

8. A KATÓDSUGÁR-OSZCILLOSKÓP, MÉRÉSEK OSZCILLOSKÓPPAL

Célkitűzés:

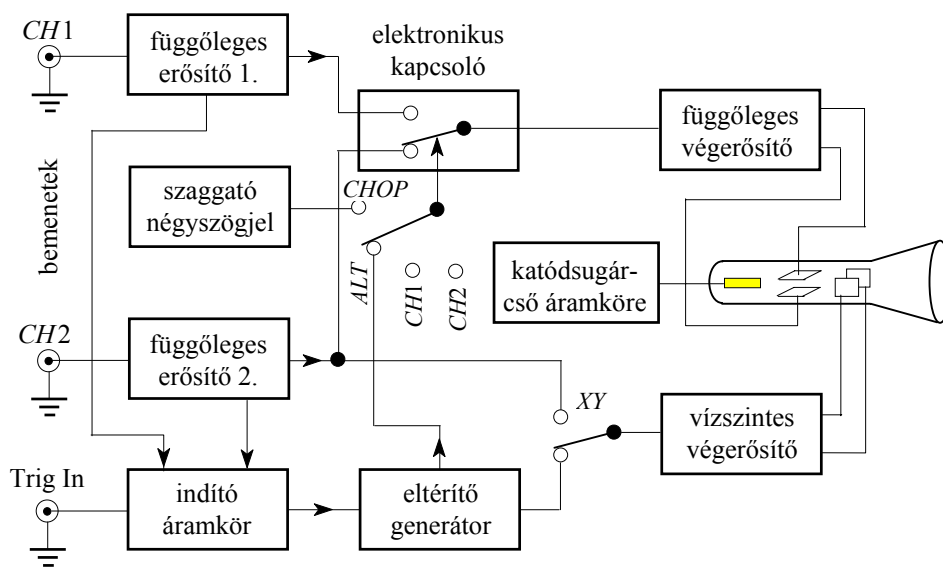
- Az oszcilloszkóp – mint mérőeszköz – felépítésének és kezelésének megismerése.
- Az oszcilloszkópos mérés technika alapvető ismereteinek alkalmazása.

I. Elméleti áttekintés

Az oszcilloszkópok feszültség vagy bármilyen feszültséggé átalakítható mennyiség időbeli változásának vizsgálatára alkalmas mérőműszerek. Képernyőjükön a vizsgált feszültség értékének a függőleges irányú kitérés felel meg, míg az időtengely menti változást a vízszintes kitérés képviseli. A jelalak kijelzésével az oszcilloszkópok sokkal több információt adnak a vizsgált jelről, mint amit a számszerű mérési eredményt adó műszerek (pl. feszültségmérők vagy számlálók) esetében kaphatunk.

1. Az oszcilloszkóp felépítése

Az oszcilloszkóp főbb egységei (1. ábra):



1. ábra

- függőleges erősítők, feladatuk a vizsgált jelek megfelelő erősítése;
- indító áramkör, mely a megfelelő szinkronizációt végzi;
- eltérítő generátor, amely a fűrészrezgést állítja elő;
- a katódsugárcső és az azt kiszolgáló áramkörök.

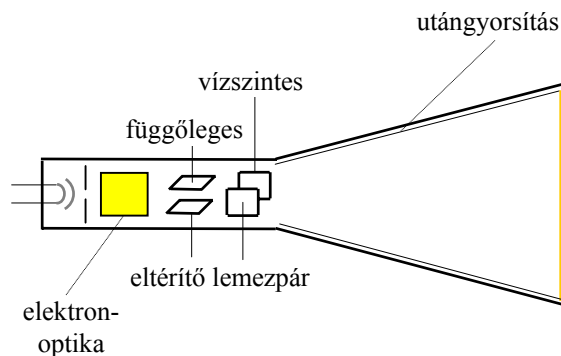
Az oszcilloszkóp megjelenítő egysége – a televízióhoz hasonlóan – az elektronsugárcső (katódsugárcső), míg ugyanezt a televízió esetében képcsőnek nevezzük. Lényeges különbség a két kijelző egység között, hogy az oszcilloszkóp eltérítése szinte kivétel nélkül elektromos, míg a tv-képcső mágneses eltérítésű.

A vizsgálandó, pl. $U_y(t) = U_0 \sin \omega t$ jelet a függőleges eltérítő bemenetére kapcsolva leosztás, illetve megfelelő erősítés után az elektronsugárcső függőleges eltérítőelektrodáira vezetjük – ez vezérli az elektronsugár függőleges (Y) irányú eltérítését. Ekkor az ernyőn az előzőleg pontszerű folt függőleges vonallá húzódik szét, amelynek hossza $2U_0$ -al arányos.

Ha az elektronsugárcső vízszintes eltérítőelektrodáira (X) olyan $U_x(t)$ feszültséget viszünk, amely az idővel arányosan nő, majd hirtelen nullára csökken, ezután ismétlődik (fűrészrezgés vagy *Kipp*-rezgés), akkor ennek egyedüli hatására a folt balról jobbra vízszintes irányban egyenletesen végigfut az ernyőn, majd visszaugrik, és ez a mozgás periodikusan ismétlődik. Rákapcsolva most az Y lemezpárra a vizsgálandó feszültséget, az ernyőn az $U_y(t)$ görbe lesz látható. Megfelelő szinkronizációval elérhetjük, hogy az ernyőn „álló” képet kapjunk.

1.1. A katódsugárcső

Az oszcilloszkóp kijelzőegysége a katódsugárcső (elektronsugárcső, 2. ábra), amely az időfüggő elektromos jeleket közvetlenül látható formába alakítja át.



2. ábra

Fő részei:

- az elektronsugarat előállító triódaelrendezés,
- fókuszáló és előgyorsító rész (elektronoptika),
- függőleges és vízszintes eltérítő elektrodák,
- utángyorsító elektróda, valamint

- az ernyő felületén lévő fénypor bevonat. Ez utóbbi a becsapódó elektronok hatására fényt emittál.

A katódsugárcsövet kiszolgáló kezelőszervek:

- intenzitás,
- fókusz,
- asztigmatizmus.

(Az asztigmatizmus szabályozó gomb segítségével lehet beállítani, hogy a kép egyszerre legyen függőlegesen és vízszintesen is éles. Beállítását a fókusz állításával együtt kell végezni.)

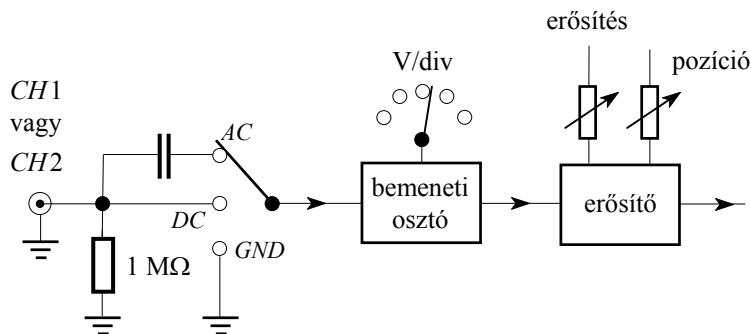
Minden esetben figyelni kell a fényerő helyes beállítására. Mivel a foszforbevonatok hatásfoka kb. 10 %, ez azt jelenti, hogy a sugáráram energiájának 90 %-a hővé alakul. Eből adódóan a túl nagy sugáráram (azaz túl nagy fényerő) a foszforbevonatot visszafordíthatatlanul károsíthatja, kiégetheti, a cső azon a helyen „megvakul”. Másrészt a fényerő növelésével romlik a kép élessége.

1.2. A függőleges erősítő

Feladata, hogy a bemenőjelet oly mértékben erősítse (vagy csillapítsa), hogy a katódsugárcső érzékenységi mutatójának megfelelően, azt teljes mértékben kivezérelje. (A csillapításról a bemeneti osztó gondoskodik.)

A függőleges erősítő egy több feladatot ellátó, sávszélességén belül frekvenciafüggetlennek tekinthető erősítőlánc. (Véges sávszélessége következtében viszont az impulzusok fel- vagy lefutó élei torzítva jelennek meg a képernyőn.) Itt történik a fényvonal függőleges pozicionálása is.

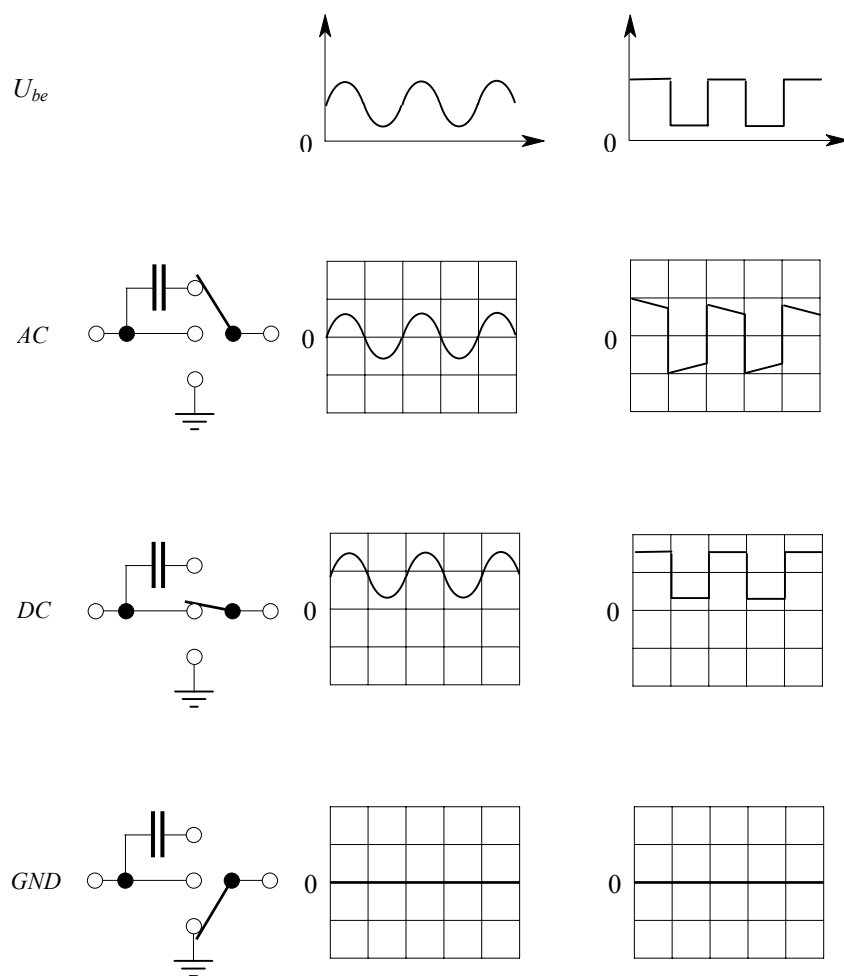
A bemeneten váltakozófeszültség (*AC*), egyenfeszültség (*DC*) és föld (*GND* vagy 0) között lehet választani (3. ábra):



3. ábra

- *AC* csatolással leválasztjuk a mérendő jel egyenáramú összetevőjét,
- *DC* csatolás használatakor a bemeneti csatlakozóra vezetett jelek változás nélkül kerülnek a függőleges erősítő bemenetére,

- a bemeneti csatlakozóegység *GND* vagy 0 állásában a függőleges erősítő bemenete föld-potenciálra kerül anélkül, hogy a meghajtógenerátor kimenetét (a vizsgálandó jel forrását) rövidre zárná. Jól használható ez az állás pl. a referenciaszint beállítására. A három különböző állás esetén mérhető jelalakokat illusztrálja a 4. ábra.



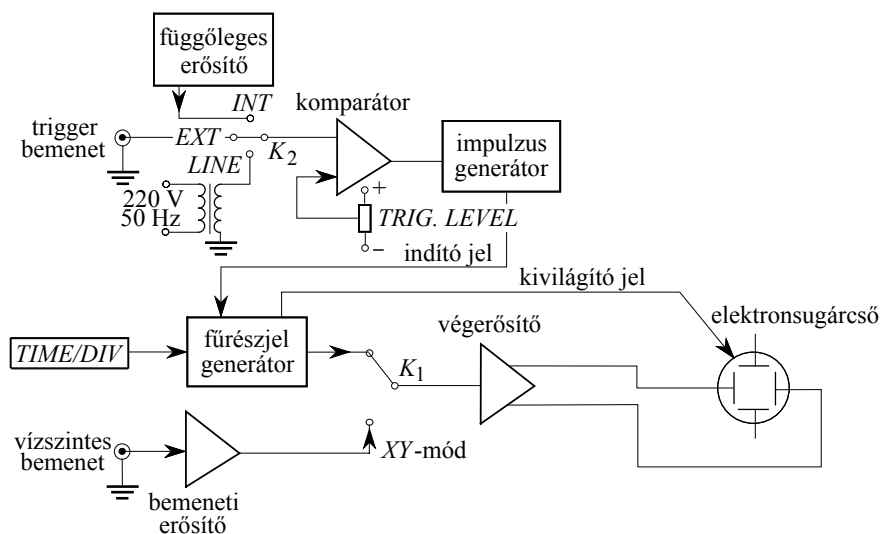
4. ábra

A bemeneti osztóegység segítségével az oszcilloszkóp függőleges erősítőjének érzékenysége – ennek állítására szolgáló körkapcsolóval – változtatható. Az érzékenységet *VOLTS/DIV* (vagy *VOLT/osztás*) egységekben állíthatjuk be. A kapcsoló mellett általában egy szabályozó potenciométer is található, amellyel az érzékenység folyamatosan állítható

(*VARIABLE*). A potenciométer egyik szélső helyzetét *CAL* jelzéssel különböztetik meg, ebben az állásban tekinthető hitelesnek a beállított érzékenység.

1.3. A vízszintes eltérítőrendszer

A vízszintes eltérítőrendszer (5. ábra) feladata, hogy a görbét rajzoló képpontot vízszintesen az idővel arányosan mozgassa.

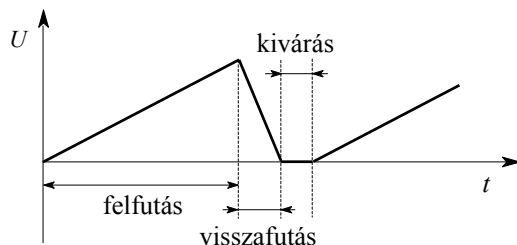


5. ábra

Az oszcilloszkópnek két alapvető üzemmódja van. Az egyik, ritkábban használt üzemmódja az, amelyben két különböző jelet vezetünk az *X* és *Y* eltérítő-lemezre, így azok egymás függvényében vizsgálhatók (*X-Y* üzemmód).

A másik, a gyakorlatban leggyakrabban használt üzemmódban a vizsgált jelek időbeli lefutását vizsgáljuk. Ebben az esetben az elektronsugár vízszintes (*X*) irányú eltérítésére időben lineárisan változó feszültséget, ún. fűrészfeszültséget használunk (6. ábra). A fűrészjelet, amelynek felfutási szakaszának időtartama határozza meg az oszcilloszkópernyőn látható jelrészlet időtartamát, a vízszintes eltérítőrendszerhez tartozó fűrészjel-generátor állítja elő.

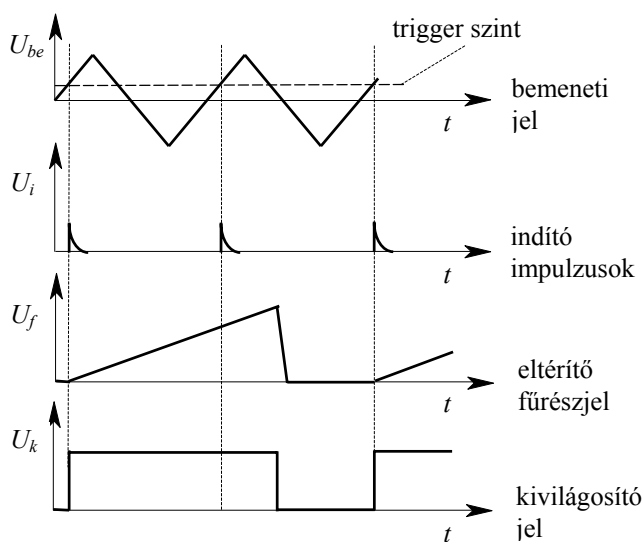
A fűrészjelen három tartományt különböztetünk meg, az ún. felfutást, a visszafutást és a kivárást. A felfutásnak lineárisnak, a visszafutásnak minél rövidebb idejűnek kell lennie. Az ún. kivárási idő az áramköri elemek nyugalmi helyzetbe történő visszaállását, a fűrészjel alaphelyzetből történő indulását biztosítja (a kivárást alatt várakozunk az indítójelre). A fűrészjel generátor vezérli a kivágító jelkeltőt, amely az elektronsugarat a visszafutás és a kivárási ideje alatt kioltja.



6. ábra

Az eltérítési idő, amely az eltérítő fűrészel lineárisan felfutó élének idejével azonos, a K_1 kapcsoló *INT* állásában, az oszcilloszkóp előlapján lévő forgókapcsolóval változtatható. Ezzel az idő/osztás (*TIME/DIV*) értékben kalibrált kapcsolóval választhatjuk ki a vizsgálandó jelnek legjobban megfelelő eltérítési sebességet. Az idő/osztás kapcsoló mellett ez az egység is rendelkezik az eltérítési sebességet folyamatosan szabályozó (*VARIABLE*), valamint az elektronsugár vízszintes pozicionálását biztosító potenciométerekkel, amelyek funkciója hasonló az 1.2. pontban leírtakéhoz.

Tekintettel arra, hogy az elektronsugár által keltett fény csak rövid ideig áll fenn, és a vizsgálandó jelek (feszültségek) igen gyorsan változnak, hogy azt jól láthassuk, szükséges a periodikus jeleket újból és újból felrajzoltatni. Ha ezek az egymás után felrajzolt jelek nem „fedik egymást”, a képernyőn jobbra vagy balra futó képet láthatunk, ami az ábrát kiértékelhetetlenné teszi. Tehát arra van szükség, hogy az időeltérítő fűrészel a vizsgálandó jelnek mindig ugyanabban a pillanatában induljon. Ez a szinkronizálás az indító-, vagy más néven a triggeráramkör feladata.



7. ábra

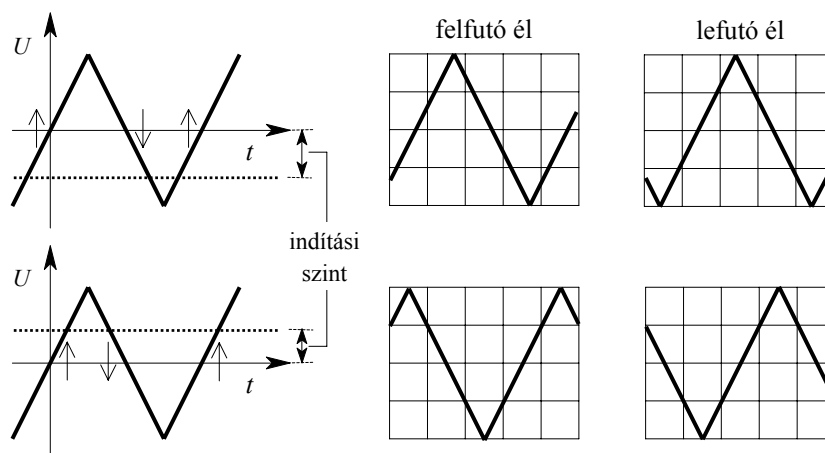
A 7. ábrán látható a függőleges jel által indított fűrészel lefutása. Az ábrából azt is láthatjuk, hogy az indítójel után elindult fűrészeleket nem lehet befolyásolni, az lefut és vár a következő triggerimpulzus érkezéséig.

Az indítójel különböző forrásokból származhat. Belső indításnál (*INT.TRIG*) az indítójel magából a vizsgálandó jelből származik. Külső indítást (*EXT.TRIG*) akkor használunk, ha van olyan külső indítójel, amely kijelöli a vizsgálni kívánt szakasz kezdetét. Hálózati indításnál (*LINE.TRIG*) az indítójel a hálózati 50 Hz-es váltakozófeszültségből keletkezik.

A megfelelő triggerforrás kiválasztása mellett az indítás üzemmódját, a triggerüzem-módot is meg kell választani.

Egyszerű indított üzemmódban (*NORM*) az indítási szint megválasztása dönti el, hogy az eltérítő fűrészel a vizsgált jel melyik pontjáról (mekkora feszültség elérésekor) indul.

Az indítási szint szabályozó általában közös áramkörben van a $\pm$ átkapcsolóval, amely meghatározza, hogy a jel pozitív vagy negatív polaritású (felfutó él/lefutó él) része indítson. A 8. ábrán különböző indítási szintekhez tartozó ernyőképek láthatók.



8. ábra

Abban az esetben, ha a vízszintes eltérítés ideje hosszabb a vizsgált jel ismétlődési idejénél, akkor csak azok az indítójelek hatásosak, amelyek a vízszintes eltérítőgenerátort alapállapotban találják (1. 7. ábra). Hátránya ennek az üzemmódnak, hogy az indítójel hiánya vagy helytelen indítási szint beállítása esetén nem indul az elektronsugár.

Automatikusan indított üzemmódban (*AUTO*) az eltérítő fűrészel indításáról – triggerjel hiányában – egy billenőáramkör gondoskodik. Ennek az üzemmódnak az előnye, hogy bemenő jel hiánya esetén is látható vízszintes vonal az ernyőn.

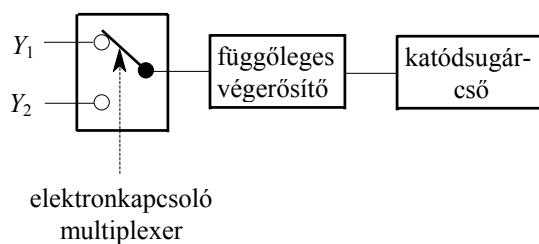
Ha van indítójel, a legtöbb oszcilloszkóp „*AUTO*” üzemmódban ugyanúgy viselkedik, mintha „*NORM*” módban lenne.

1.4. A kétsatornás elektronkapcsoló

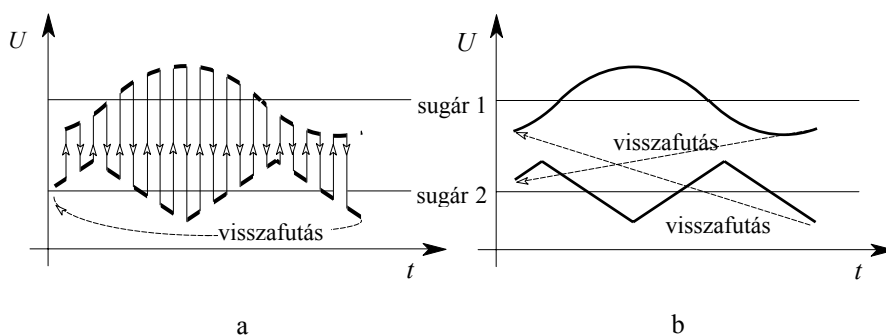
A függőleges eltérítő rendszer általában két erősítő bemenetet tartalmaz, lehetővé téve ezáltal két jel egyidejű vizsgálatát egyetlen ernyőn. Ez meggyorsítja az egyes jelek idő- és amplitúdóértékeinek összehasonlítását.

A valódi kétsugaras oszcilloszkópok két függőleges eltérítőrendszert tartalmaznak, és a két jeleket két elektronsugár rajzolja fel az ernyőre.

A két jel egyidejű vizsgálatára alkalmas oszcilloszkópok többségében egyszerű, egysugaras elektronsugárcsövet használnak kijelzésre. Az ilyen oszcilloszkópok függőleges eltérítőrendszerében egy elektronikus kapcsoló felváltva kapcsolja az Y_1 , Y_2 bemenetekre vezetett jeleket a függőleges végerősítő bemenetére (9. ábra). Az elektronikus kapcsolót vagy egy szabadonfutó nagyfrekvenciás oszcillátor, vagy a vízszintes eltérítőrendszerből jövő impulzus vezérli. Az előbbi szaggatott (chopped) üzemmódban az elektronsugár – 1 MHz körüli frekvenciával szaggatva – kis szegmensekből rajzolja fel a két jeleket (10.a ábra). A másik, váltakozó (alternate) üzemmódban az elektronsugár először az egyik jeleket, majd a következő eltérítési periódus alatt a másikat rajzolja ki az ernyőre (10.b ábra).



9. ábra



10. ábra

A legtöbb oszcilloszkóp egyaránt használható szaggatott és váltakozó üzemmódban:

- ha az eltérítés sebessége kisebb, mint 10 ms/osztás, akkor a váltakozó üzemmódban keletkező villódzás zavarja a szemet (ilyen kis eltérítési sebességeknél a szaggatott üzemmód használata biztosít megfelelő ernyőképet);
- 10 ms/osztás és 0,1 ms/osztás eltérítési sebességek között tetszés szerint bármelyik üzemmód használható;
- ha a vízszintes eltérítés gyorsabb, mint 0,1 ms/osztás, akkor a váltakozó üzemmód használata célszerű, mert ekkor a szaggatás már zavaró lehet, különösen, ha a vizsgált jel és a szaggatójel frekvenciája közel van egymáshoz.

A függőleges végerősítő biztosítja a két csatornára érkező jel algebrai összegzésének (ADD) lehetőségét is, ilyenkor az elektronikus kapcsoló nem működik. A bemenő jel polaritását megváltoztató invertáló kapcsolóval ellentétes polaritású összegzés (kivonás) is lehetséges.

1.5. Hitelesítő áramkörök

Hitelesítő áramkörök segítségével az oszcilloszkóp működése ellenőrizhető. A modernbb oszcilloszkópok esetében általában közös hitelesítő jelforrást alkalmaznak. Ezek változtatható – de hiteles amplitúdójú – és fix frekvenciájú négyszöghullámot állítanak elő. Így mind a feszültségmérés, mind az időmérés hitelesíthető.

II. Oszcilloszkópos mérések

Az oszcilloszkópos mérés technikában alapvetően két jellemzőt lehet mérni: feszültséget és időt. A következőkben feszültség- és időmérés mellett frekvencia- valamint fázisszög mérésével is foglalkozunk.

2.1. Feszültségmérés

Periodikusan ismétlődő jelek amplitúdójának mérése nem jelent nehézséget. Általában csúcstól csúsig terjedő feszültséget (U_{cs-cs}) szokás mérni. A mért feszültség:

$$U_{cs-cs} = \frac{Y}{\text{osztás}} y, \quad (1)$$

ahol $Y/\text{osztás}$ a függőleges eltérítés érzékenysége (V/osztás, mV/osztás) a folyamatos osztó hiteles (CAL) állásban, y a függőleges osztások száma, azaz a jel alsó és felső csúcsa közti távolság ernyőskála osztásokban mérve. (Osztáson a négyzetháló négyzeteinek oldala értendő.)

2.2. Időmérés

Időméréskor a vizsgált jelnek az időtengelyen megjelölt két pontja közötti időtartamát mérjük:

$$t = \frac{X}{\text{osztás}} x, \quad (2)$$

ahol $X/\text{osztás}$ az eltérítési idő (s/osztás, ms/osztás, $\mu\text{s}/\text{osztás}$ egységben) a $TIME/\text{osztás}$ kapcsoló hiteles (CAL) állásában, x a leolvasott vízszintes osztások száma.

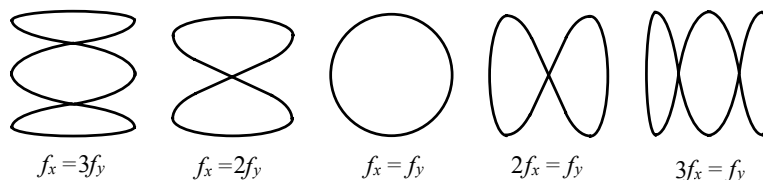
2.3. Frekvenciamérés

2.3.1. Periodikus jelek frekvenciájának mérése – tekintettel arra, hogy a periódusidő és a frekvencia között az

$$f = \frac{1}{T} \quad (3)$$

összefüggés áll fenn – időmérésre vezethető vissza.

2.3.2. A *Lissajous*-ábrák felhasználásával közvetett, összehasonlító módszerrel mérhetünk frekvenciát. Ekkor, a külső vízszintes eltérítéssel működtetett oszcilloszkóp függőleges (Y) bemenetére az ismeretlen frekvenciájú szinuszos mérendő jelet, a vízszintes (X) bemenetére a változtatható frekvenciájú, kalibrált skálájú szinuszgenerátor jelét vezetjük. Az ernyőn megjelenő *Lissajous*-görbék közül a 11. ábra segítségével meghatározhatjuk az ismeretlen frekvenciát.



11. ábra

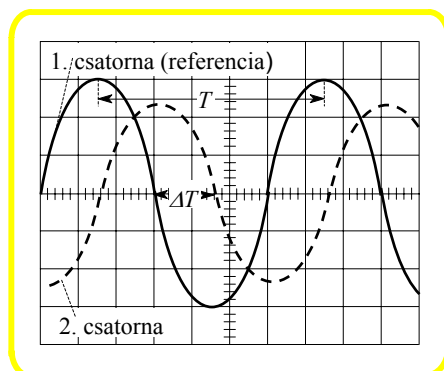
2.4. Fázisszögmérés

2.4.1. Az oszcilloszkóppal végzett fázisszögmérések egy része időmérésre vezethető vissza, és számítással kell a kapott időértékeket fázisszög értékévé átszámítani.

Fáziskülönbséget legegyszerűbben kétsugaras oszcilloszkóppal lehet mérni. Az egyik csatorna bemenetére visszük azt a jelet, amelyhez képest a mérést végezzük, a másik csatornára pedig a vizsgálandót.

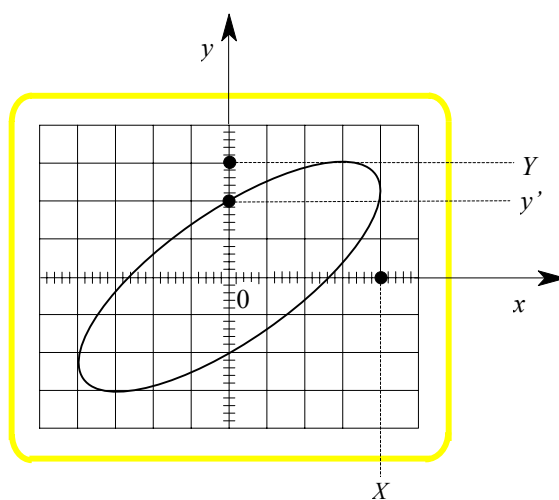
A tényleges fázisszöget (12. ábra) a teljes periódus idejének megfelelő távolság és a két jel közötti időkülönbségnek megfelelő távolság arányaiból lehet meghatározni:

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\varphi}{360^\circ} \quad (4)$$



12. ábra

2.4.2. További lehetőség XY üzemmódban a fázisviszonyok mérése *Lissajous*-görbe segítségével. Ha a két egyenlő frekvenciájú jel között fáziskülönbség van, a görbe általában ellipszis (13. ábra). Legyen az elektronsugar vízszintes kitérése



13. ábra

$$x = X \sin \omega t , \quad (5)$$

függőleges kitérése

$$y = Y \sin(\omega t + \varphi) . \quad (6)$$

A szögek összegképletét felhasználva:

$$y = Y \left(\frac{x}{X} \cos \varphi + \sqrt{1 - \frac{x^2}{X^2}} \sin \varphi \right) . \quad (7)$$

A (7) alatti ellipszis egyenessé fajul, ha $\varphi = 0^\circ$, illetve $\varphi = 180^\circ$. (Ekkor $y = \frac{Y}{X} x$, illetve $y = -\frac{Y}{X} x$.) Ezzel a módszerrel rezonanciafrekvenciát kereshetünk meg.

$X = Y$ -nál és $\varphi = 90^\circ$, illetve $\varphi = 270^\circ$ esetén kör lesz az ernyőn megjelenő ábra.

Más szögek esetében $x = 0$ -nál $y = y'$ figyelembevételével kapjuk a

$$\sin \varphi = \pm \frac{y'}{Y} \quad (8)$$

összefüggést, amelyből a keresett fázisszög meghatározható (l. 13. ábra). A $\pm$ előjel a fázissietésre, illetve késésre utal, ugyanis a görbe alakja nem különbözik azonos nagyságú fáziskésés, illetve sietés esetén, csak az elektronsugár-folt körülfutási iránya ellentétes.

2.4.3. A fázisszög meghatározás még egy további lehetőségét egyirányú és egyenlő frekvenciájú harmonikus rezgések összegének és különbségének differenciál- vagy invertáló erősítővel történő képzése szolgáltatja.

Legyen

$$y_1 = a_1 \sin \omega t \quad (9)$$

és

$$y_2 = a_2 \sin(\omega t + \varphi) \quad (10)$$

alakú harmonikus rezgés. Képezzük az $y^+ = y_1 + y_2$ és $y^- = y_1 - y_2$ értékeket. Egyszerű trigonometriai átalakítással az eredő rezgés amplitúdójára azt kapjuk, hogy:

$$a^+ = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos \varphi} , \quad (11)$$

és

$$a^- = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 - 2a_1a_2 \cos \varphi} . \quad (12)$$

Ha $a_1 = a_2$, akkor

$$\frac{a^-}{a^+} = \sqrt{\frac{1 - \cos \varphi}{1 + \cos \varphi}} = \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}, \quad (13)$$

ahonnan

$$\varphi = 2 \arctg \frac{a^-}{a^+}. \quad (14)$$

A (14) összefüggés alapján – ha biztosítjuk a *VOLTS/DIV* és a *CAL* gombok használatával az elektronsugárcső képernyőjén megjelenő két jel amplitúdójának egyenlőségét – a két jel különbsége és összege amplitúdóinak hányadosából a fázisszög egyszerűen meghatározható.

Feladatok:

1. Az elméleti áttekintésben leírtak és a gyakorlathoz mellékelt használati utasítás áttanulmányozása után ismerkedjen meg az oszcilloszkóp kezelő szerveivel! Különböző frekvenciájú jelekkel vizsgálja meg a szaggatott és a váltakozó üzemmód használatát!
2. Integráló áramkörrel állítson elő két, egymástól különböző fázisú szinuszjelet, és az előzőekben ismertetett módszerekkel határozza meg a fáziskülönbség értékét! Mely fáziskülönbség-tartományokban alkalmazhatók optimálisan az egyes módszerek?
3. Vizsgálja meg az integráló körre kapcsolt egyre kisebb periódusú négyszög- és háromszögjel alakváltozását. Rajzolja le az oszcilloszkóp képernyőjén látható jelalakokat.
4. Oszcilloszkóp segítségével „rajzoltassa” fel egy *Zener* dióda feszültség-áramerősség karakterisztikáját és határozza meg a letörési feszültséget! (Kérje a gyakorlatvezető útmutatását és segítségét!)

Kérdések:

1. Milyen főbb egységeket tartalmaz az oszcilloszkóp?
2. Mely esetekben használhatjuk az oszcilloszkóp szaggatott és váltakozó üzemmódjait?
3. Milyen indítási (szinkronizálási) lehetőségeket ismer? Melyek ezek jellemzői?
4. Vizsgálható-e oszcilloszkóppal nagy feszültségű jelszintre szuperponált kis váltakozó feszültségű jel? Indokolja válaszát!
5. Milyen előnyökkel rendelkezik a kétsugaras oszcilloszkóp az egysugarassal szemben?

Ajánlott irodalom:

1. Radnai R.: Oszcilloszkópos mérések, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.
2. Hevesi I.: Elektromosságtan, Nemzeti Tankönyvkiadó, 1998.
3. Budó Á. - Pócza J.: Kísérleti Fizika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1962.