

Ostsillograafiga tutvumine

1. Tööülesanne

Tutvumine ostsillograafi ehituse ja mõnede kasutamisevõimalustega.

2. Töövahendid

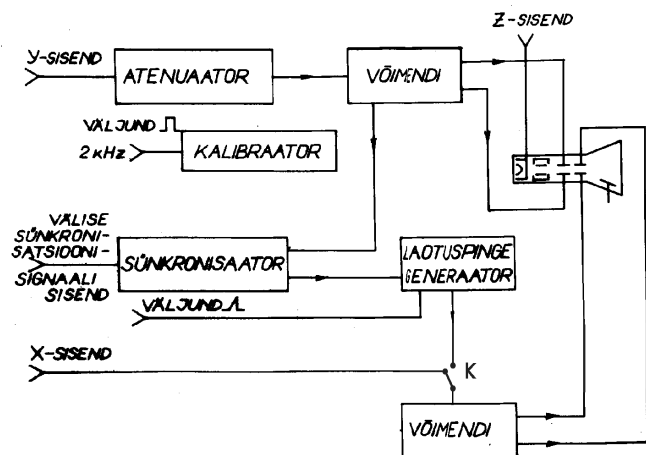
Ostsillograaf C1-68, impulsspingete generaator, helisagedusgeneraator või autotrafo, ühendusjuhtmed

3. Ostsillograafi ehitus ja tööpõhimõte

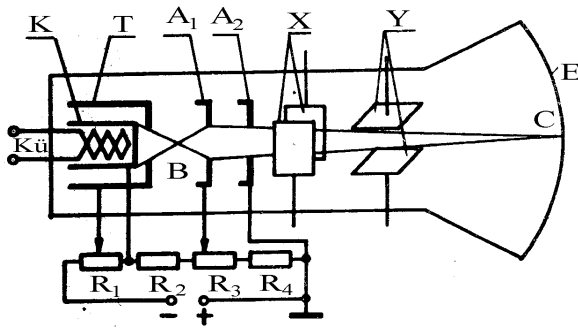
Ostsillograafi otsatarve ja plokkskeem. Ostsillograaf on riist kiirete elektriliste protsesside jälgimiseks (vajaduse korral ka fotografeerimiseks). Ostsillograafi abil võib jälgida mingit protsessi iseloomustavate kõverate (s.t. protsessis muutuvate füüsikaliste suuruste vaheliste sõltuvuste graafikute) kuju, mõõta protsessi või selle osade kestust, protsessi sagedust. Sageli kasutatakse ostsillograafi vahelduvpinge mõõtmisel; asendamatu on ta üksikute lühiajaliste pingeimpulsside mõõtmisel.

Ostsillograafi töö analüüsimisel jagatakse see funktsionaalseteks sõlmedeks ehk plokkideks (joonis 1). Ostsillograafi põhilplokkideks on elektronkiiretoru, sisendsignaalide võimendid ja atenuaator(id), laotusgeneraator ja sünkronisaator. Nooltega on tähistatud plokkide vastastikused seosed.

Elektronkiiretorud võivad olla kahte tüüpi: elektrostaatilised või magnetilised. Esimest tüüpi torudes toimub kiire kallutamine elektrivälja, teistes magnetvälja mõjul. Siin vaatleme elektrostaatilise kallutusega toru, sest ostsillograafides kasutatakse peaaegu eranditult selliseid. Elektronkiiretoru ehitus on järgmine (joonis 2). Elektronide allikaks on kaudse küttega silindriline katood K, mida kuumutatakse kütteniidiga Kü. Katoodi ümbritseb avaga varustatud tüüriiv elektrood T, millele antakse katoodi suhtes väike negatiivne pinge. Muutes tüüriiva elektroodi negatiivset pinget, muudame väljuvate elektronide arvu, millest omakorda sõltub toru fluorestseerival ekraanil tekkiva elektronkiire jälje heledus.



Joonis 1. Ostsillograafi plokkskeem.



Joonis 2. Elektrostaatilise kallutusega elektronkiiretoru

Elektroodid A_1 ja A_2 moodustavad anoodide süsteemi, neile antakse kõrge positiivne pinge katoodi suhtes. Elektrivälja toimel, mis tekib katoodi ja tüüriva elektroodi ning esimese anoodi A_1 vahele rakendatud pinge tõttu, koonduvad katoodi pinnalt eraldunud elektronid punktis B esimese anoodi lähedal. Pärast punkti B elektronkiirte kimp laieneb, sest väljatugevus silindrikujulise esimese anoodi sees on lähedane nullile. Esimese ja teise anoodi vahel kõverdab elektrivälja uuesti elektronide trajektoore, lähendades neid toru teljele ja elektronide kimp fookuseerub ekraanil punktis C. Ekraan E on valmistatud fluorestseeruvast materjalist, mis elektronidega pommitamisel hakkab vastavas kohas helenduma (nn. katoodluminescentsi nähtus).

Elektroodide süsteeme, mis koondavad või hajutavad elektronkiirte kimpu, nimetatakse elektronoptilisteks läätsedeks.

Kogu kirjeldatud süsteemi, mis koosneb katoodist, tüürivast elektroodist ja anoodist, nimetatakse elektronkahuriks.

Takistid R_1 , R_2 , R_3 ja R_4 moodustavad pingejaguri, millelt antakse elektroodidele vastavad pinged. R_1 abil muudetakse täpi heledust, R_3 abil fookuseeritakse kiirt.

Elektronkiire tee ja seega ka fookuseerimispunkti asukoha muutmiseks ekraanil on torus kaks paari omavahel risti asetatud kallutusplaate: vertikaal- ehk X-plaadid ja horisontaal- ehk Y-plaadid. Kallutusplaatide paarid kujutavad endast tasaparalleelseid kondensaatoreid. Kui kõigile kallutusplaatidele anda anoodi A_2 potentsiaal, siis plaadid ei mõjusta elektrone ja kiire jälg tekib ekraani tsentrisse. Kui aga rakendada kallutusplaatide vahele pinge (tavaliselt vähendatakse ühe ja suurendatakse teise plaadi potentsiaali, nii et keskmine potentsiaal jääb võrdseks A_2 omaga), siis kalduvad elektronid kondensaatori homogeenses elektriväljas liikudes esialgselt suunast kõrvale. Kiire jälje nihe ekraani keskpunktist osutub võrdeliseks plaatide vahele rakendatud pingega. Kahe paari kallutusplaatide vahelise pinge muutmise teel saab viia kiire jälje mistahes punkti ekraanil, kusjuures pinge muutus ja jälje nihe ekraanil vertikaal- või horisontaalsihis on üheaegselt (võrdeliselt) seotud. See võimaldab joonistada ekraanil kallutusplaatidele rakendatud kahe muutuva pinge (elektrilise signaali) vahelise sõltuvuse graafikut (ostsillogrammi).

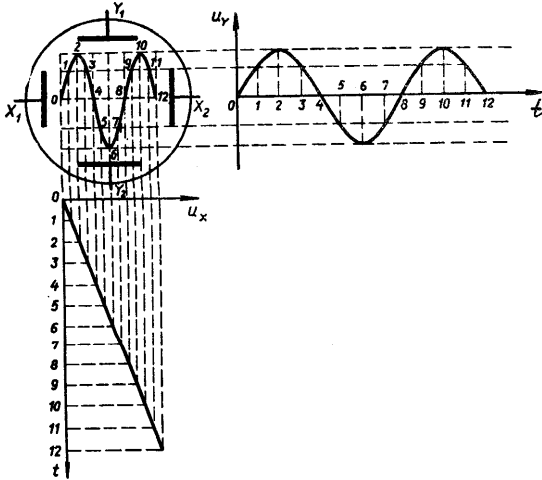
Ostsillogrammi tekitamine. Olgu näiteks X-plaatidele antud ajas lineaarselt muutuv pinge U_x , Y-plaatidele ajas sinusoidselt muutuv pinge U_y . Siis elektronkiire jälje X- ja Y-koordinaadid (horisontaal- ja vertikaalnihked ekraani keskpunktist) sõltuvad ajast järgmiselt:

$$\begin{cases} X = a \cdot t \\ Y = b \sin(\omega t + \varphi) \end{cases}$$

Neid seoseid võib vaadelda kui joone $Y = f(X)$ parameetrilisi võrrandeid. Selle joone võrrandit ennast on siit lihtne saada:

$$Y = b \sin\left(\frac{\omega}{a} X + \varphi\right)$$

Ostsillograafi toru ekraanil tekib sinusoid. See on ka funktsiooni $U_y = f(U_x)$ graafik. Selle graafiku tekkimise protsessi toru ekraanil selgitab joonis 3. Et U_x oli võrdeline ajaga, siis näitab ostsillogramm U_y sõltuvust ajast.

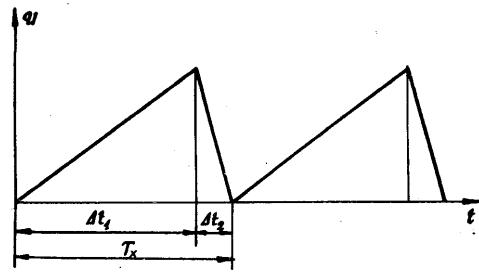


Joonis 3. Ostsillogrammi tekkimine

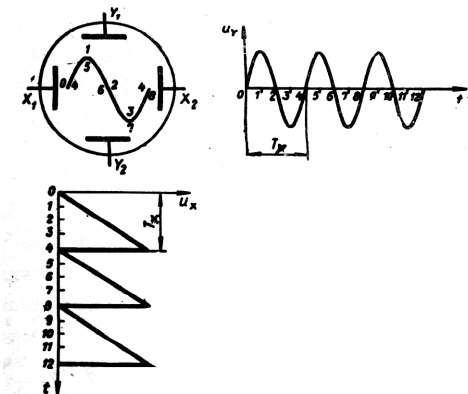
Kui anda ühele kallutusplaatide paarist ajas sinusoidaalselt muutuv pinge, siis hakkab kiire jälg ekraanil võnkuma harmooniliselt kas vertikaal- või horisontaalsihis. Kui aga anda mõlemale plaatipaarile samaaegselt sinusoidaalne pinge, siis tekib kiire jälje liitliikumine mööda trajektoori, mida nimetatakse Lissajous' kujundiks. Trajektoori kuju sõltub plaatidele antavate pingete sageduste suhtest ja faaside vahest. Kui sageduste suhe on väike täisarv (1, 2, 3, ...), on Lissajous' kujundid võrdlemisi lihtsa kujuga kinnised kõverjooned.

Eristatakse ostsillograafi kaht töörežiimi, mille valik toimub lüliti K abil (joonis 1). ühe režiimi korral antakse kummalegi kallutusplaatide paarile väline signaal, ostsillogramm kujutab nende signaalide mõjul toimuvat elektronkiire jälje liitliikumist. Teisel juhul jälgitakse ühe signaali sõltuvust ajast. Vastavalt eelöeldule tuleb siis ühele kallutusplaatide paarile (tavaliselt vertikaalsetele plaatidele) anda ajas lineaarselt muutuv pinge. Ekraanil saadakse siis uuritava signaali ühekordne graafik, mis kiire protsessi korral pole hästi jälgitav. Et ekraanil tekiks perioodilise signaali graafiku püsiv kujutis, on tarvis, et ühekordne signaal korduks vähemalt 10 – 20 korda sekundis (nägemisaistingu kestus on ca 0,1 s) ja üksikud ostsillogrammid kattuksid täpselt. Selleks peab X-plaatide lineaarne pingemuutus perioodiliselt korduma. Pinge peab teatud aja jooksul lineaarselt kasvama, siis järsku kaduma, uuesti kasvama jne. Sellist nn. hammaspinget (graafik sarnane pikipuu sae hammastikuga) (joonis 4) tekitab ostsillograafis sisemine laotuspinge generaator. Hammaspinge mõjul liigub täpp ekraanil algul ühtlaselt vasakult paremale, siis “hüppab” kiiresti algasendisse tagasi. Joonisel 4 on tähistatud vastavad ajavahemikud Δt_1 ja Δt_2 . Peab olema täidetud tingimus $\Delta t_2 \ll \Delta t_1$ (ideaalne oleks $\Delta t_2 = 0$, see pole praktikas saavutatav). Tagasihüppe ajaks kiir kustutatakse.

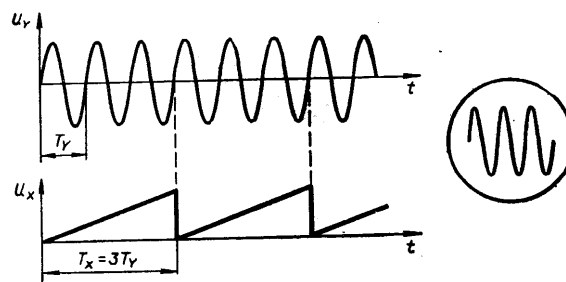
Kui uuritava signaali periood T_y ja hammaspinge periood T_x on võrdsed, siis tekib ekraanil uuritava pinge püsiv kujutis (joonis 5). Kui $T_x = nT_y$ (n on täisarv), siis saame ostsillogrammil uuritava pinge n perioodi graafiku (joonis 6).



Joonis 4. Laotuspinge ajaline sõltuvus.



Joonis 5. Ostsillogramm juhul $T_x = T_y$.



Joonis 6. Ostsillogramm juhul $T_x = nT_y$.

Sünkroniseerimine. Kui tingimus $T_x = nT_y$ pole täpselt täidetud, hakkab pilt ekraanil liikuma X-telje sihis. Nii T_x kui T_y võivad juhuslike põhjuste tõttu muutuda, seepärast on liikumatu pildi saamiseks vaja kasutada sünkroniseerimist (sama-ajastamist). Selleks sidestatakse uuritava signaali võimendi (Y-võimendi) laotusgeneraatoriga; hammaspinge generaatori sagedust muudetakse nii, et hammaspinge perioodid algaksid alati uuritava pingega sama faasi juures. Sünkroniseerimiseks antava signaali tugevus on reguleeritav. Mõnikord kasutatakse sünkroniseerimiseks kas võrgusagedusega pinget või mingit välist signaali, mis antakse eriklemmi kaudu. Sünkronisatsioonisignaali allika valik toimub vastava ümberlüüti abil.

Sisendsignaali võimendid on selleks, et vajaduse korral nõrka signaali enne kallutusplaatidele juhtimist võimendada. Liiga tugevaid signaale saab enne võimendisse juhtimist astmeliselt nõrgendada atenuaatori abil.

4. Ostsillograafi põhiparameetrid.

Tundlikkuseks nimetatakse helenduva täpi kõrvalekallet ekraanil vastavatele sisendklemmidele rakendatud ühikulise pingega mõjul. Tundlikkus määratakse eraldi X- ja Y-teljel, tavaliselt on see reguleeritav. Tundlikkuse teadmine võimaldab kasutada ostsillograafi pingega mõõtmiseks.

Läbilaskeriba. Ostsillograafi tundlikkus sõltub sagedusest. See on sisendsignaali võimendi omadus. Sagedusvahemikku, mille ulatuses tundlikkus pole vähenenud rohkem kui $\sqrt{2}$ korda maksimaalsest tundlikkusest, nimetatakse läbilaskeribaks. Läbilaskeriba määratakse vastava sisendi sageduskarakteristikult, s.o. graafikult, mis näitab tundlikkuse sõltuvust sisendpinge sagedusest. Mõnedel ostsillograafidel on läbilaskeriba altpoolt piiramata, neid nimetatakse alalispinge ostsillograafideks.

Kallutusgeneraatorit iseloomustavad hammaspinge perioodi maksimaalne ja minimaalne väärtus.

5. Ostsillograaf C1-68.

5.1. Tehnilised andmed

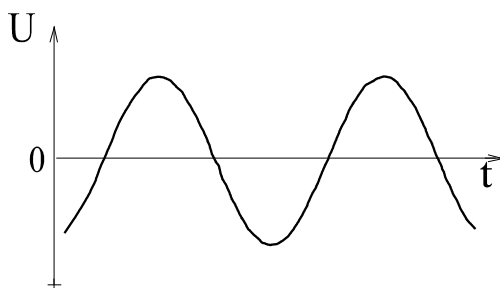
C1-68 on universaalne ostsillograaf, mis võimaldab visuaalselt jälgida elektrilisi protsesse, mõõta impulsspingete väärtusi vahemikus 1 mV kuni 300 V, impulsside kestust vahemikus 2 μ s kuni 16 s ja signaalide sagedust vahemikus 0,06 Hz kuni 1 MHz.

5.2. Ostsillograafi paneelidel kasutatavate märkide tähendused.

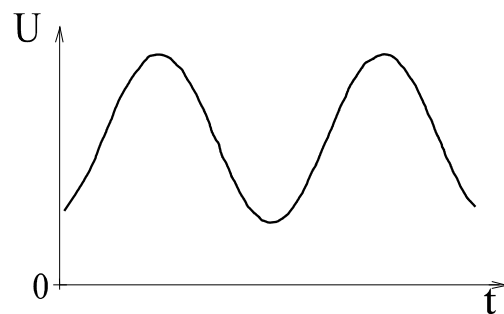
Sümbol “ \ominus ” näitab, et tegemist on sisendiga ja sümbol “ \ominus ” et tegemist on väljundiga.

Märkide juures olevad tähised viitavad:

- karakteristikutele, näiteks: “1 M Ω 50 pF” tähistab sisendklemmide vahelist takistust 1 M Ω ja mahtuvust 50 pF.
- funktsionaalsusele, näiteks: “ \ominus x” tähistab x-sisendit (horisontaalselt kallutatavatele plaatidele); “ \ominus z” tähistab sisendit elektronkiire heleduse moduleerimiseks ostsillograafi välise signaali abil.
- väljundsignaali kujule, näiteks: “ \ominus Λ ” tähistab laotus(hammas)pinge generaatori väljundit. “ \square 2 kHz 100 mV”, “ \square 2 kHz 1 V” kalibreeritud impulsspinge väljundid. Esimesest saadakse 2 kHz sagedusega impulsse pinge amplituudiga 100 mV, teisest sama sagedusega impulsse pinge amplituudiga 1 V.
- “ \sim ” näitab, et tegemist on puhta vahelduvpingega (vt. joonis 7a), “ \sim ” korral alaliskomponendiga vahelduvpingega (joonis 7b).



a)



b)

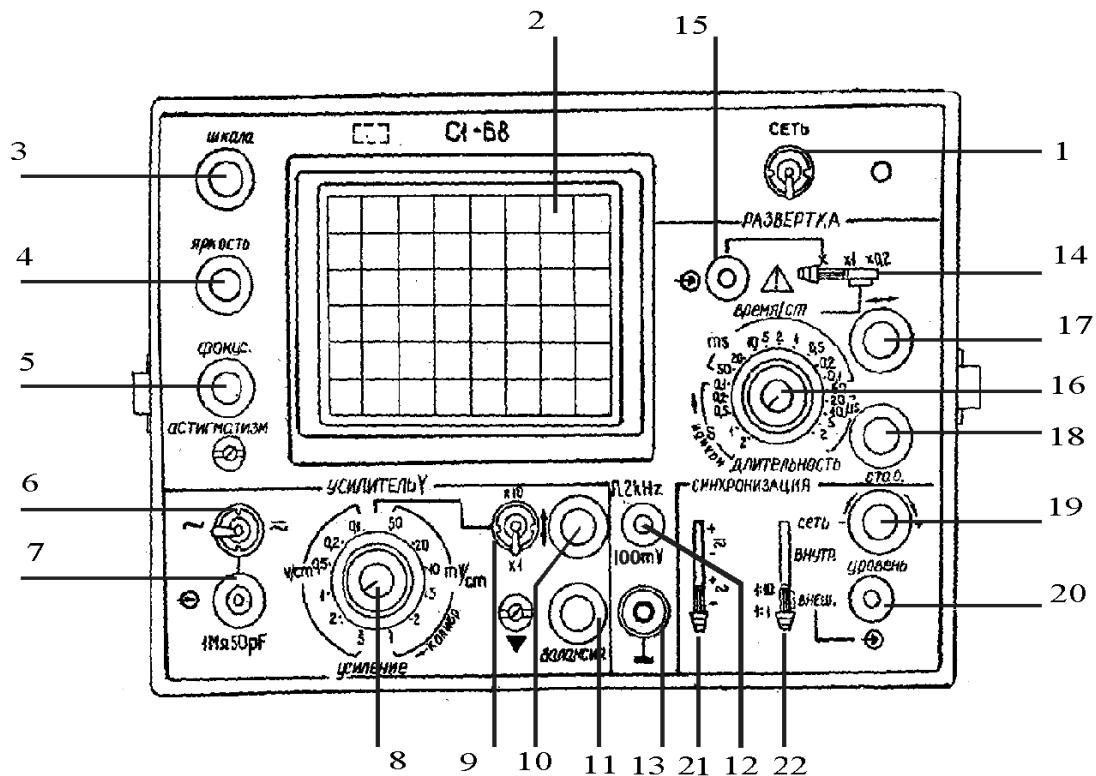
Joonis 7. a) vahelduvpinge, b) alaliskomponendiga vahelduvpinge

5.3. Ostsillograafi käsitlemine.

Ostsillograafi C1-68 detailid on monteeritud metallkastis asuvale šassiile ja juhtimisseadmed on välja toodud esipaneelile. Esipaneelil on järgmised lülitid ja regulaatorid (joonis 8):

- võrgulüliti
- elektronkiiretoru ekraan

3. skaala valgustuse regulaator
4. helendava täpi (kujutise) heleduse regulaator (muudab pinget tüürival elektroodil)
5. kiire teravustaja
6. tumbler vahelduvsignaali ja alaliskomponendiga vahelduvsignaali vaatamiseks
7. koaksiaalsisend (Y-sisend) uuritava signaali jaoks
8. sisendsignaali hälvitusteguri ümberlüüti (astmeline ja sujuv) **NB! Kaliibritud väärtused kehtivad ainult sujuva regulaatori maksimaalselt päripäeva keeratud asendis**
9. tumbler Y-sisendi hälvitusteguri 10 kordseks suurendamiseks
10. kiire nihutaja Y-teljel
11. regulaator kiire balansseerimiseks tumblersi 9 asendist sõltumatuks
12. kalibraatori väljund (2 kHz, 100 mV)
13. maandusklemm
14. Laotusteguri astmeline lüüti. Vasakpoolses asendis X on sisemine laotusgeneraator välja lülitatud. Asendis $\times 1$ kehtivad laotusteguri ümberlüüti kaliibritud väärtused X-telje jaoks, asendis $\times 0,2$ tuleb laotusteguri ümberlüüti väärtused korrutada läbi 0,2-ga.
15. sisend välise laotusgeneraatori signaali jaoks
16. Laotuspinge kestuse ümberlüüti (astmeline ja sujuv). **NB! Kaliibritud väärtused kehtivad ainult sujuva regulaatori maksimaalselt päripäeva keeratud asendis.**
17. kiire nihutaja X-teljel
18. regulaator laotusgeneraatori töörežiimi valikuks
19. regulaator laotusgeneraatori käivitusnivoo valikuks
20. sisend välise sünkronisatsiooni signaali jaoks
21. lüüti sünkronisatsiooni liigi ja selle pinge polaarsuse valikuks
22. lüüti sünkroniseerimiseks kasutatava pinge valikuks



Joonis 8. Ostsillograafi C1-68 esipaneel.

Uuritav signaal antakse Y-sisendisse (7). Sealt läbib see atenuaatori, võimendi ja antakse edasi elektronkiiretoru vertikaalselt kallutatavatele plaatidele. Atenuaator ja võimendi võimaldavad suurendada mõõdetavate pingete vahemikku, muutes ostsillograafi hälvitustegurit. Hälvitustegur näitab pinget mis on vajalik anda ostsillograafi sisendisse, et kiir kalduks ekraanil kõrvale pikkusühiku võrra. Teda mõõdetakse tavaliselt ühikutes V/cm ja ta on võrdne tundlikkuse (cm/V) pöördväärtusega.

C1-68 hälvitusteguri astmeline ümberlülit (8) on gradueeritud järgmiselt: 5 V/cm; 2 V/cm; 1 V/cm; 0,5 V/cm; 0,2 V/cm; 0,1 V/cm; 50 mV/cm; 20 mV/cm; 10 mV/cm; 5 mV/cm; 2 mV/cm; 1 mV/cm ja **see kehtib vaid juhul, kui sujuv regulaator astmelise ümberlülit (8) peal on äärmises parempoolses asendis.** Sujuva regulaatori abil on võimalik iga astme hälvitustegurit suurendada 2,5 korda. Tumblersi (9) abil on võimalik hälvitustegurit 10 korda suurendada. Hälvitusteguri lubatud suhteline viga on $\delta = \pm 5 \%$ hälvitusteguri astmelise ümberlülit asendis 2 mV/cm kuni 5 V/cm korral ja $\delta = \pm 8 \%$ hälvitusteguri astmelise ümberlülit asendis 1 mV/cm (sõltumata tumblersi (9) asendist).

Ostsillograafi ekraani võib vaadelda tasandina x,y koordinaatides. Elektrilisi protsesse uuritakse väga sageli kui pinge sõltuvust ajast. Et viia y-koordinaat vastavusse pingega, kasutatakse hälvitustegurit. Et viia x-koordinaat vastavusse ajaga, kasutatakse laotustegurit.

Laotustegur näitab aega, mis kulub elektronkiirel ühikulise nihke sooritamiseks x-telje suunas. Laotustegur on seega elektronkiire liikumise kiiruse x-teljelise projektsiooni pöördväärtus. Laotustegurit on võimalik reguleerida astmeliselt ja sujuvalt regulaatoritega “ДЛИТЕЛЬНОСТЬ” (16). Mõlemad regulaatorid juhivad hammaspinge generaatori (laotuspinge generaatori) sagedust. Kui sujuv regulaator on äärmises parempoolses asendis, siis astmelise regulaatoriga on võimalik protsesse laotada kiirustega: 2 s/cm; 1 s/cm; 0,5 s/cm; 0,2 s/cm; 0,1 s/cm; 50 ms/cm; 20 ms/cm; 10 ms/cm; 5 ms/cm; 2 ms/cm; 1 ms/cm; 0,5 ms/cm; 0,2 ms/cm; 0,1 ms/cm; 50 μ s/cm; 20 μ s/cm; 10 μ s/cm; 5 μ s/cm; 2 μ s/cm. Sujuv regulaator võimaldab laotustegurit suurendada 2,5 korda. Lülit “X, $\times 1$, $\times 0,2$ ” (14) võimaldab kujutist välja venitada 5 korda. **Selle lüliti äärmises vasakpoolses asendis laotusgeneraator ei tööta ja kõrvaloleva sisendi (15) kaudu võib kiire x-telje suunaliseks hälvitamiseks kasutada välist signaali.** Sisendi hälvitustegur on 1 V/cm.

Laotusteguri lubatud suhteline viga on $\delta = \pm 5 \%$, kui lüliti “X, $\times 1$, $\times 0,2$ ” (14) on asendis $\times 1$, ja $\delta = \pm 8 \%$, kui lüliti “X, $\times 1$, $\times 0,2$ ” (14) on asendis $\times 0,2$.

Regulaator “СТАБ” (18) abil saab valida laotusgeneraatori töörežiimi. Regulaatori parempoolsetes asendites töötab laotusgeneraator sõltumata Y-sisendi signaalist. Regulaatori vasakpoolsetes asendites on laotusgeneraator ooterežiimis (ЖДУЩИЙ РЕЖИМ), s.t. laotusgeneraator käivitatakse vaid siis, kui Y-sisendisse antakse signaal.

Sünkronisatsiooni liigi valikuks on esipaneelil lüliti (22). Asendis “СТНМ” toimub sünkroniseerimine võrgupingega, asendis “ВНУТР” ostsillograafi seesmiselt ja asendist “ВНЕШ” tuleb kasutada sünkroniseerimiseks välist signaali, mis antakse sisendisse “—⊖” (20). Vajaduse korral saab selle tugevust vähendada 10 korda.




Lüliti “ $\pm \sim$ ”, “ $\pm \sim$ ” (21) abil saab valida välise sünkronisatsiooni liiki ja selle pinge polaarsust. Regulaator “УРОВЕНЬ” (19) muudab impulsside tugevust, mis käivitab laotusgeneraatori.

Kalibraator genereerib 2 kHz sagedusega impulsse pinge amplituudiga 100 mV ja 1 V. Kalibraatori abil on võimalik kontrollida atenuaatori ja laotusgeneraatori gradueeringut. Üks kalibraatori väljunditest (12) asub esipaneelil, teine ostsillograafi paremal küljel.

6. Töö käik.

6.1. Tutvumine ostsillograafi C1-68.

Tutvume kõigi juhtimisorganite paigutusega. Keerame sisendsignaali võimendi astmelise lüliti maksimaalseks, s.t. maksimaalselt vastu päeva. Lülitame ostsillograafi vooluvõrku. Kui ilmneb, et tumblersi “×10, ×1” lülitamisel ühest asendist teise elektronkiire laotusjoon nihkub vertikaaltasandis, siis vajab Y-võimendi balansseerimist. Selleks tuleb tumbler “×10, ×1” lülitada asendisse “×10” ja regulaatoriga “↕” viia elektronkiir ekraani keskele. Seejärel lülitada tumbler asendisse “×1” ja regulaatoriga “БАЛАНСИР” viia elektronkiir ekraani keskele. Vajadusel korrata operatsiooni mitu korda. Tehase juhendi järgi teostatakse balansseerimist peale ostsillograafi 15 minutulist soojenemist.

Ühendada “ 1 MΩ 50 pF” kalibraatori väljundisse “ 2 kHz 100 mV”. Külgskeemil viia lüliti asendisse “”. Kuidas teha kindlaks, kumb juhe tuleb ühendada kalibraatori korpuse ühendusklemmiga? Uurida regulaatorite “УСИЛЕНИЕ” ja “ДЛИТЕЛЬНОСТЬ” mõju kujutisele. Kontrollida veelkord Y-võimendi balansseeringut.

6.2. Kaliibrimise õigsuse kontroll. Atenuatori kontroll.

Kasutada kalibraatori väljundpinget 100 mV ± 1,5 % esipaneelil ja 1 V ± 1,5 % külgskeemil. Kontrollida astmeid 2 mV/cm (×10 ja 100 mV); 20 mV/cm (×1 ja 100 mV); 0,2 V/cm (×1 ja 1 V). Impulsi kujutise kõrgus peab olema 50 mm. Kui tekib vajadus atenuatorit reguleerida, siis teha seda juhendaja juuresolekul. Mitte unustada regulaatorit “УСИЛЕНИЕ” panna õigesse asendisse. Tulemused protokollida. Hinnata hälvitustegurite B-tüüpi määramatust, arvestades kalibraatori pingete lubatud suhtelist viga ja kujutise kõrguse määramatust visuaalselt hinnates.

Mõõtmise võib teostada vaid nende astmete abil, mis on eelnevalt kontrollitud. Aja kokkuhoiu mõttes piirdume kolme astme kontrolliga ja ülejäänud hälvitusteguritele omistame kolme mõõtmise suhtelise vea, kusjuures kujutise kõrgus ei tohi väga palju erineda 50 mm.

Laotusgeneraator kaliibrida asendi “0,5 ms” jaoks. Lüliti “X, ×1 ×0,2” asendi “×1” korral peab ekraanil olema kaliibrimissignaali (sagedus 2 kHz ± 1,5 %) 8 perioodi. Vajaduse korral reguleerida potentsiomeetriga “КАЛИБРОВКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ - ×1” (asub külgskeemil). Lüliti “×0,2” asendis peab ekraani 5 jaotusel olema 1 periood. Reguleerimiseks kasutada potentsiomeetrit “КАЛИБРОВКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ - ×0,2”.

Hinnata mõõtemääramatust. Tulemus protokollida.

6.3. Lissajous kujundite jälgimine

Lissajous' kujundite jälgimiseks anname Y-sisendisse siinuselise pinge helisagedusgeneraatorist. **Laotusteguri astmelise lüliti (14) abil lülitame ostsillograafi sisemise laotusgeneraatori välja (asendisse X). Miks see vajalik on?** Ostsillograafi X sisendisse anname pinge impulsspinge generaatorist. Seejuures tuleb impulsspinge generaatoriga ühendatud koaksiaalkaabli teine klemm ühendada ostsillograafi maandusklemmiga. Vajadusel nihutame tekkiva ostsillogrammi X-telje suunalise nihutaja abil ekraani keskele. Ekraanil saame jälgida kujundeid, mis tekivad kahe ristsihilise siinuselise võnkumise liitumise tulemusena. X- ja

Y-sisendisse antavate pingete sagedused (vastavalt f_x ja f_y) valime järgemööda selliselt et nad suhtuksid teineteisesse nagu $f_x : f_y = 4 : 1; 3 : 1; 2 : 1; 1 : 1; 1 : 2; 1 : 3$ ja $1 : 4$. Saadud seitse kujundit skitseerime protokollis.

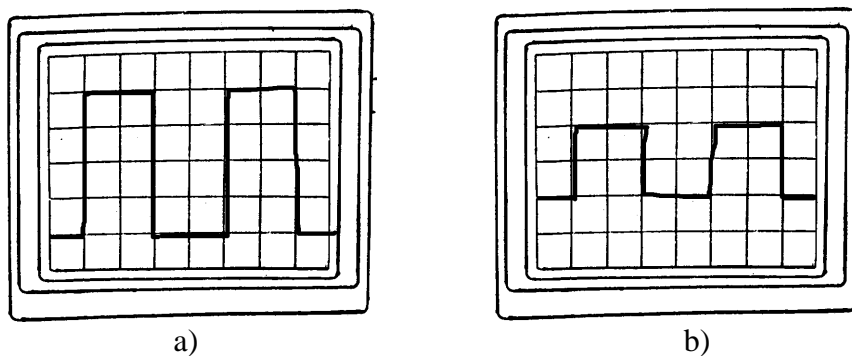
Lissajous' kujundite abil määratakse praktikas sageli uuritava signaali sagedust tuntud (reguleeritava) sagedusega võrdlemise teel.

6.4. Impulsspinge generaatori signaalide uurimine.

Impulsspinge generaatorist anda ostsillograafi Y-sisendisse siinuspinge. Pinge amplituudi ja sageduse võib eksperimentaator ise valida. Joonistada impulsside kaju protokollis. Ostsillograafi ekraanilt mõõta pinge amplituud ja periood. Arvutage impulsspinge sagedus. Sama ülesannet tuleb korrata veel kolmnurk-, ristkülik- ja hammaspingega. Kolmnurkse ja hammaspinge korral arvutada täiendavalt veel impulsi pinge kasvamise kiirus (V/s). Tulemused anda koos mõõtemääramatusega.

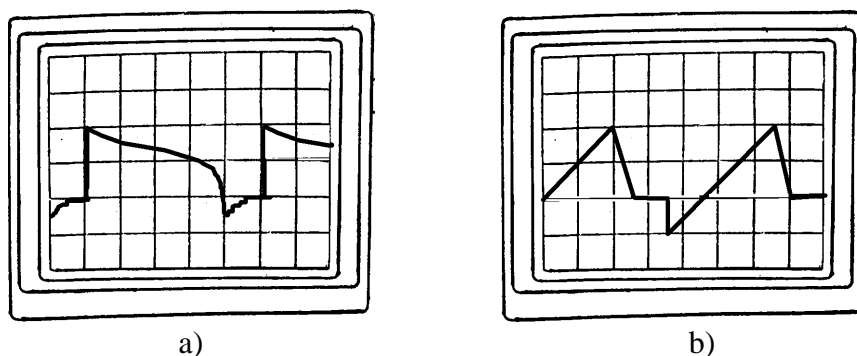
7. Lisaülesanded enne praktikumi

Ostsillograafi hälvitustegur on $0,2 \text{ V/cm} \pm 5 \%$, laotustegur $50 \text{ ms/cm} \pm 5 \%$. Leida joonisel 9 toodud impulsside pinge amplituud, kestus ja sagedus. Hinnata mõõtemääramatust.



Joonis 9.

Ostsillograafi hälvitustegur on $50 \text{ V/cm} \pm 5 \%$; laotustegur $20 \mu\text{s/cm} \pm 5 \%$. Leida joonisel 10 toodud impulsside pinge amplituud, kestus ja sagedus. Hinnata mõõtemääramatust.



Joonis 10.