

3.15. Műszerek és mérések

3.15.1. A mérés fogalma

Hagyományos értelmezés szerint a mérés egy fizikai mennyiség nagyságának meghatározása a választott mértékegységben kifejezett számértékével. A mérési eredmény egy szám és egy mértékegység, ahol a szám azt adja meg, hogy a mért mennyiség nagysága hányszorosa a mértékegységnek.

A mérési eredmény (pl. a mérésre használt eszközök tökéletlensége miatt) csak közelítheti a mért mennyiség valószínű értékét. A mérési eredmény és a mért mennyiség valószínű értéke közötti különbség a mérési hiba.

Fontos, hogy a méréskor tisztában legyünk azzal, hogy

- a műszer tökéletlenségei,
- a kijelzett érték leolvasásának pontatlansága,
- a műszernek a mért áramkörbe történő beiktatása

mérési hibát okoz(hat).

A mérések (műszerek) osztályozása

A villamos méréseket többféle szempont alapján osztályozhatjuk. Néhány szempont:

a) A mért mennyiség szerint:

- egyenáramú mérések
- váltakozóáramú mérések

Egyenáramú mérésről akkor beszélünk, ha a mérés tartama alatt a mért mennyiség nem változik meg (vagy megváltozása olyan kis mértékű, hogy az a mérési eredményt nem befolyásolja). A mért mennyiség mérés alatti változatlanlansága lehetővé teszi, hogy a mérési eredményt egyetlen számmal adjuk meg, ezért mérőműszerünkön is ezt a számot kell kijelezni, leolvasni.

Váltakozóáramú mérés esetén a mért mennyiség nagysága a mérés alatt is változhat.

b) A méréshez felhasznált műszerek kijelzésük módja szerint lehetnek

- analóg, vagy
- digitális műszerek.

Az *analóg* műszer a mérési eredményt a mutatónak egy skála előtti elmozdulásával jelzi ki. A mérést végző személynek kell megállapítania (leolvasnia), hogy a mutató a skála melyik osztásával egy vonalban állt meg (illetve, ha két skálaosztás között állt meg, megbecsülnie, hogy a két skálaosztás között hol áll). Hátránya e műsbertípusnak, hogy leolvasása hibalehetőséget rejt magában, e hiba azonban gyakorlott mérést végző személy esetében csekély. Előnye viszont e kijelzési módnak, hogy könnyen lehet vele maximumot vagy minimumot indikálni (azaz könnyű követni, hogy a kijelzett érték növekedés után mikor kezd csökkenni és fordítva.) A digitális technika elterjedése előtt csak analóg mérőműszerek léteztek.

A *digitális* műszerek a mérési eredményt számjegyekkel jelzik ki (digit = számjegy). Ahány „digites” a műszer, annyi számjegyet jelez ki. E kijelzési módból következik, hogy ha pl. egy 3 digites műszerrel növekvő feszültséget mérünk, a „105” kijelzés után „106” kijelzés következik, tehát a műszerről nem lehet leolvasni (sem megbecsülni), hogy a mért érték 105 és 106 között pontosan mekkora. A számjegyes kijelzésnek köszönhetően azonban - kellő figyelem mellett - leolvasási hiba nem lép fel. Hátránya a digitális kijelzésnek, hogy nem alkalmas maximum és minimum indikálására, ezért újabban gyakran alkalmaznak a kijelzőn ún. „bar graph”-ot is, azaz a számjegyekkel egyidejűleg egy, a mért mennyiséggel nagyjából arányos hosszúságú vonalat is megjelenítenek.

c) A műszerek működtetése energiát igényel. Aszerint, hogy ezt az energiát a műszer honnan nyeri, lehet

- „hideg” műszer
- elektronikus műszer.

A *„hideg műszer”* a működéséhez szükséges energiát magából a mért áramkörből vonja el. Ebből következik, hogy az ilyen mérőműszernek az áramkörbe való beiktatása némileg megváltoztatja az áramköri viszonyokat, azaz magát a mért mennyiséget is. Így (hacsak a műszer folyamatos mérés céljából nem marad állandóan az áramkörbe beépítve) újabb mérési hiba keletkezik. (A hiba annál nagyobb, minél nagyobb a műszer által az áramkörből elvont energia. A jó minőségű hideg műszer működtetéséhez csekély energia elegendő.) Hideg műszer alkalmazásakor ezért különös figyelemmel kell lenni arra, hogy a műszer beiktatása ne befolyásolja jelentősen a mért mennyiséget, illetve - az áramkör és a műszer jellemzőit figyelembe véve - tisztában kell lenni azzal, hogy a műszer beiktatása milyen mérési hibát okozott. Hideg műszer csak analóg kijelzésű lehet (a digitális műszer elektronikáinak működtetésére mindig külső energiaforrást alkalmaznak). A hideg műszerek előnye olcsóságuk (volt, mivel ma már a gyártott kis darabszám miatt a jó minőségű hideg műszer jóval drágább, mint a nagy sorozatban gyártott elektronikus/digitális).

Az *elektronikus* műszerek működtetéséhez az energiát külső forrásból (telep, akkumulátor vagy hálózati tápegység) nyerik. Így lehetőség van a műszert úgy kialakítani, hogy a mérendő áramkörbe történő beiktatása a lehető legkevesebb (elhanyagolható) változást okozzon a mért mennyiség nagyságában. Ebbe a csoportba sorolható a ma már csak muzeális értékű *csővoltmérő* (CSVM) (angolul VTVM = Vacuum Tube Volt Meter), amely elektroncsöves erősítőt tartalmazott. A ma alkalmazott univerzális műszerek ritkábban *analóg multiméterek*, és igen elterjedten *digitális multiméterek* (DMM = Digital MultiMeter). Ezek a műszerek asztali (angolul: bench-) vagy hordozható (angolul: hand-held) kivitelben készülnek. A hordozható kivitelűek általában telepes, az asztali kivitelűek hálózati (vagy telepről és külső DC forrásból is) táplálhatóak.

(Megjegyzés: a „multiméter” sok méréshatárú, feszültség, áram, ellenállás mérésére szolgáló univerzális műszer.)

3.15.2. Az alaplámpó és a skáláján alkalmazott jelölések

Az *alaplámpó* (mérőmű) a műszernek az az alkatrésze, amely a mért eredményt kijelzi. Egyszerű, egy méréshatárú feszültség- vagy árammérő műszernek az alaplámpóan kívül nincs is más lényeges alkatrésze.

Az alaplámpók működési elvüktől függően feszültséget vagy áramot mérnek. Van műszer, amely egyenfeszültséget (egyenáramot), és van, amely váltakozófeszültséget (váltakozóáramot) is. Az alaplámpók pontossága szintén működési elvüktől és kivitelüktől függ. A leginkább elterjedt (egyenáramot mérő) lengőtekercses (Deprez-) mérőmű kialakítását és működését a 3.4. pont példájában már megismertük.

Az alaplámpó skálalapján a műszer legfontosabb tulajdonságait az alább ismertetett jelzésekkel tüntetik fel:

Mérési hiba (pontossági osztály)

A mérési hibáit a következő módokon lehet jellemezni:

- Abszolút hiba:* a mért és a tényleges érték különbsége.
- Relatív hiba:* az abszolút hiba és a mért tényleges érték hányadosa (%-ban kifejezve).

A műszer (mérőmű) hibáit a műszer „pontossági osztálya” jelzi. **A pontossági osztály** a műszer végkitérésére vonatkoztatott relatív hiba, egy szám, amely **azt jelzi, hogy a mérési hiba - bármilyen kitérésnél - a műszer végkitérésének hány százalékáa lehet.** A pontossági osztály testesíti meg azt a mérési hibát, amelyet az analóg mérőműszer tökéletlensége okoz.

Pl. egy 100mA végkitérésű, 1,5 pontossági osztályú műszer pontatlansága a végkitérés 1,5%-a azaz $\pm 1,5$ mA lehet.

- Ha a műszerrel 100 mA áramot mérünk (végkitérés), akkor az 1,5 mA pontatlanság 1,5% relatív hibát,
- 50 mA áram mérésekor (fél kitérés) ugyanez az 1,5 mA pontatlanság 3% relatív hibát,
- 10 mA áram mérésekor pedig 1,5 mA pontatlanság már 15%- relatív hibát jelent!

A példából látható, hogy **a műszer pontatlansága annál nagyobb, minél kisebb a mutató kitérése.** (Ha arra gondolunk, hogy pl. a tengely sűrűsödése nem függ a kitérés nagyságától, ez érthetővé válik.) Tekintettel arra, hogy a mérést a lehető legnagyobb pontossággal kell elvégezni, arra kell törekednünk, hogy a műszer kitérése minél nagyobb legyen.

Ezért több méréshatárú műszeren a méréshatárt úgy állítsuk be, hogy a mutató lehetőleg a skála harmadik harmadába mutasson. Ha ez lehetetlen, megelégedhetünk a skála második harmadával, de az első harmadával már nem, mert itt a mérési hiba már tűrhetetlenül nagy.

Az univerzális műszerek méréshatárait általában úgy választják meg, hogy ezt a szabályt teljesíteni lehessen, pl. a méréshatárok: 1mA, 3mA, 10mA, 30mA, 100mA, 300mA, 1A, 3A, 10A stb. Az, hogy a következő méréshatár kb. háromszorosa az előzőnek, biztosítja, hogy ha a mért áram túl nagy és egy méréshatárral feljebb kell kapcsolnunk, a mutató még mindig a skála második harmadába mutat.

Pl. 9 mA áramot a 10 mA-s méréshatárban mérve, a mutató kitérése 90%, a skála harmadik harmadába mutat. Ha a mért áram pl. 11 mA-ra növekszik meg, átkapcsolunk 30 mA-s méréshatárra, itt a skála harmada 10 mA, azaz 11 mA már a második harmadba esik, a mérés elfogadható pontosságú.

A pontossági osztály jelölését a skálalapon az 1. és 2. ábra mutatja.

1,5

1. ábra
Pontossági osztály



2. ábra
Pontossági osztály

A műszerek *laboratóriumi* kivitelben 0,2 és 0,5 pontossági osztályban, *üzemi* kivitelben legtöbbször 1, 1,5 és 2,5 pontossági osztályban készülnek. Az ún. *indikátor* műszerek pontossága olyan csekély, hogy csak a feszültség/áram értékének hozzávetőleges megállapítására alkalmasak.

A mérőmű típusa

Minden mérőmű típusnak van egy egyezményes rajzjele, melyet a műszer skálalapján megadnak. A már megismert Deprez mérőmű rajzjelét a 3. ábra mutatja



3. ábra
Lengőtekerceses (Deprez) műszer

Használati helyzet

A mérőmű kiegyensúlyozása csak egy használati helyzetben biztosítja a műszer megfelelő pontosságát. Ezért az előírt használati helyzetet a mérőmű skáláján is megjelölik. Ez lehet: függőleges (4. ábra), vízszintes (5. ábra), illetve a vízszintessel megadott szöget bezáró (6. ábra, kezelőpultok ferde asztallapjaira szerelhető).



4. ábra
Függőleges



5. ábra
Vízszintes
használati helyzet megjelölése



6. ábra
Vízszintessel szöget bezáró

Áramnem

Vannak mérőművek, amelyek csak egyen, és vannak, amelyek váltakozó áram/feszültség mérésére alkalmasak. Jelölés a skálalapon:



7. ábra
Csak egyenáram mérésére



8. ábra
Csak váltakozóáram mérésére



9. ábra
Egyen- és váltakozó
áram mérésére

Szigetelési feszültség

Az alaplámpszereket általában műanyag házban szállítják, melyet csavarokkal vagy más úton lehet a műszer előlapjához erősíteni. A felerősítő szerelvény fém részei a műszer előlapjával azonos potenciálra kerülnek. A skálalapon megadják azt a maximális feszültséget (kV), amely a műszer előlapja és a mérőmű elektromos csatlakozási pontjai között megengedett:



10. ábra
Szigetelési feszültség



11. ábra
Szigetelési feszültség-régi jelölés

Egyéb tájékoztató adatok

A műszer előlapján - a felsoroltakon kívül - a gyártó más tájékoztató adatokat is közölhet:

- gyártó cég jele pl. GANZ
- típusszám pl. 101DA-2
- műszer gyári száma
- Ohm/Volt érték [ld. később]
- az állandó mágnes anyaga (pl. NFe)

3.15.3. Az analóg műszerek leolvasásának pontossága

Már kitértünk arra, hogy a méréshatár alkalmas megválasztásával csökkenthetjük a mérőmű szerkezetének tökéletlenségéből adódó mérési hibákat, és így növelhetjük a mérési pontosságot.

Mérési hibát azonban maga a mérést végző személy is okozhat a műszer pontatlan leolvasásával: rosszul becsüli meg, hogy a mutató a műszerskála melyik pontjára mutat.

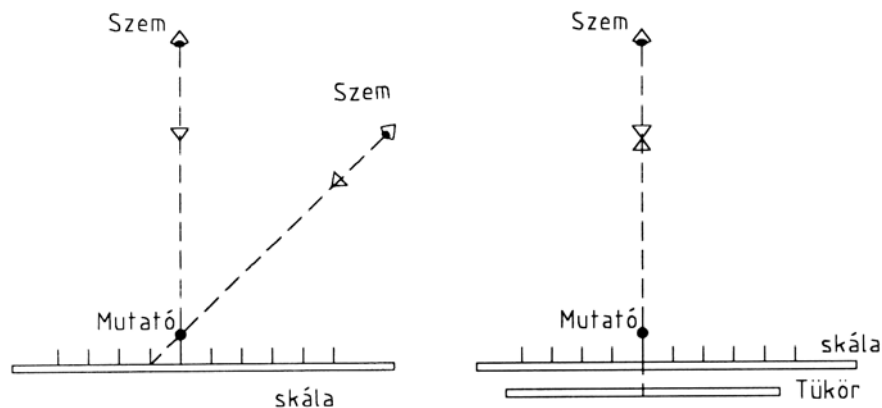
Miért kell „megbecsülni” a mutató helyzetét?

- a) mert a mutató szélessége nem 0,
- b) mert a mutató nem a skálával egy síkban, hanem fölötte mozog,
- c) mert a mutató két skálaosztás között is megállhat.

a) A mutató véges szélessége miatt a skála egy kis részét letakarja, ez pedig bizonytalanságot okozhat a mutató helyének megállapításában. Minél keskenyebb a mutató, annál pontosabb lehet a leolvasás.

Ezért (ameddig a kevéssé pontos, pl. táblaműszereknél a távrolól is jó leolvashatóság érdekében vastag, „dárdában” végződő mutatót alkalmaznak), nagy pontosságú műszereknél a mutatót keskenyre készítik (vagy a skálalapra merőlegesen álló vékony fémcsíkból, vagy kis átmérőjűre húzott üvegszálból készítik a mutatót).

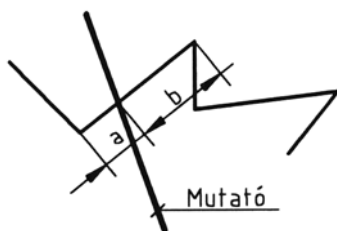
b) A 14. ábra a műszerskála síkját, a ráfestett skálaosztásokat, és a skála fölött álló mutatót mutatja.



12. ábra. Parallaxishiba keletkezése és kiküszöbölése

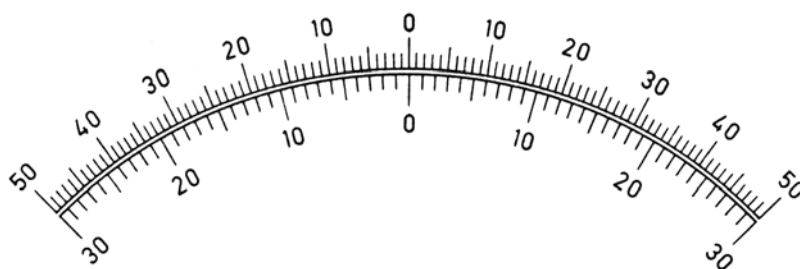
Látható, hogy ha a leolvasást végző személy nem a műszerskálára merőleges irányból végzi el a leolvasást, tévesen azt olvashatja le, hogy a mutató a szomszédos skálaosztásra mutat. Ezt a hibát nevezik parallaxis hibának. A parallaxishiba kiküszöbölésének megkönnyítésére precíziós (1-es vagy kisebb pontossági osztályú) műszerek skáláján egy 2-3 mm. széles tükörívet helyeznek el. A tükör segítségével ellenőrizhető, hogy a leolvasás merőleges irányú-e, ti. ekkor a szem, a mutató és annak tükörképe egy egyenesbe esik, azaz a mutató eltakarja saját tükörképét.

c) A skálaíven legfeljebb 100 (precíziós műszeren 200) osztást szoktak feltüntetni, a mutató azonban két osztás között is megállhat. Ilyen esetben a mérést végző személy gyakorlottságán múlik, hogy a mutató helyzetét milyen pontosan tudja megállapítani. Precíziós műszerek skáláján alkalmazzák a 13. ábra szerinti megoldást: a két szomszédos skálaosztást ferde vonallal kötik össze. A megoldás előnye az, hogy könnyebb megbecsülni, hogy a mutató milyen arányban osztja két részre a ferde vonalat, mint hogy hol áll két skálaosztás között. A leolvasás pontossága (akár van ferde vonal a skálasztások között, akár nincs) nagyban függ a leolvasást végző személy gyakorlatától.



13. ábra
Peciziós műszer skálarészlete

Mindezek után példaként vizsgáljuk meg és értékeljük a 14. és 15. ábrán látható skálapokok jelzéseit:



GANZ 101DA-2
747836

1,5 —  — 
NFe

14. ábra
101DA-2 műszer skálapaja

A vizsgált alpműszer Deprez rendszerű, $\pm 50 \mu\text{A}$ mérésére szolgáló középállású műszer. A skálán a ± 50 -esen kívül egy ± 30 -as osztású skálát is találunk.

Kezdjük az értékelést a skálapaj jobb alsó részén.

1,5

Pontossági osztály: 1,5



Egyenáram mérésére



Forgótekerces (Deprez) műszer



Vízszintes használati helyzet



Szigetelési feszültség: 2 kV

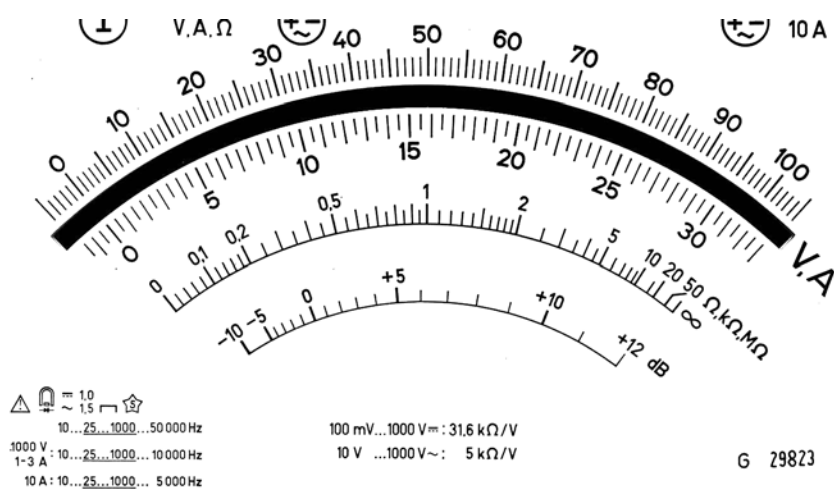
NFe Mágnes anyaga

A bal alsó részen:

GANZ Gyártó: GANZ Műszer Művek

101DA-2 Típuszám (DA= Deprez Ampermérő)

747836 Gyártási szám



15. ábra
GANZUNIV3 műszer skálalapja

A vizsgált műszer univerzális mérőműszer, amely 30 μ A - 10A egyen és váltakozóáram, 100mV -1kV egyen- és váltakozófeszültség, 1 Ω - 50 M Ω ellenállás mérésére alkalmas. A méréshatárok 1/3/10/30... szervezésűek. A két felső skála között láthatjuk a (sötétnek látszó) tükörsávot.

Jelölések a skálalap bal alsó részén.



Deprez műszer



Váltakozóáram mérése: egyenirányítóval

= 1,0

Egyenáram mérésénél a pontossági osztály 1,0

$\approx 1,5$

Váltakozóáram mérésénél a pontossági osztály 1,5



Használati helyzet: vízszintes



Szigetelési feszültség: 5 kV

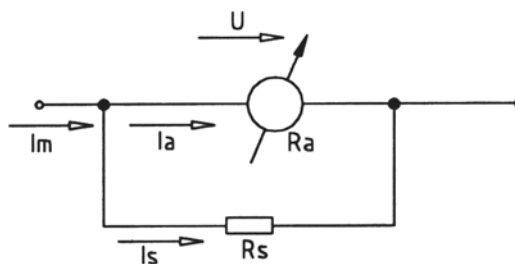
A skálalapon egymás alatt több skálát láthatunk. Egyelőre két skáláról: a feszültség és árammérésre a felső két skála szolgál. A felső skálát az 1, 10, 100, 1000 méréshatárok, az alatta lévőt a 3, 30, 300 méréshatárok használatakor olvassuk le.

3.15.4. Analóg árammérő

Az árammérő méréshatárának kiterjesztése

Az alaplámpszertől bármilyen, a végkitéréshez tartozónál nagyobb áram mérésére alkalmas műszer kialakítható ún. *sönt* ellenállás alkalmazásával.

A kapcsolást a 16. ábra mutatja.



16. ábra
Sönt ellenállás alkalmazása

A mérendő áram (I_m) egy része (I_a) az alaplámpszeren, másik része (I_s) a sönt ellenálláson folyik keresztül. Kirchhoff csomóponti törvénye szerint

$$I_m = I_a + I_s,$$

azaz

$$I_s = I_m - I_a$$

Az alaplámpszeren végkitéréskor

$$U = I_a \cdot R_a$$

feszültség esik, ahol R_a az alaplámpszer belső ellenállása. Mivel a sönt ellenállás párhuzamosan kapcsolódik az alaplámpszerez, rajta is ugyanekkora feszültség esik. A sönt ellenállás értéke pedig Ohm törvénye szerint kiszámítható a rajta eső feszültség ill. a rajta átfolyó áram értékéből:

$$R_s = \frac{U}{I_s} = \frac{I_a \cdot R_a}{I_m - I_a}$$

Példa:

Tervezzünk egy $100 \mu\text{A}$ -es, $2 \text{ k}\Omega$ belső ellenállású alaplámpszerez 1 mA végkitérésű árammérőt!

Itt $I_m = 1 \text{ mA}$

$I_a = 100 \mu\text{A} = 0,1 \text{ mA}$

tehát $I_s = I_m - I_a = 1 \text{ mA} - 0,1 \text{ mA} = 0,9 \text{ mA}$

A végkitéréshez tartozó feszültség

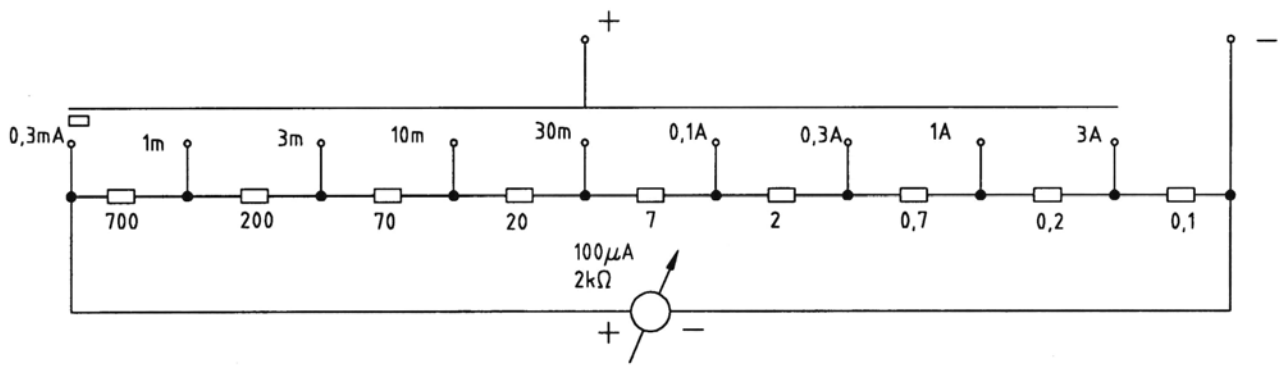
$U = I_a \cdot R_a = 0,1 \text{ mA} \cdot 2 \text{ k}\Omega = 0,2 \text{ V},$

ezért

$R_s = U / I_s = 0,2 \text{ V} / 0,9 \text{ mA} = 0,2222 \text{ k}\Omega = 222,2 \Omega$

adódik.

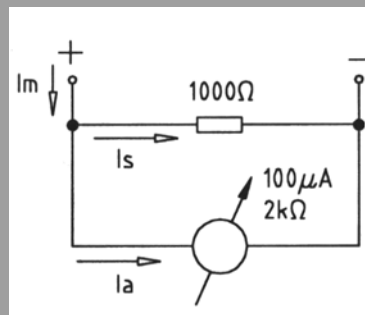
Több méréshatárú műszer esetén a sönt ellenállást egy fokozatkapcsolóval váltják. A műszer kapcsolását úgy alakítják ki, hogy a sönt átkapcsolása közben se folyhasson át az alaplámpszeren a megengedettnél nagyobb áram, hiszen az az alaplámpszert tönkretenné. Ilyen, az univerzális műszereknél általánosan alkalmazott kapcsolást (Ayrton-sönt) mutat a 17. ábra:



17. ábra
Ayrton - sönt

Az ábrán látható, hogy a különböző méréshatárokhoz tartozó sönt ellenállások sorba vannak kapcsolva, és az így kialakuló ellenálláslánc söntöli az alpműszert. Az ábra szerinti kapcsolásban az alpműszer $100\mu\text{A}$ végkitérésű, $2\text{ k}\Omega$ belső ellenállású. A mérendő áramot a műszer negatív kapcsa, illetve a fokozatkapcsoló tárcsája közé kötik.

Vizsgáljuk meg pl. az áramkör működését pl. a legérzékenyebb, $300\mu\text{A}$ állásban!
Ekkor az összes sorba kapcsolt ellenállást R_1 eredővel jelölve, a 18. ábra szerinti kapcsolást kapjuk.



18. ábra
A kapcsolás $300\mu\text{A}$ kapcsolóállásban

A műszer $2\text{ k}\Omega = 2000\Omega$ belső ellenállásával az összes soros sönt ellenállás eredőjeként adódó 1000Ω kapcsolódik párhuzamosan. A műszeren átfolyó áram

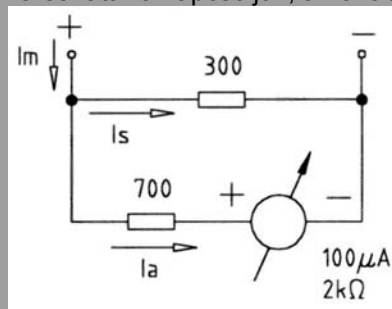
$$I_a = I_m \cdot 1000 / (1000 + 2000) = I_m \cdot 1/3,$$

ebből

$$I_m = I_a \cdot 3 = 100\mu\text{A} \cdot 3 = 300\mu\text{A}$$

lesz a végkitéréshez tartozó mért áram.

Ha a fokozatkapcsolót 1 mA méréshatárra kapcsoljuk, a 19. ábrán látható kapcsolást kapjuk.



19. ábra
A kapcsolás 1 mA kapcsolóállásban

Itt a sorba kapcsolt sönt ellenállások eredője $300\ \Omega$, míg ebben a kapcsolóállásban a $700\ \Omega$ -os sönt ellenállás sorba kapcsolódik az alaplámpával. Így most az alaplámpa ág összes ellenállása $2700\ \Omega$. Most

$$I_a = I_m \cdot 300 / (300 + 2700) = I_m \cdot 300 / 3000 = 0,1 \cdot I_m$$

ebből

$$I_m = I_a \cdot 10 = 100\ \mu\text{A} \cdot 10 = 1\ \text{mA} \quad \text{lesz.}$$

Hasonlóan vizsgálható a sönt hatása bármely kapcsolóállásban.

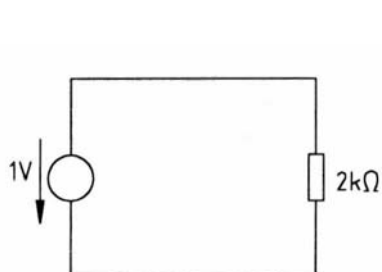
Átkapcsolás közben a műszeren nem folyik át áram, tehát a műszer nem terhelődik túl.

Megjegyzés:

Noha az alaplámpa átkapcsoláskor sem terhelődik túl, nem célszerű nagyobb áram mérése közben méréshatárt váltani, mert az áram megszakításakor a fokozatkapcsoló ívet húzhat, és rövid idő alatt tönkremehet. Ezért, ha néhányszor tíz milliampernél nagyobb áramot mérünk, méréshatár váltás előtt jó az áramot kikapcsolni.

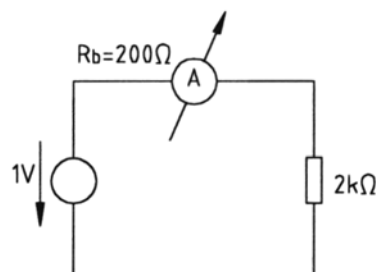
Az árammérő beiktatása az áramkörbe

Az árammérőt a mérendő áram útját megszakítva, sorosan kapcsoljuk az áramkörbe (20. ábra). Így a mérendő áram a mérőműszeren is átfolyik.



20/a. ábra

Az áramkör árammérő nélkül



20/b. ábra

Árammérő beiktatása az áramkörbe

A 20/a ábrán látható áramkörben 1V generátorfeszültség hatására $1\text{V} / 2\text{k}\Omega = 0,5\ \text{mA}$ áram folyik. Ezt az áramot a 20/b ábra szerint beiktatott árammérővel, $1\ \text{mA}$ -es méréshatárban mérhetjük.

Tegyük fel, hogy az árammérőt előző példánkban méretezett ($100\ \mu\text{A}$ -es, $2\text{k}\Omega$ belső ellenállású alaplámpából $222,2\ \Omega$ -os sönt felhasználásával kialakított) árammérő műszerrel mérjük. Árammérő műszerünk belső ellenállása akkor

$$R_b = R_a \times R_s$$

lesz, azaz jelen esetben

$$R_b = 2\text{k}\Omega \times 222,2\ \Omega = 200\ \Omega$$

értékű.

A probléma abból adódik, hogy műszerünknek az áramkörbe történt beiktatásával $200\ \Omega$ -os *belső ellenállása sorba kapcsolódott* az áramkörben eredetileg lévő $2\text{k}\Omega$ -os ellenállással. Így az áramkörben lévő összes ellenállás

$$R_0 = R_m + R = 2,2\text{k}\Omega$$

lesz, ennek hatására pedig

$$I = U / R_0 = 1\text{V} / 2,2\text{k}\Omega = 0,4545\ \text{mA} \text{ -nak adódik.}$$

Ez azt jelenti, hogy az árammérő műszer beiktatása következtében az áramkörben az áram a korábbi $0,5\ \text{mA}$ -ról $0,4545\ \text{mA}$ -ra (azaz $9,1\ \%$ -al) csökkent. Tehát, ha műszerünk tökéletes pontossággal jelzi is az átfolyó áramot, akkor is $0,4545\ \text{mA}$ -t jelez ki, holott a műszer beiktatása nélkül az áram nagysága $0,5\ \text{mA}$ lenne.

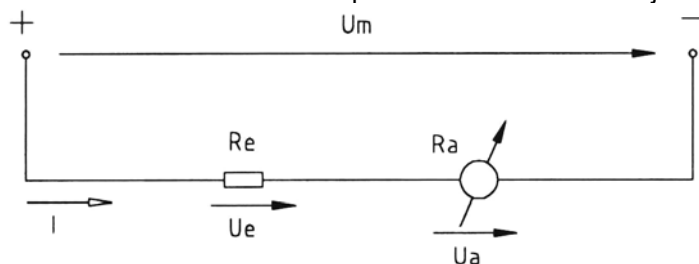
Ez az a mérési hiba, amelyet az árammérő műszernek az áramkörbe történő beiktatása okoz.

A hiba nem lépne fel, ha az árammérő műszer belső ellenállása 0 volna. **Minél kisebb az árammérő műszer belső ellenállása, annál kisebb a műszer beiktatása miatt keletkező hiba.**

3.15.5. Analóg feszültségmérő

A feszültségmérő méréshatárának kiterjesztése

Az alaplámpszertől bármilyen, a végkitéréshez tartozónál nagyobb feszültség mérésére alkalmas műszer kialakítható ún. *előtét* ellenállás alkalmazásával. A kapcsolást a 21. ábra mutatja.



21. ábra

A feszültségmérő méréshatárának kiterjesztése előtét ellenállással

Az alaplámpszeren és a vele sorba kapcsolt előtét ellenálláson ugyanakkora nagyságú, I áram folyik. Ez az áram R_e előtét ellenálláson

$$U_e = I \cdot R_e$$

míg az alaplámpszeren

$$U_a = I \cdot R_a$$

feszültséget ejt.

Kirchhoff huroktörvénye alapján a mért feszültség

$$U_m = U_a + U_e$$

Behelyettesítve U_a és U_e értékeit

$$U_m = I \cdot R_a + I \cdot R_e$$

innen kifejezve

$$R_e = (U_m - I \cdot R_a) / I$$

ahol U_m a mérendő feszültség, I az alaplámpszér végkitéréséhez tartozó áram, R_a az alaplámpszér belső ellenállása és R_e az előtét ellenállás nagysága.

Példa:

Tervezzünk 100 μA végkitérési áramú, 2 k Ω belső ellenállású mérőmű felhasználásával 3V végkitérésű feszültségmérőt!

Itt $U_m = 3V,$
 $I = 100 \mu A,$
 $R_a = 2 k\Omega,$

tehát

$$R_e = \frac{U_m - I \cdot R_a}{I}$$

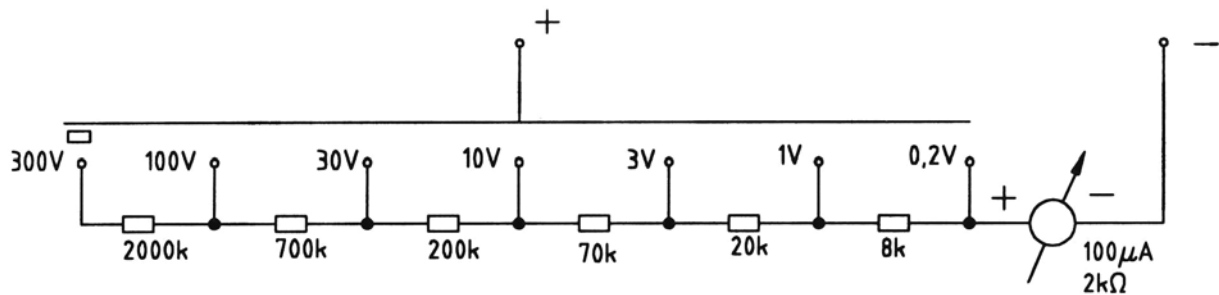
alapján

alapján

$$R_e = (3V - 0,1 mA \cdot 2 k\Omega) / 0,1 mA = 2,8 V / 0,1 mA = 28 k\Omega$$

előtét ellenállás adódik.

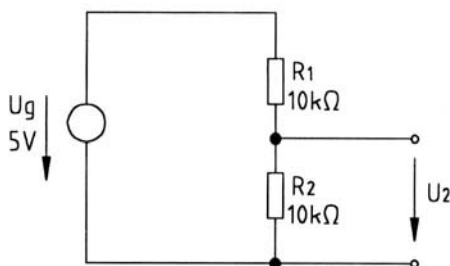
Több méréshatárú feszültségmérőnél az előtétellenállást a 22. ábra szerinti kapcsolás szerint több ellenállás soros kapcsolásával állítják elő, és a méréshatár váltásánál egy fokozatkapcsolóval választják ki a megfelelő ellenállás értékét. Ennek a megoldásnak az az előnye, hogy a nagyobb feszültség méréshatárokon több előtét ellenálláson oszlik meg a feszültség, ezért egy-egy előtét ellenállás kisebb teljesítmény disszipálására (és kisebb feszültség elviselésére) méretezhető.



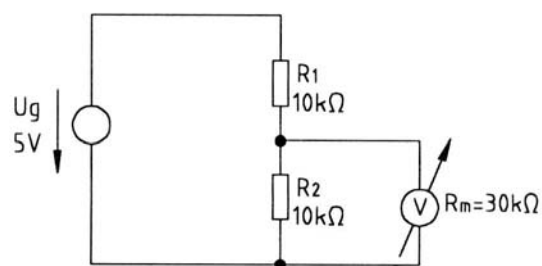
22. ábra
Több méréshatárú feszültségmérő kialakítása

A feszültségmérő beiktatása az áramkörbe

A feszültségmérőt a mérendő feszültség két végpontja közé, *párhuzamosan* kapcsoljuk az áramkörbe, amint a 23. ábra mutatja.



23/a. ábra
Az eredeti áramkör



23/b. ábra
Feszültségmérő bekötése U2 feszültség méréséhez

A 23. ábra áramkörében a cél $R_2 = 10\text{ k}\Omega$ -os ellenálláson a feszültség megmérése.
A 23/a ábra szerinti eredeti kapcsolásban U_2 feszültség

$$U_2 = U_g \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

azaz

$$U_2 = 5V \frac{10\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega} = 2,5V$$

értékű lesz.

Vizsgáljuk meg, hogy mi történik a 23/b ábra szerinti feszültségmérő bekapcsolásakor.

Legyen feszültségmérőnk az előbbi példában méretezett

$U_m = 3V$ méréshatárú,

$I_a = 100\text{ }\mu\text{A}$ -es végkitérésű, $R_a = 2\text{ k}\Omega$ belső ellenállású alaplámpával épített műszer.

Műszerünk belső ellenállása az alaplámpa $2\text{ k}\Omega$ -os, és az előtét ellenállás $28\text{ k}\Omega$ -os ellenállásának soros eredője azaz $30\text{ k}\Omega$.

A probléma most az, hogy műszerünk $R_m = 30\text{ k}\Omega$ -os eredő ellenállása párhuzamosan kapcsolódik R_2 ellenállással, azaz a műszer bekapcsolása után a feszültségosztó alsó ellenállása $R_2 = 10\text{ k}\Omega$ helyett

$$R_e = R_2 \times R_m = 30\text{ k}\Omega \times 10\text{ k}\Omega = 7,5\text{ k}\Omega \text{ lesz.}$$

Így a leosztott feszültség sem $2,5\text{ V}$ lesz, mint a műszer bekapcsolása előtt, hanem az eredő ellenállással számolva

$$U_2 = 5V \frac{7,5\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega + 7,5\text{k}\Omega} = 2,14V$$

azaz a feszültségmérő műszer beiktatása miatt kb. 17% mérési hiba keletkezett.

Nem keletkezne ez a hiba, ha a feszültségmérő műszerünk belső ellenállása végtelen lenne. Ezért a **feszültségmérő műszerünk annál jobb (beiktatása annál kisebb hibát okoz), minél nagyobb a belső ellenállása.**

Tekintettel arra, hogy a feszültségmérő belső ellenállása az alkalmazott előtét ellenállástól függően méréshatáronként változik (és pedig a méréshatár feszültséggel arányosan nő), közvetlenül nem alkalmas a műszerek összehasonlítására. **A műszerek jellemzésére ezért mindig ugyanakkora, megegyezés szerint az 1V-os méréshatárban mutatott belső ellenállását használják.** Annál jobb a műszer (az áramkörbe iktatása annál kisebb változást okoz), minél nagyobb ez az érték, **melyet Ω/V vagy $k\Omega/V$ mértékegységben adnak meg.**

A definícióból adódik, hogy az 1 V méréshatárban szükséges teljes műszerellenállás Ohm törvénye alapján a

$$R = \frac{U}{I_m}$$

képletből határozható meg, ahol most $U = 1V$, I pedig az alaplámpa végkiteréshez tartozó árama. Így

$$R = \frac{1}{I_m}$$

azaz a feszültségmérő műszerek $k\Omega/V$ -ban meghatározott „jósága” *nem más, mint az alaplámpa végkiteréséhez tartozó áram mA-ban megadott értékének reciproka.* Tehát a feszültségmérő műszer annál jobb, minél érzékenyebb (minél kisebb végkiterési áramú) alaplámpával építették meg. (Az alaplámpa belső ellenállása nagyságának e szempontból feszültségméréskor nincs jelentősége.)

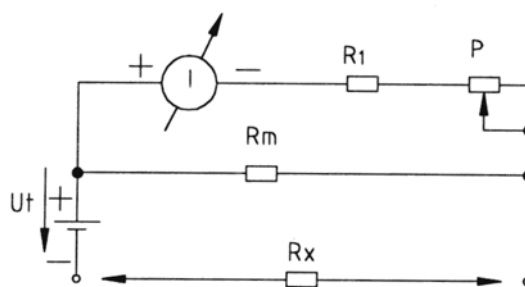
Ha az a célunk, hogy olyan univerzális műszert készítsünk, amely mind feszültségmérőnek, mind árammérőnek jó minőségű, akkor olyan alaplámpát kell felhasználnunk, amelynek kicsi a végkiteréshez tartozó árama (így lesz a belőle épített feszültségmérőnek nagy belső ellenállása), és ugyanakkor kicsi a belső ellenállása (ekkor lesz a vele épített árammérőnek is kis belső ellenállása). Az viszont, hogy a mérőmű végkiterési árama és belső ellenállása is kicsi, ugyanazt jelenti, mint hogy kis teljesítmény szükséges a működtetéséhez, hiszen a mérőmű által disszipált teljesítmény I^2/R (ahol I a műszeren átfolyó áram és R a belső ellenállása).

Ez nem meglepő, ha arra gondolunk, hogy a műszer működtetéséhez szükséges teljesítményt a „hideg műszer” a mérendő áramkörből vonja el, és minél kisebb az elvont teljesítmény, annál kevésbé befolyásolja a műszer beiktatása a mért áramkör viszonyait.

3.15.6. Analóg ellenállásmérő

Az általánosan használt univerzális mérőműszer több méréshatárú feszültségmérőn és árammérőn kívül több méréshatárú ellenállásmérőt is tartalmaz. Az ellenállás értéke ugyan Ohm törvénye alapján kiszámítható a rajta eső feszültségből és az átfolyó áramból, de a mérést a közvetlen ellenállásértéket mutató ohmmérő műszer alkalmazása nagyon leegyszerűsíti és gyorsítja.

Az ellenállásmérő (ohmmérő) alapkapcsolását a 24. ábra mutatja.



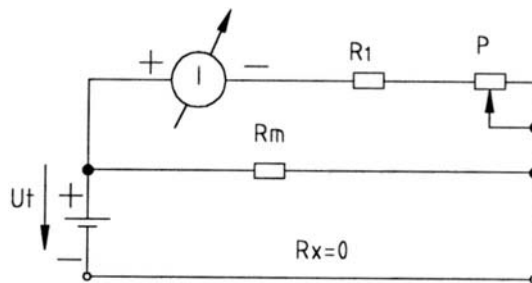
24. ábra
Ohmmérő alapkapcsolása

A „hideg” feszültség- és árammérő műszerektől eltérően (melyek a méréshez szükséges energiát a mérendő áramkörből vonják el) az ellenállásméréshez a műszerbe épített feszültségforrás (jelen esetben U_t feszültségű telep) szolgáltatja az energiát.

Készenléti állapotban, amikor R_x mérendő ellenállás nincs a műszerhez csatlakoztatva (vagyis ekkor $R_x = \infty$), a telep negatív pólusánál az áramkör megszakad, ezért a műszer ilyenkor nem fogyaszt. (Telepes műszereknél a telep kímélése céljából ez a szokásos gyakorlat: az ellenállásmérő csak a mérés rövid idejére vesz fel áramot.) Természetesen, ha nem folyik áram, az árammérő műszer sem tér ki, a mutató a skála alaphelyzetére mutat.

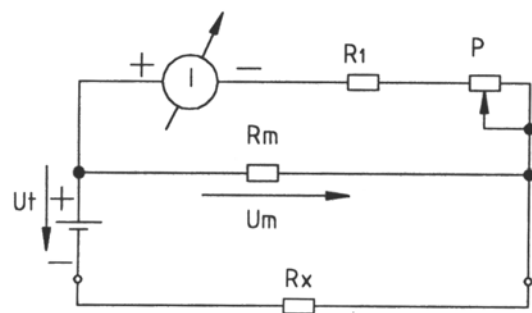
Az ohmmérő skáláján a mutató alaphelyzetének felel meg a végtelen jelölés.

Az I árammérő R_1 és P előtétellenállásokkal olyan feszültségmérőt alkot, amelynek végkitéréshez tartozó feszültsége éppen U_t telepfeszültség. (P potenciométerre azért van szükség, mert a telep feszültsége nem állandó: használatba vételétől kimerüléséig a kapocsfeszültsége folyamatosan csökken. A telep pillanatnyi feszültségétől függ a feszültségmérőhöz szükséges előtétellenállás értéke, melyet P változtatásával minden mérés előtt pontosan be kell állítani.)



25. ábra
Az ohmmérő „nullázása”

A mérés kezdetekor tehát első lépés a feszültségmérő előtétellenállásának pontos beállítása. Ehhez a mérendő ellenállás R_x kapcsait rövidre zárjuk (azaz 0 Ohm ellenállás kapcsolunk be, 25. ábra). Ilyenkor a teljes telepfeszültség R_m mérőellenállásra kapcsolódik, ezt a feszültséget méri az I árammérőből, R_1 és P előtétellenállásokból felépített feszültségmérő. P potenciométerrel beállítjuk, hogy a feszültségmérő mutatója éppen végkitérésbe kerüljön. Mivel 0 Ohm bekapcsolásakor a műszer végkitérésbe kerül, az ohmmérő skáláján a végkitéréshez 0 jelölés fog tartozni.



26. ábra
Ellenállásmérés

Ha R_x mérendő ellenállást a műszer kapcsaihoz csatlakoztatjuk (26. ábra), az áramkör záródik, és U_t feszültség megoszlik R_x és R_m ellenálláson.

Figyelembe kell venni azt is, hogy a feszültségmérőnek is van belső ellenállása (ez a mérőmű ellenállásának, R_1 -nek és P pillanatnyi értékének soros eredője), amely párhuzamosan kapcsolódik R_m -el. Jelöljük a feszültségmérő belső ellenállása és R_m párhuzamos eredőjét R_p -vel.

A feszültségosztó képletet alkalmazva az áramkörre, az R_m -en eső feszültség

$$U_m = U_t \frac{R_p}{R_p + R_x}$$

Ha a mérendő ellenállás R_x éppen megegyezik R_p -vel,

$$U_m = U_t \frac{1}{2} = 0,5U_t.$$

Mivel a mérés előtt P potenciométert úgy állítottuk be, hogy az U_t mérésekor a mutató a skála végpontjára (100%) mutasson, most $0,5U_t$ mérésekor a mutató éppen a skála közepéig (50%) lendül ki. Azaz, ha a mért R_x ellenállás értéke megegyezik R_p ellenállással, ohmmérőnk mutatója éppen a skála 50%-ára mutat.

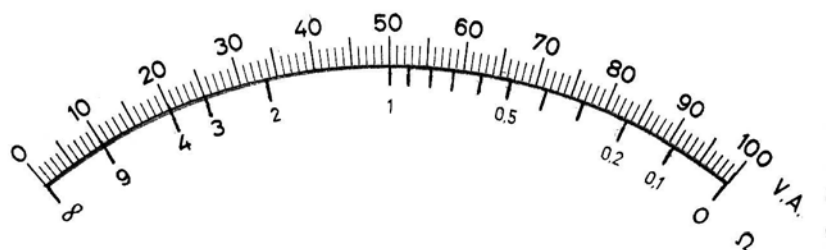
A feszültségosztó képlet segítségével kiszámíthatjuk más R_x/R_p arányokra is a mutató kilendülésének mértékét:

$\frac{R_x}{R_p}$	$\frac{R_p}{R_p + R_x}$ (%)
0,1	90,9
0,2	83,3
0,3	76,9
0,4	71,4
0,5	66,7
0,6	62,5
0,7	58,8
0,8	55,6
0,9	52,6
1,0	50
2,0	33,3
3,0	25
4,0	20
9,0	10
végtelen	0

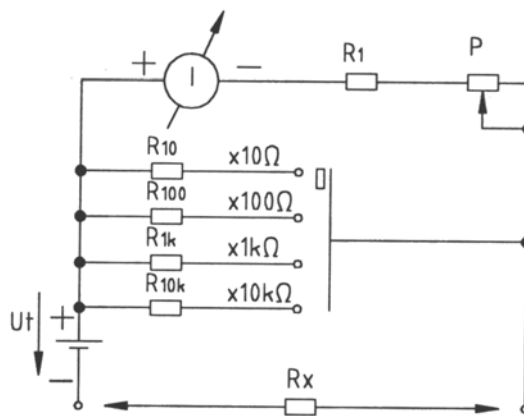
- Ha $R_x =$ végtelen, a mutató a skála 0 pontjára mutat, tehát az ohmmérő skáláján a „végtelen” érték a skála 0 osztásánál lesz,

- ha $R_x = R_p$, a mutató a skála 50%-ára mutat, tehát az ohmmérő skáláján oda kerül az R_p érték és így tovább.

Több méréshatáros ohmmérőnél méréshatárváltáskor R_m , és ez által R_p értékét változtatják úgy, hogy R_p az egyes méréshatároknál 10Ω , 100Ω , $1k\Omega$, $10k\Omega$ stb. legyen. Így az ohmmérő skálája minden méréshatárban azonos jellegű lesz, azonban a skála középső (50% kitérés) osztása mindig az adott méréshatárban bekapcsolt R_p -vel megegyező mérendő ellenállásnak felel meg. A méréshatárváltó fokozatkapcsoló egyes állásaihoz azt az ellenállásértéket írják, amellyel az adott méréshatárban a skálán kijelzett értéket szorozni kell. A műszerskálát a 27. ábra, a több méréshatárú ohmmérő kapcsolását a 28. ábra mutatja.

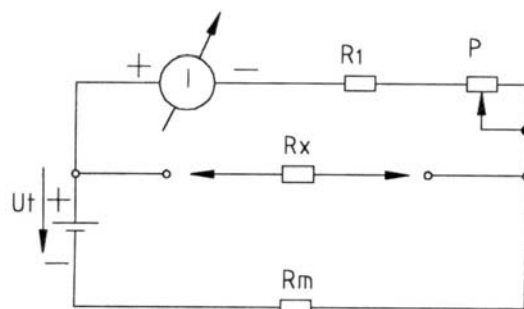


27. ábra
Ohmmérő műszerskálája



28. ábra
Több méréshatárú ohmmérő kapcsolása

Végül meg kell jegyezni, hogy - jellemzően akkor, ha az ellenállásméréshez az energiát nem telep, hanem hálózati tápegység biztosítja, tehát nincs jelentősége annak, hogy a műszer ne fogyasszon energiát, amikor éppen nem mér - szokás a műszer kapcsolását a 29. ábra szerint kialakítani.



29. ábra
Hálózati táplálású ohmmérő kapcsolása

Itt - mint a kapcsolási rajzból láthatjuk - a műszer akkor lendül végkitérésbe, amikor $R_x = \text{végtelen}$, illetve a mutató akkor mutat a skála alaphelyzetébe, amikor $R_x = 0$. Azaz, az ohmmérő skála „megfordul”, az 50%-os kitérésre vonatkoztatva a tükörképe lesz a 27. ábrán láthatónak.

Így az ohmmérő skála is - a feszültség és árammérő skálához hasonlóan - a műszer alaphelyzetében a legkisebb (0) és végkitérésben a legnagyobb (végtelen) értékű.

Ha megvizsgáljuk a 15. ábrán a GANZUNIV-3 műszer skálalapját, ott is az utóbbi ohmmérő skálát találjuk (dacára annak, hogy a GANZUNIV-3 műszer telepes táplálású). Ezzel a műszerrel mérve, a telep kímélése céljából csak arra az időre kapcsoljuk a műszert ohmmérő állásba, ameddig ténylegesen ellenállást mérünk.

3.15.7. Digitális multiméter

A digitális multiméter több méréshatárú feszültségmérőt, árammérőt és ellenállásmérőt tartalmaz (sőt, sok esetben más mennyiségek pl. frekvencia, tranzisztorok áramerősítési tényezője, hőmérséklet stb. mérésére is alkalmas).

A digitális multiméter is tartalmaz egy „mérőművet”, amely azonban az analóg műszertől eltérően nem mechanikus, hanem elektronikus berendezés. A digitális „mérőmű” *feszültséget* mér, és az eredményt digitális kijelzőn jeleníti meg. Az elektronikát úgy készítik, hogy bemenő ellenállása igen nagy legyen, azaz a mérendő áramkört minél kisebb mértékben terhelje. A működtetéshez szükséges energiát minden esetben külön feszültségforrás (telep vagy hálózati tápegység) szolgáltatja.

A kijelzett digitek száma

A digitális multiméter fontos jellemzője a kijelzett „digitek” (számjegyek) száma. Az általánosan alkalmazott digitális multiméterek 3 1/2 („három és fél”) digitesek. Ez azt jelenti, hogy a három kisebb helyiértéken kijelzett „teljes értékű” digiten kívül a legnagyobb helyiértéken is ki tudnak jelezni, ezen a helyiértéken a kijelzett érték azonban csak „1” lehet (vagy ezen a digiten nincs kijelzés). A kijelzőn ezen kívül „-” jel is megjelenhet, ez arra utal, hogy a mért feszültség (áram) negatív értelmű (azaz a műszer „+” bemenetére a mért feszültség „-” pólusa kapcsolódik). Szintén megjelenhet a kijelzőn a digitek közötti tizedespont, az akku kimerülésére utaló és más üzemi jelzés is.

A 3 1/2 digites műszer által kijelzett

- legkisebb érték „-1999”
- legnagyobb érték „+1999” lehet.

Ha a műszer bemenetére nem kapcsolunk feszültséget, a kijelzett érték „000”.

Jellemzően a 3 1/2 digites „mérőmű” a legnagyobb kijelzett értéket a bemenetére kapcsolt 199,9 mV feszültség hatására mutatja. Ezért a 3 1/2 digites digitális multiméterek legkisebb méréshatára általában 200 mV, többi méréshatárai pedig 2V, 20V, 200V, 1000V. (Ténylegesen azonban a legnagyobb kijelzett érték csak 199,9mV, 1999mV, 19,99V stb. lehet!) A legnagyobb méréshatár tulajdonképpen 2000V lenne, azonban 1000V-nál nagyobb feszültség mérését (érintésvédelmi okból ill. az átütések elkerülése céljából) nem szokták megengedni.

A technikai fejlődés nyomán megjelentek a „3 3/4” digites kijelzők is, melyeknél a legnagyobb kijelzett mennyiség nem 1999, hanem 2400, 3200 vagy újabban 4200 stb. Ezek, a még az olcsóbb kategóriába tartozó műszerek lehetővé teszik, hogy a 240, 320 vagy 420 mV-os feszültséget azonos felbontásban (0,1 mV) jelezzék ki, mint a 199,9 mV-ot. Természetesen a jobb felbontás a többi méréshatárban (a kijelzhető maximális érték tízszerese, százszorosa stb.) is érvényesül.

A digitális műszer felbontása alatt a legkisebb helyiértéken kijelzett mennyiséget értjük.

A precíziós digitális műszerek 4 1/2 (vagy annál több) digitességek. A 4 1/2 digitességek által kijelzett

- legkisebb érték „-19999”
- legnagyobb érték „+19999” lehet.

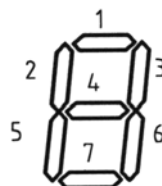
A 200 mV méréshatárú 4 1/2 digitességek felbontása 0,01 mV. (Max. kijelzett érték: 199,99 mV).

Amint már említettük, a digitális kijelzésnél nehéz a mért mennyiség maximumának, illetve minimumának indikálása. Ennek egyik oka, hogy a kijelzett számérték leolvasása és értékelése (nagyobb, vagy kisebb mint az előző kijelzés) több fáradságot és időt igényel, mint megállapítani, hogy az analóg műszer mutatója jobban vagy kevésbé tér ki, mint előtte. Másik oka pedig, hogy a mérő elektronika működéséhez is idő kell: általában egy mérés 1/3 - 1/2 másodpercet vesz igénybe. Így sok idő szükséges ahhoz, hogy kellő számú mérést végezzünk a maximum ill. minimum megállapításához.

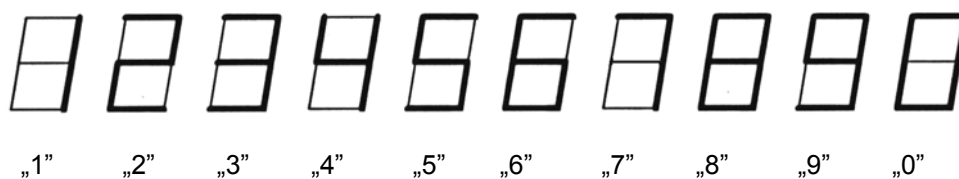
E problémán próbálnak (nem teljes értékűen) segíteni az igényesebb műszer kijelzőjén megjelenő „bar graph” alkalmazásával. Pl. a max. 3200-at kijelzeni képes kijelzőn a számjegyek alatt 32 pontból álló vízszintes vonal jeleníthető meg. Ha pl. a műszer 2300...2400 közötti értéket jelez ki, a megjelenő vonal „hossza” 23 pont. A pontsorozat hosszának változása (növekedett vagy csökkent) könnyen leolvasható, és (a kisebb pontosság miatt) a vezérlő elektronika is lényegesen rövidebb idő alatt jeleníti meg a pontsorozatot, mint a számjegyes mérési eredményt.

Hétszegmenses kijelző

A digiteket (számjegyeket) leggyakrabban *hétszegmenses kijelzőn* jelenítik meg. A hétszegmenses kijelző (30. ábra) bármilyen számjegyet egy vagy több szegmensének működtetésével ábrázol. A 31. ábrán példát látunk az 1...0 számjegyek kijelzésére. A kijelző illetve a kijelzőt meghajtó áramkörtől függően kisebb változások lehetségesek, pl. a „6”, „7” vagy „9” számjegyek ábrázolásában (32. ábra).



30. ábra
Hétszegmenses kijelző

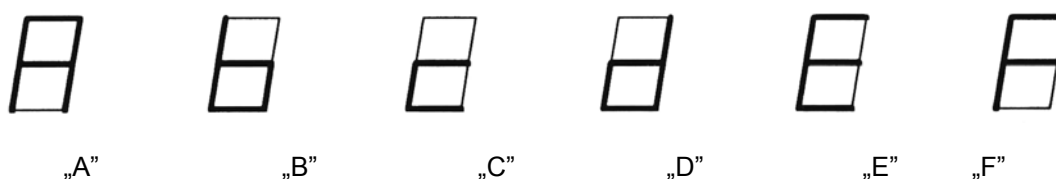


31. ábra
Számjegyek ábrázolása a hétszegmenses kijelzőn



32. ábra
Változatok a „6”, „7” és „9” számjegyek ábrázolására

A szegmensek működtetésének más kombinációi lehetőséget adnak az eredmény hexadecimális számrendszerben való megjelenítésére (ekkor az A,B,C,D,E,F karaktereket pl. a 33. ábra szerinti módon lehet kijelezni) illetve különféle üzemi jelzések (túlvezérelve, telep feszültség alacsony stb.) kijelzésére.



33. ábra
Hexadecimális számok hétszegmenses kijelzőn megjelenítve

Megjegyzés:

Korszerű műszereknél, ha a kijelző számokon kívül betűk kijelzésére is szolgál, a hétszegmenses kijelző helyett pontmátrixként kialakított kijelzőt használnak. Ezen a megfelelő pontok működtetésével alakítják ki a kijelzendő karaktert.

A kijelző típusa

A korszerű műszerekben általában két fajta kijelzőt alkalmaznak:

- 1.) LCD (Liquid Crystal Display = folyadékkristályos kijelző)
- 2.) LED (Light Emitting Diode = fényemittáló dióda)

LCD kijelző

Az LCD kijelző működése azon alapszik, hogy a folyadékkristályok fényáteresztési tulajdonságai elektromos erőter hatására megváltoznak. Így elektromos térrel befolyásolható, hogy a kijelző valamely szegmense átlátszó-e vagy nem. A folyadékkristályos kijelzők nem bocsátanak ki önálló fényt, ezért leolvasásukhoz külső fény szükséges (viszont leolvashatóságuk erős külső fény hatására sem romlik). Nagy előnyük, hogy teljesítményigényük minimális ($3...150 \mu W/cm^2$), ezért igen alkalmasak telepes v. akkumulátor üzemű műszerekben kijelzőnek. Az LCD kijelzővel épített korszerű multiméterek tápáramfelvétele csupán néhány száz mikroamper, azaz egy teleppel 100 óra nagyságrendű az üzemidejük.

Az LCD kijelzőn a digitekhez tartozó szegmenseken kívül elhelyezhetők a „bar graph” pontjai, az éppen aktuális mérés határ kijelzője, a mért mennyiség (V, A, Ω stb.) kijelzője, az alacsony telepfeszültségre utaló felirat (LO BAT = low battery) vagy ábra, tehát igényesebb kivitelű műszer a saját céljaira gyártott LCD kijelzőt használhat.

Ha az LCD kijelzőt hálózati táplálású (asztali kivitelű, bench) műszerben használják, ahol a kis áramfelvételnek nincs jelentősége, a műszer tartalmazhat a kijelzőt megvilágító berendezést is.

LED kijelző

A LED fényemittáló dióda, amely az átfolyó áram hatására - a dióda típusától függő színű és intenzitású - fényt bocsát ki. A hétszegmenses LED kijelző szegmenseit ilyen diódákból alakítják ki. Műszerekben általában vörös fényű LED kijelzőket alkalmaznak. A LED kijelző tehát fényt bocsát ki, ezért sötétben is jól leolvasható, de erős külső fény (pl. a kijelzőre eső napfény) leolvashatóságot erősen csökkenti.

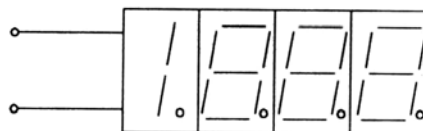
A LED kijelzőknek (az LCD kijelzőhöz viszonyítva) jelentős a teljesítményigényük ($0,5\text{W}/\text{cm}^2$), így csak hálózati táplálású műszerben gazdaságos az alkalmazásuk.

A műszer LED kijelzőjét egyedi 7 szegmenses LED kijelzőkből szokás összeállítani, tehát itt speciális jelzések (akku ábra, stb.) csak nagyon igényes műszereken fordulnak elő.

Digitális mérőmű

A digitális multiméter belső felépítésének és működésének tárgyalása meghaladja kereteinket, most csupán a digitális multiméter kezelésének megismeréséhez szükséges szinten, egy áramköri tömbként foglalkozunk a mérőművel. Legyen a mérőművünk 200 mV érzékenységgű, $3\frac{1}{2}$ digités (34. ábra). Belső ellenállását végtelennek lehet tekinteni.

Ha a mérőműre nagyobb feszültséget kapcsolnak, mint a legnagyobb kijelezhető feszültség (példánkban $199,9\text{ mV}$), a túlfeszültséget valamilyen módon jelzi, pl. a legnagyobb helyi értéken egy „1” számjegyet mutat, a többi helyi értéken pedig semmit nem jelez ki.

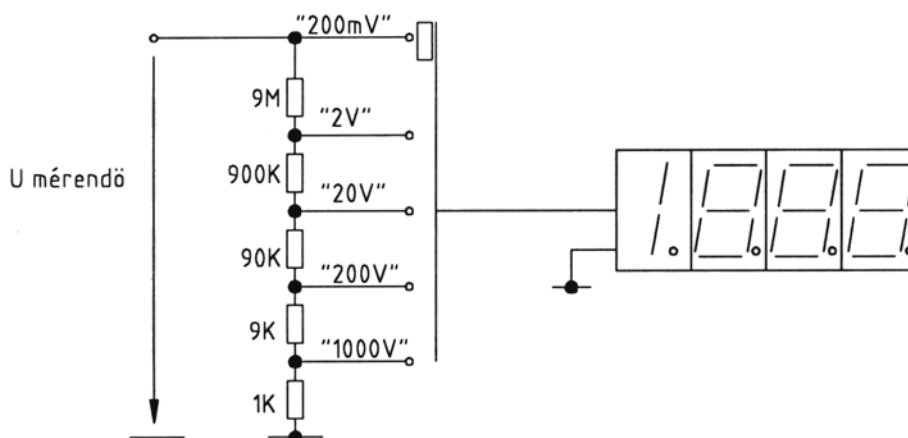


34. ábra
Digitális mérőmű ábrázolása

Digitális feszültségmérő

Digitális mérőművünk közvetlenül 200 mV (pontosabban $199,9\text{ mV}$) feszültség mérésére alkalmas, $0,1\text{ mV}$ felbontással. Belső ellenállása végtelen, ezért áram nem folyik rajta. Így a feszültségmérő méréshatárát - az analóg műszertől eltérően - nem lehet előtétellenállás alkalmazásával kiterjeszteni.

A méréshatár kiterjesztésére feszültségosztót alkalmazunk (35. ábra). A feszültségosztó elemei úgy vannak megválasztva, hogy osztása a „ 2V ” állásban $1:10$; a „ 20V ” állásban $1:100$; a „ 200V ” állásban $1:1000$ illetve az „ 1000V ” állásban $1:10000$ legyen). Így „ 2V ” állásban a bemenetre adott feszültség tizede, „ 20V ” állásban a százada stb., de mindig legfeljebb $0,2\text{V}$ jut a mérőműre, tehát az a méréshatárnak megfelelő feszültség (pontosabban $1,999\text{V}$, $19,99\text{V}$ stb.) hatására fog 1999 értéket kijelezni. A feszültségosztó fokozatkapcsolójával együtt működik egy másik fokozatkapcsoló is, amely a tizedespontot a bekapcsolt méréshatárnak megfelelő két digit között kapcsolja be.



35. ábra
Több méréshatárú digitális feszültségmérő

A feszültségmérő bemenő ellenállása mindig a feszültségosztó teljes ellenállása (általában 10 M Ω), tehát - ugyancsak az analóg műszertől eltérően - az Ω/V -ban megadott terhelés itt méréshatáronként változik. Kis feszültségek mérésekor a digitális műszer belső ellenállása lényegesen nagyobb, mint az analóg műszeré (pl. 200 mV méréshatárban a 100 μ A-s, 2 k Ω -os alaplámpával épített voltmérő ellenállása 2 k Ω , míg a 6. ábra szerinti digitális műszeré 10 M Ω !). A nagyobb méréshatároknál a különbség kisebb, ill. pl. az előző analóg műszer 1000V méréshatárban ugyanúgy 10 M Ω belső ellenállású, mint a 35. ábra szerinti digitális.

Mivel a digitális mérőmű bemenetét elektronikusan védik a túlfeszültség ellen, a méréshatárnál nagyobb feszültség ráadására a műszer nem érzékeny. A digitális multiméter feszültségmérője általában bármely méréshatárban károsodás nélkül elviseli néhány száz volt feszültség rövid idejű ráadását. Mielőtt egy műszerrel mérünk, mindig olvassuk el a felhasználói utasítását, ahol kitérnek a műszer ez irányú tűrőképességére.

Digitális árammérő

A digitális árammérő az áramot a sönt ellenálláson eső feszültség méréseivel méri. Ha a digitális mérőmű által mutatott legnagyobb érték 200 (199,9) mV, akkor a söntöt úgy kell méretezni, hogy ha a méréshatárnak megfelelő áram folyik át, pontosan ekkora feszültség essék rajta. A méréshatárok a sönt ellenállások átkapcsolásával válthatók.

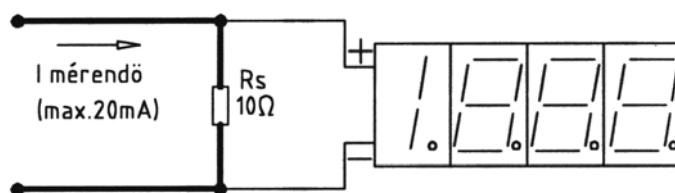
A szokásos áram méréshatárok 2mA, 20mA, 200mA, 2A esetleg 10 vagy 20A. Újabban szokás, hogy - mivel a digitális multimétert inkább feszültség és ellenállás mérésre szokták használni - olcsó műszeren csak 2 árammérő méréshatárt alkalmaznak, pl. 200 mA és 20A.

Több méréshatár esetén átkapcsoláskor figyelemmel kell lenni arra, hogy nagy áram megszakításakor szikra keletkezhet, amely a fokozatkapcsolót tönkreteszheti. Magát a digitális mérőművet elektronikusan védik a túlfeszültség ellen, tehát túl nagy áram mérésekor a mérőmű nem megy tönkre (nem úgy, mint az analóg mérőmű, amelynek mutatója letörhet, tekercse leéghet, stb. túl nagy mért áram esetén). A sönt viszont túláram hatására tönkre mehet.

A kis áramok mérésekor a sönt ellenállás leégése elleni védekezésként olvadó biztosítékot (200 mA vagy 2A) szoktak a műszerbe építeni. A 10A vagy 20A méréshatárt azonban nem védi biztosíték, így túláram esetén a sönt és vele a műszer tönkremehet. Az árammérő védelmére vonatkozó részleteket az adott műszer felhasználói utasításában lehet megtalálni.

A 36. ábra kapcsolása pl. 20 mA méréséhez szükséges kapcsolást mutatja. A sönt ellenállás értéke:

$$R = U/I = 200 \text{ mV} / 20 \text{ mA} = 10 \Omega.$$



36. ábra
Digitális árammérő 20 mA méréséhez

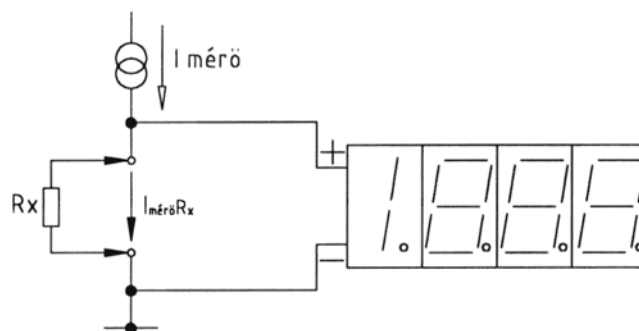
Digitális ellenállásmérő

A digitális ellenállásmérő az ellenállásmérést (az áramméréshez hasonlóan) a feszültségmérésre vezeti vissza (ui. a digitális mérőmű feszültséget mér). A mérendő ellenálláson (méréshatáronként változó nagyságú) állandó áramot hajt át, és e közben méri az ellenálláson eső feszültséget. (37. ábra)

Ohm törvénye szerint

$$U = I \cdot R$$

tehát ha I állandó, a mért U feszültség arányos a mérendő R ellenállással. Az áramgenerátor áramát úgy állítják be, hogy az adott méréshatárban a legnagyobb mérendő ellenálláson 200 (illetve 199,9) mV feszültség essen.



37. ábra
Digitális ellenállásmérő elve

Az áramgenerátort illetve a mérő áramkört általában úgy alakítják ki, hogy az ohmmérőt az se tegye tönkre, ha ellenállás helyett feszültséget kapcsolnak a bemenetére. Ezzel kapcsolatos részletek az adott műszer felhasználói útmutatójában találhatók.

Automatikus méréshatárváltás

Digitális multiméterek szokásos szolgáltatása az *automatikus méréshatárváltás*. (Még csak azt sem lehet mondani, hogy ez egy extra szolgáltatás, vannak nagyon egyszerű műszerek, amelyek *csak* automatikus méréshatárváltással működnek: egyszerűen olcsóbb a méréshatárváltó elektronika, mint a fokozatkapcsoló...)

Automatikus méréshatárváltásnál pl. a feszültségmérő műszer a mérés kezdetén a legérzékenyebb állásban várja a bemenetére kapcsolt feszültséget. Ha a feszültség nagyobb, mint a legkisebb méréshatár (ez nem probléma, hiszen az elektronikus védelem miatt a mérőműnek nem árt a túlfeszültség), az automatika észleli a mérőmű túlfeszültségre vonatkozó jelzését, és elektronikusan átkapcsol a következő méréshatárba. Ha a mérendő feszültség még így is túl nagy, a mérőmű túlfeszültség jelzése fennmarad, és az elektronika még nagyobb méréshatárba kapcsol, egészen addig, ameddig a túlfeszültség jelzés meg nem szűnik. Ekkor viszont már a megfelelő méréshatárban van a műszer. Mivel a leírt folyamathoz a műszernek több mérést kell elvégezni, az automatikus méréshatárváltás néhány másodpercet igénybe vehet.

Azt, hogy az adott műszert miként lehet automatikus/manuális(=kézi) méréshatárváltó funkcióba kapcsolni, a felhasználói útmutatóból tudhatjuk meg.

Mérési pontosság

A digitális multiméternél is igaz, hogy annál pontosabb a mérés, minél közelebb van a kijelzett mennyiség a kijelezhető maximális értékhez. A mérési hibák azonban itt más jellegűek, mint az analóg mérőműszer esetén, ezért a hiba megadásának módja is más.

Egy digitális feszültségmérő hibáját pl. a következő módon adják meg:

Pontosság: $\pm 1\%$, ± 1 digit.

Ez azt jelenti, hogy a kijelzett érték a ténylegestől 1%-al térhet el, és ezen felül még a legkisebb helyiértéken 1 digit = 1 számjegy eltérés is előfordulhat. Ha pl. 200 mV méréshatárban vagyunk, és 50 mV-ot mérünk, a kijelzett érték pontos mérés esetén

50,0 mV

lenne. Ettől a kijelzett érték egyrészt $\pm 1\%$ -al, jelen esetben 0,5 mV-al térhet el, és a legkisebb helyi értéken még további 1 digit (= 0,1 mV) eltérés lehet. Tehát, ha a hibák szerencsétlen esetben azonos irányúak, műszerünk mutathat

50,6 mV-ot,

vagy

49,4 mV-ot is, azaz a mérési hiba jelen esetben $\pm 1,2\%$ lehet.

Ha ugyanezzel a műszerrel és ugyanebben a méréshatárban 10 mV-ot mérünk, a hiba 10 mV 1%-a azaz $\pm 0,1$ mV, és a legkisebb helyi értéken (LSD = Last Significant Digit) még 1 digit (ugyancsak 0,1 mV) eltérés lehet, tehát a kijelzett érték

9,8 mV

és

10,2 mV közé esik, tehát a mérési hiba itt $\pm 2\%$ lehet.

A %-ban, illetve digitekben megadott hiba méréshatáronként és mért mennyiségenként (V, A, Ω) változhat. (Váltakozóáramú méréseknél az egyenirányító hibája miatt a műszer pontossága rosszabb.)

3.15.8. Mérés analóg multiméterrel (feszültségmérővel, árammérővel, ohmmérővel)

Előkészületek

A mérés előtt vizsgáljuk meg a műszert, amellyel mérni fogunk. Állapítsuk meg, hogy a mérőmű milyen rendszerű, a műszer milyen pontosságú, milyen helyzetben kell használni. Állítsuk a műszert ebbe a helyzetbe. Ellenőrizzük, hogy a mutató alaphelyzetben a skála 0 pontjára mutat-e. Ha nem, akkor állítsuk be az előlapon található, e célra szolgáló, csavarhúzóval állítható beállító csavarral.

Csatlakoztassuk a műszerhez a „mérőzsinórokat”. A „mérőzsinór” megfelelő hosszúságú (0,5-1,5m) és keresztmetszetű (0,75-1,5 mm²) hajlékony, szigetelt vezeték, melynek egyik végére a műszerhez csatlakozó banándugó, a másik végére ugyancsak banándugó, vagy mérőcsúcs van szerelve. Az univerzális műszerek csatlakozója általában banánhüvely, amely úgy van felszerelve, hogy - az áramütés veszélyének elkerülésére - szabad kézzel ne lehessen megérinteni. A korszerű érintésvédelmi követelményeknek megfelelő mérőzsinór banándugója az elektromos érintkező teljes hosszában műanyag védőhengerrel van ellátva, a korszerű mérőműszerek banánhüvelye pedig alkalmas e dugó befogadására. A mai magyar mérőzsinór- és analóg mérőműszerekre azonban még nem jellemző az ilyen banándugók és hüvelyek alkalmazása, ezért balesetelhárítási okból *a mérőzsinórt mindig először a mérőműszerhez csatlakoztassuk, és csak utána a mérendő áramkörhöz*. Így elkerülhető, hogy a már feszültség alatt álló mérőzsinór még szabad vége áramütést, vagy valamelyik áramköri ponthoz érve zárlatot, meghibásodást okozzon. Hibás szigetelésű, sérült mérőzsinórral, műszerrel ne mérjünk!

Ugyanazon az univerzális mérőműszeren több csatlakozó (banánhüvely vagy szorító) is található, a műszeren felirat jelöli, hogy feszültség- áram- ill. ellenállásmérésnél mely csatlakozókat kell igénybe venni.

Feszültségmérés

Ha multiméterrel mérünk, annak üzemmód kapcsolóját állítsuk a megfelelő (DC: egyenfeszültség, AC: váltakozófeszültség) V-mérésre.

Becsüljük meg, hogy mekkora a mérendő feszültség. A méréshatár váltó fokozatkapcsolót állítsuk olyan méréshatárra, amely biztosan meghaladja a mérendő feszültséget. (Ha a mérendő feszültség ismeretlen nagyságú, akkor a legnagyobb méréshatárt kell beállítani.)

Ei kell kerülni azt, hogy a túl alacsony méréshatár miatt a műszer mutatója „kiverjen” : ekkor megsérülhet maga a mutató is (a kitérése végén felütközve az üvegből készült mutató eltörhet, a fémből készült elgörbülhet) illetve a műszer más alkatrészei is megsérülhetnek pl. a csapágyazás sérül vagy a lengő tekercs leéghet.

Korszerű műszerekben általában alkalmaznak valamilyen védőáramkört, amely ilyen esetben többkevesebb védelmet nyújt a műszernek. Egyes, jó minőségű műszerek (pl. a GANZUNIV-3), olyan érzékeny és gyors működésű automata biztosítókkal vannak felszerelve, amely, ha a műszer mutatója erősen „kiverne”, megszakítja a műszer áramkörét, még mielőtt a mutató túlságosan kilendülne. Olcsóbb megoldásokban félvezetős védőáramkörrel biztosítják, hogy a mérőműre csak két-háromszoros túlfeszültség juthasson, amely általában még nem okoz károsodást. Mindazonáltal ne tegyük próbára a műszer védőáramkörét, válasszuk meg helyesen a méréshatárt!

Ez után a mérőzsinórokat a mérendő feszültségre kapcsolhatjuk. Ha helyesen választottuk meg a méréshatárt, a mutató kilendül, és a skála második vagy harmadik harmadába mutat. Ha a mutató elővigyázatosságunk dacára túlságosan kitér, azonnal kapcsoljunk át magasabb méréshatárra. (A fokozatkapcsolót mérés közben is át szabad állítani, ettől a műszer nem károsodik.) Ha a mutató nem lendül ki eléggé, a fokozatkapcsolót egyre kisebb méréshatárokat állítjuk, ameddig a mutató nem tér ki a skála harmadik (vagy második) harmadába. Ha a mutató rossz irányba lendül ki, rosszul polaritással kapcsoltuk be a feszültséget. Egyes, jó minőségű műszereken (pl. GANZUNIV-3) egy átkapcsoló megnyomásával polaritást válthatunk, más műszereknél fel kell cserélni a két mérőzsinór csatlakozását a mérendő áramkörön.

Ha a műszer skálapaján több skála található, a leolvasás előtt meg kell állapítanunk, melyik skála az érvényes. Az általánosan alkalmazott Deprez rendszerű műszer skálája lineáris, ezért egyenfeszültség mérésre összesen két skála szokott lenni: egy, amely az 1V-10V-100V-1000V, és egy, amely a 3V-30V-300V méréshatárokat használható. Azt, hogy az adott skála minek a mérésére szolgál, a skála mellett

(jobb oldalon) található felírat jelzi. Vizsgáljuk meg, hogy az adott skálán egy osztás mekkora feszültségnek felel meg, és ezt az eredmény leolvasásánál vegyük figyelembe. A mérési eredményt a megfelelő skálán, a lehető legpontosabban olvassuk le. A parallaxishiba elkerülése céljából a skálapadra merőleges irányból olvassuk le a mutató állását.

Váltakozófeszültség mérésénél a skála - az egyenirányító karakterisztikája miatt - sokszor nem lineáris, és előfordul, hogy kis feszültségek méréséhez ugyanezen okból külön skálát adnak meg.

Árammérés

Ha multiméterrel mérünk, annak üzemmód kapcsolóját állítsuk a megfelelő (DC: Direct Current = egyenáram, AC: Alternate Current = váltakozóáram) A-mérésre.

Becsüljük meg, hogy mekkora a mérendő áram. A méréshatár váltó fokozatkapcsolót állítsuk olyan méréshatárra, amely biztosan meghaladja a mérendő áramot. (Ha a mérendő áram ismeretlen nagyságú, akkor a legnagyobb méréshatárt kell beállítani.)

A műszert a mérőszinórokkal - az áramkört egy helyen megszakítva - az áramkörbe iktatjuk. Ha ez nem lehetetlen, a műszer beiktatásához (majd a mérés végén az eltávolításához) kapcsoljuk ki az áramot. Ügyeljünk a helyes polarításra.

Az áram bekapcsolása után - ha a helyes méréshatárt állítottuk be - a mutató a skála harmadik vagy második harmadába lendül ki. Ha nem, méréshatárt kell váltani. A feszültségméréssel ellentétben, áramméréskor csak kis áramok (néhányszor tíz milliámpér) méréséig célszerű mérés közben váltani a méréshatárt, mert nagyobb áram megszakításakor (különösen, ha a mért áramkör induktív jellegű) a fokozatkapcsoló (szikrázás, stb. miatt) tönkremehet. Ezért nagyobb áramok mérésekor a méréshatár váltás előtt kapcsoljuk ki az áramot! Vegyük figyelembe, hogy ha a műszerre az adott méréshatárban túl nagy áramot kapcsolunk, nem csak a mérőmű, hanem a sönt ellenállás épségét is veszélyeztetjük. A mérőművet esetlegesen túlterhelés ellen védő áramkörök nem alkalmasak a sönt megvédésére! Tehát fordítsunk nagy figyelmet a méréshatár helyes megválasztására.

Egyenáram mérésénél ugyanazokat a (Deprez mérőmű esetén lineáris) skálákat használhatjuk, amelyeket az egyenfeszültségmérésnél. Váltakozó áram mérésénél általában a skála nem lineáris. Vegyük figyelembe a skála jobb végén található, a skála rendeltetésére vonatkozó feliratot!

A skála leolvasása ugyanolyan, mint feszültségméréskor.

Ellenállásmérés

Ellenállásméréshez a mérendő ellenállást (legalább az egyik kivezetését) az áramkörből ki kell építeni. Ellenkező esetben az áramkörben lévő többi elem is befolyásolhatja a mérés eredményét. Az ellenállásmérő sarkaira semmi esetre sem szabad kívülről feszültséget kapcsolni.

Állítsuk műszerünket ellenállásmérés üzemmódba! Ellenőrizzük, hogy a mutató a mérendő ellenállás kapcsokat üresen hagyva a skála „végtelen”, a mérendő ellenállás kapcsokat rövidre zárva a skála „0” pontjára mutat! Ha szükséges, a megfelelő kezelőszervekkel állítsuk be a mutató megfelelő kitérését. Ha azt tapasztaltuk, hogy műszerünk olyan rendszerű, hogy a skála „végtelen” pontja végkitérésben van, és a műszer telepes üzemű (ilyen pl. a GANZUNIV-3), a telep kímélése céljából csak az ellenállásmérés időtartamára tartuk a műszert ellenállásmérés üzemmódban!

Válasszuk ki a megfelelő méréshatárt. Ellenállásméréskor semmilyen problémát nem jelent, ha nem megfelelő méréshatárt választunk, hiszen 0-tól végtelenig minden ellenállás mérésekor a mutató a skála egy belső pontjára mutat. A méréshatár váltó fokozatkapcsoló ellenállásmérés közben minden további nélkül átkapcsolható. A nagyobb pontosság érdekében itt arra kell törekedni, hogy a mutató ne mutasson sem a skála első, sem az utolsó 10%-ára. Az Ohm-skála minden méréshatárban azonos.

Figyelem! Ellenállásméréskor a két mérőszinór mérőcsúcsát érintsük a mért ellenállás kivezetéseire. Ugyanekkor *ügyeljünk arra, hogy kezünk ne érjen hozzá a kivezetésekhez (mérőcsúcsokhoz)*, mert akkor saját testünk ellenállása (amely a körülményektől függően 10 - 200 kΩ közé szokott esni) párhuzamosan kapcsolódik a mért ellenállással, és ez meghamisítja a mérést (különösen, ha nagy értékű ellenállást mérünk).

3.15.9. Mérés digitális multiméterrel

Előkészületek

A műszer használatba vétele előtt tanulmányozzuk a felhasználói utasítást (Owner's Manual, Instruction Manual, Operator's Manual stb.), ahol le vannak írva az adott műszer kezelésével kapcsolatos tudnivalók (pontosság és bemenő ellenállás különböző méréshatárokból, a speciális kezelő szervek kezelése, a kijelzőn megjelenő jelzések, a különböző üzemmódokban károsodás nélkül ráadható feszültség stb.)

Ha a felhasználói utasítás nem áll rendelkezésre, a szokásos multiméter kezelő szervei általában értelemszerűen kezelhetők. Azt, ha az adott méréshatárban túl nagy feszültséget (áramot, ellenállást) kapcsoltak a műszerre, általában az jelzi, hogy a kijelző első karakterén egy „1” számjegy jelenik meg (esetleg villog), míg a kijelző összes többi karaktere sötét. Más műszereken pl. OL (=overload) kijelzés jelenik meg.

Jobb minőségű műszerek kijelzőjén bekapcsoláskor „bekapcsolási teszt” jelenik meg, azaz rövid időre a kijelző valamennyi szegmense működésbe lép, miközben az elektronika egy rövid öntesztet végez.

A műszer kijelzőjén figyelmeztető ábra vagy felirat jelenik meg, ha a telepfeszültség alacsony. Ha ez a figyelmeztetés megjelenik, a műszer nem alkalmas a megfelelő pontosságú mérésre, cseréljük ki a telepet!

Az analóg multiméternél leírtak a következő eltérésekkel érvényesek:

- Nincs mutató, ezért a mutató nullhelyzetét nem kell beállítani,
- A digitális multiméterek általában a korszerű érintésvédelmi előírásoknak megfelelő csatlakozókkal és mérőzsinórokkal vannak ellátva, ennek dacára először a műszerhez csatlakoztassuk a mérőzsinórt, és csak az után a mérendő áramkörhöz!

Feszültségmérés

A digitális műszerrel való mérés módfelett egyszerű, mert:

- a jó minőségű műszert egyszerűen nem lehet túlfeszültséggel tönkretenni, az elektronikát úgy tervezik, hogy a legnagyobb mérhető feszültség rákapcsolását a legkisebb méréshatárban is károsodás nélkül elviseli,
- nem okoz problémát a skála kiválasztása és leolvasása, mert nincsen skála, a mérési eredmény számjegyek formájában jelenik meg a kijelzőn,
- nem kell ügyelni a mért feszültség polaritására, fordított polaritás esetén egyszerűen egy „-” jel jelenik meg a mért eredmény előtt a kijelzőn.

A mérés előtt be kell állítani, hogy egyenfeszültséget (DC) vagy váltakozófeszültséget (AC) kívánunk mérni.

Ha műszerünk automata méréshatárváltós, akkor a mérendő feszültséget a műszerre kapcsolva önállóan választja ki a megfelelő méréshatárt (ez néhány másodpercet vehet igénybe, miközben a kijelzőn túl nagy feszültségre utaló jelzés látható, ugyanis a műszer a legérzékenyebb méréshatárban kezd mérni, és akkor kapcsol egyre érzéktelenebb méréshatárokból, ha az elektronika az adott méréshatárban túl nagy feszültséget jelez). A méréshatár automatikus váltását a tizedespont helyzetének változásából láthatjuk a kijelzőn.

Ha kézi méréshatárváltással dolgozunk, hasonló módon járunk el, mint az analóg műszerrel való mérés esetében.

Árammérés

A digitális multiméterek árammérője rendszerint két áram bemenettel rendelkezik: az egyik a műszeren felirattal jelölt határértékig a kisebb, a másik az (általában 10A vagy 20A méréshatárú) nagyobb áramok mérésére.

A kisebb áramú bemenetet túláram ellen jellemzően olvadó biztosítókkal (és sok esetben elektronikus áramkörral is) védik. Ha az árammérő nem működik, ellenőrizzük, nem olvadt-e ki ez a biztosíték. Szükség esetén *csak az előírt értékű, és általában FF jelű, nagyon gyors kioldású* biztosító betétet pótoljuk! (Sok gyártó a műszer dobozában elhelyez egy tartalék biztosítékot is. Ennek felhasználásakor gondoskodjunk a tartalék pótlásáról!)

A nagy áramú bemenet nincsen biztosítókkal védve, tehát a túláram (sőt, a megengedett határon belüli, de tartósan nagy erősségű áram) a műszert tönkretetheti. (A sönt ellenállás túlmelegszik, a hozzá vezető NYÁK fóliák leégnek, műanyag alkatrészek elolvadnak stb.)

Mérés előtt állítsuk be az AC/DC átkapcsolót a megfelelő állásba. Hasonlóan, mint az analóg árammérővel végzett mérésnél, elsőként olyan méréshatárt állítsunk be, amely biztosan nagyobb a mért áramnál. Az árammérő méréshatár váltására az analóg műszernél leírtak érvényesek.

Ellenállásmérés

A mérés előtt a mérőszinórokat csatlakoztassuk az ohmmérésre megjelölt műszer csatlakozókhoz. A méréshatár beállítása után mérhetjük az ismeretlen ellenállást. Sok esetben az ellenállásméréskor is ugyanaz a biztosíték van a védőáramkörben, amelyet a kis áramok mérésekor is használnak, tehát ha az ellenállásmérő nem működik, ezt a biztosítékot kell ellenőrizni, és szükség szerint cserélni.

Dióda vizsgálat

Egyes műszereknek van „diódavizsgáló” üzemmódjuk. Ekkor a felhasználói utasításban leírt mérőáramot hajtják át a vizsgált alkatrészre (jellegzetesen diódán), és az azon eső feszültség olvasható le a kijelzőn, általában millivoltban.

Rövidzárvizsgálat

Vannak műszerek, melyek ellenállásmérőjén a legkisebb méréshatárban „rövidzárvizsgálat” végezhető, ekkor, ha a mért ellenállás értéke kisebb, mint a felhasználói utasításban megadott határérték (pl. $20\ \Omega$), az ellenállás kijelzésével egyidejűleg egy akusztikus jelzés is megszólal. Ez az üzemmód használható pl. kábelek ereinek, nyomtatott áramköri fóliák szakadásának vizsgálatakor; a mérést végző személynek nem kell a műszerre néznie, figyelmét a két mérőcsúcs helyzetére fordíthatja.

Tranzisztorok áramerősítési tényezőjének mérése

Egyes műszerek alkalmasak pnp ill. npn tranzisztorok áramerősítési tényezője ($B = h_{21E} = h_{FE}$) mérésére. A mérés a felhasználói utasításban megadott egyenárammal történik. A mért tranzisztort a műszeren található tranzisztorfoglatba kell illeszteni. Figyeljünk a helyes bekötésre! Ismeretlen műszernél, ha a tranzisztort már a mérőfoglatba helyeztük, nem célszerű bármit is átkapcsolni, silányabb minőségű műszernél előfordulhat, hogy ilyenkor a mérendő tranzisztor tönkremegy.

Frekvenciamérés

Ha a műszeren van frekvenciamérésre lehetőség, a felhasználói utasításban megadott szintű váltakozófeszültség frekvenciájának mérésére van lehetőség. A legmagasabb mérhető frekvencia általában néhány száz kHz, a műszerek tökéletesedésével ez egyre magasabb értékre tolódik. Jobb minőségű műszernél a mért jel feszültségének szintje is állítható.

Hőmérsékletmérés

Egyes műszerekhez opcionálisan vásárolható hőmérsékletmérő szondát készítenek, amely segítségével - a műszert hőmérő üzemmódba kapcsolva - különféle testek hőmérséklete mérhető. A hőmérő szonda mérőfeje kis méretű és tömegű, és a szonda többi részétől hőátvitel szempontjából kellően el van szigetelve, abból a célból, hogy rövid idő alatt átvegye, és csak alig befolyásolja a mért test hőmérsékletét. A mértékegység (Celsius vagy Fahrenheit fok) általában beállítható.

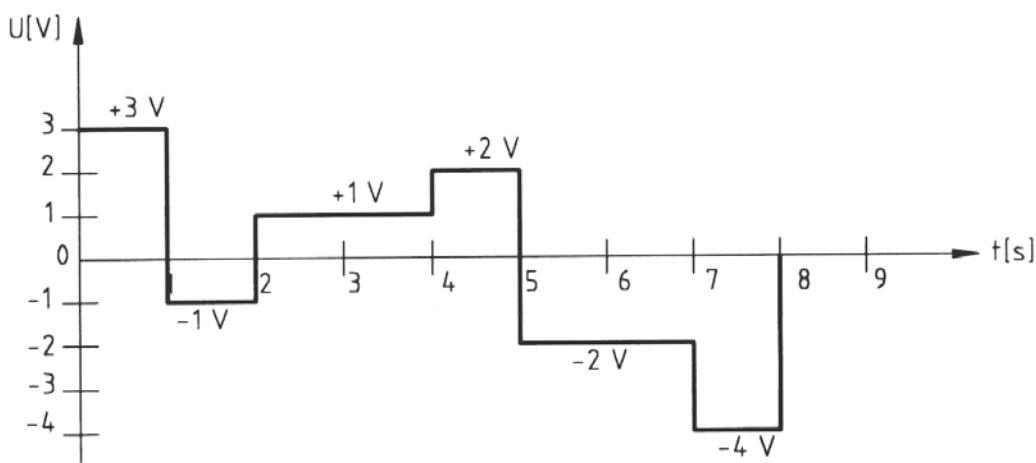
Extrák

A technika előre haladásával a jobb minőségű digitális multimétereket újabb és újabb funkciókkal látják el. Az egyre komfortosabb kijelzésen (pl. bar graph) túlmenően pl. az alábbi szolgáltatások érhetők el:

- DATA HOLD: a műszer a kapcsoló lenyomásakor mért eredményt a kijelzőjén megtartja akkor is, ha a mérőcsúcsot eltávolítják a mérőpontról.
- PEAK HOLD: ezt az üzemmódot bekapcsolva, a műszer a mért egyen- vagy váltakozófeszültség (áram) legmagasabb értékét jelzi ki akkor is, ha időközben a mért mennyiség értéke csökkent.
- RANGE HOLD: az egyébként automata méréshatárváltós műszernek ebben az üzemmódjában a méréshatár kézzel állítható be.
- TOUCH HOLD: ilyen üzemmódban, ha a mérőcsúcsokat a mérendő feszültségre kapcsolják, a műszer megméri és tárolja a mért eredményt, és egy akusztikus jelzést ad. Ezek után a mérőcsúcsok eltávolítása után is leolvasható a mért eredmény.
- REL: „RELATIV” üzemmódba kapcsolva, az ekkor éppen kijelzett érték referenciaként tárolódik, és a továbbiakban a pillanatnyilag mért értéknek a tárolt értéktől való eltérése jelenik meg a kijelzőn.
- dBm: ebben az üzemmódban a mért váltakozófeszültséget $0\ \text{dBm} = 0,7746\ \text{V}$ ($600\ \Omega/1\ \text{mW}$) szinthez viszonyítva, logaritmikusan adja meg.
- STDBY: „STANDBY” üzem: ha a bekapcsolt műszert a felhasználói leírásban megjelölt ideig (pl. FLUKE77: 1 óráig) nem használják, energiatakarékos üzembe megy át, a kijelzőn erre utaló jelzés jelenik meg.

3.15.10. Váltakozóáramú mérések

Ha a mérés folyamán a mért mennyiség pillanatértéke változik, a mért érték időbeli lefolyását grafikonon ábrázolhatjuk (38. ábra).



38. ábra
Időben változó feszültség

Az 38. ábra szerinti feszültséget (a mérés 8 s időtartama alatt) nem lehet egyetlen számmal egyértelműen jellemezni. Természetesen vannak számadatok, amelyek a vizsgált feszültséget különböző szempontból jellemzik, pl.:

- a feszültség maximális értéke ($U_{\max}$): az a feszültség, amelyet a vizsgálat közben a mért feszültség nem lépett túl; ez jelen esetben +3V,
- a feszültség minimális értéke ($U_{\min}$): az a feszültség, amely alá a vizsgálat közben a mért feszültség nem süllyedt; ez jelen esetben - 4V,
- a feszültség csúcstól csúcsig vett értéke ($U_{pp}=U$ peak to peak): a feszültség maximális és minimális értékének különbsége; most 7V
- a feszültség elektrolitikus középértéke (U_{el}): az az egyenfeszültség, amely azonos idő alatt ugyanannyi fémet választ ki az elektrolízis során, mint a vizsgált váltakozófeszültség egyenirányítva. Ez nem más, mint a vizsgált feszültség egyenirányítás utáni *számtani középértéke* (jelen esetben 2V).
- a feszültség effektív értéke (U_{eff}): az az egyenfeszültség, amely azonos idő alatt azonos munkát végez, mint a vizsgált váltakozófeszültség. Mivel a végzett munka a feszültség négyzetével arányos, az *effektív érték a váltakozófeszültség négyzetes középértéke* (jelen esetben kb. 2,2361V).

A felsorolt csúcs- és átlagértékek értékes információkat adnak a vizsgált feszültségről, de nem írják le egyértelműen a feszültség időbeli lefolyását. Ezt csak egy módon lehet egyértelműen megadni, és pedig a 38. ábra szerinti *feszültség-idő függvény* felrajzolásával. Az általános áramú hálózat mérésére szolgáló feszültségmérő műszer - **az oszcilloszkóp** - feladata tehát az 38. ábra szerinti feszültség-idő függvény felvétele.

Egyetlen kivétel van, amikor a váltakozó feszültség méréséhez nem szükséges oszcilloszkóp: amikor a jel időbeli lefolyása előre ismert. Ekkor elegendő valamelyik szélső- vagy középértéket megadni, hiszen az ismert jelalak miatt a többi érték abból már meghatározható. Ezért a leggyakrabban előforduló ilyen jelek – a szinuszos lefolyású feszültségek és áramok – mérésére a feszültség- ill. árammérő műszereket is alkalmassá teszik ("AC" mérés).

Szinuszos áramú hálózatok mérése

A szinuszos lefolyású jel (4. ábra) pillanatértékét az

$$U_p = U_{\max} \sin \omega t$$

függvénnyel lehet megadni, ahol

U_p	a jel pillanatértéke
$U_{\max}$	a jel csúcsértéke
ω	a körfrekvencia = $2\pi f$

t az eltelt idő.

Így a szinuszos jel f frekvenciája és $U_{\max}$, a jel csúcsértéke ismeretében már bármely t időpontban kiszámítható a feszültség pillanatértéke, ezért *mérési eredményként is elegendő mérni ill. megadni a feszültség csúcsértékét, vagy valamely középtértékét*, amelyből a csúcsértéke egyértelműen kiszámítható. Az elektrotechnikából ismert ugyanis, hogy szinuszos jel

- effektív értéke
$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_{\max}$$

- elektrolitikus középtértéke
$$U_{\text{el}} = \frac{2 \cdot U_{\max}}{\pi} = 0,636 \cdot U_{\max}$$

Az erősáramú alkalmazásokra való tekintettel, ahol az áram által végzett munkának van a legnagyobb jelentősége, ha a szinuszjelet egyetlen feszültség (áram-) értékkel kell jellemezni, a négyzetes középtértékét (effektív érték) adják meg. (Pl. ha a hálózati feszültség 230V-os, azt jelenti, hogy effektív értéke 230V, míg pl. csúcsértéke $230/0,707 = 325 \text{ V}$.)

A megállapodás szerint a váltakozófeszültség mérésére szolgáló műszer szinuszos jel mérésénél az effektív értéket jelzi ki mérési eredményként.

A nem szinuszos (vagy torz szinuszos) jelek vizsgálatánál a (nem speciális, ún. valódi effektív értéket mérő) műszerek téves mérési eredményt mutatnak. Ezért ezek a műszerek csak szinuszos lefolyású jelek vizsgálatára alkalmasak.

A váltakozófeszültség mérő analóg műszerek skálája

A csak egyenáramot mérő Deprez műszer skálája lineáris ugyan, de a félvezető egyenirányító nem lineáris karakterisztikája miatt általában a váltakozóáramú skála az ilyen műszeren sem teljesen lineáris.

Ezért az univerzális műszer skáláján több skála szokott lenni, pl.:

- DC V/A skála 100-as osztással (1, 10, 100 méréshatárokhoz)
- DC V/A skála 30-as osztással (3, 30, 300 méréshatárokhoz)
- AC V/A skála 100-as osztással
- AC V/A skála 30-as osztással
- Ω skála

Sokszor előfordul, hogy a legkisebb AC méréshatárhoz (pl. 1V) külön skálát adnak meg.

A műszer leolvasása előtt ezért - figyelembe véve, hogy DC vagy AC mérést végzünk, és milyen méréshatárban vagyunk - ki kell választani a leolvasandó skálát. A nem megfelelő skála használata komoly mérési hibákat okozhat.

Híradástechnikai AC feszültségmérésekhez (pontosabban a feszültség szint méréséhez) egyes műszerek skáláján dB (decibel) skálát is megadnak. (A GANZUNIV-3 műszer skáláját a 39. ábra mutatja). Az ún. **relatív** feszültség szint

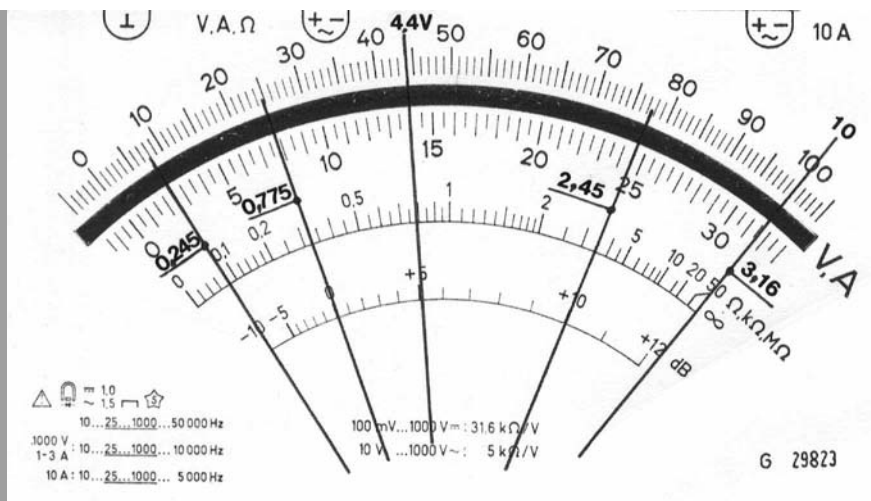
$$S_r[\text{dB}] = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{ki}}}{U_{\text{be}}}$$

ahol U_{ki} = feszültség az áramkör vizsgált helyén
 U_{be} = az áramkör bemenetén mért feszültség,

az ún. **abszolút** feszültség szint pedig a mért feszültséget ahhoz a (pontosan 775 mV) feszültséghez viszonyítja, amelynek hatására 600 Ohm terhelésen 1 mW teljesítmény disszipálódik:

$$S_a[\text{dB}] = 20 \cdot \lg \frac{U}{775 \text{ mV}}$$

ahol U = a mért feszültség.



39. ábra
dB skála a GANZUNIV-3 skálalapján

A műszer skáláit megfigyelve látható, hogy a legfelső, 100-as osztású skála „100” skálaosztása a felülről második, 33-as osztású skála 31,6 osztásával esik egybe. Ennek az az oka, hogy pontosan 3,16-os feszültségviszony felel meg 10 dB relatív feszültség szintnek a S_r képlete alapján. Már pedig $100/31,6 = 3,16$ ugyanúgy, mint $31,6/10$. Ilyen skála esetén tehát a méréshatár egy fokozattal való váltása éppen 10 dB változást okoz a mutató által kijelzett feszültség szintben.

Abszolút feszültség szint mérése

Az abszolút feszültség szint 775 mV mért feszültségnél 0 dB. Ezért a 6. ábrán látható dB skála „0 dB” pontja (felülről a második, 33-as osztású skálán, 3V-os méréshatárban) megfelel 775 mV feszültség értéknek. (Ellenőrizhetjük a dB skála többi pontjait is: pl. a -10 dB érték $775 \text{ mV} / 3,16 = 245 \text{ mV}$ feszültségnek, a +10 dB érték $775 \text{ mV} \cdot 3,16 = 2,45 \text{ V}$ feszültségnek felel meg, ld. az ábrán).

A 3V-os méréshatárban tehát a dB skáláról közvetlenül leolvasható a mért feszültség abszolút szintje.

Abban az esetben, ha a feszültség 3V-nál nagyobb, nagyobb méréshatárba kapcsolunk. A méréshatár minden egymásra következő fokozata 10-10 dB feszültség szint növekedésnek felel meg. Ha pl. a mérendő feszültség 4,4V, egy méréshatárral kell feljebb kapcsolnunk, a 10V-os méréshatárba. Ezért a leolvasott értékhez majd +10dB-t hozzá kell adnunk. A mutató 4,4V mérésekor a legfelső skála „44” pontjára mutat, ugyanekkor a dB skálán a „+5” osztásnál egy hajszállal többet, kb. +5,1 dB-t mutat (ld. az ábrán). A méréshatár váltás miatti +10 dB-t és a leolvasott +5,1 dB-t összeadva 15,1 dB abszolút feszültség szint adódik. Számítással ellenőrizhetjük, hogy

$$20 \cdot \lg \frac{4,4 \text{ V}}{0,775 \text{ V}} = 15,08 \text{ dB}$$

tehát a leolvasott eredmény megfelelő.

Ha a mutató nem lendül ki eléggé, kisebb méréshatárba váltunk. A méréshatár váltó minden egymásra következő fokozata 10 - 10 dB feszültség szint csökkenésnek felel meg, ezért a mérési eredmény meghatározásánál ennyi dB-t a leolvasott értékből le kell vonni. Pl. 44mV mérésekor 300 mV-os méréshatárba kell kapcsolni, ez a 3V-os méréshatárhoz képest 2 méréshatárnak felel meg (1V, 300 mV), e miatt a leolvasott értékből (felülről a második skálán „4,4”, a dB-skálán kb. „-5 dB”) 20 dB-t le kell vonni, az eredmény -25 dB. Számítással ellenőrizve

$$20 \cdot \lg \frac{0,044 \text{ V}}{0,775 \text{ V}} = -24,92 \text{ dB}$$

a leolvasott eredménynek megfelel.

2.3.2. Relatív feszültség szint mérése

A relatív feszültség szint mérése két lépésből áll:

- Megmérjük a bemenő jel abszolút feszültség szintjét (S_{be})

- Megmérjük a mérendő áramköri ponton a feszültség szintet (S_m)
majd a relatív feszültség szintet

$$S_r [\text{dB}] = S_m [\text{dB}] - S_{be} [\text{dB}]$$

képlet segítségével egyszerű kivonással határozzuk meg.

Pl. ha a mérendő ponton + 12 dB, az áramkör bemenetén - 18 dB az abszolút feszültség szint, akkor a relatív feszültség szint a mérési ponton

$$S_r = 12 \text{ dB} - (-18 \text{ dB}) = 30 \text{ dB}.$$

(Ha a relatív feszültség szint pozitív, az áramkör erősíti, ha pedig negatív, az áramkör csillapítja a bemenetre adott feszültséget.)

Megjegyzés:

Az egyes műszerek adatlapján a gyártó közli, hogy a műszer milyen *frekvenciájú* jelek mérésére alkalmas (ld. pl. 39. ábra skálalapja bal oldalán alul: a GANZUNIV-3 esetében a váltakozófeszültségű mérésre megadott pontossági osztály 10...50000 Hz közötti frekvenciájú jelek vizsgálata esetén érvényes). E frekvenciatartományon kívül a mért eredmény pontatlan.

3.15.11. Az oszcilloszkóp

Az oszcilloszkóp mérési elve

Az oszcilloszkóp sokoldalúan felhasználható elektronikus mérőműszer, melynek legáltalánosabban használt funkciója a *mérendő feszültség időbeli változásának vizsgálata*.

A mérési eredmény az oszcilloszkóp *katódsugárcsővének ernyőjén* jelenik meg.

(Megjegyzés: A legutóbbi időben megjelentek LCD megjelenítésű oszcilloszkópok is, amelyek folyadékkristály pontmátrix kijelzőjükön jelenítik meg a mérési eredményt. Noha e műszerek fejlődése nagyon lendületes, és kis méretűk, intelligens szolgáltatásai nagyon vonzóak, még nem egyenértékűek minden tekintetben a hagyományos katódsugárcsőves kijelzésű műszerekkel.)

A katódsugárcső egy elektroncső, melynek katódjából nagy sebességű, fókuszált elektronok haladnak az ernyő felé. Az ernyő belső felülete ún. *fényporral* van bevonva. A nagy sebességű elektronok mozgási energiája a fényporba történő becsapódáskor részben fény- részben pedig hőenergiává alakul át, így a becsapódás helyén egy fénypont válik láthatóvá.

A fénypont helyét az ernyőn a katódsugárcső *függőleges* illetve *vízszintes eltérítő elektródáira* adott feszültséggel lehet befolyásolni.

A *függőleges* eltérítő elektródapár két vízszintes, egymással szemben elhelyezett eltérítő lemezből áll, melyek között haladnak át a katódból az ernyő felé haladó elektronok. Ha e két eltérítő lemez közül pl. a felső pozitívabb, az alsó negatívabb potenciál van, a köztük áthaladó, negatív töltésű elektronokat a felső eltérítő lemez jobban vonzza mint az alsó, ezért az elektronsugár felfelé ható erő hat, és az felfelé térül el. Az eltérítő erő, és így az elektronsugár eltérülésének nagysága az eltérítő lemezek közé kapcsolt feszültséggel arányos. Az eltérítő elektróda párra fordított polaritású feszültséget kapcsolva, az elektronsugár lefelé térül el.

Teljesen hasonló módon téríti el vízszintes irányban az elektronsugarat a két függőleges, egymással szemben elhelyezett *vízszintes* eltérítő lemez, a köztük kapcsolt feszültség irányától függően balra vagy jobbra, illetve a feszültség nagyságával arányos mértékben.

Az eltérítő elektródákra kapcsolt, megfelelő irányú és nagyságú feszültséggel az elektronsugár becsapódási helye az ernyő aktív területének bármely pontjára beállítható.

Amikor az oszcilloszkópot a feszültség időbeli változásának vizsgálatára használják fel, a vízszintes eltérítő lemezpárra egy belső generátorból az idővel egyenletesen növekvő feszültséget kapcsolnak, melynek hatására az elektronsugár (tehát az ernyőn megjelenő fénypont) egyenletes sebességgel halad az ernyő bal oldalától a jobb oldaláig.

Ezzel egyidejűleg a függőleges eltérítő lemezpárra a mérendő feszültséggel arányos eltérítő feszültséget kapcsolnak. Ezért az elektronsugár függőleges irányban is eltérül, a vizsgált feszültség adott pillanatban mért értékével arányosan.

Mindez azt jelenti, hogy az ernyőn megjelenő fénypont vízszintesen az idővel arányos utat tesz meg, miközben függőlegesen az adott időpontban mért feszültséggel arányosan tér ki, tehát „felrajzolja” az ernyőre a mért jel feszültség/idő függvényét.

A katódsugárcsővel kapcsolatos tudnivalók, kezelő szervek és beállításuk

A fénypor

A fénypor feladata, hogy az elektronok becsapódása (*gerjesztés*) hatására fényt bocsátson ki. Elkerülhetetlen azonban, hogy a becsapódó elektronok energiájának egy része hővé alakuljon. Azt, hogy a becsapódott elektronok energiájának hány %-a alakul fénné, a fénypor *hatásfoka* adja meg. Ez - a fénypor összetételétől függően - 5% és 25% között van, tehát az energia nagyobb része hővé alakul.

Nagy fényerő esetén nagy a keletkező hő mennyisége is, és - különösen akkor, ha az elektronsugár az ernyőnek folytatólagosan ugyanazt a pontját gerjeszti - a fénypor az adott helyen túlhevülhet, és fénykibocsátó képessége csökkenhet vagy megszűnhet (a fénypor *kiég*).

Fényerő

A gerjesztés helyén létrejövő fény intenzitása és a keletkező hő mennyisége (a fénypor összetételén kívül) függ a beeső elektronok számától, azaz a katódsugárcső *katódáramától*. A katódáram - tehát a fényerő - az oszcilloszkóp előlapjára kivezetett fényerőszabályozó potenciométerrel állítható be, melynek szokásos felirata **INTENSITY (INT, INTENS)** esetleg **BRIGHTNES** (USA) vagy **BRILLIANCE** (GB). A potenciométert jobbra (az óramutató járásával megegyezően) elforgatva a fényerő nő.

A fénypor kiégésének elkerülése céljából a fényerőt mindig arra a minimális értékre kell beállítani, amely mellett az ernyőkép még jól kiértékelhető! (Ugyanezt indokolja az is, hogy az ernyőn megjelenő kép élessége annál nagyobb, tehát a mérési eredmény annál pontosabban olvasható le, minél kisebb a fényerő.)

Élesség (fókusz, asztigmatizmus)

Az ernyőn megjelenő fénypont élességét az előlapra kivezetett fókusz (**FOCUS**) potenciométerrel lehet beállítani. Ezt a kezelő szervet úgy állítsuk be, hogy az ernyőn megjelenő vonal minimális vastagságú legyen.

A fókusz beállításához az ernyő aktív felületének kb. 80%-át sűrűn kitöltő jelet jelenítsünk meg (pl. olyan szinuszjelet, amelynek 8-10 periódusa fér az ernyőre), amelyen jól látható, hogy a vonalak mind vízszintes, mind függőleges irányban kellően élesek-e. Silányabb minőségű oszcilloszkópoknál a kép élessége más fókusz beállításnál jó az ernyő közepén, ill. széleinek közelében. Ilyen esetben a fókuszt úgy kell beállítani, hogy az élesség főként az ernyő központi részén legyen jó, de az ernyő minden pontján legyen még elfogadható.

Egyes oszcilloszkópokon az előlapra is kivezetik, de (mivel kezelése ritkán szükséges) újabban inkább a műszer belsejében állíthatóan helyezik el az asztigmatizmus (**ASTIGMATISM, ASTIGM.** stb.) potenciométert, amellyel az állítható be, hogy a megjelenő kép vízszintesen és függőlegesen egyszerre legyen éles.

Skála

Az oszcilloszkóp nem csak a vizsgált jel alakjának megjelenítésére alkalmas, hanem számszerű jellemzőinek mérésére is. Az ernyőn a vízszintes tengely az időnek, a függőleges tengely a mért feszültségnek felel meg, az adott tengelyek mentén e mennyiségeket lehet leolvasni.

A leolvasást a katódsugárcső ernyője előtt elhelyezett („külső”) vagy az ernyő belső felületére felvitt („belső”) vízszintes és függőleges osztásvonalakból (*graticules*) álló skála teszi lehetővé.

A régebben alkalmazott „külső” skála az ernyő előtt elhelyezett átlátszó műanyag lapnak az ernyő felé eső oldalába gravírozott, négyzethálót alkotó osztásvonalakból áll. A műanyag lap oldalélét megvilágítva (skálavilágítás: **SCALE ILLUMINATION, SCALE ILLUM.**) a begravírozott osztásvonalak láthatóvá válnak. E megoldás hátránya, hogy - ugyanúgy, mint a mutatós műszereknél - ha a leolvasást nem a skálalapra merőleges irányból végzik, *parallaxishiba* lép fel. Előny viszont, hogy a skálalap cserélhető, és az adott mérési feladathoz speciális (pl. a mért jel megengedett tűrését is mutató) skálalapok alkalmazhatók.

A „belső” skálavonalakat a katódsugárcső ernyőjének belső felületére viszik fel. Mivel ekkor a skála és a keletkező fénypont egy síkban van, *parallaxishiba* nem lép fel. Alkalmas skálavilágítással a belső skálavonalak is kiemelhetők.

A korszerű oszcilloszkóp kezelő szervein beállítható, hogy vízszintes illetve függőleges irányban e skálavonalakból álló négyzetháló 1 osztása (osztás = division, rövidítve DIV) milyen időnek ill. feszültségnek feleljen meg.

Eltérően a mutatós műszertől, amely skálájának van „0” pontja, az oszcilloszkóp skálalapján nincs kijelölve „0” vonal. A mérést végző maga dönti el, hogy a skálalap melyik vonalát használja „0” szintnek, referenciának. E döntésnél azt kell figyelembe vennie, hogy a mérendő feszültség milyen értékek között változhat.

A bemenetre adott, a földhöz képest pozitív feszültség hatására az oszcilloszkóp ernyőjén a sugár felfelé, míg negatív feszültség hatására lefelé térül el. A mérési eredmény annál pontosabban olvasható le, minél nagyobb méretű az ernyőn megjelenő kép. Ezért:

- ha a mérendő feszültség a földhöz képest kb. egyforma nagyságú pozitív és negatív értéket vehet fel, biztosítani kell, hogy a sugár felfelé és lefelé is kb. azonos mértékben térhessen ki. Ekkor „0” szintnek az ernyő vízszintes középvonalát választjuk.

- ha a mérendő feszültség a földhöz képest pozitív, a sugár csak felfelé fog eltérülni, ezért „0” szintet (alapvonalat) az ernyő aljára állítjuk,

- ha a mérendő feszültség a földhöz képest negatív, a sugár csak lefelé fog eltérülni, ezért a „0” szintet az ernyő tetejére állítjuk.

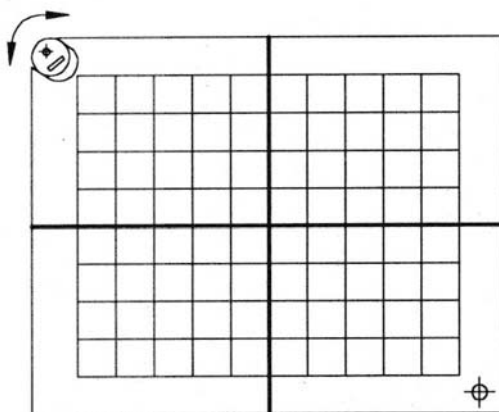
A „0” szintet (alapvonalat) az oszcilloszkóp függőleges eltérítő áramkörének (az előlapra szerelt) függőleges pozíciószabályozó potenciométerével lehet a megfelelő helyre beállítani. E potenciométer előlapi felirata: **VERTICAL POSITION, VERT.POS, POSITION, Y POSITION** stb. (Az ernyőn alkalmazott derékszögű négyzetháló vízszintes tengelyét és az ilyen irányú eltérítést a matematikai analógia alapján szokás **X**, a függőleges tengelyt és a függőleges irányú eltérítést **Y** irányú eltérítésnek nevezni.)

A korszerű oszcilloszkópokat nagy aktív felületű (általában vízszintesen 10, függőlegesen 8 DIV méretű), négyzetes ernyőjű katódsugárcsővel készítik.

Az ernyőn megjelenő kép kiértékelésekor a sugár eltérülését mindig a beállított „0” szinthez (alapvonalhoz) képest kell meghatározni. Ezt segíti a (normál méretű asztali oszcilloszkóp skálalapján megszokott kb. 10 mm-es raszterhálón [1 DIV = 10 mm]) kívül pl. a függőleges és vízszintes felezővonalon található, finomabb (2 mm-es) osztás is.

Sugárforgatás

A katódsugárcső katódjától az ernyő felé haladó elektronsugarat nem csak az eltérítő lemezek közé kapcsolt feszültségből adódó elektrosztatikus erőter téríti el, hanem az oszcilloszkópot körülvevő mágneses erőter is. Utóbbi zavaró hatásának a kiküszöbölésére a katódsugárcsövet speciális fémből (mumetall) készült mágneses árnyékolással veszik körül. Ez az árnyékolás azonban nem elegendő a Föld mágneses hatásának teljes kiküszöbölésére. Ha az oszcilloszkópot átviszlik egy másik terembe, vagy akár csak 180 fokkal elfordítják eredeti pozíciójához képest, az ernyőn a sugár korábbi helyzetéből elmozdulhat. Ha a sugár vízszintesen, vagy függőlegesen mozdul el, a vízszintes vagy függőleges pozíciószabályozó potenciométerrel az eredeti helyzetébe visszaállítható. Előfordulhat azonban az is, hogy a Föld mágneses terének hatására a sugár elfordul, azaz a skálalapon található vízszintes ill. függőleges tengellyel nem lesz párhuzamos, hanem azzal szöget zár be. Erre az esetre felkészülve a külső skálás oszcilloszkóp műanyag skálalapját nem fixen erősítik fel, hanem egyik sarka körül elfordíthatóan (40. ábra). A skálalap ezzel szemközt sarkának pontos helyzetét egy excenterrel lehet úgy beállítani, hogy a skála vízszintes középvonala párhuzamos legyen az ernyőn megjelenő (függőleges eltérítés nélküli) sugárral.



40. ábra.
Külső skálalap

Belső skálás oszcilloszkópnál a skála elfordítása lehetetlen, ezért az elektronsugarat egy, a mágneses árnyékoláson belül elhelyezett tekercsbe vezetett, a sugárforgatás (**TRACE ROTATION, TRACE**

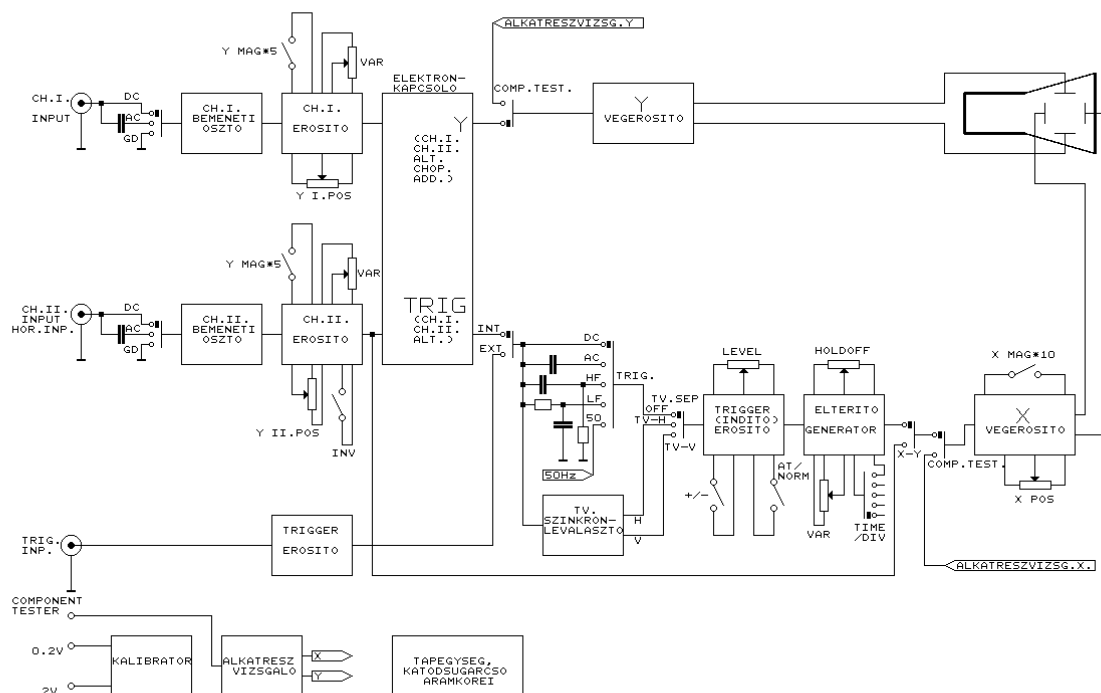
Az oszcilloszkóp használatba vételekor meg kell győződni arról, hogy a sugár párhuzamos-e a skála alapvonalával. Szükség esetén a külső skála elbillentésével, vagy belső skála esetén a sugár forgatás beállításával a skálát és az alapvonalat párhuzamos helyzetbe kell állítani!

A helyesen beállított oszcilloszkópot bekapcsolva, az ernyőn vízszintes vonal jelenik meg. Ha ez nem így történik, annak több oka is lehet. Ez a helyzet pl. akkor, ha a sugár vízszintes vagy függőleges pozícióját szabályozó potenciométer el van állítva: ekkor a sugár az ernyő aktív felületén kívülre kerülhet, és nem látható.

A korszerű, félvezetőes oszcilloszkópokban más megoldásokat alkalmaznak. Ritkábban elektronikus áramkör figyeli a sugár pozícióját, és ha az elhagyta az ernyő aktív felületét, a megfelelő irányba mutató nyíl alakú LED gyullad ki.

A gyakoribb megoldás a sugárkereső (**TRACE FINDER, BEAM FINDER**) alkalmazása. A sugárkereső gomb benyomásakor mind a vízszintes, mind a függőleges erősítés annyira lecsökken, hogy a sugár pozícióját szabályozó gombok teljesen elforgatott helyzetében is megjelenik a sugár az ernyőn. Ha ekkor a pozíciószabályozó gombokkal a sugarat az ernyő közepére állítják, a sugárkereső gomb felengedése után a sugár az ernyőn marad. Egyes oszcilloszkópok sugárkereső gombja megnyomásakor az indítás szabadonfutó üzembe kerül (ld. később), a fényerő is automatikusan megnő, a fókuszs pedig elállítódik, azért, hogy a sugár mindenképpen megjelenjen az ernyőn, de ne okozza a fénypor kiégését.

Egy korszerű (de egyszerű) oszcilloszkóp tömbvázlatát a 41. ábrán láthatjuk.



31

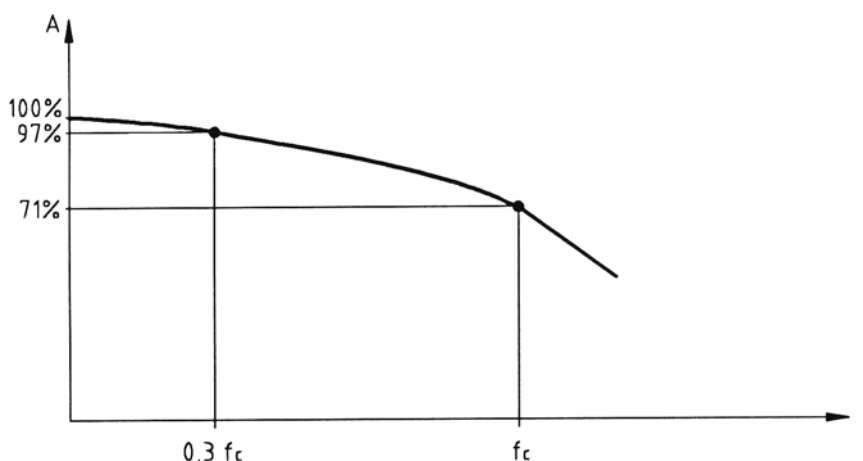
Függőleges (Y) eltérítés

Működési frekvenciatartomány

Már említettük, az Y eltérítés a skálalap Y, azaz függőleges tengelye irányú eltérítést jelenti. Az oszcilloszkóp szokásos üzemmódjában a függőleges eltérítő elektródákra a felerősített mért jel, a vízszintes eltérítő elektródákra pedig az idővel arányosan növekvő jel („fűrészjel”, ld. később) kerül.

A katódsugárcső függőleges eltérítő elektródáira (csőtípustól függően) néhányszor 1-10 V feszültséget kell kapcsolni a sugár 1 DIV eltérítéséhez. A mérendő feszültség azonban sokszor csak néhány millivolt, ezért szükséges a mért jelet a szükséges mértékben felerősíteni, mielőtt a függőleges eltérítő lemezpárra jutna.

A korszerű oszcilloszkópban alkalmazott erősítő már DC-től (egyenfeszültségtől, azaz 0 Hz frekvenciától) erősít, a frekvencia növekedésével azonban erősítése csökken (42. ábra). Azt a frekvenciát, ahol az erősítő erősítése (általában 100 kHz-es „referencia” jelhez képest) 3 dB-el (azaz a feszültségerősítés kb. a 71%-ára) csökken, *határfrekvenciának* nevezik (f_c).



42. ábra

Oszcilloszkóp függőleges erősítőjének frekvenciamenete

A függőleges erősítő erősítésének a csökkenése miatt az ernyőn megjelenő jel függőleges mérete is csökken. Ha pl. a bemenő osztón 1V/DIV eltérítési érzékenységet állítunk be, egy 100 kHz-es, 3V amplitudójú szinuszjel +/-3 DIV, azaz csúcstól csúcsig 6 DIV nagyságú ábrát hoz létre a katódsugárcső ernyőjén. Ugyanekkora amplitudójú, de f_c frekvenciájú szinuszjel erősítése az előbbinek már csak 71%-a, tehát az ernyőn csak kb. 4,2 DIV függőleges méretű szinuszjel jelenik meg, azaz ha a jel nagyságát az oszcilloszkóp ernyőjéről olvassuk le, a jel csúcstól csúcsig vett értékét a tényleges 6V helyett 4,2V-nak mérhetjük.

Ez azt jelenti, hogy a mért jel frekvenciájától függő, nem elhanyagolható mértékű mérési hiba jön létre. Felvetődik a kérdés, hogy mindezek után mi a feltétele annak (milyen lehet a mért szinuszjel legnagyobb frekvenciája), hogy a mért (az ernyőről leolvasott függőleges méretet a függőleges osztó által megadott V/DIV értékkel beszorzott) feszültség az oszcilloszkóp adatlapján megadott, általában $\pm 2...3\%$ tűrésen belül maradjon a feszültség tényleges értékéhez képest.

Úgy tekinthetjük, hogy ez a frekvencia $0,3 f_c$, ugyanis általában az erősítés ezen a frekvencián csökken kb. 3%-al.

Feszültségméréskor az oszcilloszkóp mérési pontossága akkor tekinthető az adatlapján megadottnak, ha a mért (szinusz-) jel frekvenciája nem nagyobb, mint az oszcilloszkóp határfrekvenciájának (f_c) 0,3-szorosa. Ennél nagyobb frekvenciájú (szinusz-) jelnél feszültségméréskor figyelembe kell venni az oszcilloszkóp függőleges erősítőjének frekvenciamenetét, és az annak megfelelő korrekciót kell alkalmazni.

(Azt, hogy *szinuszjel* méréséről van szó, azért kell hangsúlyozni, mert más jelalak esetén a jel az alapharmonikusán kívül harmonikusokat, azaz magasabb frekvenciájú komponenseket is tartalmaz, melyeket a függőleges erősítő frekvenciájuktól függően, nem egyforma mértékben erősít. Ennek eredményeként nem szinuszos jel mérésekor az ernyőn akkor is torzított jelalak jelenhet meg, ha a mért jel frekvenciája kisebb, mint $0,3 f_c$.)

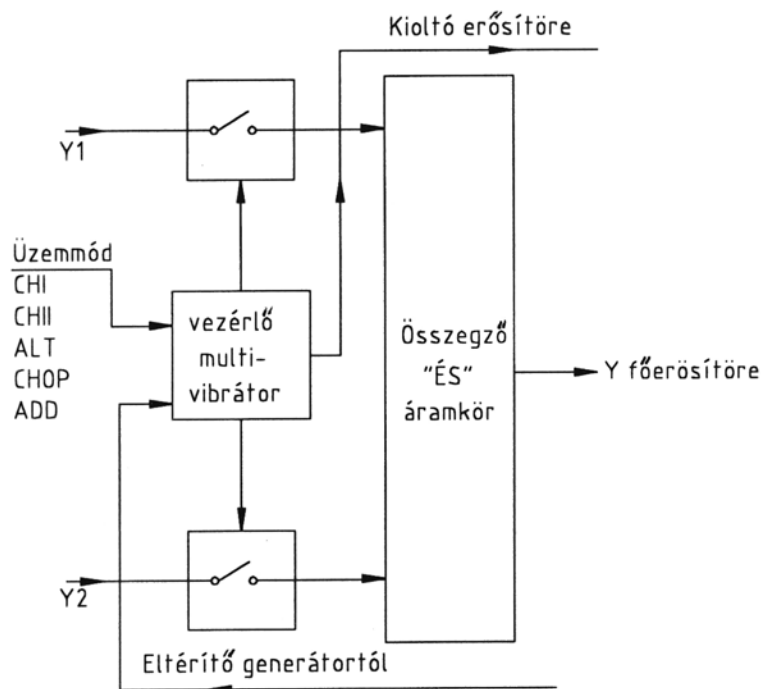
Csatornák

A korszerű oszcilloszkópok alkalmasak arra, hogy ernyőjükön egyidejűleg két (vagy több) jelalakot jelenítsenek meg, így lehetővé téve azok összehasonlítását, időbeli lefolyásuk egymáshoz képesti vizsgálatát. Az oszcilloszkóp annyi „csatornás” (csatorna = **CHANNEL**, rövidítve **CH**), amennyi jelet az ernyőjén egyidejűleg megjeleníteni képes. A komolyabb oszcilloszkópok legalább kétcsatornásak.

Az általánosan alkalmazott „elektronkapcsolós kétsugaras” (két nyomvonalas, **DUAL TRACE**) oszcilloszkópban a katódsugárcső egyetlen elektronsugarát kapcsolják át egy elektronikus áramkör: az elektronkapcsoló alkalmazásával úgy, hogy hol az egyik, hol a másik csatorna bemenetére adott jel képe jelenik meg az ernyőn.

Az elektronkapcsoló üzemmódjai

Az elektronkapcsoló (43. ábra) két bemenetére előzetes erősítés után érkezik a két csatornabemenetre (CH.I, CH.II) adott jel. Az elektronkapcsoló Y kimenetén megjelenő jel a beállított üzemmódtól függ.



43. ábra
Elektronkapcsoló

a) **CH I.** üzemmódban az elektronkapcsoló az I. csatorna jelét kapcsolja az Y kimenetre, ekkor tehát az ernyőn csak az I. csatorna jele jelenik meg.

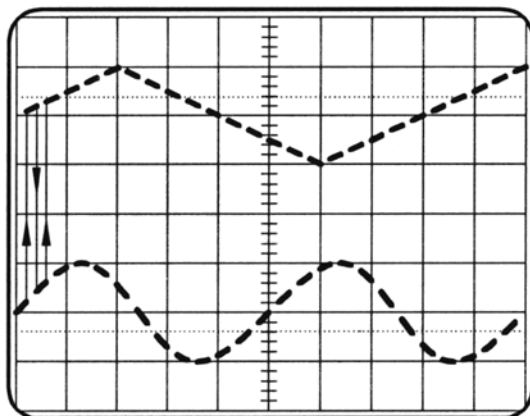
b) **CH II.** üzemmódban az elektronkapcsoló a II. csatorna jelét kapcsolja az Y kimenetre, ekkor tehát az ernyőn csak a II. csatorna jele jelenik meg.

c) **ALT** (=ALTERNATE, váltakozó) üzemmódban az elektronkapcsoló először az I. csatornát kapcsolja az Y kimenetre, ekkor az elektronsugár az ernyőre rajzolja az I. csatorna jelét. Amikor az elektronsugár e jel rajzolását befejezte (elért az ernyő jobb oldalára), rövid idő alatt visszafut az ernyő bal oldalára. A visszafutással egyidejűleg az elektronkapcsoló átkapcsolódik a II. csatornára, és annak a jelét kapcsolja az Y kimenetre. Az elektronsugár következő lefutásakor így a II. csatornára adott jelet rajzolja az ernyőre. A sugár minden visszafutásával egyidejűleg az elektronkapcsoló átvált, így felváltva rajzolja az ernyőre az I. és II. csatornára kapcsolt jelalakot. Ha az elektronsugár rövid idő alatt járja be balról jobbra az ernyőt (majd indul el ismét), az I. és II. csatorna rajzolása között olyan rövid idő telik el, hogy a szem tehetetlensége (és a fénypor utánvilágítása) miatt úgy látjuk, mintha a két csatorna jelének képe egyszerre lenne jelen az ernyőn.

(A *szem tehetetlensége*: a tapasztalatok szerint az emberi szem az 1/1000 másodpercre felvillanó képet kb. 1/16 másodpercig látja. Ha tehát legalább 1/16 másodpercenként felvillan az ernyőn egy kép, úgy látjuk, mint ha az folyamatosan az ernyőn lenne.)

d) **CHOP** (=CHOPPED, szaggatott) üzemmódban az elektronkapcsoló szintén váltakozva kapcsolja az Y kimenetre az I. illetve a II. csatorna jelét, de az átkapcsolás az elektronsugárnak az ernyőn való

helyzetétől függetlenül, az adott műszertől függően 100 kHz - 1MHz átkapcsolási frekvenciával történik. Ennek megfelelően, a sugár az ernyőn balról jobbra egyenletesen haladva, függőleges irányban hol az egyik, hol a másik csatorna jeléből rajzol az ernyőre egy szakaszt (44. ábra).



44. ábra
CHOPPED üzemmód

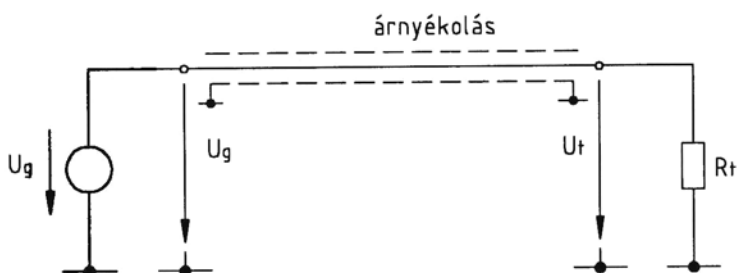
Tekintettel arra, hogy az átkapcsoló jel frekvenciája csak a legritkábban adódik a vizsgált jel frekvenciájának egészszámú többszörösére, a sugár következő lefutásakor mindkét csatorna jeléből más-más szakaszt rajzol le, és így összességében megint csak úgy látjuk, mint ha a két csatorna jele egyszerre lenne jelen az ernyőn.

e) **ADD** (algebrai összegzés) üzemmódban mindkét csatorna jele az összegző áramkör bemenetére kerül és az Y kimeneten a két csatorna jelének algebrai összege jelenik meg. Ha az egyik csatorna jelét (még az elektronkapcsolóra jutása előtt) fázisfordító (invertáló) áramkörre vezetik, az „összegzés” eredménye a két csatorna jelének különbsége lesz (ld. szimmetrikus jelek mérése).

Csatornabemenetek

A villamos jelek vezetékes átvitele alapvetően két elven történhet.

a) *Aszimmetrikus* hálózatonál (45. ábra) mind a jelforrás, mind a terhelés egyik kapcsa földelve van („hideg pont”), míg a jel a jelforrást és a terhelést összekötő vezetéken halad („meleg pont”).



45. ábra
Aszimmetrikus jelátvitel

A jel a „meleg pont” és a föld között mérhető.

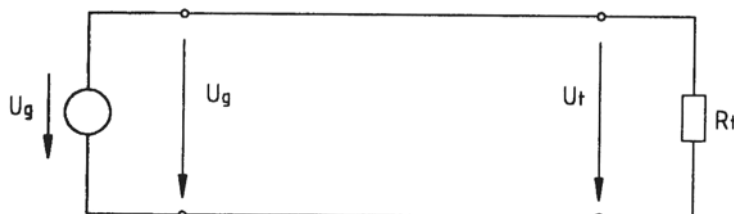
Ha a jelet szállító vezeték elektromágneses erőterbe kerül (már pedig gyakorlatilag mindig ez a helyzet), feszültség indukálódik rajta. Ez a zavarfeszültség (a terhelésen mérve) a jelforrás által generált feszültségre szuperponálódik.

Az ilyen zavarok kiküszöbölése céljából az aszimmetrikus jelet szállító vezeték „meleg” erét egy vezető anyagból készült „árnyékolással” (sűrű drótfonat vagy vékony fólia) veszik körül, ez az *árnyékolt kábel*. A külső elektromágneses tér az árnyékolásban feszültséget indukál, amely olyan örvényáramokat hoz létre, melyek mágneses hatásukkal (az árnyékolás belsejében) semlegesítik a külső mágneses teret. Ezért az árnyékolt kábel „meleg” ere védett a külső mágneses terek által keltett zavarfeszültségekkel szemben.

Aszimmetrikus pl. a jelátvitel az árnyékolt mikrofonkábelen vagy a koaxiális TV antennakábelen.

Az oszcilloszkópok csatorna bemenetei aszimmetrikus rendszerűek, azaz a mérendő jelet a föld és a csatlakozó „meleg” pontja közé kell kapcsolni. (A bemenő csatlakozó újabb oszcilloszkópoknál BNC típusú.) Az oszcilloszkóp bemenő ellenállása rendszerint $1\text{ M}\Omega$, amellyel $10\text{--}40\text{ pF}$ kiküszöbölhetetlen szórt kapacitás kapcsolódik párhuzamosan.

b) Szimmetrikus jelátvitelnél (46. ábra) a jelforrást és a terhelést két vezeték köti össze. Egyik vezeték sincs leföldelve. *A jel a két vezeték között mérhető.*

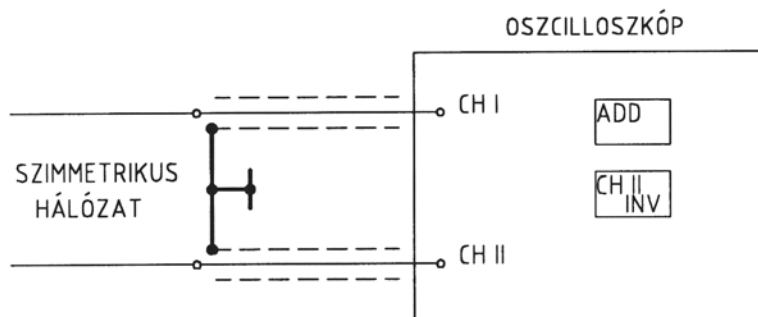


46. ábra
Szimmetrikus jelátvitel

Szimmetrikus jelátvitelnél a külső elektromágneses terek elleni zavarvédelem úgy valósul meg, hogy a jelet szállító két vezeték közvetlenül egymás mellett halad, azaz a külső elektromágneses tér hatására mindkét vezetékben ugyanakkora zavarfeszültség indukálódik. Mivel a hasznos jel a két vezeték közötti feszültségkülönbség, a két vezetékben keltett egyforma zavarfeszültségek különbsége pedig 0, a hasznos jel nem tartalmaz zavart.

Szimmetrikus a jelátvitel pl. a vezetékes távbeszélő vonalon.

A szimmetrikus átvitelnél egyik jelet továbbító vezetékét sem szabad leföldelni, mert ezzel megszűnne a szimmetria, azaz, hogy az indukálódott zavarfeszültség mindkét vezetékben egyforma. Ezért a szimmetrikus hálózatot nem kapcsolhatjuk mérés céljából az oszcilloszkóp egyik csatorna bemenetére, hiszen a csatorna bemenet aszimmetrikus, azaz egyik pólusa maga a föld. Szimmetrikus hálózat vizsgálatához az oszcilloszkóp mindkét csatornáját használnunk kell a 47. ábra szerinti módon.



47. ábra
Szimmetrikus hálózat mérése oszcilloszkóppal

Az egyik jelvezetékét a CH I., a másik jelvezetékét a CH II. csatornabemenet „meleg” pontjára kapcsoljuk, az egyik csatornabemenet jelét invertáljuk, az elektronkapcsolót ADD üzemmódba kapcsoljuk. Ekkor az Y csatorna az „elektronkapcsoló üzemmódjai” e) pontban ismertetett különbségképző állapotba kerül, azaz az ernyőn a szimmetrikus hálózat két vezetéke közötti feszültségkülönbség, tehát a hasznos jel jelenik meg. (Természetesen ekkor mindkét csatorna bemenő osztóját azonos V/DIV állásba kell állítani.)

AC/DC/GND átkapcsoló

Az oszcilloszkóp alkalmas arra, hogy egyenfeszültséget mérjen: ha a bemenetre csak egyenfeszültséget kapcsolunk, az elektronsugár által az ernyőre rajzolt vízszintes egyenes függőleges helyzete változik meg (pozitív feszültség esetén felfelé, negatív feszültség mérésénél lefelé térül el).

A csatornák bemenetén átkapcsoló található, melynek állásai:

- **DC** állásában a csatornabemenetre adott jel teljes egészében tovább jut a megfelelő csatorna bemeneti osztójára.

- **AC** állásban a bemenettel egy nagy kapacitású kondenzátor kapcsolódik sorba. Ez a kondenzátor a bemenetre kapcsolt egyenfeszültség számára szakadást jelent, míg a (legalább néhány Hz frekvenciájú) váltakozófeszültségű komponenseket átengedi. Ilyen kapcsolóállásban tehát az ernyőn a vizsgált jelnek csak a váltakozófeszültségű komponense jelenik meg. (Nagy periódusidejű impulzusok vizsgálatakor a soros kondenzátor jeltorzulást: az impulzus tetőesését okozza!)

E kapcsolóállás alkalmazása akkor indokolt, ha nagy egyenfeszültségre szuperponált kis váltakozófeszültséget kell megvizsgálni.

- **GD** állásban a kapcsoló az oszcilloszkóp csatornaerősítőjének (bemeneti osztójának) bemenetét (nem a mért jelet!!!) leföldeli. Ebben a kapcsolóállásban úgy lehet beállítani az „alapvonal” függőleges helyzetét, hogy e közben a csatornabemenetre kapcsolt jelet nem kell lekapcsolni.

Bemeneti osztó

Az oszcilloszkóp Y csatornájának erősítőit úgy méretezik, hogy a bemenetre adott néhány (pl. 5) mV feszültség hatására az ernyőn a sugár függőleges kitérése 1 DIV (pl. 10 mm) legyen. Szokásos, hogy az ernyő skálája függőleges irányban 8, vízszintes irányban 10 osztást tartalmaz. Így ha az alapvonalat a legalsó vízszintes skálavonalra állítjuk, $8 \times 5 = 40$ mV feszültség hatására a sugár már a legfelső skálavonalra kerül. Ennél nagyobb bemenő feszültség a sugarat már az ernyő aktív területén kívülre térítené ki.

Az oszcilloszkóp azonban ugyanolyan „univerzális” műszer, mint a multiméter, azaz a bemenő feszültségek széles tartományában alkalmas kell, hogy legyen a mérések végzésére. Azt, hogy a sugár az ernyő aktív területén maradjon nagyobb feszültségek mérésekor is, úgy érik el, hogy - hasonlóan a digitális multiméterhez - nem a bemenetre kapcsolt teljes feszültséget, hanem annak csak egy, a *bemeneti osztó* által leosztott részét kapcsolják az erősítő bemenetére.

A csatorna bemeneti osztóját fokozatkapcsolóval lehet beállítani. Az óramutató járásával azonos irányba forgatva a kapcsolót, az oszcilloszkóp érzékenysége általában egyre nő; végállásban a legnagyobb érzékenység.

A bemeneti osztót úgy készítik el, hogy bármely osztási állásában ugyanakkora (1 M Ω) bemenő ellenállást, illetve bemenő kapacitást biztosítson, és a feszültségosztás frekvenciafüggetlen legyen.

Az oszcilloszkóp bemeneti osztójával a szokás szerint egy dekádban (tízszerez feszültségtartományban) három érzékenység állítható be, pl. az 1...10V tartományban 1V/DIV, 2V/DIV és 5V/DIV. (Emlékezzünk vissza, hogy a mutatós műszereknél viszont egy dekádban csak két fokozat, pl. 1V és 3V végkitérés volt beállítható. Ennek oka az volt, hogy így volt biztosítható, hogy bármely méréshatárban a mutató legalább a skála második harmadába térjen ki, amit viszont a megfelelő mérési pontosság igénye indokolt.) Az oszcilloszkóp feszültség leolvasási pontossága szintén függ az ernyőn megjelenő ábra függőleges méretétől: minél nagyobb az ábra, annál pontosabb lehet a leolvasás. Itt akkor mondható a mérési pontosság megfelelőnek, ha a sugár függőleges kitérése legalább 3-4 DIV. Ahhoz pedig, hogy bármilyen mért feszültségnél a bemenő osztó állításával ekkora jel kitérést érjünk el, egy dekádon belül három érzékenység fokozat szükséges.

Vízszintes (X) eltérítés

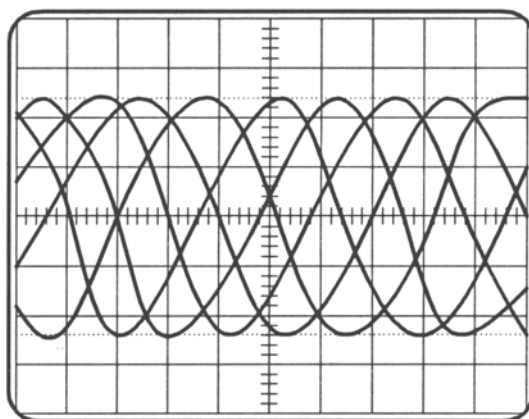
Indítás (triggerelés)

A hagyományos (real time) oszcilloszkópon az elektronsugár a vizsgált jel lefutásával egyidejűleg rajzolja fel annak időképét az ernyőre. Az általánosan alkalmazott fénypor utánvilágítási ideje néhány ezredmásodperc, az egyszer felrajzolt képet a szem 1/16 másodpercig látja. Ha az oszcilloszkóp csak egyszer rajzolná ernyőjére a jelalakot, az kb. 1/16 másodperc elteltével már nem lenne látható. A jelalak kiértékelése azonban ennél sokkal több időt igényel, arra van szükség, hogy a jel időképe a mérés alatt folyamatosan látható legyen az ernyőn.

Ezt úgy érik el, hogy az elektronsugár nem egyszer rajzolja fel az ernyőre a vizsgált jel időképét, hanem rövid időnként ismétlődően. Amikor a kép felrajzolása befejeződött (a sugár elérte az ernyő jobb szélét), az elektronsugár rövid idő alatt visszatér az ernyő bal szélére, és a kép felrajzolása ismét

megkezdődik. (Természetesen ilyen módon csak olyan jelet lehet oszcilloszkópon vizsgálni, amely periodikus, azaz ugyanazok a jelrészletek folytonosan ismétlődnek.)

Abban az esetben, ha nem volna kapcsolat a kép felrajzolásának ismétlődési ideje és a vizsgált jel periódusideje között, az elektronsugár minden rajzoláskor más fázisban rajzolná fel a képet az ernyőre („szabadonfutó” indítás) (48. ábra).

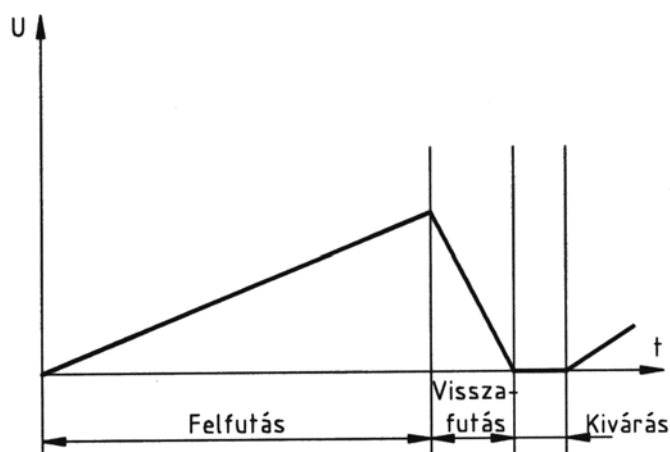


48. ábra
Szinuszos jel (szabadonfutó) ernyőképe

Így az ernyőn egymásra rajzolt különböző fázisú jelekből álló, kiértékelhetetlen kép alakul ki. Ahhoz, hogy a jel értékelhető legyen, „megálljon” az ernyőn, az szükséges, hogy az elektronsugár minden újabb rajzoláskor az előzővel azonos fázisban rajzolja fel a jelet. Ezt a korszerű oszcilloszkópon az *indítás (triggerelés)* révén valósítják meg.

A triggerelhető (indítható) oszcilloszkóp működése a következő:

Az ernyőn megjelenő fénypontnak a vízszintes irányú mozgását a *vízszintes eltérítő generátor* által keltett (és erősítés után a katódsugárcső vízszintes eltérítő elektródáira kerülő) „fűrészjel” (**SAW-TOOTH**) biztosítja (49. ábra). A fűrészjel *felfutási* szakasza lineáris (egyenes), ez alatt a fénypont az ernyőn egyenletes sebességgel halad balról jobbra, majd a *visszafutás* alatt a fénypont rövid idő alatt visszatér az ernyő bal oldalára. Ezt a *kivárás (HOLD-OFF)* szakasza követi, amely idő alatt a fénypont az ernyő bal oldalán várakozik. A felfutási szakasz időtartama széles tartományban beállítható (**TIME/DIV** fokozatkapcsoló), így válik lehetővé a különböző periódusidejű jelalakok oszcilloszkópos megfigyelése.



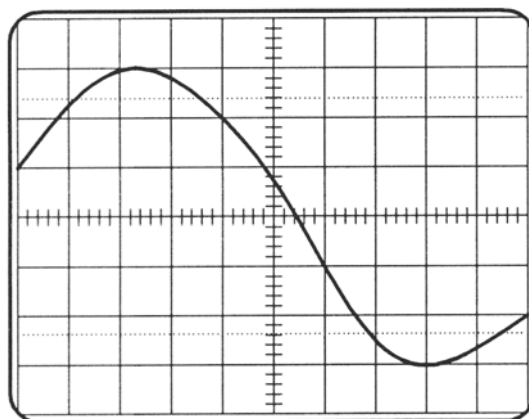
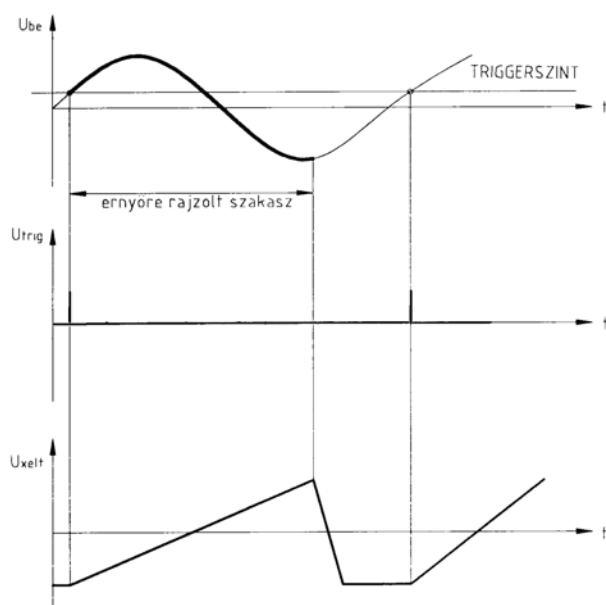
49. ábra
Fűrészjel

A vízszintes eltérítő generátor vezérli a *kivilágító áramkört*, mely a katódsugárcső katódáramát, tehát a fényerőt vezérli, és melynek feladata, hogy csak a felfutási idő alatt „világítsa ki” a fénypontot az ernyőn, a visszafutás és kiválás alatt az ernyő sötét marad.

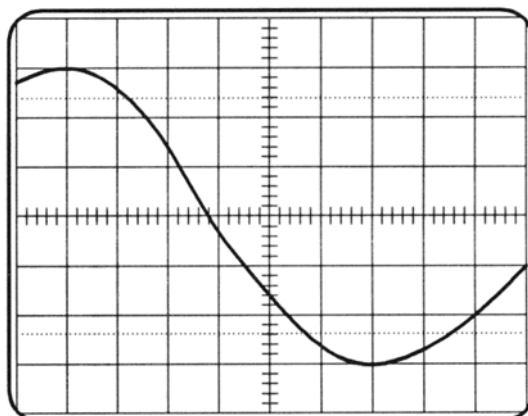
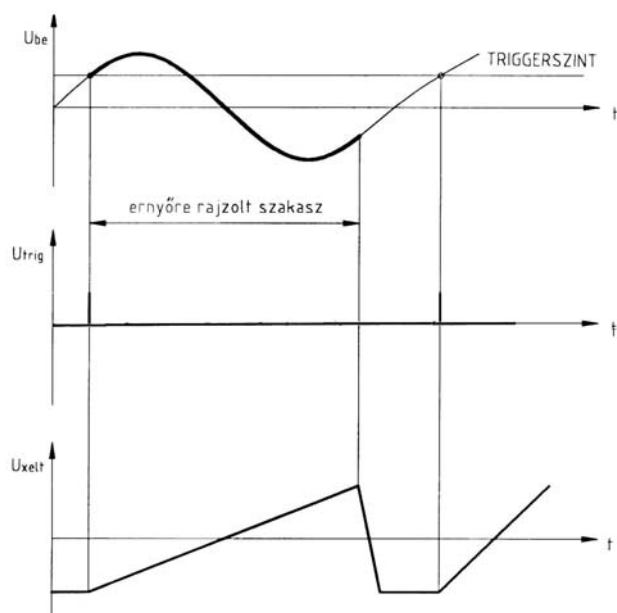
A „kiválás” után a „felfutás” szakasz a *trigger (indító)* jel hatására kezdődik. A trigger jelet (általában a mért jelből) az oszcilloszkóp *indítójelképző áramkör*e állítja elő (50. ábra).

Az indítójelképző áramkör abban a pillanatban ad ki egy-egy indító (trigger) impulzust, amikor a bemenetére kapcsolt (mért) jel feszültsége átlépi az indítójelképző áramkör *indítási szint (TRIGGER LEVEL)* potenciométerén beállított feszültség értékét.

A trigger (indító) impulzus hatására kezdődik meg a vízszintes eltérítő jel felfutási szakasza, ekkor az elektronsugár „kivilágosodik” és az ernyőre rajzolja a mért jelalak egy, a beállított felfutási idő által meghatározott szakaszát. A jel rajzolása abban a pillanatban kezdődik, amikor a trigger impulzus megjelent, tehát az ernyő bal oldalán megjelenő jel feszültségének kezdőértéke azonos a beállított indítási szinttel. Az indítási szint változtatásával az ernyőn megjelenő kép kezdőfázisa változik (ld. az 50.a. és 50.b. ábrát).



50.a) Triggerjel képzése alacsony triggerszintnél és a keletkező ernyőkép



50.b) Triggerjel képzése magas triggerszintnél és a keletkező ernyőkép

A következő felfutás csak a következő trigger impulzus beérkezésekor indul meg, az pedig akkor keletkezik, amikor a mért jel ugyanabban a fázisban van (ugyanazt a feszültségszintet lépi át) mint az előző indításkor. Így tehát az elektronsugár az ernyő bal oldaláról indulva, mindig ugyanabban a fázisban rajzolja fel a jelet. Ha a felrajzolás kellő gyakorisággal történik, az ernyőn megjelenő kép villogásmentes, és, úgy látszik, mintha egy jel „állna” az ernyőn.

Automata triggerelés

Az indítójelképző áramkör akkor hozza létre a trigger impulzust, amikor a bemenetére adott jel feszültsége átlépi az előlapi TRIGGER LEVEL potenciométerrel beállított feszültségszintet.

Abban az esetben, ha az indítójelképző áramkör bemenetére nem adunk jelet, vagy ha a jel feszültsége nem éri el a beállított TRIGGER LEVEL értéket, trigger impulzus nem keletkezik, azaz a vízszintes eltérítés felfutása nem indul meg, és a kivilágosító áramkör az ernyőt sötétíti.

A tapasztalatok szerint a sötét ernyő zavarja a mérést végző személyt, mert nem tudja, hogy a kép hiánya a trigger impulzus hiányából fakad, vagy az oszcilloszkóp meghibásodásából (esetleg kezelőszerveinek rossz beállításából).

E zavaró hatás kiküszöbölésére komolyabb oszcilloszkópokon beállítható az **AUTOMATA (AUTO, AT)** trigger üzemmód. Ebben az üzemmódban az „automata” áramkör figyeli azt, hogy (a TIME/DIV fokozatkapcsoló beállításától függő) időtartam alatt keletkezett-e trigger impulzus, és ha nem, maga az áramkör indítja el bizonyos időnként a sugár vízszintes lefutását. Így el lehet érni, hogy a sugár akkor is megjelenjen az ernyőn, ha trigger jel nem keletkezik.

Egyszeres lefutás (SINGLE SWEEP)

Bizonyos esetekben (pl. az ernyő fényképezésekor) kívánatos lehet, hogy a sugár csak az üzemmód beállítása utáni első keletkező trigger jelre, egyszer fusson le.

Jobb minőségű oszcilloszkópokon beállítható a **SINGLE SWEEP** üzem. Ekkor az áramkörhöz tartozó **RESET** gomb megnyomásával lehet a trigger áramkört készenléti állapotba helyezni, az ezt követő első trigger impulzus indítja az elektronsugár egyszeri lefutását. Az ezt követő trigger impulzusok (a RESET gomb ismételt megnyomásáig) hatástalanok.

Vízszintes eltérítő generátor

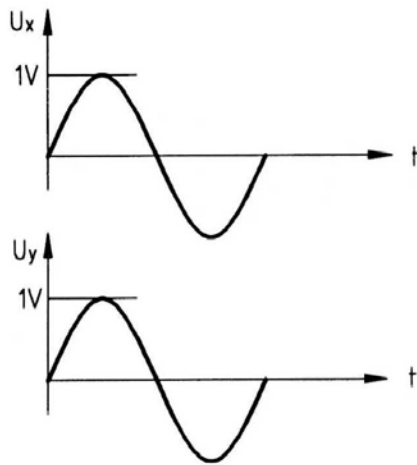
Az oszcilloszkóp szokásos (a jel időfüggvényét az ernyőre rajzoló) üzemmódjában a katódsugárcső vízszintes eltérítő elektródáinak vezérléséhez szükséges fűrészelet a *vízszintes eltérítő generátor* állítja elő. A fűrészelet felfutása a generátort indító trigger jel hatására indul meg, időtartamát pedig a **TIME/DIV** fokozatkapcsolóval lehet beállítani

X-Y üzemmód

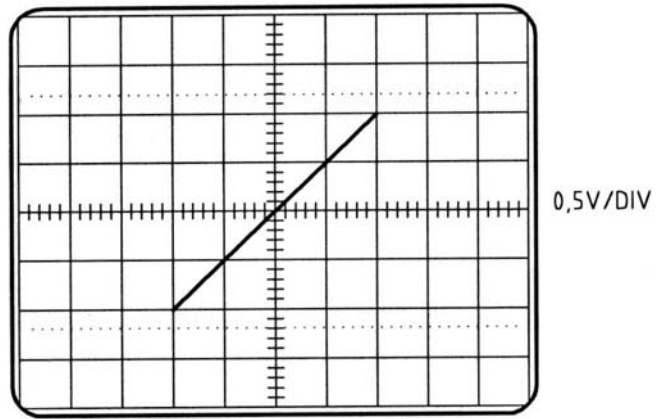
X-Y üzemmódban - a szokásostól eltérően - az oszcilloszkóp az egyik csatornabemenetre kapcsolt jel a függőleges (Y), a másik csatornabemenetre kapcsolt jel a vízszintes (X) irányú eltérítést vezérli, tehát a két bemenetre adott jelet az oszcilloszkóp az XY koordináta-rendszerben rajzolja az ernyőre.

Az X-Y üzemmód bekapcsolásakor nem a vízszintes eltérítő generátor, hanem (a 41. ábra szerinti oszcilloszkópnál) a CH.II. erősítő kimenő jele juthat tovább a vízszintes (X) végerősítő bemenetére. Az Y végerősítő bemenetére az elektronkapcsoló által szolgáltatott jel kerül.

Könnyen belátható, hogy ha a két csatorna bemenetére azonos amplitúdójú és fázisú szinuszelet kapcsolunk, X-Y üzemmódban az ernyőn jobbra 45 fokos szögben dőlő egyenes vonal jelenik meg (51. ábra), hiszen bármely időpontban ugyanakkora az X és az Y irányú eltérítő feszültség.



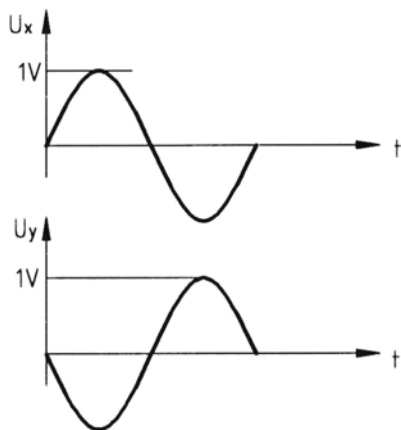
a) Az X és Y csatorna bemenő jele



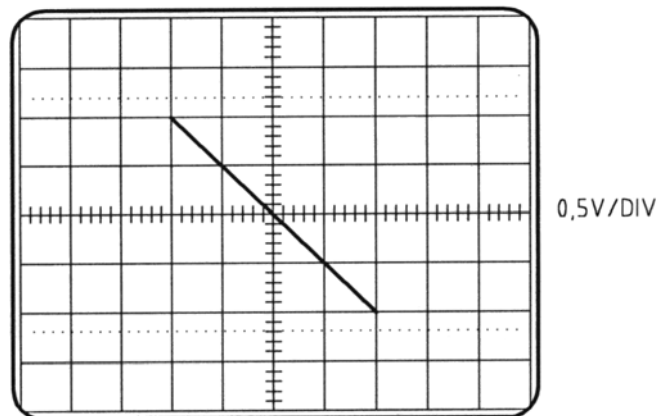
b) Ernyőkép

51. ábra

Abban az esetben, ha a két csatornára azonos amplitúdójú, de ellentétes fázisú jelet kapcsolunk (52. ábra), az ernyőn 45 fokos szögben balra dőlő egyenes jelenik meg, mert bármely időpontban az X irányú eltérítő jel az Y irányú eltérítő jel (-1)-szerese.



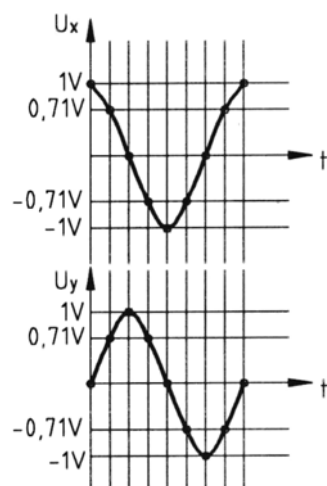
a) Az X és Y csatorna bemenő jele



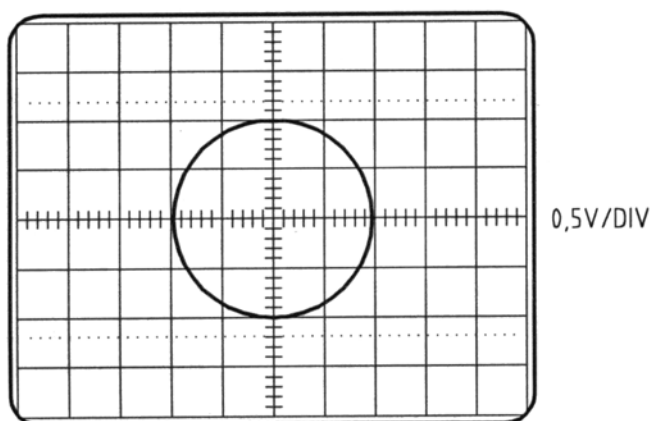
b) Ernyőkép

52. ábra

Ha az X illetve Y csatornára azonos amplitúdójú, egymáshoz képest 90 fok fáziskésésű szinuszjelet kapcsolunk, az ernyőn a kép a 53. ábra szerint alakul.



a) Az X és Y csatorna bemenő jele



b) Ernyőkép

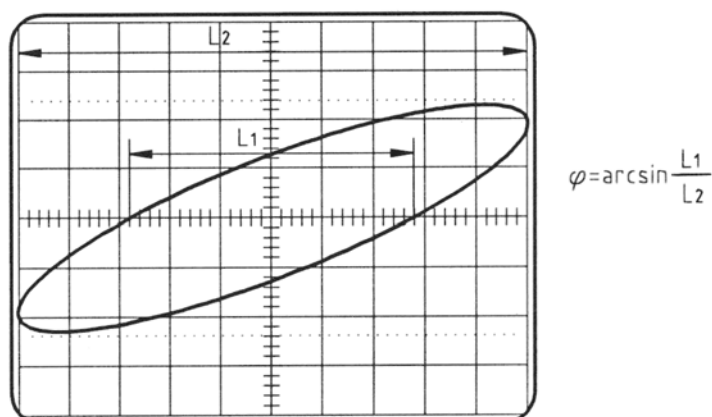
53. ábra

A különböző időpontokban mérhető X és Y irányú jelek értékét a táblázat mutatja.

Időpont	X	Y
t0	1	0
t1	0,707	0,707
t2	0	1
t3	-0,707	0,707
t4	-1	0
t5	-0,707	-0,707
t6	0	-1
t7	0,707	-0,707
t8	1	0

Ha a t0...t8 időpontban ábrázoljuk az elektronsugár helyzetét az ernyőn, majd e pontokat összekötjük, egy kört kapunk, azaz 90 fokok fázishelyzetű, azonos frekvenciájú X, Y szinuszjelek hatására az ernyőn kör jelenik meg.

Ha a két csatornára jutó jelek frekvenciája azonos, de fázisszöge nem pont 0, 90 vagy 180 fok, az ernyőn *ellipszis* jelenik meg (54. ábra), melynek méreteiből a jelek fázisszöge kiszámítható (Lissajous-módszer):



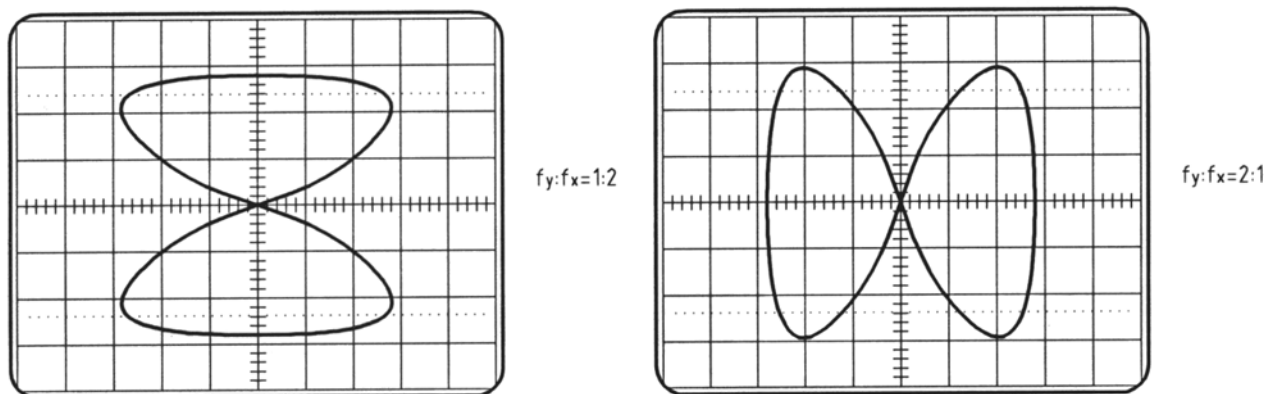
54. ábra

Fáziskülönbség meghatározása Lissajous-módszerrel

Amikor a frekvencia mérésére még nem használtak digitális frekvenciamérőt, a mérendő jel frekvenciájának meghatározására szintén a *Lissajous-módszert* alkalmazták, az ismeretlen frekvenciájú jelet az X-Y üzemmódba kapcsolt oszcilloszkóp egyik, egy hiteles generátor jelét pedig a másik csatornabemenetére adva. A hiteles generátor frekvenciáját változtatva, amikor az ernyőn egy kör (ellipszis,

egyenes vonal) jelenik meg, akkor a mért jel frekvenciája éppen megegyezik a generátor skáláján leolvasható frekvenciával.

Ha az egyik jel frekvenciája a másiknak egész számú többszöröse, akkor az ernyőn megjelenő kép szintén állni látszik (55. ábra), a két frekvencia viszonyát pedig az adja meg, hogy az ernyőkép hányszor metszi a függőleges ill. a vízszintes tengelyt.



55. ábra
Frekvenciamérés Lissajous-módszerrel

Mérőfejek, kalibrátor

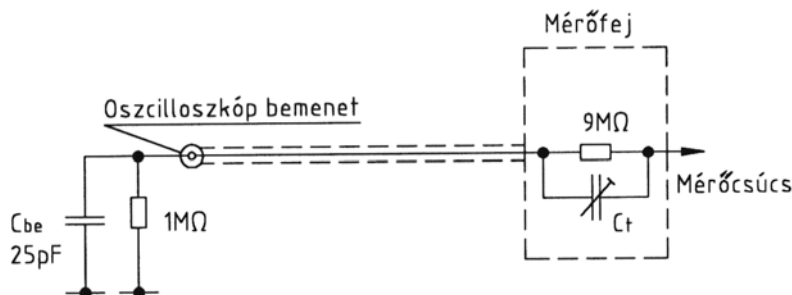
A vizsgált áramkör mérendő pontját valamilyen módon össze kell kötni az oszcilloszkóp bemenetével. Ezt az összeköttetést létre lehet hozni egy darab vezetékkel (mérőszinórral) is, de e vezetékben a környező mágneses terek zavarfeszültséget indukálhatnak (a vezeték „zavarokat szed fel”), amely a mérési eredményt megghamisíthatja.

Mint láttuk, az oszcilloszkóp aszimmetrikus bemenetű, azaz az említett zavarok ellen a mérővezeték árnyékolásával lehet védekezni. A szokásos 1-3 m. hosszú árnyékolt mérővezeték belső ere és árnyékolása között azonban 100-200 pF kapacitás mérhető, amely az oszcilloszkóp bemenő kapacitásával párhuzamosan kapcsolódva terheli a mért áramkört.

Az oszcilloszkóp feszültségmérő, azaz akkor mér pontosan (akkor nem befolyásolja jelentősen a mért áramkör működését), ha a bemenő impedanciája nagy. A szokásos 1 M Ω bemenő ellenállással párhuzamosan kapcsolódó kapacitás a frekvencia növekedtével egyre kisebb reaktanciát jelent (pl. 200 pF reaktanciája 10 MHz frekvencián 79,6 Ω), amely megengedhetetlenül megváltoztatja a mért áramkörben az áramköri viszonyokat és a mérés jelentős hibáját (leosztás, torzítás) okozza. Ezért egyszerű árnyékolt vezetékkel történő mérés csak egyenfeszültségen vagy nagyon alacsony frekvencián megengedhető.

Magasabb frekvenciás mérésnél a mért áramkör kapacitív terhelés elleni védelmét *mérőfej* alkalmazásával oldják meg. A legáltalánosabban alkalmazott *passzív mérőfej* a jelet leosztja, de a mérendő pont kapacitív terhelését a töredékére csökkenti. A mérőfej kialakítása egyúttal biztonságos csatlakozási lehetőséget ad a mérőpontokhoz, alkatrészek kivezetéseihez, BNC csatlakozókhoz stb.

A leggyakrabban alkalmazott, 1:10 leosztású passzív mérőfej kapcsolása az 56. ábrán látható.



56. ábra
1:10 leosztású passzív mérőfej

Az oszcilloszkóp bemenetére a mérőfej speciális, kiskapacitású árnyékolt vezetékével csatlakozik (a kis kapacitást a belső, igen kis átmérőjű ér és az árnyékolás nagy távolsága biztosítja). Maga a mérőfej a vezeték végén helyezkedik el, és elektromosan egy soros $9\text{ M}\Omega$ nagyságú ellenállást és azzal párhuzamos trimmer kondenzátort tartalmaz, melyek egyik kivezetése az árnyékolt vezetékhez, másik kivezetése közvetlenül a mérőcsúcsához csatlakozik.

Mint az ábrából látható, a mérendő pont és az oszcilloszkóp bemenete ($1\text{ M}\Omega \parallel 25\text{ pF}$) között létrejövő feszültségosztó $1:10$ leosztású.

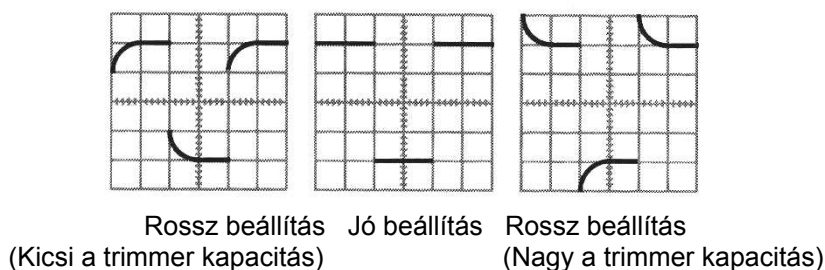
Az alakhú átvitel érdekében az oszcilloszkóp (és az árnyékolt mérőkábel) bemenő kapacitásából, illetve a trimmer kondenzátorból álló feszültségosztónak ezzel azonos osztásviszonyt kell biztosítania.

Ezért **mérés előtt a mérőfejet** az adott oszcilloszkóp bemenetéhez „**ki kell egyenlíteni**”, azaz a trimmer kondenzátort pontosan be kell állítani.

Az oszcilloszkóp - kifejezetten a mérőfej kiegyenlítésének lehetővé tétele céljából – általában egy négyszögjelgenerátort (kalibrátor) is tartalmaz.

Az $1:10$ osztású passzív mérőfej kiegyenlítése (hitelesítése) e kalibrátor segítségével pl. a következő módon történhet:

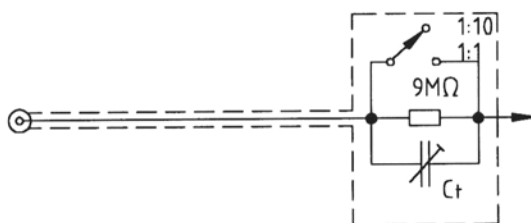
- Az oszcilloszkóp adott csatornájának bemeneti osztóját 5 mV/DIV érzékenységre állítjuk. Ekkor (figyelembe véve a mérőfej $1:10$ leosztását) az ernyőn $1\text{ DIV} = 1\text{ cm}$. függőleges sugárkitéréshez 50 mV bemenő jel tartozik,
- A TIME/DIV kapcsolót $0,2\text{ ms/DIV}$ állásba kapcsoljuk, ekkor a kb. 1 kHz -es kalibrátor jelnek kb. két teljes periódusa fér az ernyőre,
- A mérőfej mérőcsúcsát a kalibrátor $0,2\text{ Vpp}$ jelű kimenetére csatlakoztatjuk. A 200 mV kalibráló jel függőlegesen 4 DIV sugárkitérést hoz létre. A mérőfejen található trimmer úgy állítjuk be, hogy az ernyőn alakhú négyszögjel jelenik meg (57. ábra).



57. ábra

Az $1:10$ osztású mérőfej terhelő kapacitása a mért ponton (az árnyékolt mérővezeték hosszától, paramétereitől, az oszcilloszkóp bemenő kapacitásától függően) $10\text{--}25\text{ pF}$, a terhelő ellenállás pedig $10\text{ M}\Omega$. (Ugyanilyen hosszú árnyékolt mérőkábelrel, mérőfej nélkül a mért pontot az oszcilloszkóp $90\text{--}230\text{ pF}$ kapacitással terhelné!)

Egyes mérőfejen egy kapcsolót helyeznek el, amely a feszültségosztó ellenállást és azzal párhuzamos trimmer kondenzátort $1:1$ állásában rövidre zárja (58. ábra).



58. ábra
1:1/1:10 átkapcsoló a mérőfejen

E kapcsoló $1:1$ állásában a mérőfej közönséges árnyékolt mérőcsúcsná alakul át, a mérőfej csak mint mechanikus eszköz (mérőcsúcs, csipetű) használható. Ilyenkor a „mérőfej” felhasználható pl. a generátor jelének az áramkör adott pontjára való eljuttatásához (akkor a mérőfej $9\text{ M}\Omega$ -os soros ellenállása akadályt jelentene).

Ha azonban oszcilloszkópos méréshez kívánjuk **az átkapcsolható mérőfejet** felhasználni, - rendkívüli esetektől eltekintve, amikor a mért jel kis szintje nem teszi lehetővé a feszültségosztó beiktatását - **csak 1:10 kapcsolóállásban használjuk!**

3.15.12. Oszcilloszkópos mérések

Előkészületek

A mérés előtt tanulmányozzuk át annak az oszcilloszkópnak a felhasználói utasítását (User's Manual, Owner's Manual, Operator's Manual stb.), amellyel mérni fogunk. Állapítsuk meg az oszcilloszkóp feszültség- és időmérési pontosságát, a függőleges erősítő határfrekvenciáját, a kezelőszervekkel kapcsolatos tudnivalókat (utóbbi különböző gyártmányú és típusú oszcilloszkópoknál jelentősen eltérhet). Tisztázzuk, hogy az oszcilloszkóp trigger áramköre milyen rendszerű, a trigger jel forrását hogyan kell kiválasztani. Általában meg van adva az is, hogy az oszcilloszkóp mekkora bemelegedési idő után alkalmas a hiteles mérésre.

Az oszcilloszkópot csak akkor kapcsoljuk be, ha működésével, kezelésével a felhasználói utasítás ismeretében már tisztában vagyunk.

Ha az oszcilloszkóp burkolatán szellőzőnyílások vannak, azokat semmilyen körülmények között ne zárjuk el: ne tegyünk rá más műszereket, dokumentációt, stb.

Komolyabb oszcilloszkópoknál gyakran forszírozott (ventillátoros) léghűtést alkalmaznak. Ezek szellőző nyílása oldalt vagy hátul szokott lenni, a megfelelő irányban hagyjunk 5-10 cm távolságot, ahol a levegő szabadon áramolhat.

A bekapcsolás után rövid idővel - ha az oszcilloszkóp bemeneteire nincs jel kapcsolva - egy vízszintes vonalnak kell megjelenni az ernyőn. Ha a vonal nem jelenik meg, ellenőrizzük, hogy az oszcilloszkóp kezelőszervei helyesen vannak-e beállítva:

- a fényerő nincs-e túl csekélyre állítva,
- az oszcilloszkóp nincs-e X-Y üzemmódba állítva (ekkor csak egy fénypont jelenik meg),
- a trigger nincs-e normál üzemmódba állítva, ekkor ui. vizsgálandó jel hiányában a sugár nem indul meg az ernyőn és nem is világosodik ki (állítsuk a trigger automatára vagy szabadon futó üzembe),
- a függőleges vagy vízszintes pozíciószabályozók nincsenek-e úgy elállítva, hogy a sugár az ernyő aktív felületén kívülre kerüljön (használjuk a „BEAM FINDER”-t, ha van az oszcilloszkópon).

A kezelőszervek megfelelő beállítása után a sugár megjelenik az ernyőn. A fényerőt állítsuk arra a legkisebb értékre, ahol a jelalak még jól leolvasható.

Állítsuk a vízszintes vonalat az ernyő közepére, és ellenőrizzük, hogy párhuzamos-e a skála vízszintes középvonalával. Ha nem, külső skálás oszcilloszkópnál a skálalap billentésével, belső skálás oszcilloszkópnál a TRACE ROTATION trimmer potenciométer állásával állítsuk párhuzamosra.

Állítsuk be a fókuszt: adjunk a megfelelő csatornabemenetre szinuszelet, állítsuk be a vízszintes és függőleges eltérítés fokozatkapcsolóit úgy, hogy az ernyő hasznos magasságának kb. 80%-át töltsse ki a jel, és kb. 8-12 teljes periódus jelenjen meg az ernyőn. Ez a jel elég sűrű ahhoz, hogy az ernyő szinte teljes felületén egyidejűleg lássunk közel vízszintes és közel függőleges vonalakat is. A fókuszt (ill. az asztigmatizmust) úgy kell beállítani, hogy minden irányban, az ernyő felületének minél nagyobb részén (de különösen a középső részen) éles legyen a kirajzolt jelalak.

Ellenőrizzük valamennyi „VARIABLE” potenciométert (ezek elforgatásával az erősítést, eltérítési időt folyamatosan állíthatjuk, de csak „kalibrált” állásukban olvashatjuk le a feszültségeket, ill. időket hitelesen). A kalibrált állás mindig valamelyik végállás, melyet az előlapi felirat, ábra mutat és általában ezt a helyzetet elérve valamilyen arretálás, kattánás is érzékelhető.

Hitelesítsük (= egyenlítsük ki) a mérőfejeket. Minden csatornabemenetre helyezzük fel az oda tartozó mérőfejet. Ha a mérőfej átkapcsolható, állítsuk a kapcsolót 1:10 állásba. Az ernyőre kapcsoljuk az éppen állított mérőfejhez tartozó csatorna jelét. Az adott csatorna bemeneti osztó kapcsolóját állítsuk 5 mV/DIV állásba. (Figyelembe véve a mérőfej 1:10 feszültségosztását, ekkor 1 DIV = 50 mV feszültségnek fog megfelelni az ernyőn.) A TIME/DIV kapcsolót állítsuk 0,2 ms/DIV-ra. Ha az oszcilloszkóp kalibrátora átkapcsolható frekvenciájú, kapcsoljunk 1 kHz-es hitelesítő jelre. Ez után a mérőfej mérőcsúcsával lépünk a

kalibrátor $0,2V_{pp}$ jelű kimenetére. Helyes beállítás esetén a csúcstól csúcsig 200 mV jel hatására függőlegesen 4 DIV kitérésű, torzítatlan négyszögjel jelenik meg az ernyőn. Ha a jel nem torzítatlan, a mérőfej készlethez tartozó kis csavarhúzóval állítsuk be a mérőfejen található trimmer kondenzátort az optimális négyszögjel átvitelhez.

Ez után ugyanezeket a műveleteket végezzük el a másik (többi) csatornánál is. Ha a mérőfejeket (akár ugyanazon oszcilloszkóp két bemenete között) felcseréljük, a hitelesítést ismét el kell végeznünk, mert a két csatorna bemenő kapacitása nem biztos, hogy tökéletesen egyforma.

Ez után oszcilloszkópunk mérésre kész.

Feszültségmérés

Feszültségméréskor a feladat a vizsgálandó jel egyes szakaszai - általában a földhöz viszonyított - feszültségének megállapítása.

Első feladat az „alapvonal” azaz a „0” feszültség szint beállítása az ernyőn. Ha a csatornabemenetre nem kapcsolunk feszültséget, ott értelemszerűen 0 a feszültség, de ha a mérőfejet már a bemenetre kapcsoltuk, és a bemenő osztó érzékeny állásba van kapcsolva, a mérőfejen kapacitív úton is keletkezhet akkora (pl. a hálózatból, vagy valamilyen közeli jelforrásból származó) feszültség, ami az ernyőn a sugár függőleges kitérését okozza. (Ha a zavarfeszültség a hálózatból származik, a trigger 20 ms-enként indul, ha ugyanakkor a TIME/DIV kapcsoló rövid időre pl. $0,2\mu s/DIV$ -re van állítva, a sugár ritkán és olyan gyorsan fut le, hogy a fénye szinte nem is látszik. Ilyenkor a kezdő kezelő nem érti, hogy miért nincs sugár az ernyőn, holott a trigger automata üzemmódban van.) Természetesen, ha a mérőcsúcsot földeljük, ez a jel megszűnik (a sugár meg előkerül...), de még ez sem szükséges: azért van az oszcilloszkóp bemenetén a GND földelő kapcsoló, hogy ilyenkor használjuk. Az alapvonalat pedig a szerint állítsuk az ernyő közepére, aljára vagy tetejére, hogy a földhöz képest milyen irányú feszültséget kívánunk mérni. (Ha a mérendő feszültségről semmit sem tudunk, az alapvonalat állítsuk az ernyő közepére, a csatorna bemeneti osztóját pedig a legérzéktelembb állásába. Így a jel biztosan az ernyő aktív felületén marad, és megállapítható, hogy a földhöz képest milyen irányú ill. nagyságú.)

Ez után állítsuk be a mérendő jel várható értékének megfelelően a csatorna bemenő osztóját. (Ha túl érzékenyre állítjuk, az sem okoz semmi károsodást, legfeljebb a sugár az ernyő aktív felületén kívültre kerül. Arra viszont ügyeljünk, hogy a csatornabemenetre megengedett legnagyobb feszültséget ne lépjük túl, mert az a műszer meghibásodását okozza.)

Állítsuk be az AC/DC átkapcsolót. AC állásba csak akkor kapcsoljunk, ha nagy egyenfeszültségre szuperonált kis váltakozófeszültség megmérése a feladat.

Állítsuk be a vízszintes eltérítést (TIME/DIV) és a trigger áramkör kezelőszerveit a mérendő jelnek megfelelően. Ha nincs nyomás okunk más beállításra, a trigger üzemmódját automatába, a trigger csatolásválasztót AC állásba kapcsoljuk.

Ellenőrizzük, hogy az alapvonal beállítása után a GND gombot kikapcsoltuk-e, majd a mérőfejet a mérendő feszültségre csatlakoztathatjuk. Ha egy vezetékre, vagy egy alkatrész kivezetésére kell csatlakozni, használjuk a mérőfejhez tartozó csipetűt. Ha pl. egy integrált áramkör valamely kivezetésén kell a feszültséget mérni, a mérőfej mérőcsúcsát (a csipetű levétele után) érintsük e ponthoz. A mérőfejet saját, rövid földelő vezetékével földeljük a mérendő áramkör föld pontjához.

Az ernyőn megjelenik a vizsgált jel időképe. Ha a sugár valamely irányban elhagyja az ernyőt, az eltérítési érzékenységet csökkenteni kell (nagyobb V/DIV érték beállítása). Ha Y irányban az ernyő egy része kihasználatlan, *a pontosabb mérés érdekében az alapvonalat állítsuk be újra, így esetleg nagyobb eltérítési érzékenységet is alkalmazhatók, ami pontosabb leolvasást tesz lehetővé.*

Ez után következhet a jel kiválasztott szakasza feszültségének megmérése. Ez a következő módon történik:

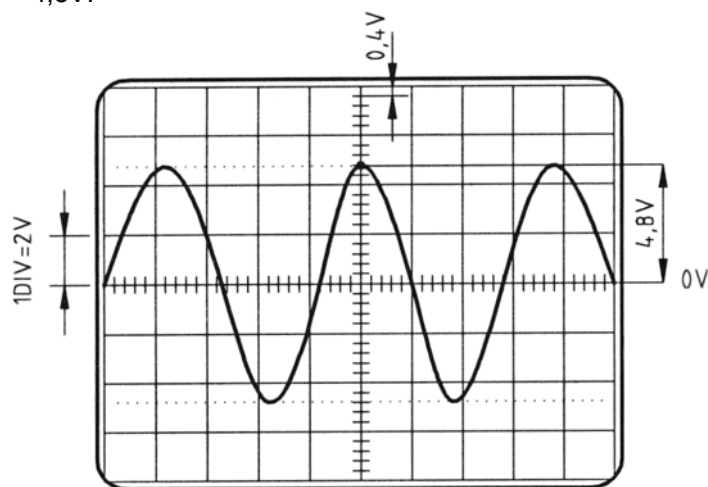
a) A biztonság kedvéért a csatorna GND kapcsolójának felhasználásával meggyőződünk arról, hogy hova állítottuk az alapvonalat : ez lesz a 0 feszültség szint.

b) A vízszintes (X) pozíciószabályozó gombbal a jel feszültségmérésre kiválasztott szakaszát az *ernyő függőleges középvonalára állítjuk*. Azért ide, mert a függőleges középvonal a pontosabb leolvasást lehetővé teendő, sűrűbb osztással van ellátva.

c) Kiszámoljuk, hogy egy sűrű osztás milyen feszültségnek felel meg (pl. ha a bemenő osztó $0,2V/DIV$ -re van állítva, a mérőfej 10-es osztása miatt $1 DIV = 1 cm = 2V$ lesz, a sűrű osztás ennek az ötöde, $2 mm$ pedig $2V/5=0,4V$.)

d) Leolvassuk, hogy a jel mérendő szakasza az alapvonalától számított hány DIV és hány kis osztás függőleges távolságra esik, és kiszámítjuk, hogy e távolságnak mekkora feszültség felel meg.

Pl. az 59. ábra szerinti szinuszjel csúcsértéke (ha az alapvonal az ernyő vízszintes középvonala) 2 DIV + 2 kis osztás. Ha a bemenő osztó 0,2V/DIV-en áll, 1 DIV = 2V, 1 kis osztás = 0,4V, tehát a jel csúcsértéke $2 \times 2 + 2 \times 0,4 = 4,8\text{V}$.



59. ábra
Szinuszjel pozitív csúcsértékének mérése

Ha ez után a jel már részeinek feszültségét kell megmérni, a jel adott részével a b)- d) pontokat értelemszerűen ismételjük.

Időmérés

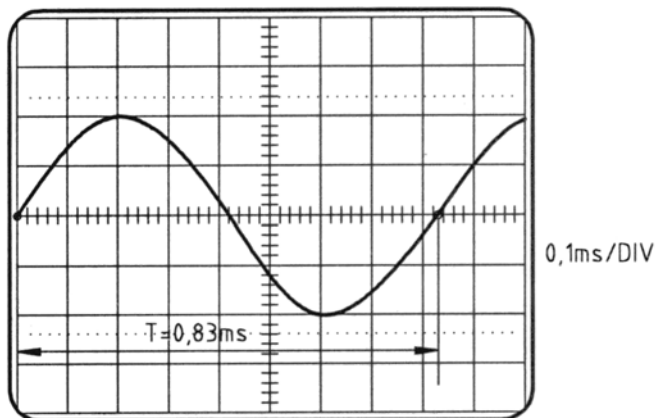
A feladat az ernyőn megjelenő jel egyes szakaszai időtartamának meghatározása.

Az időmérésre az ernyő vízszintes középvonalát használjuk fel, amely (hasonlóan a függőleges középvonalhoz) a mérés megkönnyítésére sűrűbb osztásvonalakkal van ellátva.

A mérés annál pontosabb lesz, minél nagyobb a leolvasandó távolság, ezért a TIME/DIV fokozatkapcsolót úgy állítsuk be (szükség szerint a triggerelést is utánállítva), hogy a jel mérendő szakasza minél jobban széthúzódjon (de a teljes szakasz látható legyen) az ernyőn.

A jel vizsgált szakaszának kezdetét az X és Y irányú pozíciószabályozó potenciométerekkel a sűrű osztású vízszintes vonal kezdetére állítjuk, és leolvassuk, hogy az adott szakasz vége a kezdettől hány DIV-re ill. kis osztásra esik. (Mivel egy DIV-re vízszintesen is 5 kis osztás esik, a kis osztás a TIME/DIV kapcsolóval beállított érték ötöde.)

Pl. a 60. ábrán látható szinuszjel periódusideje 8 DIV + 1,5 kis osztás. Ha a TIME/DIV kapcsoló 0,1 ms/DIV állásban van, a periódusidő $8 \cdot 0,1 + 1,5 \cdot 0,02 = 0,83\text{ ms}$.



60. ábra
Szinuszjel periódusidejének mérése

Jegyezzük meg, hogy a jel és a vízszintes skálavonal metszési helyének leolvasása annál pontosabb, minél meredekebben metszi a mérendő jel a sűrű osztású vízszintes vonalat. Ezért pl. szinuszel mérésénél az időmérést a jel nullátmeneténél végezzük, mivel itt a legnagyobb a jel meredeksége.

Readout, cursor

Az oszcilloszkópok újabb, az utóbbi két évtizedben elterjedt generációja nem a mérési pontosságban nyújt többet, hanem a kezelő számára nyújtott kényelemben. A mikroprocesszoros vezérlők alkalmazása folytán elterjedtek a leolvasást, dokumentálást megkönnyítő szolgáltatások.

A „readout” szolgáltatás azt jelenti, hogy a leolvasás szempontjából fontos beállításokat az oszcilloszkóp az ernyőjére (jellemzően az Y adatokat az ernyő legaljára, az X adatokat a legtetejére) kiírja.

A „cursor” előlapi kezelőszervekkel az oszcilloszkóp ernyőjén mozgatható jelzővonal. Feszültségméréskor két vízszintes cursor, időméréskor két függőleges cursor jelenik meg, melyeket a jel vizsgált pontjaira állítva, a két cursor pozíciója közti feszültség- (ill. idő) különbséget a műszer ernyőjén kiírja.

3.15.13. Frekvenciamérés, frekvenciamérők

Szinuszos jelgenerátorok frekvenciájának mérése

Egy periodikus jel frekvenciája **oszcilloszkóppal** is meghatározható: megmérjük a jel periódusidejét, és abból kiszámítjuk a frekvenciáját (néhány cursoros oszcilloszkóp az átszámítást is elvégzi és az eredményt a képernyőre írja). E módszer hátránya, hogy pontossága csak az oszcilloszkóp időmérési pontosságával egyezik (1-3%), másrészt a mérendő (esetleg nagyfrekvenciás) jel frekvenciáján is működőképes oszcilloszkópra van szükség.

Ugyancsak oszcilloszkóppal Lissajous-módszerrel is megmérhetjük egy jel frekvenciáját. A mérési pontosság ez esetben a hiteles generátor frekvenciájának és leolvasásának pontosságától függ, de itt is szükséges, hogy az oszcilloszkóp a mérési frekvencián működőképes legyen.

Az **abszorpció**s (elnyeléses) frekvenciamérő „lelke” egy hangolható párhuzamos rezgőkör, amelynek tekercsét a mérendő jellel induktív csatolásba hozzák (pl. közelítik egy működő oszcillátor rezgőköréhez). A frekvenciamérő rezgőkörén feszültség indukálódik, amelyet egyenirányítanak és egy voltmérővel mérnek. A rezgőkört hangolva, azon akkor mérhető a legnagyobb feszültség, amikor rezonanciafrekvenciája megegyezik a mért frekvenciával. Ez a frekvencia (0,5-1% pontossággal) a forgókondenzátor skálájáról olvasható le. A méréshatárt a műszer rezgőköri tekercsének átkapcsolásával lehet váltani.

A műszer érzékenysége és pontossága javítható rezgőköre és a feszültségmérő közé elektronikus erősítőt helyezve.

A frekvenciamérést forradalmasította a **digitális frekvenciamérők** (frekvenciaszámlálók) megjelenése és elterjedése. A digitális frekvenciamérő a bemenetére adott mérendő jelet erősíti, négyszögesíti, majd egy digitális számláló áramkörre vezeti, amely a beérkező jeleket pontosan 1 s-ig számlálja. (Ezt a pontos időtartamot a frekvenciamérő precíziós kvarc oszcillátora frekvenciájának leosztásával állítja elő.) A mért érték – az egy másodperc alatt lezajlott periódusok száma – éppen a jel frekvenciáját adja, amelyet a műszer digitális kijelzőn jelez ki.

A mérés időtartama meghatározza a kijelzés felbontását: ha 1 s-ig számlálunk, éppen Hz-ban kapjuk az eredményt. A digitális frekvenciamérő „kapuideje” más értékre is állítható. Pl. ha a mérés időtartama csak 1 ms, akkor a számlált és kijelzett érték az 1 s-es mérési idővel mért értéknek csak ezrede, azaz kHz-ben olvashatjuk le az eredményt. A mérési idő váltásánál a kijelzőn a tizedesponthelye ennek megfelelően változik.

A ma már olcsón hozzáférhető digitális frekvenciamérők (belső kvarcoszcillátoruk, azaz frekvenciaetalonjuk minőségétől függően) 10^{-6} körüli mérési pontosságot nyújtanak (ekkor 1 MHz mérésekor a mérési hiba 1 Hz).

Passzív rezgőkör rezonanciafrekvenciájának mérése

Gyakori feladat (éppen nem rezgő) oszcillátorok, vagy (éppen nem működő) hangolt erősítők rezgőkörei rezonanciafrekvenciájának a mérése. Az e célra használt **GDO** (grid dip oszcillátor) működésének elve: a műszerben hangolható rezgőkörös oszcillátor működik, melynek rezgési amplitúdóját műszerrel mérik. A rezgőkör (méréshatáronként váltandó) tekercse dugaszolhatóan, kívülről csatlakoztatható. Ezt a tekercset a mérendő rezgőkörhöz közelítve (és így azzal induktív csatolásba hozva), forgókondenzátorral változtatják a GDO oszcillációs frekvenciáját. Amikor ez a frekvencia megegyezik a

mérendő rezgőkör rezonanciafrekvenciájával, az energiát von el a GDO-tól, aminek hatására rezgési amplitúdója csökken. A feszültség minimumának megkeresése után a rezonanciafrekvencia a forgókondenzátor skálájáról olvasható le.

A GDO-t úgy szokták kialakítani, hogy saját oszcillátorát kikapcsolva, mint abszorpciós frekvenciamérő is használható (ekkor nem a műszer kitérésének minimumára, hanem maximumára kell hangolni).

A GDO - megfelelő csatolással - antennák rezonanciafrekvenciájának mérésére is alkalmas.

Amikor a GDO vagy abszorpciós frekvenciamérő mérőtekercsét közelítjük a mért rezgőkörhöz, a két rezgőkör kölcsönösen hat egymásra: minél szorosabb csatolás jön létre a rezgőkörök között, annál jobban elhangolják egymást, és ez meghamisítja a mérési eredményt. Ezért akkor mérhetjük a legpontosabb eredményt, ha a csatolás a leglazább, amely mellett a műszeren a kitérés minimuma (maximuma) még indikálható. A rezonanciafrekvencia közelítő meghatározásához a mérést szorosabb csatolással kezdjük (ekkor erősen érzékelhető a műszer visszaesése - vagy kilendülése - a rezonanciafrekvenciához közelítve), majd amikor ezt a pontot megtaláltuk, a csatolást lazábbá tesszük, és a GDO erősítését növelve állítjuk be a műszer kitérésének kis változásait figyelve a pontos rezonanciafrekvenciát.

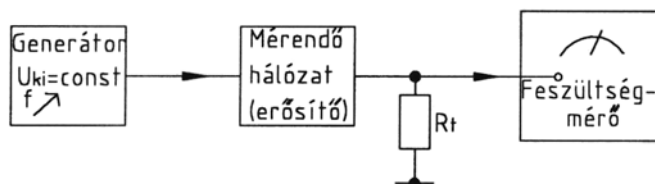
3.15.14. A frekvencia függvényében változó mennyiségek mérése

Mint az oszcilloszkóp működési frekvenciatartományával foglalkozó részben már szóba került, az erősítők csak korlátozott frekvenciatartományban működnek. *Határfrekvencia* alatt azt a frekvenciát értik, ahol az erősítő feszültségerősítése (a névleges működési frekvencián mért értékhez képest) 3 dB-el, azaz kb. a 71%-ára csökken. Egy erősítőnek általában *alsó* és *felső* határfrekvenciája is van, mert az erősítése a kis és nagy frekvenciákon egyaránt csökken. Vannak erősítők (pl. ilyen az oszcilloszkóp függőleges erősítője), amelyek már egyenfeszültségen is a teljes erősítésüket nyújtják, ezeknek nincs alsó határfrekvenciájuk. Más erősítőket kifejezetten azzal a feladattal terveznek, hogy különböző frekvenciákon más-más erősítést nyújtsanak.

Az erősítők frekvenciaátvitelének (azaz a különböző frekvenciákon való erősítésének) a megállapítása, beállítása jellegzetes mérési feladat.

Pontonkénti mérés

A legegyszerűbb (de rendkívül hosszadalmas) módszer a *pontonkénti mérés*. A mérési elrendezést az 61. ábra mutatja.



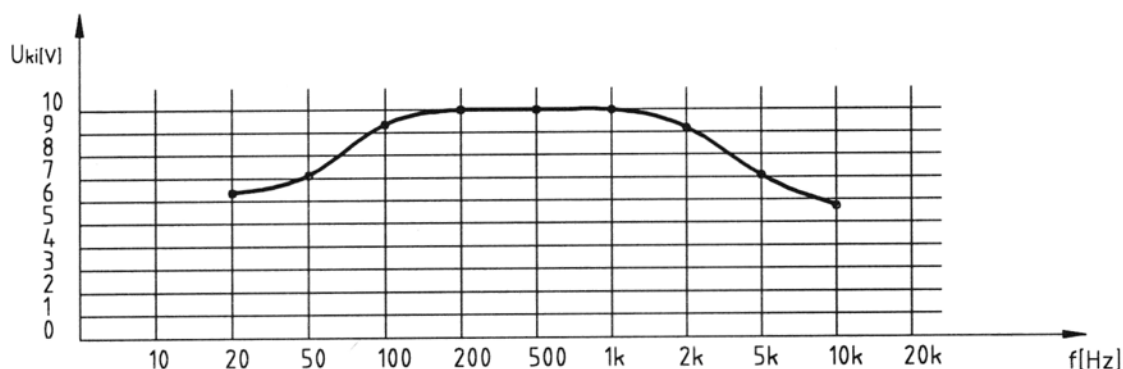
61. ábra
Frekvenciaátvitel vizsgálata pontonkénti méréssel

A beállítható frekvenciájú (de minden frekvencián azonos szintű kimenő jelet biztosító) generátor által előállított szinuszjelet a vizsgálandó erősítő bemenetére adjuk. Az erősítő kimenetét a névleges terheléssel zárjuk le, és a terhelésen mérjük a kimenő feszültséget.

A generátoron különböző frekvenciákat állítunk be, és egy táblázatban feljegyezzük az egyes frekvenciákon mért kimenő feszültségeket. (Az erősítő bemenő feszültsége minden frekvencián ugyanakkora, tehát a kimenő feszültséget az erősítő erősítése határozza meg.)

A táblázat alapján a mérési eredményt a frekvencia függvényében ábrázoljuk (62. ábra).

Frekvencia [Hz]	20	50	100	200	500	1k	2k	5k	10k
U _{ki} [V]	6,3	7,1	9,4	10	10	10	9,1	7,1	5,7



62. ábra

A pontonkénti mérés eredménye táblázatban és grafikusán ábrázolva

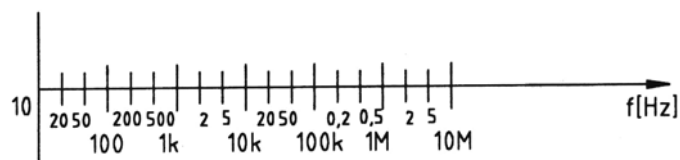
Néhány szót érdemel a mérési frekvenciák megválasztása és ábrázolása. A frekvenciaátvitel vizsgálatánál általában igen széles frekvenciasávban, pl. 10 Hz és 10 MHz között kell a mérést elvégezni és az eredményt ábrázolni.

Könnyű belátni, hogy ilyen nagy frekvenciatartományt nem célszerű lineáris skálán ábrázolni. Ha pl. az ábrán a frekvenciaskáláján a 10 Hz és 100 Hz közötti (90 Hz-nak megfelelő) távolság 1mm, ebben a léptékben a 10 MHz frekvencia 111 méter távolságra esne...

A szokásos a *logaritmikus* frekvenciaábrázolás, ahol a frekvenciaskálán két frekvencia távolsága *hányadosuk logaritmusával arányos*. Pl. 100Hz és 10Hz hányadosa 10 (=egy dekád), tízes alapú logaritmusuk éppen 1. Ha a frekvenciaskálán ennek 1 cm-et feleltetünk meg, a 100 Hz-től ugyancsak 1 cm-re fog kerülni az 1kHz (mert $\lg 1\text{kHz}/100\text{Hz}$ ugyancsak 1), ettől a 10 kHz, stb. Így a 10 Hz... 10MHz távolság az ábrán kényelmesen elfér, (összesen 6 cm.), és az ábra minden frekvenciatartományban kellően részletes lesz.

Mivel kétszeres frekvenciaviszonyhoz $\lg 2=0,3$ (közel 1/3), ötszörös frekvenciaviszonyhoz $\lg 5=0,7$ (közel 2/3) tartozik, a dekádon belül durván a távolság harmadára esik a 2., kétharmadára az 5. helye (63. ábra).

Szokás a mérési frekvenciákat a logaritmikus frekvenciatengely jelölt pontjaira, azaz 1,2,5,10,20,50,100,... Hz/kHz/MHz-ra választani.



63. ábra

Frekvenciaábrázolás logaritmikus tengelyen 10 Hz - 10 MHz

Megjegyzés: A logaritmikus frekvenciatengely fenti, egyszerűsített ábrázolása (1-2-5-10... egymástól azonos távolságra vannak) gyors, szabad kézzel rajzolt grafikonoknál szokásos. Precíz ábrázoláshoz ún. lin-log (azaz lineáris/logaritmikus tengelyű) előrenyomott milliméterpapírt használnak, amelynek vízszintes tengelye logaritmikus, függőleges tengelye lineáris (mm.) osztású..

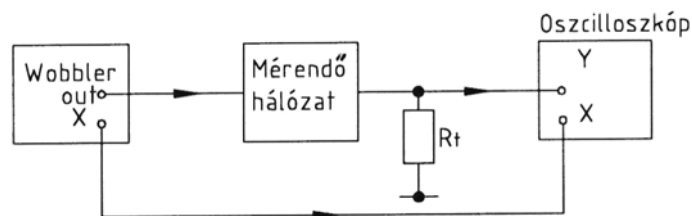
Előfordulhat, hogy a mérési eredmény alapján állítani kell valamit az erősítő frekvenciamenetén, majd a mérést ismét el kell végezni. Pontonkénti méréssel mindez igen hosszadalmas.

A mérés gyorsítása céljából speciális műszert gyártanak, ez a wobbler.

Wobbler

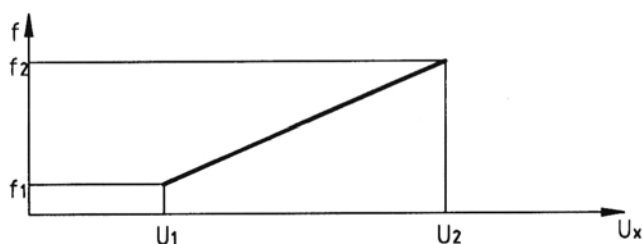
A wobbler egy olyan generátor, amely széles tartományban változó frekvenciájú, de mindenhol azonos amplitudójú szinuszelet ad ki a kimenetén. A kimenő jel frekvenciája automatikusan végigpásztázza a teljes vizsgálandó frekvenciatartományt. (Wobbeln [német] = sweeping [angol] = pásztázás, söprés.)

A wobbleres mérés elrendezését a 64. ábra mutatja.



64. ábra
Frekvenciamenet mérése wobblerral

A wobbleren beállítható a vizsgálandó legalacsonyabb (f_1), illetve legmagasabb (f_2) frekvencia. Az állandó amplitudójú kimenő szinuszjel f_1 frekvenciáról indulva egyenletes sebességgel „végigpásztázza” a frekvenciasávot f_2 frekvenciáig, miközben a wobbler X kimenetén egy lineárisan növekvő feszültség jelenik meg. Az X kimeneten megjelenő feszültség f_1 frekvencián U_1 , f_2 frekvencián U_2 ; minden frekvenciához tartozik egy X kimenő feszültségérték (65. ábra).

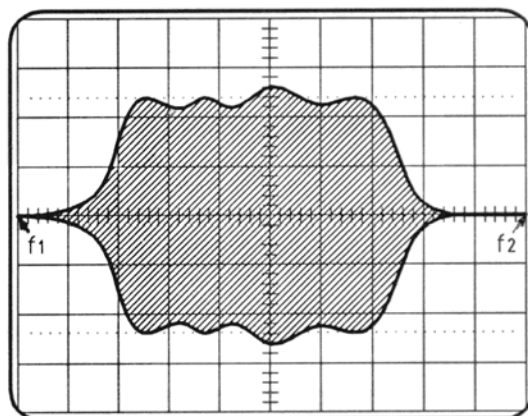


65. ábra
Összefüggés a wobbler jelének frekvenciája és az X kimenet feszültsége között

A vizsgálandó hálózat bemenetére a wobbler kimenő feszültségét, kimenetére a terhelést kapcsoljuk. A terhelésen eső feszültséget az X-Y üzemmódba kapcsolt oszcilloszkóp Y bemenetére kapcsoljuk. Az oszcilloszkóp vízszintes erősítőjét úgy állítják be, hogy U_1 feszültség hatására a sugár az ernyő bal szélére, U_2 feszültség hatására pedig a jobb szélére kerüljön. Így a „pásztázás” alatt a sugár folyamatosan halad az ernyő bal szélétől a jobb széléig. Az X bemenetre kapcsolt feszültség és a wobbler kimenő frekvenciája közötti kötöttség miatt így az ernyő minden vízszintes pontja egy-egy frekvenciának felel meg (bal széle f_1 , jobb széle f_2 frekvenciának).

Az oszcilloszkóp vízszintes erősítőjét úgy állítják be, hogy U_1 feszültség hatására a sugár az ernyő bal szélére, U_2 feszültség hatására pedig a jobb szélére kerüljön. Így a „pásztázás” alatt a sugár folyamatosan halad az ernyő bal szélétől a jobb széléig. Az X bemenetre kapcsolt feszültség és a wobbler kimenő frekvenciája közötti kötöttség miatt így az ernyő minden vízszintes pontja egy-egy frekvenciának felel meg (bal széle f_1 , jobb széle f_2 frekvenciának).

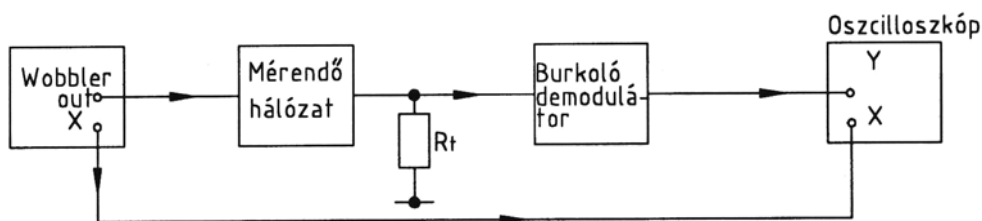
A sugár függőleges irányban a bemenetére kapcsolt (a vizsgálandó hálózat kimenetén megjelenő) feszültséggel arányosan tér ki. Mivel a hálózat bemenetére a wobbler minden frekvencián azonos amplitudójú jelet ad, a hálózat kimenetén megjelenő feszültség amplitudója arányos a hálózatnak az adott frekvencián tanúsított erősítésével. Az ernyőn kialakuló kép tehát a vizsgálandó hálózat frekvenciaátvitelét mutatja. (66. ábra).



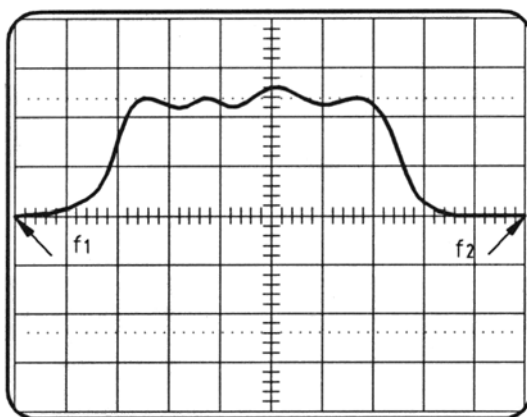
66. ábra
A 64. ábra szerinti kapcsolás ernyőképe

Az ernyő vízszintes tengelye a (most lineáris!) frekvenciaskálának, függőleges tengelye a kimenő feszültségnek felel meg, azaz hasonló ábra rajzolódik az ernyőre, mint amit a 62. ábra szerinti pontonkénti mérés eredménye szolgáltatott.

Magát a 62. ábra szerinti görbét is az ernyőre rajzolhatjuk, ha az oszcilloszkóp Y bemenetére nem közvetlenül vezetjük a vizsgált hálózat szinuszos lefolyású kimenő jelét, hanem egy ún. burkoló demodulátoron keresztül, amely a jel pillanatnyi amplitúdójának megfelelő egyenfeszültséget ad a kimenetén (67. ábra).



67.a. ábra
Wobblers mérés elrendezése burkoló demodulátorra



67.b. ábra
Ernyőkép

A wobbler kezelőszerveivel beállítható f_1 és f_2 frekvencia (jellegzetesen úgy, hogy a közepes frekvencia és az attól pozitív illetve negatív irányban való eltérés, a „löket” változtatható), és - általában dB - ben beállítható osztással - a kimenő jel szintje. Általában mód van arra is, hogy az oszcilloszkóp ernyőjén f_1 és f_2 , illetve a köztes frekvenciák valamilyen formában leolvashatóak legyenek.

A wobbler a teljes működési frekvenciatartományát (pl. 1 MHz - 1000 MHz) rendszerint több „frekvenciasávban” fogja át, melyek között átkapcsolóval lehet választani.

A - burkoló demodulátoros - wobblers méréshez csak X-Y üzemmódra képes, alacsony határfrekvenciájú és nem különösebben pontos oszcilloszkóp szükséges, viszont a kiértékelést megkönnyíti, ha nagy az ernyő mérete. Ezért wobblers méréshez speciális műszert, *wobblerszkópot* gyártanak, mely a wobbleren kívül tartalmazza a speciális, nagy képernyőjű (sokszor TV vevőkészülék katódsugárcsővét használó), de csak a wobblers mérésre alkalmas egyszerű oszcilloszkópot és a méréshez szükséges burkoló demodulátort is.

Spektrumanalizátor

Matematikailag kimutatható, hogy a periodikus jelek több, különböző frekvenciájú, amplitúdójú illetve fázisú jelkomponensből állnak. A jel spektrumának e jelkomponensek összességét nevezik. A spektrumanalizátor a vizsgálandó jel spektrumát méri és ábrázolja ernyőjén, olyan módon, hogy a vízszintes tengelyen frekvenciával, a függőleges tengelyen az adott frekvencián megjelenő jelkomponens amplitúdójával arányos a sugár kitérése.

A spektrumanalizátor bemenetére általában 0,1 μ V...1V tartományba eső nagyfrekvenciás feszültség kapcsolható. E tartományban a bemenő jelet a műszer belső feszültségosztójával leosztani. Ha nagyobb

nagyfrekvenciás feszültséget kell vizsgálni, a spektrumanalizátor bemenete elé külső feszültségosztót kell helyezni. (A megengedettnél nagyobb bemenő feszültség a műszert tönkretelheti.)

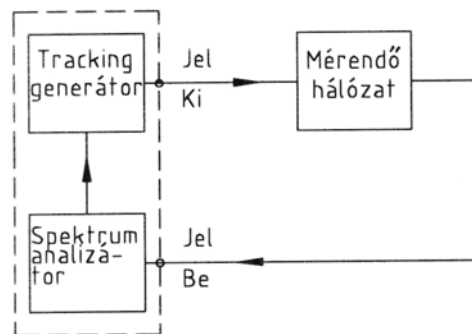
A spektrumanalizátor kezelőszervein beállítható az a frekvencia, amely az ernyő függőleges középvonalának felel meg, valamint hogy a sugár 1 DIV-nyi vízszintes elmozdulása milyen frekvenciának felel meg (diszperzió).

A képernyőn a vízszintes tengelyen a sugár kitérése a frekvenciával lineáris, a függőleges tengelyen azonban a jelkomponens amplitúdóját általában *logaritmikus erősítőn* erősítik, minek következtében a képernyő függőleges tengelyén a jel nagysága közvetlenül dB-ben olvasható le. Ha pl. 1 DIV = 10 dB, és az ernyő függőlegesen 8 DIV-re van osztva, ilyen módon 80 dB dinamikatartományú jelet lehet ábrázolni, azaz a legfelső skálavonal tízezerszer nagyobb feszültséget jelent, mint a legalsó.

A spektrumanalizátorok több fajtája ismeretes. Az általánosan alkalmazott pásztázó spektrumanalizátorok a frekvenciasávot hasonló módon „pásztázzák” végig, mint a wobbler. A sugár az ernyőn vízszintesen a frekvencia változásával szinkronban halad, miközben függőlegesen az adott frekvencián mért jelkomponens (logaritmikus) értékével arányos a kitérése.

A spektrumanalizátorból nagyon jó minőségű „wobblerszkóp” alakítható ki *tracking generátor* alkalmazásával. A tracking generátor olyan szinuszgenerátor, amely állandó amplitúdójú mérőjelet bocsájt ki, a pásztázással együtt haladva mindig azon a frekvencián, amelyen a spektrumanalizátor éppen méri a megjelenő jelkomponens értékét.

A spektrumanalizátorból és tracking generátorból összeállított műszerrel való frekvenciamenet mérés elrendezését a 68. ábra mutatja.

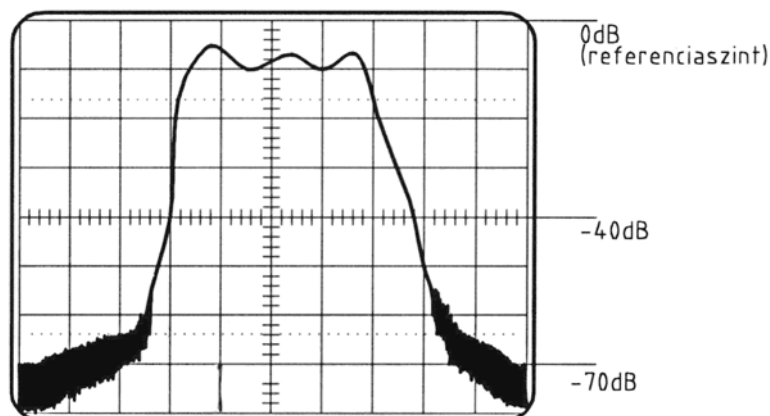


68. ábra

Frekvenciamenet mérése spektrumanalizátorral és tracking generátorral

A mérés előtt a mérendő hálózat helyére rövidzárat kell kapcsolni, és (a tracking generátor kimenő szintjének, ill. a spektrumanalizátor bemenő osztójának állításával) beállítani, hogy az ernyőn a sugár a viszonyítási szintre (pl. a legfelső skálavonalra) kerüljön.

Ez után a mérendő hálózatot bekapcsolva, az ernyőre kirajzolódik a frekvenciaátviteli görbe. Ha a mért hálózat egy sávszűrő, a műszer ernyőjén a 69. ábra szerinti jelet láthatjuk.



69. ábra

Frekvenciamenet mérés ernyőképe

Az ábrán (függőlegesen 10 dB/DIV eltérítést feltételezve) a sávszűrő áteresztő tartományában 8-10 dB (8-10 mm.), záró tartományában 70-80 dB (a referencia szintnél 70-80 mm-el kisebb) átvitt mérhetünk. Megjegyzésre érdemes, hogy - az alkalmazott logaritmikus ábrázolásánál - amikor az átvitt jel már nagyon kicsi, (a záró tartomány határain), a jelre jelentős zaj ül, amelyet részben magának a spektrumanalizátornak a fokozatai termelnek.

3.15.15. Teljesítménymérés

Egyenáramú teljesítmény mérése

Ismert értékű R ohmos ellenálláson a disszipálódó teljesítmény $P = I^2 R = U^2 / R$, ilyen esetben tehát a mérés megfelelően skálázott áram- vagy feszültségmérő műszerrel is elvégezhető.

Ha a terhelő ellenállás értéke nem ismert, a terhelésen átfolyó áram és azon eső feszültség mérhető, a teljesítmény $P = UI$ összefüggés alapján a mért értékek összeszorozásával adódik.

Kifejezetten teljesítménymérésre készítenek „kereszttekercses hányadosmérő” (analóg) műszereket, amelyek egyik tekercse a feszültség, másik tekercse az áram egyidejű mérésére szolgál, a műszer a két mennyiség szorzatának megfelelően tér ki.

Ilyen (a feszültséget és áramot egyidejűleg mérő, és a kijelzőn mérési eredményként e mennyiségek szorzatát kijelző) digitális műszer is készíthető.

Rádiófrekvenciás (RF) teljesítmény mérése

Az egyenáramú, vagy kis frekvenciákon mérő műszerek általában nem alkalmasak nagyfrekvenciás mérésekre. A „hideg műszerek” tekercsei a nagyfrekvenciás áramok számára nagy reaktanciát jelentenek (ugyanakkor a menetek között fellépő kapacitás söntöli a tekercset, tehát a mérendő áram nem a tekercsen át folyik); az elektronikus műszerek erősítőinek pedig a felső határfrekvenciája szab a mérésre határt.

Ezért nagyfrekvenciás mérésekre speciális műszereket készítenek. Ilyenek pl. az áram hőhatására alapuló elven mérő (hődrótos, hőelemes) analóg műszerek. Az átfolyó áram egy elhanyagolhatóan kis induktivitású ellenálláshuzalt melegít, és az áram értékét vagy az ellenálláshuzal hosszának hő hatására bekövetkező változásából (hődrótos), vagy egy, az ellenálláshuzal által felmelegített hőelemben létrejövő feszültségből (hőelemes) állapítják meg.

A technika mai szintjén már nem jelent gondot akár több GHz frekvencián is működő egyenirányító ill. erősítő fokozatokat készíteni, így ezekre a frekvenciákra is készíthető akár analóg, akár digitális kijelzésű feszültség- áram- ill. teljesítménymérő. Digitális jelfeldolgozás esetén a műszer vezérlését végző processzor rögzíti a teljesítmény maximális értékét, de kiszámítja a mért teljesítmény időbeli átlagát is, így külön kijelvezhető a **maximális csúcsteljesítmény (PEP = Peak Envelope Power)**, és az átlag (**AVG=average**) teljesítmény.