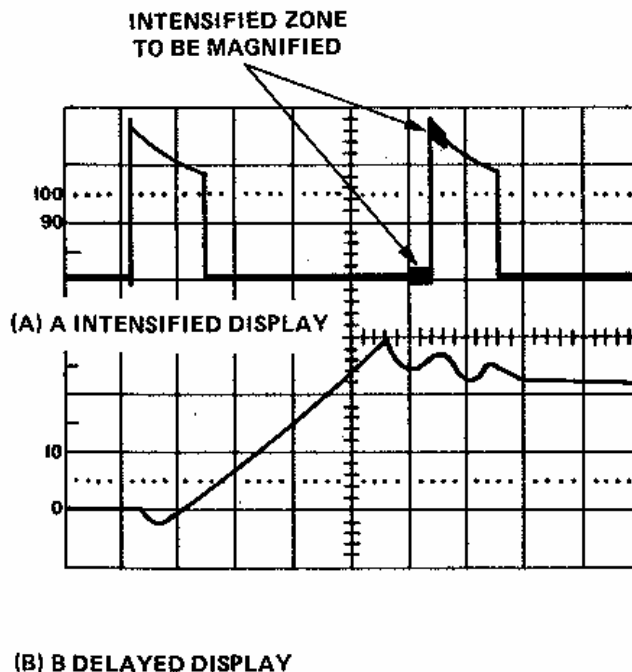


Slika 13. Komande za kontrolu vremenske baze osciloskopa.

potencijometar za horizontalno pozicioniranje slike, kojim se utiče na promenu napona $-V$, a time i na tačku na ekranu osciloskopa u kojoj počinje iscrtavanje dijagrama. Brojem 18 je označen preklopnik za podešavanje podele vremenske ose. Slično kao i kod pojačavača signala za vertikalno skretanje elektronskog mlaza, tako je i kod sistema za horizontalno skretanje moguće kontinualno varirati podelu vremenske ose između dva diskretna položaja preklopnika za podešavanje podele vremenske ose. To se postiže izvođenjem potencijometra 19 (crveno dugme, CAL) iz kalibrisanog (krajnjeg desnog) položaja. Okretanjem tog potencijometra kontinualno se može menjati podela vremenske ose. Podela vremenske ose označena na preklopniku 18 važi samo ako je potencijometar za kontinualnu promenu podele vremenske ose u kalibrisanom položaju. U tom slučaju, podela vremenske ose prema položaju preklopnika prikazanom na slici 13 je 1 ms po podeoku (1 ms/div). Osim mogućnosti diskretne i kontinualne promene podele vremenske ose, na većini osciloskopa je moguće i povećati brzinu skretanja elektronskog mlaza 10 puta. To se kod razmatranog osciloskopa postiže povlačenjem dugmeta 19 (označeno brojem 20). Kada je brzina elektronskog mlaza povećana povlačenjem dugmeta 19, na njemu se vidi žuti prsten. Pre bilo kakvog merenja za koje je bitna podela vremenske ose treba proveriti da li je potencijometar za kontinualnu promenu podele vremenske ose u kalibrisanom položaju, čiji pravac pokazuje strelica na dugmetu 19 sa slike 13, i da li je dugme za povećavanje brzine skretanja mlaza u osnovnom položaju (žuti prsten se ne vidi).

Jedna od specifičnosti osciloskopa Tektronix 2215A jeste postojanje dva sistema za horizontalno skretanje mlaza. Drugi sistem je pomoćni (u laboratorijskom slengu "B-trigger") i služi sa isticanje detalja sa vremenskog dijagrama koji se posmatra u drugoj (manjoj, detaljnijoj) podeli vremenske ose. Primer takvog posmatranja signala je prikazan na slici 14, gde je uzlazna ivica signala prikazana sa drugom razmerom vremenske ose na istom dijagramu, primenom drugog sistema za horizontalno skretanje mlaza. Oba sistema za skretanje mlaza su zasnovana na istom principu.

Komande za kontrolu pomoćnog sistema za horizontalno skretanje mlaza se prikazane na slici 13. Potencijometrom označenim brojem 23 se podešava vertikalni položaj slike sa pomoćnog sistema u odnosu na sliku sa osnovnog sistema. Ima efekat sličan okretanju potencijometra POSITION na sistemu za vertikalno skretanje mlaza. Preklopnikom 22 se bira sistem za horizontalno skretanje mlaza. Položaj A odgovara



Slika 14. Posmatranje detalja vremenskog dijagrama primenom pomoćnog sistema za horizontalno skretanje mlaza.

osnovnom sistemu, položaj ALT naizmenično iscrtava sliku sa osnovnog i sa pomoćnog sistema, dok položaj B kontrolu horizontalnog skretanja mlaza predaje pomoćnom sistemu. Potenciometar sa brojačem označen brojem 24 kontroliše vreme koje protekne od početka iscrtavanja slike po osnovnom sistemu za horizontalno skretanje, do početka iscrtavanja slike po pomoćnom sistemu. To vreme se može podešavati u opsegu od 0.5 do 10 podeoka vremenske ose.

Krajnji levi položaj preklopnika za podešavanje podele vremenske ose (označen brojem 18 na slici 13), označen sa X-Y, odgovara levom položaju preklopnika B sa blok šeme osciloskopa prikazane na slici 7. Time se kontrola horizontalnog skretanja elektronskog mlaza sa generatora linearne vremenske baze predaje pojačavaču kanala 1. Ova mogućnost se koristi kod posmatranja međusobne zavisnosti dva signala, kod

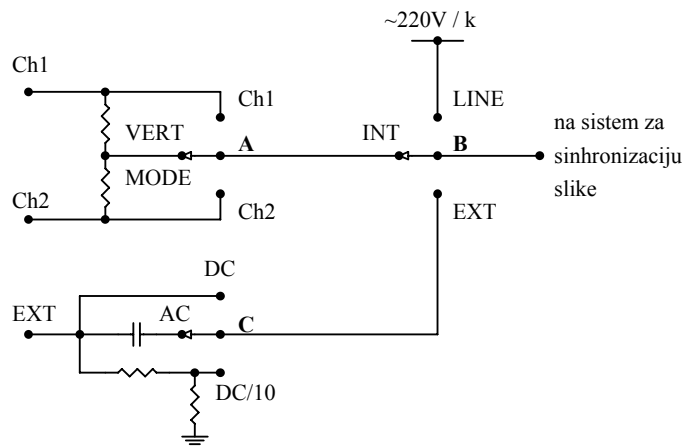
merenja frekvencije i faznog stava primenom Lisažuovih figura, kod snimanja prenosnih karakteristika nelinearnih kola i kod snimanja karakteristike magnećenja feromagnetskih materijala.

2.5. SISTEM ZA SINHRONIZACIJU

Sistem za sinhronizaciju treba da obezbedi stabilnu sliku na osciloskopu prilikom posmatranja vremenskih dijagrama periodičnih signala. Sinhronizacija slike na osciloskopu obično predstavlja najveći problem u obučavanju u rukovanju osciloskopom.

Kako bi se na ekranu osciloscopa dobila stabilna slika pri posmatranju periodičnog signala, u svakom isctavanju slike elektronski mlaz treba da isctavanje vrši na istom mestu. Da bi se to ostvarilo, frekvencija posmatranog signala mora biti celobrojni umožak frekvencije generatora linearne vremenske baze. Ispunjavanje ovog uslova obezbeđuje blok za sinhronizaciju koji na generator linearne vremenske baze deluje davanjem signala za uključenje prekidača za pražnjenje kondenzatora.

Prvi korak u sinhronizaciji slike jeste izbor sinhronizacionog signala. Principijska šema kola za izbor sinhronizacionog signala je prikazana na slici 15. Preklopnik označen slovom A na slici 15 vrši selekciju mogućih sinhronizacionih signala baziranih na ulaznim signalima na kanalu 1 i kanalu 2. Mogući položaji tog preklopnika su Ch1, kada je izvor sinhronizacionog signala signal priključen na kanal 1 osciloscopa, Ch2, kada je izvor sinhronizacionog signala signal priključen na kanal 2, i treći položaj koji se često naziva VERTICAL MODE (VERT MODE). Položaj VERTICAL MODE treba da obezbedi laku sinhronizaciju u slučajevima kada se često radi naizmenično sa kanalom 1 i kanalom 2, bez stalnog prebacivanja izvora sinhronizacionog signala na odgovarajući kanal. Najčešće položaj VERTICAL MODE za izvor sinhronizacionog signala daje srednju vrednost signala prisutnih na kanalima 1 i 2, kako je prikazano na principskoj šemi sa slike 15. Moguće je i drugo rešenje, da za isctavanje signala po kanalu 1 kanal 1 daje sinhronizacioni signal, dok za isctavanje signala sa kanala 2 sinhronizacioni signal bude signal na kanalu 2. Izbor između ove dve mogućnosti je kod osciloscopa Tektronix 2215A uslovljen položajem drugih preklopnika iz sistema za kontrolu slike.



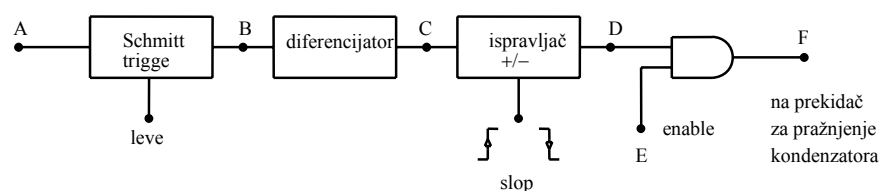
Slika 15. Preklopnici za izbor sinhronizacionog signala.

Preklopnik označen slovom B na slici 15 ima tri položaja: LINE, INTERNAL i EXTERNAL. U položaju LINE signal koji se dovodi na ulaz sinhronizacionog sistema je skaliran mrežni napon. Ovaj izvor sinhronizacionog signala je dobar kada se posmatraju procesi koji su vezani za mrežu, kod analize rada ispravljača i niskofrekventnih sistema za napajanje kontrolisanih mrežom. U položaju INTERNAL (INT) izvor sinhronizacionog signala je određen položajem preklopnika A. U položaju EXTERNAL (EXT) preklopnika B, izvor sinhronizacionog signala je spolja dovedeni signal obrađen u skladu sa položajem preklopnika C.

Preklopnik C kontroliše obradu koja se vrši na spolja dovedenom sinhronizacionom signalu pre njegovog dovođenja na sistem za sinhronizaciju. Mogući položaji su DC, kada se spolja dovedeni signal direktno vodi na sistem za sinhronizaciju, AC, kada se spoljnji signal preko rednog kondenzatora dovodi na sistem za sinhronizaciju čime se uklanja jednosmerna komponenta tog signala i položaj DC÷10, kada se spolja dovedeni signal oslabi 10 puta razdelnikom napona i dovede na ulaz sistema za sinhronizaciju slike.

Najčešće se zadovoljavajuća sinhronizacija postiže položajem preklopnika A u poziciji VERTICAL MODE i preklopnika B u INTERNAL. U slučaju posmatranja faznog stava dva signala treba proveriti tačno značenje položaja VERTICAL MODE u uputstvu korišćenog osciloskopa, ili koristiti sinhronizaciju po kanalu 1 ili 2.

Na slici 16 je prikazana blok šema sistema za sinhronizaciju. Na ulaz sistema za sinhronizaciju u čvor označen slovom A je doveden signal sa sistema preklopnika za izbor sinhronizacionog signala. U prvoj obradi se od sinhronizacionog signala pravi povorka pravougaonih digitalnih impulsa. To se postiže primenom Šmitovog okidnog kola. Na slici 17 su prikazani signali u sistemu sa sinhronizaciju slike. Na prvom dijagramu je predstavljen pretpostavljeni sinhronizacioni signal i nivo signala na osnovu koga okidno kolo formira pravougaone impulse (*trigger level*). Signal u čvoru označenom slovom B na šemi sa slike 16 je prikazan na drugom dijagramu na slici 17. Vidi se da je logička vrednost signala u tački B jednaka 1 kada je sinhronizacioni signal veći od zadatog nivoa, dok je jednaka 0 kada je sinhronizacioni signal manji od zadatog nivoa.



Slika 16. Blok šema sistema za sinhronizaciju.

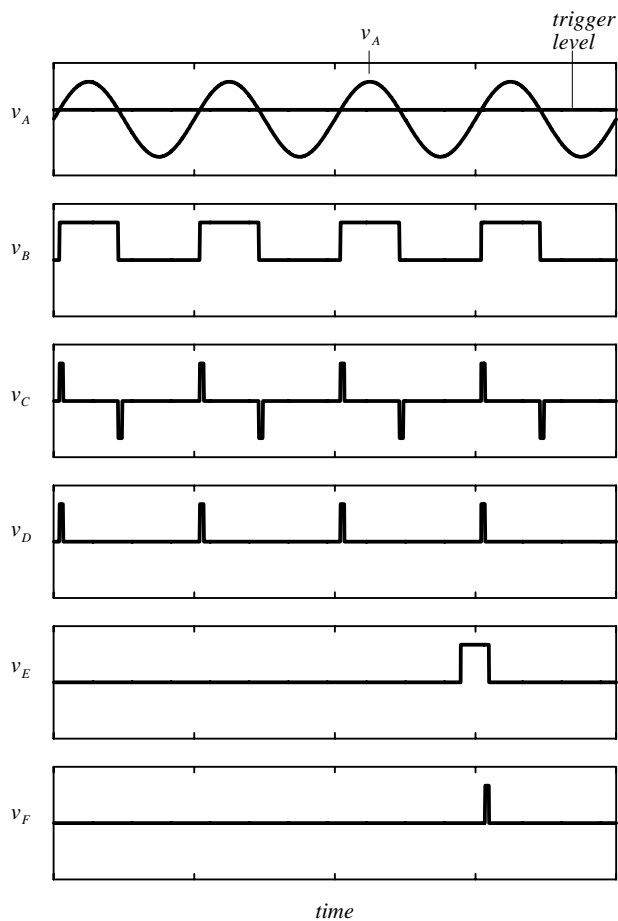
Povorka impulsa sa izlaza okidnog kola se dovodi na diferencijator koji od njih pravi uske impulse, kako je to prikazano na trećem dijagramu na slici 17. Signali se iz diferencijatora vode na blok za ispravljanje i selekciju impulsa. Na izlasku iz tog bloka se nalazi ili povorka pozitivnih impulsa iz diferencijatora (uklonjeni negativni impulsi) ili povorka ispravljenih negativnih impulsa (negativnim impulsima promenjen znak, pozitivni impulsi sa ulaza uklonjeni). Blok za selekciju i ispravljanje impulsa ima kontrolni preklopnik kojim se bira sinhronizacija na uzlazne ili silazne ivice impulsa. Taj preklopnik se obično označava sa SLOPE.

Kako bi na ekranu osciloskopa bilo moguće prikazati više od jedne periode sinhronizacionog signala, uvedeno je logičko I kolo koje propušta impulse iz bloka za selekciju i ispravljanje samo pod uslovom da je elektronski snop prešao ceo ekran. Na taj način se iscertavanje slike vraća na početak tek kada je iscertan ceo ekran. Na slici 17 je na petom dijagramu prikazan *enable* signal na ulazu logičkog I kola koji postaje jednak 1 tek kada elektronski snop pređe ceo ekran. Kada se posle skoka *enable* signala

na 1 pojavi sinhronizacioni impuls, on uzrokuje vraćanje elektronskog mlaza u krajnji levi položaj, početak novog iscrtavanja slike i obaranje *enable* signala na 0, dok elektronski snop ponovo ne pređe ceo ekran.

Trenutak povratka na početak novog iscrtavanja slike je određen uključivanjem prekidača koji prazni kondenzator u generatoru linearne vremenske baze. Signal za uključivanje prekidača se dobija na izlazu kola za sinhronizaciju slike, čime se ceo krug stvaranja slike na osciloskopu zatvara.

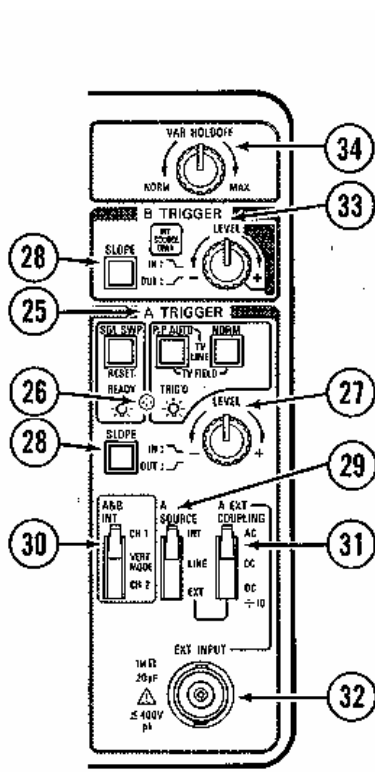
Komande za kontrolu sistema za sinhronizaciju slike kod osciloskopa Tektronix 2215A su prikazane na slici 18. Brojem 25 su označeni prekidači za osnovnu kontrolu



Slika 17. Signali u kolu za sinhronizaciju slike.

sistema za sinhronizaciju. Ukoliko je uključen prekidač P-P AUTO aktivni sistem za sinhronizaciju je nešto složeniji od opisanog na prethodnom primeru. U slučaju da postoji sinhronizacioni signal sistem radi kako je prethodno opisano, međutim u slučaju da sinhronizacionog signala nema (ne postoji naizmenična komponenta signala dovoljnog nivoa da bi se slika sinhronizovala) na ekranu će se pojaviti nesinhronizovana slika, pošto će komanda za pražnjenje kondenzatora u generatoru linearne vremenske baze biti automatski generisana, bez sinhronizacije. Ukoliko je uključen prekidač NORM, u slučaju da nema odgovarajućeg sinhronizacionog signala na ekranu neće biti prikazana nikakva slika. Osciloskop se najčešće koristi sa uključenim prekidačem P-P AUTO.

Taster SGL SWP RESET (*single sweep reset*) se koristi za posmatranje



Slika 18. Komande za kontrolu sistema za sinhronizaciju.

aperiodičnih signala kada je potrebno prikazati vremenski dijagram signala samo jednim prolazom elektronskog mlaza po ekranu osciloskopa. Ukoliko su P-P AUTO i NORM isključeni po pritisku tastera SGL SWP RESET se aktivira iscrtavanje jedne slike na ekranu. Nova slika neće biti iscrtana sve dok se ponovo ne pritisne SGL SWP RESET taster.

Svetleća dioda (*LED*) označena brojem 26 svetli u slučaju da je uspešno izvršena sinhronizacija, tj. u slučaju da je prisutan sinhronizacioni signal sa naizmeničnom komponentom dovoljne amplitude. To još uvek ne znači da je slika na osciloskopu stabilna: moguće je da je sinhronizacija izvršena na mrežni napon, sinhronizacioni signal postoji, ali u slučaju da posmatrani signali nisu sinhronizovani sa mrežom na ekranu se neće pojaviti stabilna slika.

Brojem 27 je označen potenciometar LEVEL (*trigger level*) za kontrolu nivoa signala pri kome se vrši promena stanja na izlazu Šmitovog okidnog kola u sistemu za sinhronizaciju slike. Kod Tektronix osciloskopa ona može da se kreće u rasponu od minimalne do maksimalne vrednosti sinhronizacionog signala, pa se njenim podešavanjem uglavnom utiče na fazni stav prikazanog signala. Kod osciloskopa drugih proizvođača moguće je da ne postoji automatsko podešavanje opsega u kome se može kretati referentni nivo okidnog kola, pa je podešavanje ovog nivoa od fundamentalnog značaja za postizanje stabilne slike na ekranu osciloskopa.

Prekidač označen brojem 28 utiče na rad bloka za selekciju i ispravljanje signala iz diferencijatora. Njegova dva položaja odgovaraju sinhronizaciji na uzlaznu i sinhronizaciji na silaznu ivicu signala iz okidnog kola.

Brojem 29 je označen preklopnik za selekciju tipa sinhronizacionog signala i odgovara preklopniku B na šemi sa slike 15. Preklopnik 30 odgovara preklopniku A u šemi sa slike 15 i vrši izbor sinhronizacionog signala ukoliko je preklopnik 29 u položaju INT. Preklopnik 31 odgovara preklopniku C sa slike 15 i vrši selekciju obrade spoljnog sinhronizacionog signala pre dovođenja na sistem za sinhronizaciju slike. Brojem 32 je označen konektor za priključivanje spoljnog sinhronizacionog signala (retko se koristi).

Potenciometar označen brojem 33 podešava nivo za promenu stanja okidnog kola u sinhronizacionom sistemu pomoćnog sistema za horizontalno skretanje mlaza (*B trigger*). Ukoliko je taj potenciometar u krajnjem desnom položaju (okrenut do kraja u

smeru kazaljke na satu), pomoćni sistem za horizontalno skretanje počinje sa iscertavanjem slike nakon kašnjenja koje je specificirano potencijetrom za kontrolu kašnjenja pomoćnog sistema za horizontalno skretanje, označenog brojem 24 na slici 13.

Potencijetar označen brojem 34 na slici 18 (VAR HOLDOFF) služi sa podešavanje vremena koje protekne između dva iscertavanja slike na ekranu osciloskopa, a tokom koga se iscertavanje slike ne vrši (*holdoff time*). Normalan položaj je krajnji levi. Povećavanje ovog vremena ponekad olakšava sinhronizaciju kod posmatranja složenih digitalnih signala.

2.6. OSVRT NA DIGITALNE OSCILOSKOPE

Povećanje kvaliteta i mogućnosti digitalnih komponenata i pad njihove cene uzrokovali su prodor digitalne tehnologije u sve oblasti elektronike, pa i u oblast električnih merenja. Prvi digitalni osciloskopi su bili po komandama bitno različiti od analognih. Njihov dalji razvoj je išao u dva pravca, ka logičkim analizatorima namenjenim za posmatranja signala i merenja u složenim digitalnim sistemima, gde je od manjeg značaja precizno poznavanje trenutne vrednosti signala i veliki opseg mogućih vrednosti prikazanih signala, a od presudnog značaja je mogućnost posmatranja velikog broja nezavisnih signala (svakako više od dva kanala koje obezbeđuju standardni osciloskopi), kao i mogućnost praćenja signala tokom dužeg perioda vremena. Drugi pravac je išao ka savremenim digitalnim osciloskopima, koji se po komandama minimalno razlikuju od analognih osciloskopa. Dodatne mogućnosti koje pružaju digitalni osciloskopi su pre svega mogućnost lake akvizicije i skladištenja rezultata merenja, kao i niz automatizovanih merenja koja su zasnovana na metodama digitalne obrade signala. Najčešće je moguće sa digitalnog osciloskopa preneti rezultate merenja u obliku datoteke sa nizom odbiraka na personalni računar, gde je moguća njihova dalja digitalna obrada i jednostavno arhiviranje. Digitalni osciloskopi najčešće mogu da automatski vrše merenje srednje vrednosti posmatranog signala, efektivne vrednosti, amplitude, minimalne i maksimalne vrednosti, periode, trajanja uzlazne i silazne ivice digitalnih impulsa i tako dalje.

Savremeni digitalni osciloskopi sve više napuštaju koncept katodne cevi i sliku prikazuju na displeju baziranom na tečnom kristalu. To omogućava bitno smanjenje dimenzija i težine osiloskopa.

Bez obzira na dodatne mogućnosti, osnovni koncepti su kod digitalnih osciloskopa identični kao i kod analognih osciloskopa. Rukovanje digitalnim osciloskopima je gotovo identično rukovanju analognim. Nove mogućnosti su obično jako dobro dokumentovane i lako se koriste.

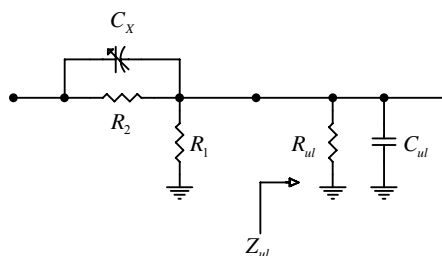
3. OSCILOSKOPSKE SONDE

Ulazna impedansa osciloskopa se može predstaviti paralelnom vezom otpornika R_{ul} i kondenzatora C_{ul} . Tipične vrednosti ulazne otpornosti su reda $M\Omega$, a ulazne kapacitivnosti reda pF.

Sonda osciloskopa treba da obezbedi lak pristup signalu koji se posmatra i u većini slučajeva slabljenje tog signala. Najčešće se sreću sonde sa slabljenjem od 10 puta, a nešto ređe sonde sa slabljenjem od 100 puta. Električne karakteristike sonde se mogu predstaviti razdelnikom napona predstavljenim otpornicima R_1 i R_2 na slici 19. Kako razdelnik napona sa ulaznom impedansom osciloskopa ne bi pravio filter propusnik niskih učestanosti, dodaje se promenljivi kondenzator C_x koji treba da izravna amplitudsku frekvencijsku karakteristiku prenosnog sistema od sonde do osciloskopa. Uslov pri kome je ova prenosna karakteristika frekvencijski nezavisna se može izraziti kao

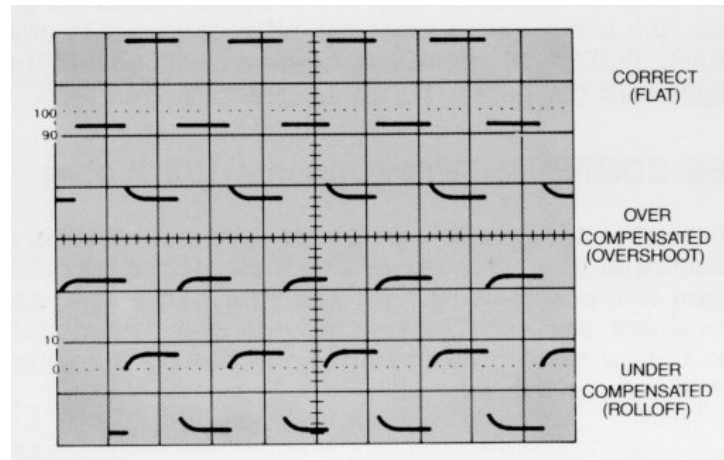
$$\frac{R_1 \parallel R_{ul}}{R_2 + R_1 \parallel R_{ul}} = \frac{C_x}{C_x + C_{ul}}. \quad (16)$$

Kako ulazna impedansa varira od osciloskopa do osciloskopa, potrebno je izvršiti prilagođenje sonde na osciloskop. Prilagođenje se vrši podešavanjem kapacitivnosti promenljivog (trimer) kondenzatora C_x koji se nalazi u sondi. Ovo podešavanje se vrši tako što se sonda priključi na izvor test signala označen brojem 5 na slici 6. Test signal je povorka pravougaonih impulsa tipično amplitude 0.5 V i frekvencije 1 kHz. Ukoliko se na ekranu osciloskopa ne vidi povorka pravougaonih impulsa treba izvršiti podešavanje trimer kondenzatora C_x . Na slici 20 su prikazani vremenski dijagrami test



Slika 19. Sonda i ulazna impedansa osciloskopa.

signala u slučaju da je sonda ispravno kompenzovana, da je prekompenzovana (javlja se premašenje u impulsima) i da je podkompenzovana (javlja se podbačaj u impulsima).



Slika 20. Kompenzacija osciloskopske sonde.

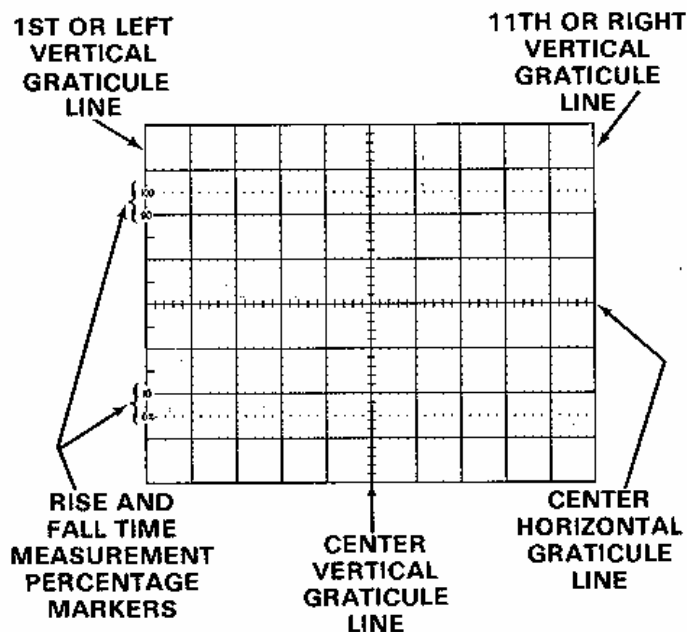
U razmatranjima koja slede smatraćemo da je pre merenja izvršena kompenzacija sonde.

4. MERENJA POMOĆU OSCILOSKOPA

Osciloskop je prvenstveno instrument za posmatranje signala i ne spada u najpreciznije merne instrumente. Greška merenja vremenskih intervala i napona primenom analognog osciloskopa je tipično reda 2% i više. I pored toga, osciloskop se veoma često koristi za niz merenja. Popularnost osciloskopa kao mernog instrumenta leži u nizu veoma raznovrsnih merenja koja se njime mogu vršiti, kao i u izuzetnoj vizuelizaciji fizičkog procesa koju osciloskop omogućava.

4.1. GRADUACIJA EKRANA

Tipičan ekran osciloskopa, diskutovan u poglavlju koje je obrađivalo katodnu cev i prikazan na slici 6 je izgraduisan kako je prikazano na slici 21. Graduacija je ucrtana na ekran osciloskopa sa unutrašnje strane kako bi se izbegla greška usled paralakse. Merenja pomoću osciloskopa se svode na očitavanja rastojanja na slici



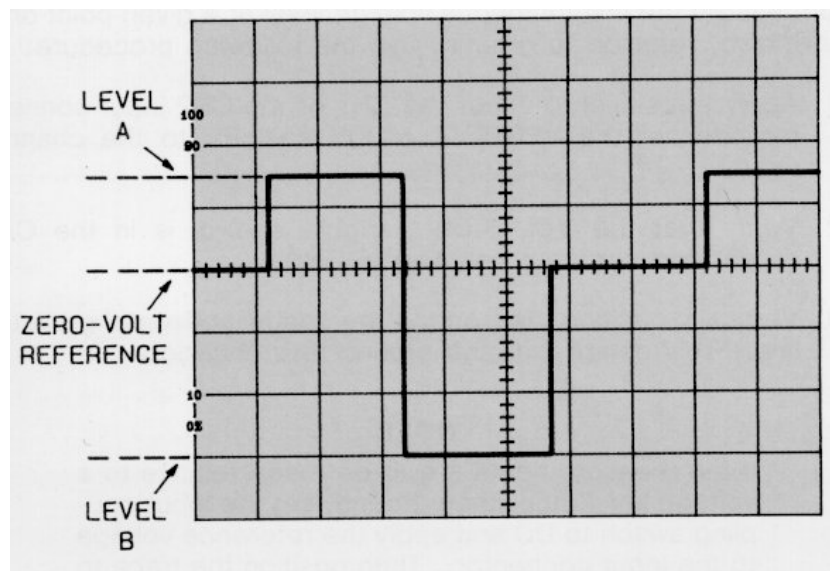
Slika 21. Graduacija ekrana osciloskopa.

formiranoj na ekranu osciloskopa. Osnovna jedinica rastojanja na ekranu jeste podeok (*division*, skraćeno *div*). Visina ekrana osciloskopa je tipično 8 podeoka, a širina 10 podeoka. Dve centralne linije su dodatno izgraduisane na rastojanja od po 0.2 podeoka. Takođe, za merenje trajanja usponske i silazne ivice digitalnih impulsa uvedene su dve pomoćne tačkaste linije, koje označavaju 0% i 100% nivoa posmatranog signala. U tom slučaju horizontalna centralna linija je na 50% posmatranog signala, druga horizontalna linija ispod centralne je na 10%, a druga horizontalna linija iznad centralne linije je na 90% posmatranog signala.

Za sva merenja koja će biti opisana podrazumevaće se da je sonda osciloskopa pravilno kompenzovana i da se potencimetri za kontinualnu promenu podele naponske i vremenske ose nalaze u kalibrisanom položaju, izuzev ako se drugačije izričito ne naglasi.

4.2. MERENJE NAPONA

Merenje naponskog nivoa se svodi na merenje rastojanja na ekranu osciloskopa pogodnim korišćenjem njegove graduacije. Da bi se odredili naponski nivoi potrebno je



Slika 22. Merenje napona pomoću osciloskopa.

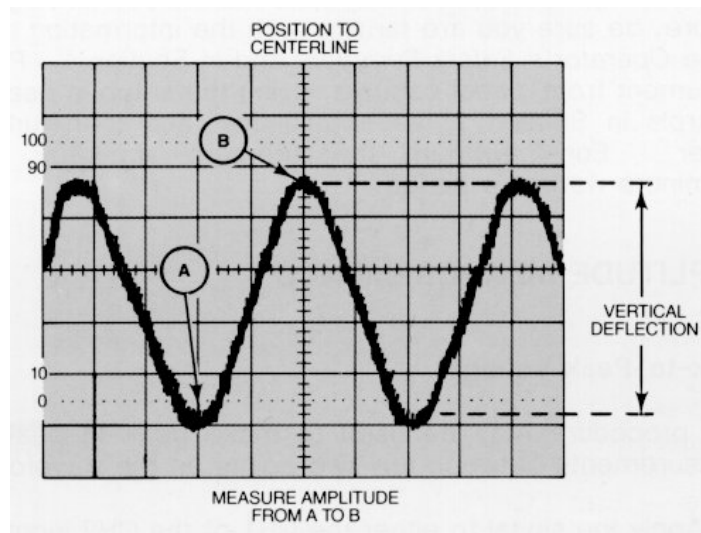
znati gde se nalazi linija nultog potencijala i kolika je podela naponske ose. Podela naponske ose se može odrediti ispravnim očitavanjem sa preklopnika za podelu naponske ose specificiranog kanala, dok se pozicija linije nultog potencijala može odrediti prebacivanjem preklopnika za selekciju tipa prikazivanja signala (slika 9, preklopnik 12) u položaj GND. Na ekranu će se pojaviti horizontalna linija koja označava liniju nultog potencijala. Podešavanjem potencijometra POSITION moguće je dovesti liniju nultog potencijala na pogodno mesto radi lakšeg očitavanja. Obično je to neka od linija graduacije ekrana. U slučaju da se posmatraju samo pozitivni signali pogodno je koristiti krajnju donju liniju, a za posmatranje stalno negativnih signala krajnju gornju. Naponski nivo se dobija množenjem rastojanja od linije nultog potencijala sa podelom naponske ose. Na slici 22 je prikazan jedan vremenski oblik napona. Ukoliko je podela naponske ose 2 V/div i ako je linija nultog potencijala na centralnoj horizontalnoj liniji graduacije ekrana, naponski nivo A do koga od centralne linije ima 1.5 podeoka je 3V, dok je naponski nivo B do koga od linije nultog napona ima 3 podeoka je -6V.

Radi preciznijeg očitavanja naponskih nivoa pogodno je koristiti potencijometar za horizontalno pomeranje slike (slika 13, potencijometar 21), kako bi se mereni naponski nivo doveo na centralnu vertikalnu liniju graduacije gde su označene podele od po 0.2 podeoka.

4.3. MERENJE AMPLITUDE

Merenje amplitude je u osnovi merenje naponskog nivoa. Kako bi se precizno izmerila amplituda naizmeničnog signala moguće je koristiti sledeći postupak:

1. Vertikalnim pomeranjem slike pozicionira se slika tako da minimalna vrednost signala leži na nekoj od horizontalnih linija, kako je prikazano na slici 23.
2. Horizontalnim pomeranjem slike pozicionira se maksimalna vrednost signala na centralnu vertikalnu liniju graduacije koja ima ucrtanu finu podelu naponske ose.
3. Očita se rastojanje od minimuma do maksimuma signala, u slučaju sa slike 23 to je 4.4 podeoka.
4. Izračuna se napon koji odgovara tom rastojanju, u slučaju da je podela naponske ose 5 V/div to je 22V.



Slika 23. Merenje amplitude.

5. Izračuna se amplituda kao polovina vrednosti dobijene pod 4., u slučaju sa slike 23 to je 11V.

4.4. MERENJE JEDNOSMERNE KOMPONENTE NAIZMENIČNIH SIGNALA

Veoma često je potrebno izmeriti jednosmernu komponentu naizmjeničnih signala, što predstavlja problem u slučaju da je naizmjenična komponenta složenoperiodična. U takvom slučaju se može koristiti sledeći postupak:

1. Posmatrani signal se dovede na oba kanala osciloskopa i posmatra se sa istom podelom naponske ose i istom linijom nultog potencijala.
2. Na kanalu 1 se prikaže trenutna vrednost signala, preklopnik za način prikazivanja signala u položaju DC.
3. Na kanalu 2 se prikaže naizmjenična komponenta signala, preklopnik za način prikazivanja signala u položaju AC.
4. Pomeranjem potenciometra za vertikalno pozicioniranje slike sa kanala 2 dovede se do poklapanja obe slike.

5. Preklopnik za način prikazivanja signala kanala 2 se prebaci u položaj GND. Rastojanje od nivoa nultog potencijala kanala 1 do linije koju pokazuje kanal 2 u položaju GND odgovara jednosmernoj komponenti posmatranog signala.

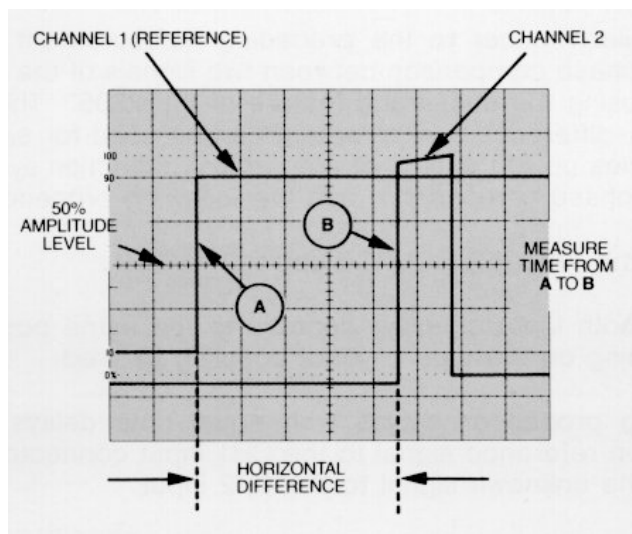
4.5. MERENJE VREMENSKIH INTERVALA

Potpuno analogno merenju naponskih nivoa, osciloskopom je moguće vršiti merenja vremenskih intervala. Ukoliko se mere intervali vremena na jednom signalu, merenje je potpuno analogno merenju naponskih nivoa, treba samo izmeriti horizontalno rastojanje između dve tačke koje definišu mereni vremenski interval i preračunati ga u vreme u skladu sa podelom vremenske ose. Pri tom treba proveriti da li je potenciometar za kontinualnu promenu podele vremenske ose u kalibrisanom položaju i u kome je položaju preklopnik za povećavanje rezolucije vremenske ose.

U slučaju da se meri vremenski interval definisan karakterističnim tačkama na dva nezavisna signala, treba biti izuzetno oprezan zbog različitih mogućnosti sinhronizacije u tom slučaju. Na primer, kod osciloskopa Tektronix 2215A ukoliko se posmatraju dva signala i položaj preklopnika za izbor tipa prikazivanja (CHOP, ALT, ADD) je na ALT, i ukoliko je tip sinhronizacije VERTICAL MODE, sinhronizacija se vrši tako što je za prikazivanje vremenskog dijagrama svakog od posmatranih signala taj signal sinhronizacioni. Na ovaj način se gubi informacija o međusobnom faznom stavu signala i sigurno se pravi greška prilikom merenja vremenskih intervala. Stoga, u ovakvim slučajevima treba uvek imati jedinstven sinhronizacioni signal, bilo sa kanala 1 ili kanala 2.

Procedura merenja vremenskih intervala definisanih na dva nezavisna signala se stoga može formalizovati na sledeći način:

1. Postaviti izvor sinhronizacionog signala na Ch 1, Ch 2, LINE ili EXTERNAL, zavisno od potrebe, nikako ne koristiti VERTICAL MODE.
2. Koristiti isti način prikazivanja ulaznog signala na oba kanala (bilo AC ili DC). Na ovaj način se eliminiše uticaj ulaznog filtra u položaju AC.
3. Kod merenja kratkih vremenskih intervala na oba kanala treba koristiti sonde sa identičnim kašnjenjem, najbolje identične sonde.



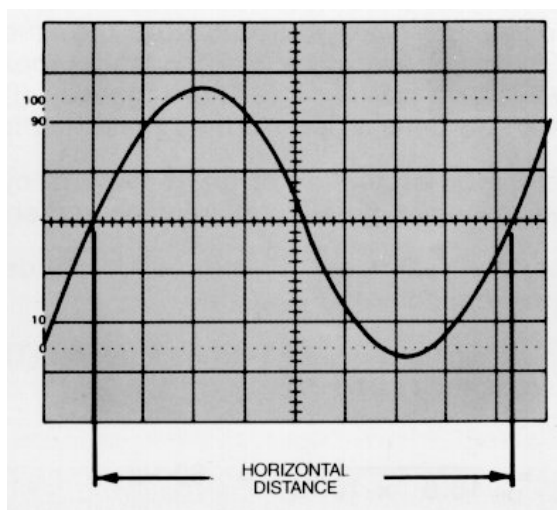
Slika 24. Merenje intervala vremena.

4. Podesiti podele naponske i vremenske ose tako da se precizno može izvršiti očitavanje rastojanja.
5. Pogodnim horizontalnim i vertikalnim pozicioniranjem dovesti sliku u položaj da se očitavanje može precizno izvršiti na centralnoj horizontalnoj liniji graduacije.
6. Očitati rastojanje između tačaka koje definišu mereni interval vremena i preračunati ga u vreme u skladu sa podelom vremenske ose.

Na slici 24 je dat primer merenja vremenskog intervala definisanog uzlaznim ivicama dva nezavisna signala. Vremenski dijagrami oba signala su ispravno pozicionirani da se može izvršiti precizno očitavanje. Rastojanje između vremenskih trenutaka označenih sa A i B je 4.6 podeoka. Ako je podela vremenske ose bila na $50\mu\text{s}/\text{DIV}$, mereni vremenski interval traje $230\mu\text{s}$.

4.6. MERENJE PERIODE I FREKVENCIJE

Merenje periode se svodi na merenje vremenskog intervala na dijagramu posmatranog signala. Na ekranu osciloskopa treba obezbediti prikazivanje jedne cele periode signala. Treba očitati rastojanje između početka i kraja posmatrane periode (za ovu svrhu je pogodno koristiti presečne tačke sa centralnom horizontalnom linijom



Slika 25. Merenje periode.

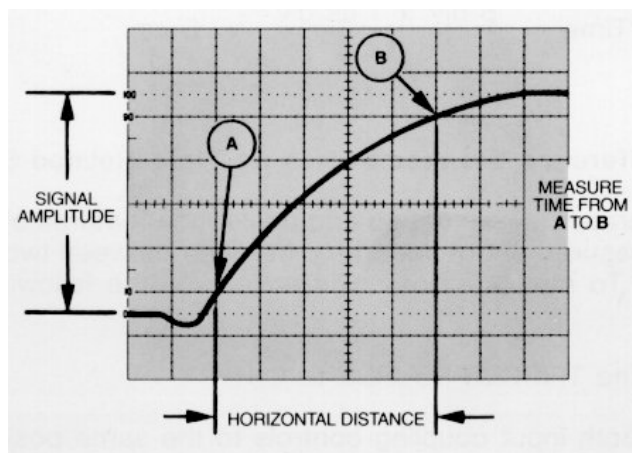
graduacije ekrana) i izmereno rastojanje preračunati u vreme u skladu sa podelom vremenske ose.

Na slici 25 je prikazan primer merenja periode. Označeno je rastojanje koje definiše periodu i ono iznosi 8.3 podeoka. U slučaju da je podela vremenske ose 2 ms/div, perioda signala traje 16.6 ms, što odgovara frekvenciji od 60 Hz.

4.7. MERENJE TRAJANJA USPONSKE I SILAZNE IVICE DIGITALNIH SIGNALA

Trajanje usponske ivice digitalnih impulsa se definiše kao vreme koje protekne dok signal promeni nivo sa 10% na 90% krajnje vrednosti. Analogno se definiše trajanje silazne ivice.

Za merenje trajanja usponske i silazne ivice digitalnih signala pogodno je koristiti pomoćne (tačkaste) linije graduacije ekrana. Pre svega, na ekranu treba obezbediti stabilno prikazivanje signala na kome se merenje vrši (sinhronizovati sliku) i postaviti nivo logičke nule na donju pomoćnu liniju graduacije (tačkasta linija sa oznakom 0%), a nivo logičke jedinice na gornju pomoćnu liniju (tačkasta linija sa oznakom 100%). Kako bi se ovo postiglo potrebno je podešavati vertikalnu poziciju



Slika 26. Merenje trajanja usponske ivice.

slike i koristiti kontinualnu podelu naponske ose (apsolutni nivoi napona nisu bitni, nego njihovi odnosi). Izborom sinhronizacije na usponsku ili na silaznu ivicu, podešavanjem nivoa praga za sinhronizaciju (*trigger level*) i izborom pogodne podele vremenske ose treba obezbediti sliku na ekranu osciloskopa sa koje je moguće izvršiti precizno očitavanje trajanja ivice. Primer ispravno pozicionirane slike i dobro određene podele vremenske ose je prikazan na slici 26.

Početak trajanja usponske ivice je označen trenutkom kada signal dostigne 10% svoje krajnje vrednosti, odnosno presekom dijagrama posmatranog signala sa drugom horizontalnom linijom graduacije ispod centralne horizontalne linije. Radi lakšeg očitavanja, horizontalnim pozicioniranjem slike treba obezbediti da ova tačka leži na nekoj od vertikalnih linija graduacije ekrana, kako je to prikazano na slici 26, gde je tačkom A označen početak trajanja usponske ivice.

Kraj trajanja usponske ivice je definisan trenutkom kada signal dostigne 90% svoje krajnje vrednosti, odnosno presekom dijagrama posmatranog signala sa drugom horizontalnom linijom graduacije iznad centralne horizontalne linije, što je označeno tačkom B na dijagramu sa slike 26. Kako bi se odredilo trajanje usponske ivice treba odrediti horizontalno rastojanje između tačaka A i B, koje u primeru sa slike 26 iznosi 5 podeoka. Na kraju treba u skladu sa podelom vremenske ose preračunati rastojanje

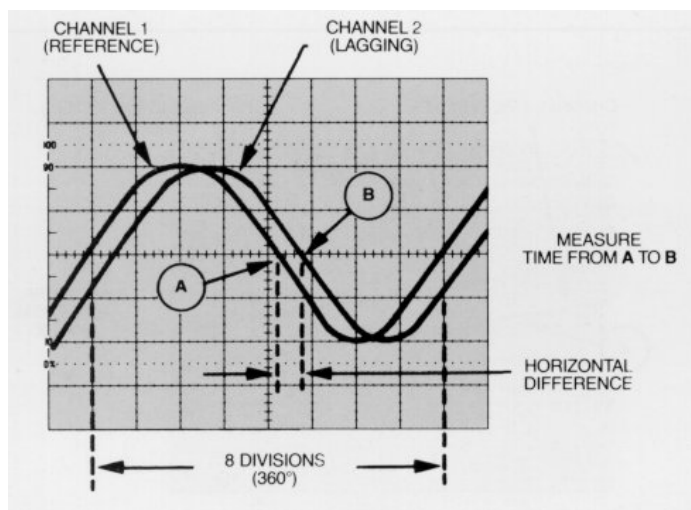
između tačaka A i B u vreme. U slučaju da je podela vremenske ose u analiziranom primeru $0.5\mu\text{s}/\text{div}$, trajanje usponske ivice iznosi $2.5\mu\text{s}$.

Potpuno analogno merenju trajanja usponske ivice meri se trajanje silazne ivice. Najčešće je potrebno samo promeniti ivicu signala na koju se sinhronizacija vrši, izvršiti podešavanje horizontalne pozicije slike i očitati trajanje silazne ivice.

4.8. MERENJE FAZNE RAZLIKE

Merenje fazne razlike između dva sinusoidalna signala se može svesti na merenje periode signala (T) i vremenske razlike između dva susedna uzlazna ili silazna prolaska kroz nulu tih signala (Δt). Postupci merenja ove dve veličine su objašnjeni u odeljcima 4.5 i 4.6. Fazna razlika se može izračunati kao $\varphi = 2\pi \frac{\Delta t}{T}$.

Drugi način merenja fazne razlike je zasnovan na korišćenju potenciometra za kontinualnu promenu podele vremenske ose. Pre svega, signale čija se fazna razlika meri potrebno je dovesti na ulaze osciloskopa korišćenjem sonde sa identičim kašnjenjem, prikazati ih na isti način (korišćenjem istog položaja preklopnika za način prikazivanja signala, bilo AC ili DC), sa istim nivoom nultog potencijala za oba kanala. Koristeći potenciometar za kontinualnu promenu podele vremenske ose treba

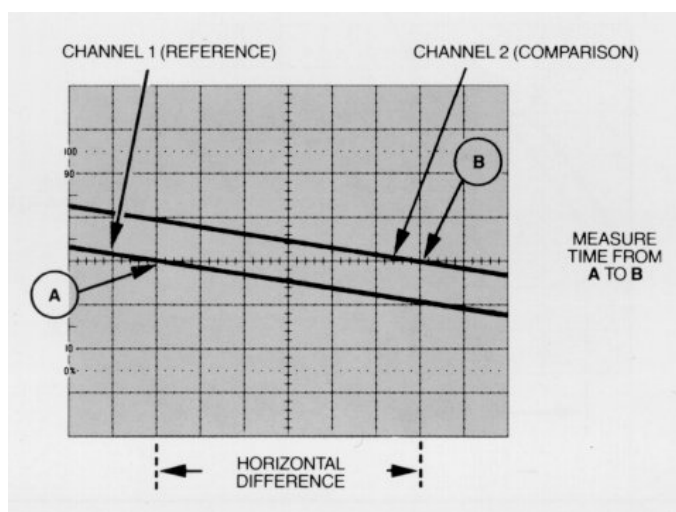


Slika 27. Merenje fazne razlike.

podesiti podelu vremenske ose tako da jedna perioda posmatranih signala zauzima tačno 8 podeoka. Na taj način vrednost jednog podeoka horizontalne ose u faznom uglu iznosi $360^\circ/8 = 45^\circ$.

Primer merenja fazne razlike dva signala primenom kontinualnog podešavanja podele vremenske ose je prikazan na slici 27. Fazna razlika je merena kao rastojanje između dva silazna prolaska kroz nulu posmatranih signala i u posmatranom primeru iznosi 0.6 podeoka. Stoga je merena fazna razlika $0.6 \cdot 45^\circ = 27^\circ$.

Kako bi se povećala tačnost merenja fazne razlike signala u slučajevima da je fazna razlika mala, moguće je koristiti prekidač za desetostruko povećanje rezolucije vremenske ose. Izvlačenjem prekidača će se rezolucija povećati 10 puta, pa će vrednost jednog podeoka horizontalne ose iznositi 4.5° . Moguće je da prilikom povećanja rezolucije prolasci posmatranih signala kroz nulu ne budu prikazani na ekranu. U tom slučaju podešavanjem sinhronizacionog nivoa (*trigger level*) i eventualno promenom sinhronizacione ivice treba prvo obezbediti prikazivanje dva susedna prolaska kroz nulu na ekranu osciloskopa, pa tek onda izvršiti očitavanje. Povećanje rezolucije vremenske ose na primeru sa slike 27 dovodi do dijagrama prikazanih na slici 28. Rastojanje između prolazaka kroz nulu posmatranih signala iznosi 6 podeoka, što odgovara faznoj razlici od $6 \cdot 4.5^\circ = 27^\circ$. Na ovaj način je moguće tačnije merenje faznih razlika u



Slika 28. Precizno merenje fazne razlike.

opsegu do 45° .

4.9. MERENJE FAZNE RAZLIKE PRIMENOM LISAŽUOVIH FIGURA

Osciloskop se može koristiti i za prikazivanje međusobne zavisnosti dva naponska signala prebacivanjem preklopnika za promenu podele vremenske ose u X-Y položaj. Ovaj način formiranja slike na osciloskopu se koristi za snimanje prenosne karakteristike nelinearnih kola, snimanje karakteristike magnećenja feromagnetskih materijala, kao i merenje faznog stava i frekvencije primenom Lisažuovih figura. U ovom odeljku će biti opisano merenje fazne razlike dva sinusoidalna signala primenom Lisažuovih figura.

Pretpostavimo da je na kanal osciloskopa koji kontroliše horizontalno skretanje elektronskog mlaza doveden signal oblika

$$x(t) = X_0 \sin(\omega_0 t), \quad (17)$$

a da je na kanal koji kontroliše ploče za vertikalno skretanje doveden signal oblika

$$y(t) = Y_0 \sin(\omega_0 t + \varphi). \quad (18)$$

Pretpostavimo da je $x(t_k) = 0$, što važi za $\omega_0 t_k = k\pi$. Tada je

$$y(t_k) = (-1)^k Y_0 \sin(\varphi). \quad (19)$$

Ako postavimo uslov $y(t_n) = 0$, što važi za $\omega_0 t + \varphi = n\pi$, za korespondentne vrednosti $x(t_n)$ dobija se

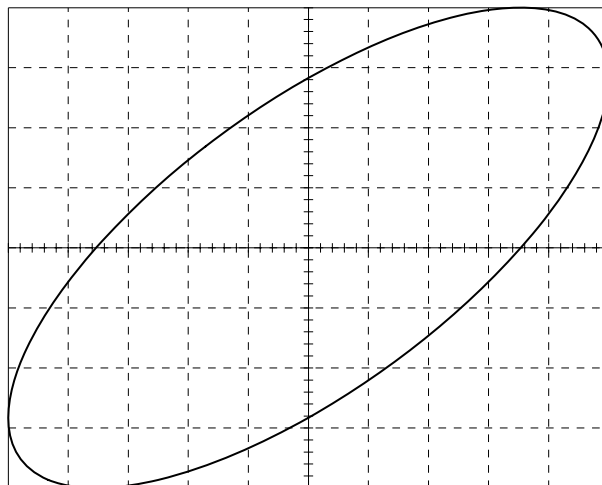
$$x(t_n) = (-1)^{n+1} X_0 \sin(\varphi). \quad (20)$$

Na osnovu jednačina (19) i (20) se za vrednost fazne razlike dobija

$$\varphi = \arcsin \frac{y|_{x=0}}{Y_0} = \arcsin \frac{x|_{y=0}}{X_0}. \quad (21)$$

Dakle, za određivanje fazne razlike dva sinusoidalna signala primenom Lisažuovih figura potrebno je odrediti maksimalno skretanje elektronskog mlaza duž x ili y ose i presečnu tačku dobijene Lisažuove figure sa tom osom. Odnos rastojanja

presečne tačke Lisažuove figure sa osom i maksimalnog skretanja mlaza duž te ose predstavlja sinus merenog ugla fazne razlike.



Slika 29. Merenje fazne razlike primenom Lisažuovih figura.

Na slici 29 je prikazana jedna Lisažuoova figura. Maksimalno skretanje mlaza duž y ose iznosi 4 podeoka, dok je presečna tačka sa y osom na 2.8 podeoka. Na osnovu ovoga je sinus traženog faznog ugla $2.8/4 = 0.7$, pa je izmerena fazna razlika posmatranih signala jednaka 45° .

Metod Lisažuovih figura se u praksi sve manje koristi.

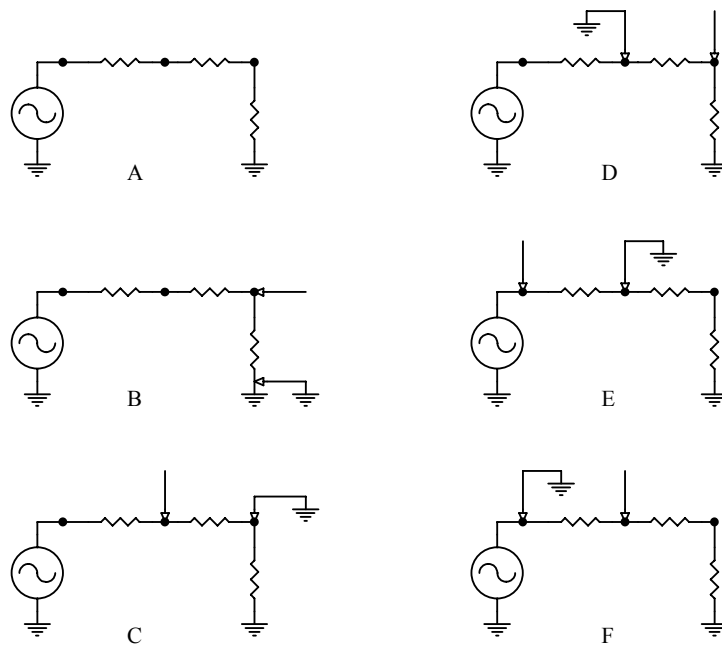
5. PROBLEM SA UZEMLJENJEM

Na kraju ovog priručnika će biti pomenut problem koji svakako zaslužuje posebno poglavlje. Iako je problem teorijski minoran, njegovo zanemarivanje u praksi je dovelo do brojnih uništenja osciloskopskih sonda, uređaja na kojima je merenje vršeno, kao i samih osciloskopa. Ovakva neslavna reputacija je dovela do posvećivanja posebnog poglavlja problemu sa uzemljenjem. Za referentni potencijal i uzemljenje se u laboratorijskom žargonu često koristi termin "masa".

U čemu je, zapravo, problem? Osciloskop prema raznim standardima mora biti uzemljen kako bi se smanjila opasnost od električnog udara kojoj bi mogao biti izložen rukovaoc osciloskopa. To znači da se osciloskop na mrežu priključuje preko kabla i utikača koji ima priključak za uzemljenje (tzv. "šuko" utikač). Pod uslovom da je uzemljenje ispravno izvedeno, na potencijalu uzemljenja se nalazi kutija osciloskopa i sve pristupačne komande osciloskopa.

Sonde osciloskopa imaju dva priključka, jedan za posmatrani signal i jedan za povezivanje na referentni potencijal, tzv. "masu". Od suštinskog je značaja napomenuti da su priključci za referentni potencijal obe osciloskopske sonde na istom potencijalu, tj. da su međusobno povezani ututar osciloskopa i uz to povezani na potencijal uzemljenja. Dakle, dvokanalnim osciloskopom se ne mogu posmatrati dva nezavisna napona, već dva nezavisna potencijala sa istom referentnom tačkom koja se nalazi na potencijalu uzemljenja.

Pretpostavimo da uređaj na kome se merenje vrši nije uzemljen. Povezivanje priključaka za referentni potencijal ("masu") sa dve sonde u taj uređaj izaziva međusobno kratko spajanje čvorova na koje su priključci za referentni potencijal vezani. Situacija je još teža u slučaju da je posmatrani uređaj uzemljen. U tom slučaju priključivanje dva priključka za referentni potencijal sonda izaziva međusobno kratko spajanje čvorova na koje su priključci vezani, kao i njihovo vezivanje na potencijal uzemljenja, koji je u uređaju već prisutan pošto je i on uzemljen. Ovolika količina kratkih spojeva obično ne ostavlja osciloskopske sonde (priključke za "masu") i/ili uređaj na kome se merenje vrši neoštećenim. Nešto ređe se oštećenje prenosi i na sam osciloskop.



Slika 30. Različiti načini priključivanja sonde osciloskopa.

Neka za primer posluži jednostavno kolo prikazano šemom A na slici 30. Pod pretpostavkom da su svi otpornici jednake otpornosti $R = 10\text{k}\Omega$ i da je generator ulaznog napona $v_{IN} = 3\text{V}\sin(\omega t)$, naponi na otpornicima će biti $v_R = 1\text{V}\sin(\omega t)$. Takođe pretpostavimo da je uređaj uzemljen kako je prikazano.

Na šemi B je prikazan jedan način priključivanja sonde osciloskopa. Pokazivanje instrumenta će biti tačno, na ekranu će se videti napon $1\text{V}\sin(\omega t)$. Nikakvih oštećenja neće biti.

Priključivanje sonde na način prikazan na slici C će dovesti do promene raspodele napona i struja u kolu. Poslednji otpornik u nizu će biti kratko spojen i na osiloskopu će se videti napon oblika $1.5\text{V}\sin(\omega t)$.

U slučaju priključivanja sonde osciloskopa na način prikazan na slici D, doći će do još većeg poremećaja u raspodeli napona i struja u kolu. Poslednja dva otpornika će biti kratko spojena, a na osciloskopu će se videti napon jednak nuli.

Isti poremećaj u radu kola će se dogoditi i u slučaju priključivanja sonde na način prikazan na slici E, samo će sada na osciloskopu biti prikazan dijagram napona $3V \sin(\omega t)$.

Konačno, dolazimo do slučaja sa slike F. U tom slučaju bi na osciloskopu trebalo da bude prikazan napon jednak nuli, međutim izgledi su da to neće dugo trajati. Pošto je naponski izvor kratko spojen, od snage izvora zavisi hoće li pregoreti sondin priključak za referentni potencijal, izvor, osciloskop, svi zajedno ili neka druga kombinacija pomenutih elemenata.

Iako je problem teorijski trivijalan, nepažnja u radu i zanemarivanje njegovog praktičnog značaja često dovode do velikih šteta u laboratoriji.

LITERATURA

- [1] *Tektronix 2215A Oscilloscope Operators Instruction Manual*, Tektronix, Inc., 1984.
- [2] *Tektronix 2205 Oscilloscope Operator's Manual*, Tektronix, Inc., 1987.
- [3] *Tektronix TDS 210 and TDS 220 Digital Real-Time Oscilloscopes User Manual*, Tektronix, Inc., 1997.
- [4] *TDS 520 and TDS 540 Digitizing Oscilloscopes Tutorial/User Manual*, Tektronix, Inc., 1991.