

2. mérés

Időtartománybeli jelanalízis

Bevezetés

Különböző jelek időtartománybeli változásának megfigyelése, megjelenítése az élet számos területén lehet fontos. Fizikai jelenségek megfigyelésénél gyakran a mérendő mennyiség időbeni változása az érdekes számunkra. Elektromos jeleknél is igen gyakran az információt maga a jelalak hordozza. Egy kazettás magnóval rögzített hangfelvételen a hang intenzitást a szalag mágnesessége reprezentálja. Az információt nem a mágnesesség, hanem annak változása hordozza. Ha az információt digitálisan tároljuk, akkor is felmerül a jelek időtartománybeli analízise, hiszen a digitális információt is analóg jelek hordozzák. Ahhoz, hogy a digitális jelátvitel hibamentes legyen, a digitális információt hordozó analóg jelnek megfelelő jelszintűnek kell lennie, a jelváltásoknak meghatározott sebességűnek kell lenniük. Egy órajeltől elvárjuk, hogy szintváltáskor ne oszcillálva álljon be. A kábel-TV jelétől elvárjuk, hogy ne csak a stúdióban legyen megfelelő minőségű a jel, hanem hosszú utat megtéve a lakásban, a TV mögötti csatlakozón is. Az analóg vagy digitális jelek időtartománybeli változását ezért ellenőrizni kell, ha egy berendezés nem az elvártan megfelelően működik. Egy hálózatba kapcsolt eszköznél a busz lezáró impedanciájának a hiánya, vagy egy nem kívánt kapacitív terhelés olyan problémákat okozhat, amelyek a digitális áramkör funkcionális tesztelésével nehezen detektálhatók, időtartománybeli analízissel azonban gyorsan felderíthetők.

A mérés célja

A mérés során a hallgatók feladatokat oldanak meg a következő témakörökben: (1) az idő- és fázismérés, (2) a lineáris hálózatok frekvenciafüggő átvitele és ennek elemzése időtartományban, (3) jelterjedés elosztott paraméterű rendszereken (távvezetéken), (4) átlagolás, mint zavaraszűrés. Ezen kívül megismerik az időtartománybeli reflexiómérést (Time Domain Reflectometry), és gyakorolják az idő- és fázismérést oszcilloszkóp segítségével, és hibadiagnosztikai feladatok megoldását időfüggvények elemzésével.

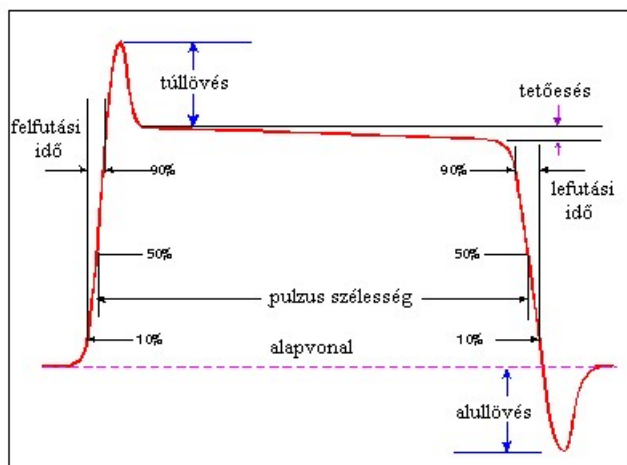
A mérés elméleti alapjai

Pulzusparaméterek mérése

A pulzusparaméterek méréséhez szükséges az egyes mennyiségek egyértelmű definíciója, ezek láthatóak a 2-1. ábrán:

- Felfutási idő: az az idő, amely alatt a jel a végérték 10%-ról annak 90%-ra növekszik.
- Lefutási idő: az az idő, amely alatt a jel a kezdeti érték 90%-ról annak 10%-ra csökken (megj: lineáris rendszer négyszögjelre adott válasza esetén ez ugyanannyi, mint a lefutási idő).
- Túllövés: a jel maximális értékének és végértékének különbsége. Tipikusan a végértékre vonatkoztatva adják meg %-ban.
- Alullövés: lefutó jel esetén a minimális érték és a végérték különbsége (megj: lineáris rendszer négyszögjelre adott válasza esetén ez ugyanannyi, mint a túllövés).

- Tetőesés: impulzusok esetén az impulzus amplitúdójának csökkenése.
- Impulzusszélesség: a felfutás során az amplitúdó 50%-ának elérésétől a lefutás során az amplitúdó 50%-ának eléréseig tartó idő.
- Beállási idő: az az idő, amely ahhoz szükséges, hogy az áramkör bemenetére ideális ugrásjelet adva a válaszjel a végérték körül egy szimmetrikus hibasávon belül maradjon. A beállási időt különböző hibasávokra szokás megadni, tipikusan a válasz jelváltozás abszolút értékének százalékában (pl. 0.1%, 1%, 5%-os beállási idő).

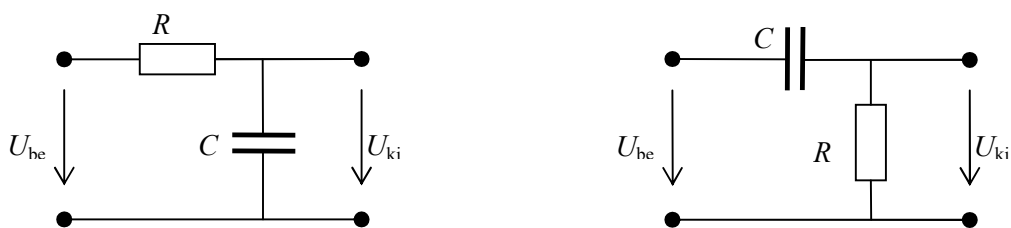


2-1. ábra. Pulzus paraméterek értelmezése

Mivel ezek a definíciók jórészt a grafikus kiértékelésre alapoztak, a kivételes esetek kezelésére nem adnak egyértelmű algoritmust (pl. nagyon zajos jel oszcilláló felfutó éllel).

Elsőfokú RC szűrők ugrásválasza

A laboratóriumi foglalkozás során elsőfokú alul- és felüláteresztő szűrők viselkedését vizsgáljuk.



2-2. ábra. Elsőfokú alul- és felüláteresztő szűrők kapcsolási rajza

Az elsőfokú alul- és felüláteresztő szűrők (LP: lowpass, HP: highpass) ugrásválasza következőképpen írható le:

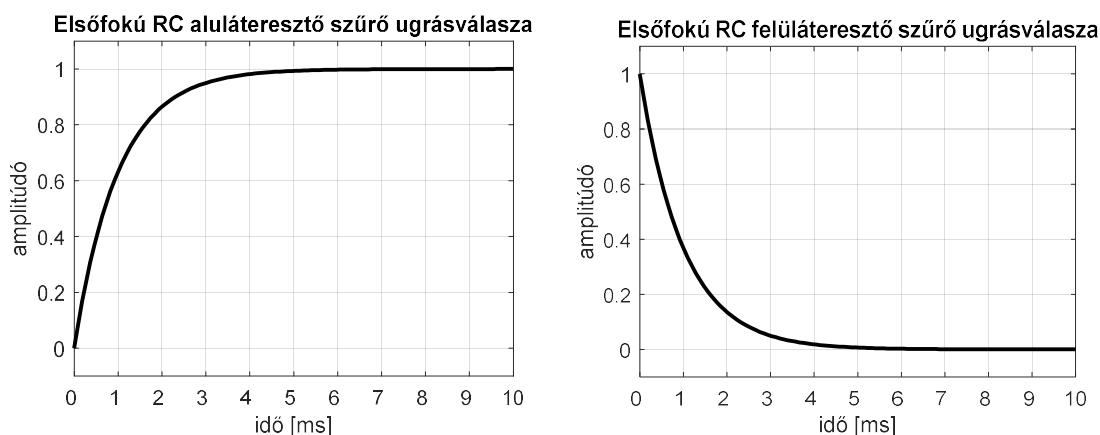
$$v_{LP}(t) = (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad v_{HP}(t) = e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (2-1)$$

ahol $\tau=RC$ a rendszer időállandója. A rendszer időállandóját legegyszerűbben az ugrásválasz mérésével határozhatjuk meg, amit a mérés során egy négyszögjel-generátor segítségével valósítunk meg.

U_0 nagyságú ugrásjel bemenetre a szűrők válaszai a következők:

$$v_{LP}(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right), \quad v_{HP}(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (2-2)$$

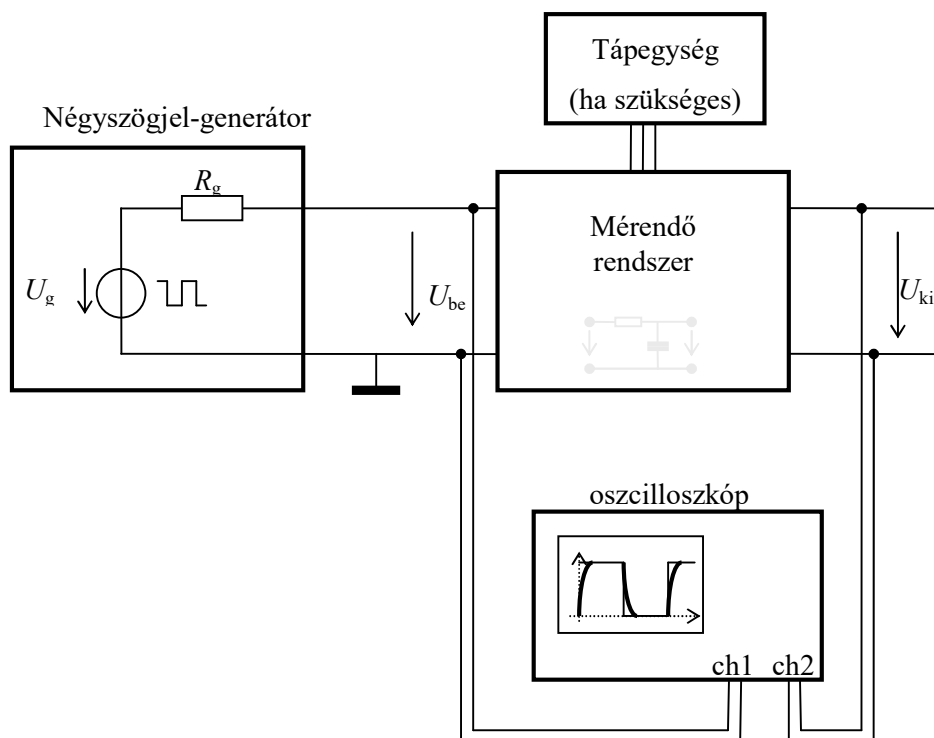
Ezek az ugrásválaszok láthatók a következő ábrákon:



2-3. ábra. Elsőfokú alul- és feluláteresztő szűrők ugrásválaszai: az időállandó $\tau=1/\omega_0=RC=1$ ms

Az időállandó mérése

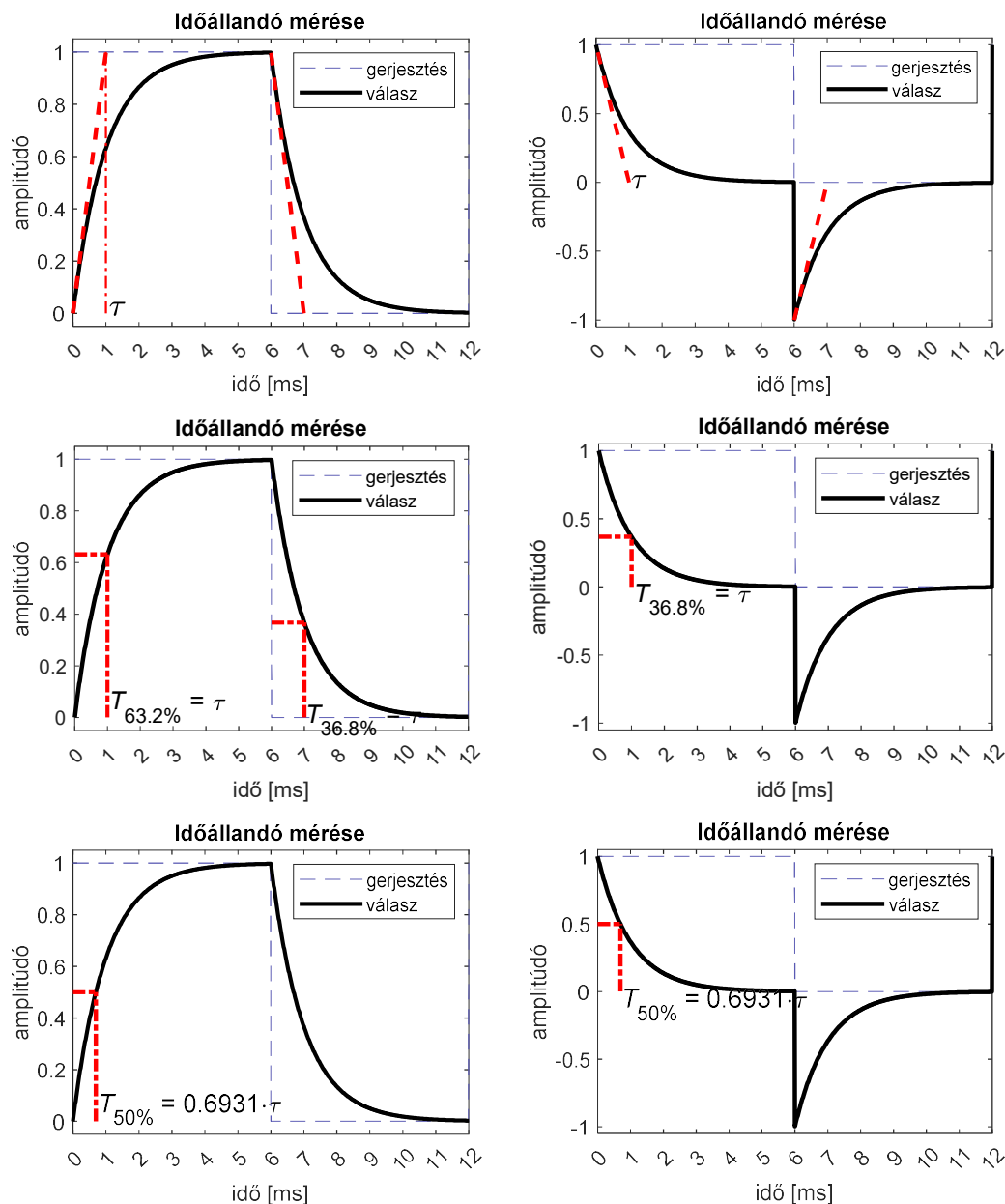
Az elsőfokú szűrők időállandóját az ugrásválasz méréséből határozzuk meg. A merést négyszögjel-gerjesztéssel végezzük: ha a négyszögjel félperiódusa legalább 5-10-szer hosszabb, mint a rendszer időállandója, a mérés során a gerjesztés ugrásjelnek tekinthető. A mérési elrendezés alább látható. A mérés során vizsgált rendszer passzív áramkör, ezért tápegység alkalmazása nem szükséges.



2-4. ábra. Mérési összeállítás az ugrásválasz meghatározásához

Az ábrán R_g a függvénygenerátor kimenőellenállását jelöli ($R_g = 50 \Omega$). Megjegyezzük, hogy ha a mért rendszer bemenőellenállása nem nagyságrendekkel nagyobb, mint R_g , akkor sajnálatos módon a kimenőellenállás mérési hibához vezet. Egyrészt a generátor kimenőellenállása és a mért rendszer bemenőellenállása feszültségosztót képez, így a szűrő bemenetére jutó feszültség kisebb lesz a függvénygenerátoron beállítotttnál, másrészt pedig R_g a mért időállandót is befolyásolja. Ez a legkönnyebben az aluláteresztő szűrő esetén látható, ahol R_g és R sorba kapcsolódik. Mivel R_g ismert, utólagos számításokkal módunk van az általa okozott rendszeres hiba korrekciójára.

Az időállandó mérésére három módszert vizsgálunk a mérés során, ezek láthatóak a következő ábrán:



2-5. ábra. Időállandó meghatározása ugrásválasz alapján. Bal oldali ábrák: aluláteresztő; jobb oldali ábrák: felüláteresztő szűrő ugrásválaszai. Első sor: kezdőpontra fektetett érintő, második sor: a végértéktől számított távolság e -ad része, harmadik sor: a végérték 50%-a. A példákban az időállandó $\tau = 1$ ms.

A fenti példákban a négyszögjel félperiódusa több, mint ötször olyan hosszú, mint a beállási idő, így a rendszer még a négyszögjel jelváltása előtt eléri az állandósult állapotot. A bemeneti négyszögjel a fenti példákban 1 V és 0 V között oszcillál (kék szaggatott vonal).

Az időállandó meghatározásának a mérés során alkalmazandó módszerei:

1. Kezdőpontra fektetett érintő alapján:
 - Lefutó él: fektessünk érintőt az ugrásválasz lefutó élének elejére. Az érintő az időtengelyt az időállandónál metszi.
 - Felfutó él: fektessünk érintőt az ugrásválasz lefutó élének elejére. Az érintő az időtengelyt az időállandónál metszi.
2. A végértéktől való távolság e -ad része alapján:
 - Aluláteresztő szűrő: az ugrásválasz a végérték $63.2\% = 1 - 1/e$ részét éri el az időállandónál felfutó él esetén (a kezdőponttól számítva a végértéktől való távolság a végérték $1/e$ -szerese), ill. $36.8\% = 1/e$ értéket lefutó él esetén.
 - Felüláteresztő szűrő: az ugrásválasz végértékének $36.8\% = 1/e$ részét éri el az időállandónál.
3. A végérték 50%-a: az ugrásválasz a végérték 50%-át éri el az időállandó 0.6931 -szorosánál: $0.6931 = -\log(1-1/2)$.

A fenti mérési módszerek elvi alapja könnyen belátható az ugrásválasz (2-1 egyenlet) vizsgálatával.

Az első módszer vizsgálatához az ugrásválasz deriváltjára van szükség:

$$v'_{LP}(t) = \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{1}{\tau}. \text{ Mivel } v_{LP}(t=0) = 0, \text{ az érintő a végértéket (ami jelen esetben 1) a}$$

$t = \tau$ időpontban éri el. Felüláteresztő szűrő esetén ez hasonlóan belátható.

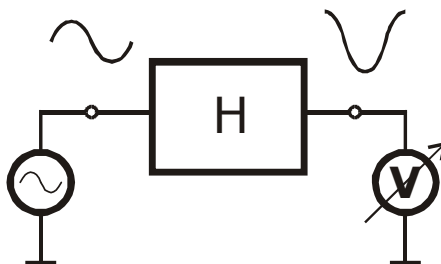
A második és a harmadik módszer jellegében nagyon hasonló. Mindegyikhez azt kell kiszámolni, hogy az ugrásválasz mikor éri el a végérték a -szorosát. Aluláteresztő szűrő esetén ehhez a következő egyenletet kell megoldani: $v_{LP}(t) = (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = a$. Átrendezve a $t = -\tau \ln(1-a)$ megoldást kapjuk, ez $a = 63.2\% = 1 - 1/e$ esetre $t = -\tau \ln(1 - (1 - 1/e)) = \tau$, $a = 50\% = 0.5$ esetre pedig $t = -\tau \ln(1 - 0.5) = 0.6931 \cdot \tau$. Felüláteresztő szűrő esetén ez hasonlóan belátható.

Átviteli karakterisztika mérése

Jól ismert, hogy egy lineáris, időinvariáns rendszer a bemenetére adott szinuszjelnek csak az amplitúdóját és fázisát képes megváltoztatni. Így minden egyes frekvencián megadható egy komplex szám, ami az adott frekvencián a rendszer átvitele. Az átvitel frekvenciafüggését nevezzük átviteli karakterisztikának.

Amplitúdókarakterisztika mérése szinuszos vizsgálójellel

Gyakran használt módszer amplitúdókarakterisztika mérésére a szinuszgenerátor és AC voltmérő alkalmazása (2-6. ábra). A mérés nem igényel speciális, drága műszereket, ha nincs igény különleges pontosságra. Hátránya, hogy viszonylag hosszú ideig tart a mérés, hiszen a frekvenciatartományban pontról-pontra haladva kell felvenni a karakterisztikát. A mérések során elvileg csak a függvénygenerátor frekvenciapontossága szab határt a mért amplitúdókarakterisztika frekvenciafelbontásának meghatározásában. A módszer alkalmazható még gyors vizsgálatokra is, ha csak a sávszélesség meghatározása, ellenőrzése a cél (például egy erősítő működésének ellenőrzése). Ebben az esetben nem pontról-pontra haladunk, hanem csak addig növeljük a frekvenciát, amíg az amplitúdócsökkenés pl. 3 dB nem lesz. Ez a vizsgálat akár oszcilloszkóp segítségével is elvégezhető.



2-6. ábra. Amplitúdókarakterisztika mérése szinuszgenerátorral és voltmérővel

Az amplitúdókarakterisztikát jellemzően dB-ben adjuk meg az adott f_k frekvencián mért kimeneti és bemeneti feszültség hányadosából számítva:

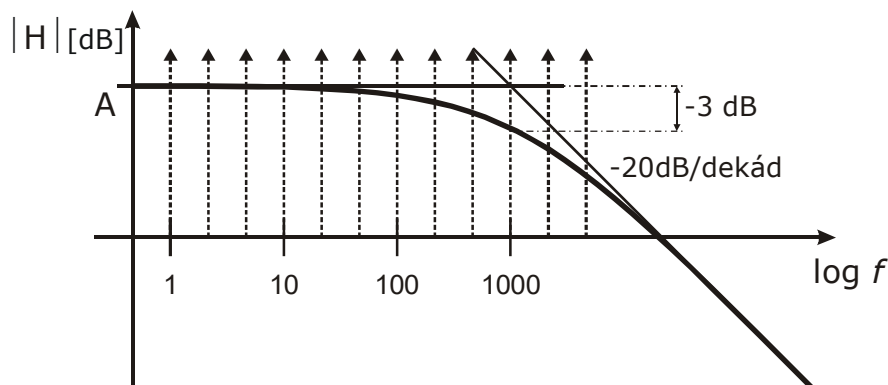
$$|H(f_k)|_{dB} = 20 \log_{10} \frac{U_{ki}(f_k)}{U_{be}(f_k)}$$

Mivel feltételezhetjük, hogy a generátor által előállított szinuszjel amplitúdója nem függ a beállított frekvenciától, a bemenőfeszültséget elég egyetlen f_k frekvencián megmérni. A fenti képletből látható, hogy ideális esetben a mért amplitúdókarakterisztika nem függ a bemenőjel amplitúdójától. A gyakorlatban azonban túl kis bemenőjel zajos mérést, túl nagy jel pedig a mért rendszer túlvezérlését eredményezheti, ezért a jelszintet ezen szempontok figyelembevételével kell beállítani (a rendszer kimenetét oszcilloszkópon vizsgálva mind a zaj, mind pedig a túlvezérlés jól megfigyelhető).

Megjegyezzük, hogy az analóg voltmérők jellemzően dB skálával is rendelkeznek, ebben az esetben elég a kimeneti és bemeneti jelszint dB-értékének különbségét képezni.

Bizonyos digitális multiméterek (pl. a laborban található 6.5 digitális műszer is) képesek a dB értékek közvetlen megjelenítésére is. Ebben az esetben a 0 dB referenciaérték a műszeren beállítható. Feltételezhetjük, hogy a generátor által előállított szinuszjel amplitúdója frekvenciafüggetlen, így a bemeneti feszültséget egy adott frekvencián megmérve a dB-értéket nullázhatjuk. Ezután a kimenőfeszültséget mérve a leolvasott dB-értékek közvetlenül az amplitúdókarakterisztikának felelnek meg.

A karakterisztika mérése során például a 2-7. ábrán szaggatott nyíllal jelölt frekvenciákat állítjuk be a függvénygenerátoron (a frekvenciatengely az ábrán logaritmikus), és egyidőálló esetben a -3 dB-es pont már könnyen meghatározható a mérési eredményekből.



2-7. ábra. Elsőfokú aluláteresztő szűrő átviteli karakterisztikájának mérése

A módszer szokásos elnevezése a léptetett szinusz (stepped sine) jellel történő mérés. A módszer legnagyobb hátránya egyértelműen a hosszú mérési idő. Minden mérésnél, miután a gerjesztőjel frekvenciáját megváltoztattuk, meg kell várni az állandósult állapotot a kimeneten, és több mérési eredmény alapján kapjuk csak meg az amplitúdókarakterisztikát. (A 4. mérésben sokkal gyorsabban, egy lépésben mérjük majd meg az amplitúdókarakterisztikát, több frekvencián egyszerre gerjesztve a rendszert.)

A léptetett szinuszelet alkalmazó mérés előnye a jó jel/zaj viszony, ami tovább növelhető, ha a feszültségmérő elé egy olyan sávszűrőt teszünk, ami csak a mért f_k frekvenciát engedi át, így a zajkomponenseket kiszűri. Megjegyzendő, hogy ez a mérést tovább lassíthatja, mivel ez esetben a sávszűrő beállítását is meg kell várni. Itt is igaz tehát az a felismerés, hogy minél pontosabb mérést szeretnénk, annál több időre van szükség.

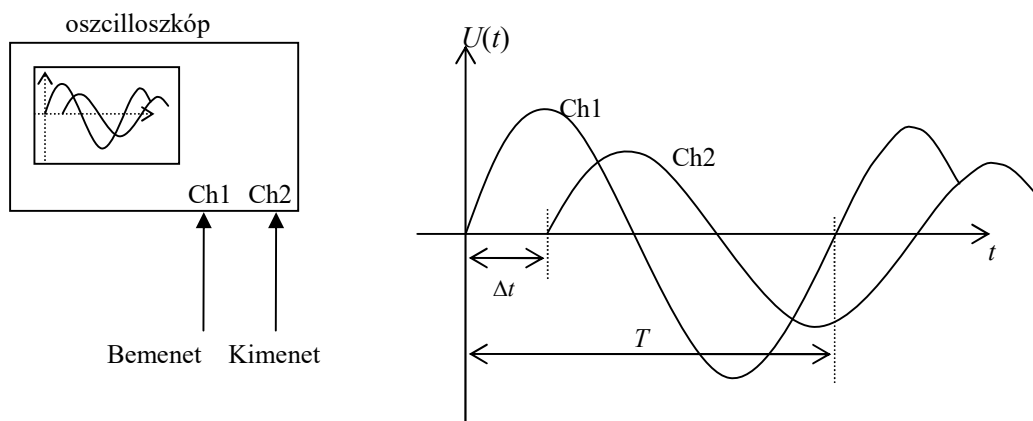
A fáziskarakterisztika mérése

Ugyanazon f_k frekvenciákon, ahol az amplitúdómenetet megmértük, a rendszer fázistolását is meg kell vizsgálnuk, hogy a teljes (komplex) átviteli függvényt megkapjuk. Két azonos frekvenciájú szinuszos jel közötti fázistolást oszcilloszkóppal többféleképpen mérhetünk meg, itt egy módszert ismertetünk.

Az alábbiakban az időintervallumok arányára vezetjük vissza a fázisszög mérését, mégpedig a késleltetés és a periódusidő arányára. A bemenő- és kimenőjelet az oszcilloszkóp két különböző csatornájára tesszük. Mindkét jelen megkeresünk egy azonos fázishelyzetnek megfelelő értéket. Célszerű a nullátmenetet választani referenciapontnak. Ezek időtengelyen mért távolsága adja meg a késleltetést (Δt). A periódusidő (T) meghatározható bármelyik jel két egymás utáni azonos irányú nullátmenete alapján. A fázisszög a következő képlettel

határozható meg: $\varphi = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360^\circ$. A mérés előnye, hogy a pontosság nem függ az

oszcilloszkóp időalapjának pontosságától, csak a vízszintes eltérítés linearitása a követelmény. Természetesen a fenti mérést minden mérendő f_k frekvencia esetén újra és újra elvégezzük. A mérés elve a 2-8. ábrán látható.



2-8. ábra. Fázistolás mérése oszcilloszkóppal, az időarányok elve alapján

Megjegyzés: kis fázistolás esetén a késleltetés jóval kisebb, mint a periódusidő. Amennyiben a két mérést nem ugyanazzal az időalappal végezzük, a leolvasási pontosság növelhető. Ez

esetben azonban elveszítjük a módszer azon tulajdonságát, hogy az időalap hibája kiesik. Az adott oszcilloszkóp specifikációja határozza meg, hogy mikor érdemes a késleltetést nagyobb időalappal megmérni.

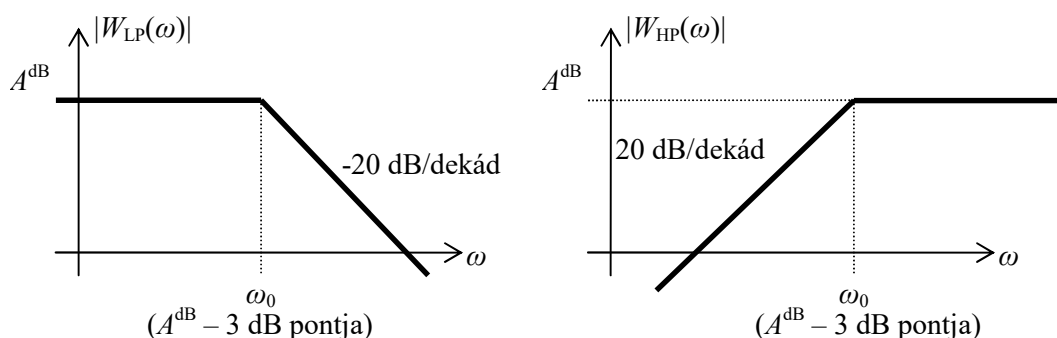
A mérésben használt oszcilloszkóp beépített fázisszögmérő funkcióval is rendelkezik. A mérési elv megfelel a fentiekben leírtaknak. Ez a funkció csak olyan időalapon működik, ahol a jel teljes periódusa látszik a képernyőn. Ez az elérhető pontosságot korlátozza, hiszen kis fázisszögeknél a felbontást a teljes periódushoz meghatározott időalap fogja meghatározni. Ez egy példa arra, hogy az oszcilloszkóp beépített, "automatikus" funkciói ugyan sokszor segítik a mérnököt, de nem mindig alkalmazhatóak. Ezért szükséges megismerni az alap mérési módszereket akkor is, ha erre az eszköz automatizmusokat is biztosít.

Elsőfokú RC szűrők átviteli függvénye

A mérés során vizsgált elsőfokú alul- és felüláteresztő szűrők átviteli függvénye a kapcsolási rajz alapján, a két impedancia (R és $1/(j\omega C)$) által alkotott feszültségosztó felírása után a következő alakot ölti:

$$W_{LP} = \frac{1}{1 + j\omega/\omega_0}, \quad W_{HP} = \frac{j\omega/\omega_0}{1 + j\omega/\omega_0}, \quad (4-8)$$

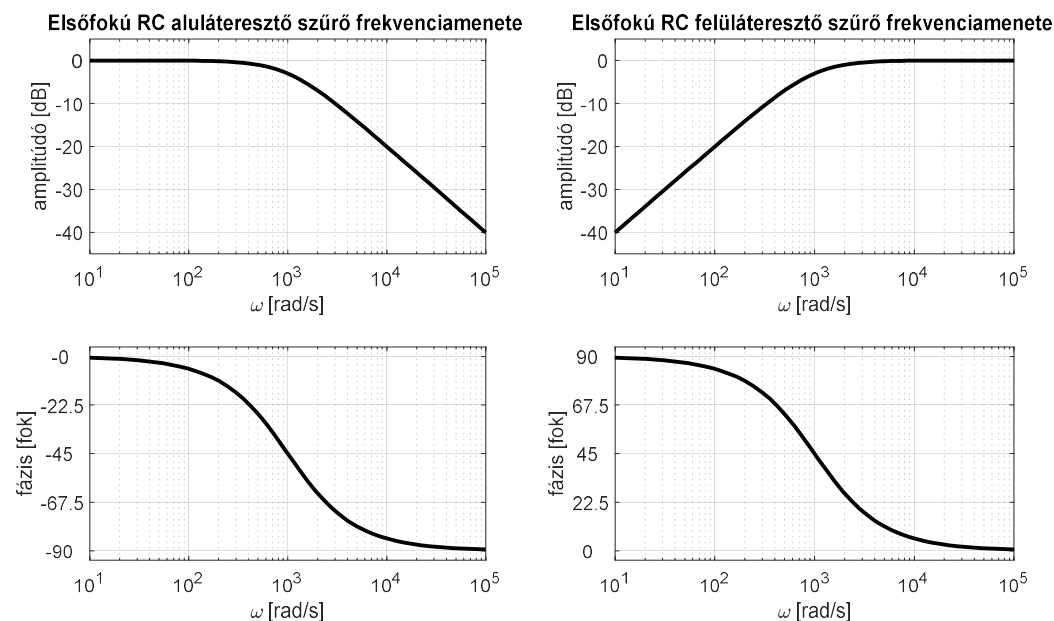
Ahol $\omega_0 = 1/\tau = 1/(RC)$ a törésponti körfrekvencia a rad/sec-ban. A törésponti frekvencia Hz-ben pedig $f_0 = \omega_0/(2\pi)$. Villamosmérnöki gyakorlatban gyakran alkalmazzuk a Bode diagram töréspontos közelítését, ezek a fenti szűrőkre:



2–9. ábra. Az elsőfokú alul- és felüláteresztő szűrő amplitúdómenetének töréspontos közelítése

Labor 1. Hallgatói segédlet

A pontos, MATLAB segítségével számolt átviteli függvények pedig:



2–10. ábra. Elsőfokú alul- és felüláteresztő szűrők amplitúdó- és fázismenete, a példában alkalmazott törésponti frekvencia $\omega_0 = 1/RC = 1000$ rad/sec

A szűrők nevezetes pontjai:

Tulajdonság	Elsőfokú aluláteresztő	Elsőfokú felüláteresztő
Törésponti körfrekvencia / időállandó	$\omega_0 = 1/\tau = 1/RC$	$\omega_0 = 1/\tau = 1/RC$
DC erősítés	0 dB (1)	$-\infty$ dB (0)
Erősítés a törésponti frekvencián	-3 dB ($1/\sqrt{2}$)	-3 dB ($1/\sqrt{2}$)
Erősítés $\omega \rightarrow \infty$ frekvencián	$-\infty$ dB (0)	0 dB (1)
Az amplitúdómenet meredeksége a törésponti frekvencia alatt	0 dB/dekád, 0 dB/oktáv	20 dB/dekád, 6 dB/oktáv
Az amplitúdómenet meredeksége a törésponti frekvencia felett	-20 dB/dekád, -6 dB/oktáv	0 dB/dekád, 0 dB/oktáv
DC fázistolás	0°	90°
Fázistolás a törésponti frekvencián	-45°	45°
fázistolás $\omega \rightarrow \infty$ frekvencián	-90°	0°

Időtartománybeli reflexiómérés

A korábban szinte kizárólag a mikrohullámú területeken használt tápvonalakat a nagysebességű digitális áramkörök elterjedésével az impulzustechnikai áramkörökben is növekvő mértékben alkalmazzák.

Ha a tápvonalon nagyfrekvenciás (pl. nagysebességű digitális) jelet vezetünk át, a viszonyok leírására a jel hullámtermészetét is figyelembe kell venni.

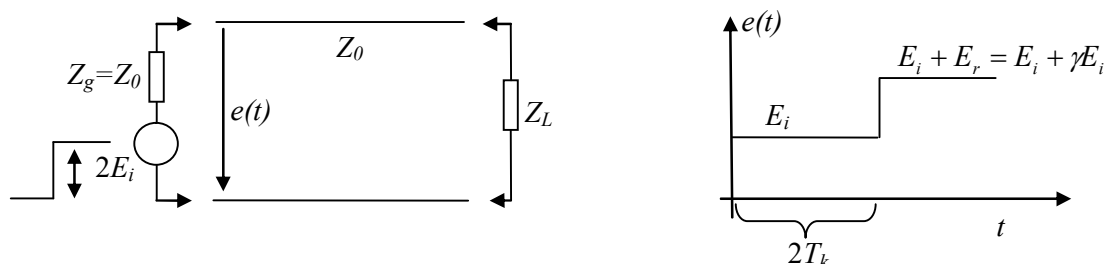
Az 2-11. ábra szerinti összeállításban egy lépésfüggvényt szolgáltatató feszültségforrást kapcsolunk a tápvonal bemenetére, az illesztés érdekében a tápvonal hullámimpedanciájával megegyező ($Z_g = Z_0$) soros ellenálláson keresztül. Ugyanezen a bemeneti ponton oszcilloszkópon figyeljük az $e(t)$ jelalakot. A tápvonal kimenetét egy Z_L valós terhelés zárja le. (Lépésfüggvény gerjesztés helyett a gyakorlatban négyszögjelet alkalmazunk: így tkp. az ugrásválaszt mérjük meg újra és újra minden periódusban, és ezt ábrázoljuk az oszcilloszkópon.)

Az oszcilloszkópon várható jelalakot egyszerű fizikai megfontolásokkal megbecsülhetjük. A $t = 0$ időpillanat előtt a rendszer energiamentes. A lépésfüggvény megjelenésekor az energiamentes tápvonal bemenete Z_0 impedanciát mutat, függetlenül a terheléstől. Ezt az magyarázza, hogy a jel terjedéséhez véges (bár nagyon rövid) idő szükséges, a gerjesztés megjelenésekor a bemenet tehát még "nem tudja", hogy a kimeneten mi a terhelés. A feszültség ezért a bemeneten mindaddig E_i nagyságú, míg a jel végig nem haladt egyszer a tápvonalon és a terhelő impedanciától függő amplitúdójú és fázisú jel vissza nem érkezett a bemenetre. Természetesen a késleltetési idő elteltéig a kimenet sem tud a bemenetről, ott a feszültség nulla.

Az egyirányú út megtételéhez szükséges időt, vagyis a késleltetési időt T_k -val jelöljük. $2T_k$ idő múlva a tápvonal kimenetéről visszavert jel (E_r) a terhelő impedanciát a "bemenetre hozza". Innen kezdve az időfüggvényt úgy határozhatjuk meg, mintha a terhelő impedanciát közvetlenül a jelforrás kimenetére kötöttük volna.

A reflektált és a beeső hullámok között az ismert reflexiós tényező adja meg a kapcsolatot:

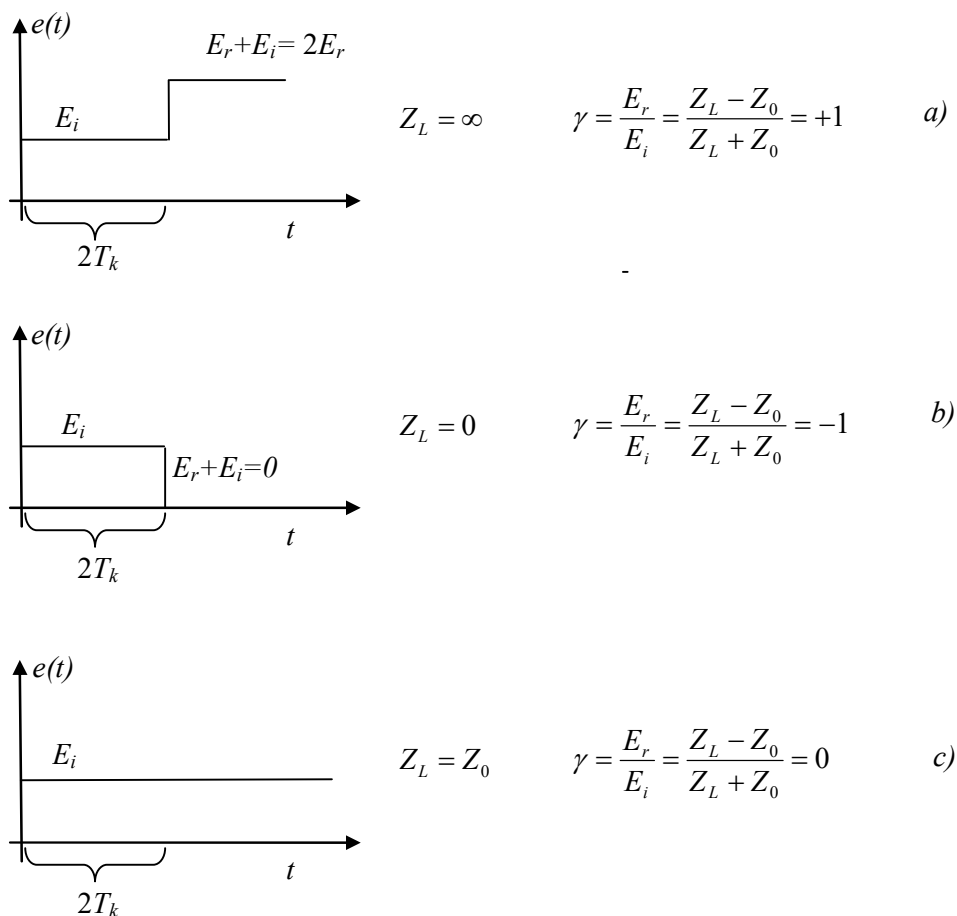
$$\gamma = \frac{E_r}{E_i} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (5-3)$$



2-11. ábra. Időtartománybeli reflexiómérés blokkvázlata és jelalakja ugrásgerjesztés esetén.

A fenti elven megvalósított mérést időtartománybeli reflexió mérésnek, vagy angol megfelelője alapján TDR (Time-Domain Reflectometry) mérésnek nevezzük.

A fentiek alapján könnyen érthetővé válnak az alábbi speciális esetek:

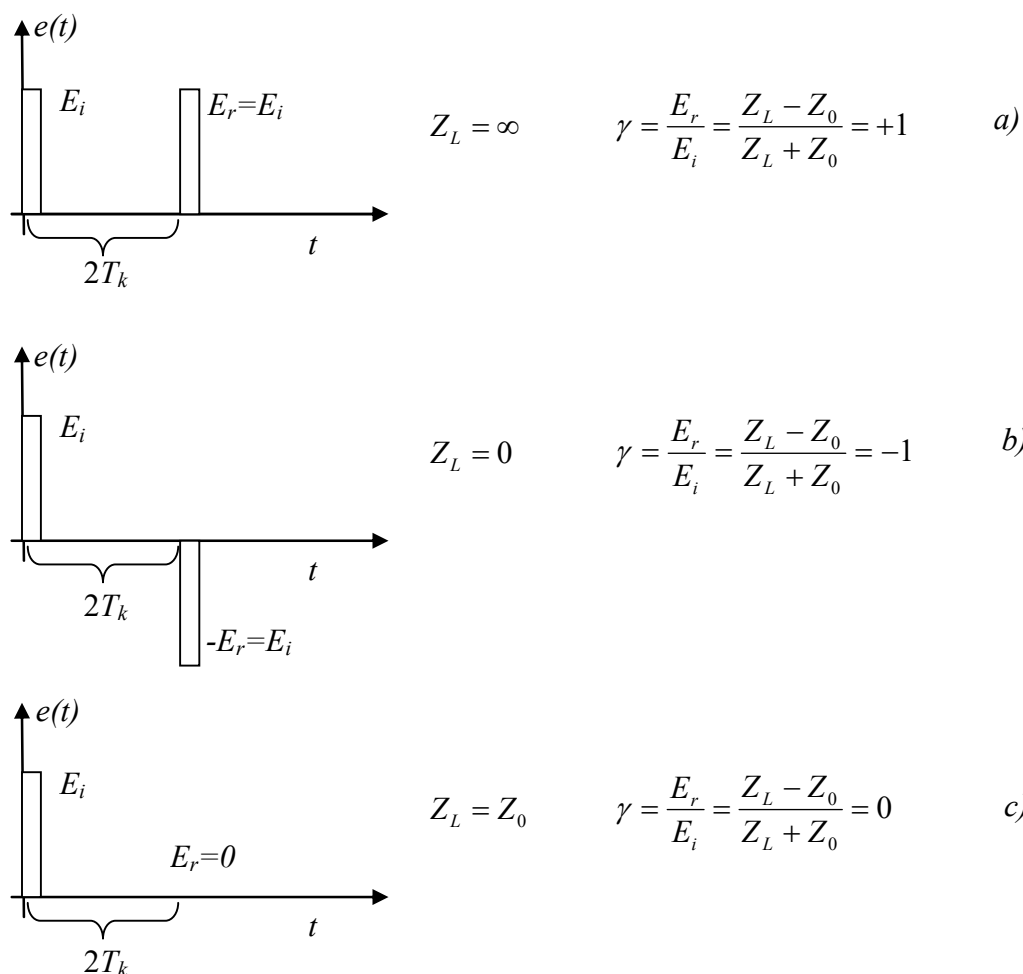


2-12. ábra. Reflektáló jelalakok lépésgerjesztés alkalmazásánál, szakadás (a), rövidzár (b) és illesztet lezárás (c) esetén, a tápvonal bemenetén mérve.

Különösen érdekes a *b)* eset. Az így előállított impulzus hosszúsága csak az alkalmazott tápvonal hosszától függ, vagyis nagyon rövid impulzust is elő tudunk állítani.

Természetesen ha a lezáró impedancia nem tisztán valós, akkor a jelalakok sokkal bonyolultabbak. Ekkor a $t = 0$ időpontban az energiatároló elemek energiamentes állapotát ($Z_C \rightarrow 0$; $Z_L \rightarrow \infty$), a $t = \infty$ -ben pedig az állandósult értékét kell figyelembe venni ($Z_L \rightarrow 0$; $Z_C \rightarrow \infty$). A köztes időben a kapcsolat jellegétől függően exponenciális időfüggvények eredője adja a jelalakot.

Ha lehetőségünk van nagyon keskeny impulzus előállítására (a laborban használt generátor képes erre), akkor a jelterjedésről még szemléletesebb képet kaphatunk. Ha a pulzusunk hossza rövidebb, mint a kábelben az oda-vissza terjedési idő, akkor a beeső és reflektált komponensek nem adódnak össze, mint az ugrásválasz esetén, hanem jól elkülönülnek. Néhány speciális esetet szemléltet a következő ábra.



2-13. ábra. Reflektálódó jelalakok pulzusgerjesztés alkalmazásánál, szakadás (a), rövidzár (b) és illesztet lezárás (c) esetén, a tápvonal bemenetén mérve.

A fenti mérési módszert előszeretettel alkalmazzák hosszú kábelek vizsgálatára. A kábel bármilyen sérülése megváltoztatja a hullámimpedanciát, így a sérült helyen reflexió lép fel. A kábelt TDR méréssel vizsgálva csak az egyik végéhez kell hozzáférnünk. A kialakuló reflexiós jelalakból a sérülés jellegére (szakadás, rövidzár), az eltelt időből pedig a helyére lehet következtetni. A jelterjedési sebesség függ az anyag dielektromos állandójától ($v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$, ahol v a jelterjedési sebesség, c a fénysebesség vákuumban, ϵ_r pedig az anyag relatív dielektromos állandója.)

A kábel nem egy ponton jelentkező hibái (pl. beázás) is meghatározhatók. Ekkor a kábel csillapítása fog megváltozni, ami az oszcilloszkópon megfigyelt jelalak eddigiekben vízszintesnek feltételezett részét fogja megváltoztatni.

Ugyanezen az elven működik az optikai üvegszál kábelek vizsgálatára készített OTDR készülék is.

Átlagolás, mint zavarcsökkentés

Periodikus jelek digitális oszcilloszkópon történő vizsgálata esetén lehetőségünk van a jel-zaj viszony javítására az átlagolás (averaging) funkció használatával. Ebben az esetben az oszcilloszkóp az N db mérési periódus átlagát számítja és jelzi ki. Feltételezhetjük, hogy periodikus jel esetén minden egyes mintapontban (minden egyes kijelzett pixelen) a hasznos jelünk pontosan ugyanakkora értéke szerepel, és a pontok y irányú változását kizárólag a zaj okozza. Tudjuk, hogy a konstans érték az átlagolásra invariáns, azonban N véletlen minta átlagolása a szórás \sqrt{N} -ed részére csökkenti. Eszerint érdemes N -t nagyra választani, ez azonban a mérési idő növekedésével jár, amit az oszcilloszkópon úgy veszünk észre, hogy a mért jel megváltozását (pl. be- és kikapcsolását) a kijelzés csak nagyon lassan követi. Az N értéket tehát ennek fényében célszerű megválasztani.

Fontos, hogy az átlagolt periódusok szinkronban legyenek, mert ha a hasznos jel az időben "csúszkál", már nem igaz az, hogy értéke az egyes regisztrátumok azonos időpontjain konstans lesz, így az átlagolás a hasznos jelet is módosítja. Ezt kizárólag pontos triggereléssel tudjuk biztosítani, ami épp zajos jelek mérésénél okozhat problémát, a jel alakjától függően. Meredek felfutású jeleknél (pl. négyszögjel) a felfutó él általában továbbra is tiszta marad, azonban lassabb felfutásnál (pl. szinuszjel) a jelre rakódott zaj a triggeridőpontot bizonytalanná teszi. Ha van lehetőségünk, érdemes ilyenkor a zajos jellel szinkronban futó, de zajmentes jelre triggerelni. Ilyen eset pl. egy zajos rendszer kimenetének vizsgálata, ahol nem a zajos kimenőjelre, hanem a zajmentes bemenőjelre triggerelünk.

Megjegyezzük, hogy a laboratóriumban használt oszcilloszkópon $N=1$ is beállítható, ami ellentmondásnak tűnhet. Ez esetben a műszer nem az egyes mérési periódusokat átlagolja (hiszen abból csak egy van), hanem a lehető legnagyobb mintavételi frekvenciával mintavételez, és a kijelzett mintapontok közé eső felvett mintákat átlagolja (alapesetben a műszer csak a kijelzett pontoknak megfelelő időpillanatokban venne mintát). Ez azt jelenti, hogy az átlagolás hatása annál nagyobb, minél nagyobb a beállított időalap, azaz időben minél távolabb esnek a kijelzett minták, hiszen így annál több a közbeeső, átlagolható minta.

Feladatok a felkészüléshez

A mérést megelőző otthoni felkészülésként végezze el az alábbiakat önállóan!

1. Olvassa át alaposan *A mérés elméleti alapjai* c. szakaszban foglaltakat!
2. Olvassa el és gondolja végig a jegyzőkönyvvázban található *Mérési feladatokat*!

Alkalmazandó műszerek

Tápegység	Agilent E3630A
Függvénygenerátor	Agilent 33220A
Oszcilloszkóp	Agilent 54622A
Multiméter	