

Idő és Fázis mérés feladatok jegyzőkönyv

Levente VAJNA

(Mérési partner: Válik Levente Ferenc)

(Gyakorlatvezető: Tihanyi Attila Kálmán)

Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar

Magyarország, 1083 Budapest, Práter utca 50/a

vajna.levente@hallgato.ppke.hu

Kivonat—Megismerkedünk a váltakozó feszültséggel, és annak alapfogalmaival. Elsajátítjuk a mérési és mérőműszerhasználati képességeket, valamint a hitelesítés, a kalibrálás, és a leszámraztatás fogalmát. Függvényt ábrázolunk, oszcilloszkóppal méréseket végzünk, illetve szimuláljuk is azokat. Számolunk a kapott adatokból, valamint megismerkedünk különböző jeltípusokkal.

Keywords—idő; fázis; oszcilloszkóp; spektrumanalizátor; NI ELVIS II, Boode analízator

Mérés ideje: 2023.05.04.

I. FELADAT: MÉRÉS SORÁN FELMERÜLŐ FOGALMAK TISZTÁZÁSA

I-A. Periodikus jelek

Az $x(t)$ analóg jelet periódikusnak nevezzük, ha

$$\exists T > 0, \text{ amelyre } x(t + T) = x(t) \quad \forall t \text{ -re.}$$

A T_0 alapperiódus az a legkisebb pozitív T , amelyre a fenti egyenlet teljesül. Az alapprojektencia definíciója:

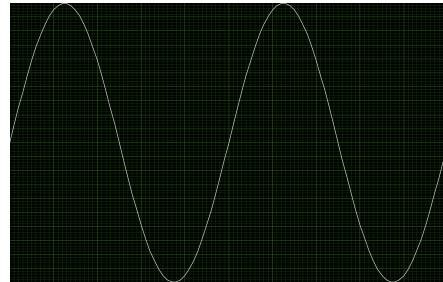
$$f_0 = \frac{1}{T_0} \quad (1)$$

A leggyakoribb, ha egy függvény 2π periodikus.

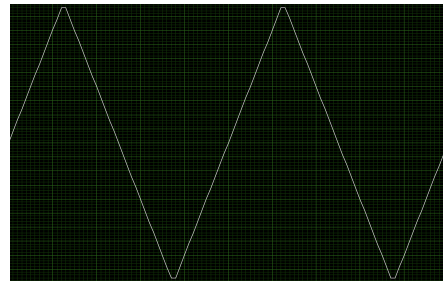
I-B. Jel és impulzus típusok

Az impulzus olyan áram vagy feszültség, amelynek értéke két nyugalmi állapot között ugrásszerűen változik, vagyis két szélsőérték között változtatja az amplitúdóját.

- 1) Szinuszos jel (1. ábra): Az egyik leggyakoribb és legfontosabb váltakozó feszültségű jel, melynek időbeli változása egy szinuszos függvénnyel írható le. A jelnek van amplitúdója, frekvenciája és fázisa. A frekvencia jelenti, hogy az oszcilláció hány ciklust végez el másodpercenként, az amplitúdó pedig az oszcilláció legnagyobb kitérése. Ezt a jel típust folyamatosan használják elektromos rendszerekben, például áramátalakítókban, audio- és videotechnológiában, rádiókban és számos más kommunikációs rendszerekben. Gyakran harmonikus oszcillációk eredményeként jön létre.
- 2) Háromszögjel (2. ábra): Olyan periodikus jel, amelyet egy háromszög alakú függvény ír le. Az amplitúdó és a frekvencia hasonlóan határozza meg, mint a szinuszos jel esetében. A háromszögjel a hangtechnikában és az elektromos hálózatokban is egyaránt használatos.
- 3) Fűrészjel (3. ábra): A fűrészjel egy periodikus jel, amelyet egy fűrészfog alakú függvény ír le, tehát két egyenes vonalból áll, egyik oldalán lassabban emelkedő/csökkenő, a másikon pedig nagy meredekségű csökkenő/növekvő ferde vonalból áll. A frekvencia és

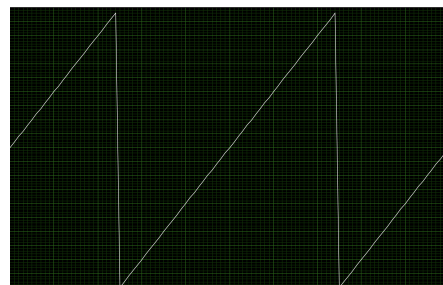


1. ábra. Szinuszos jel



2. ábra. Háromszög alakú jel

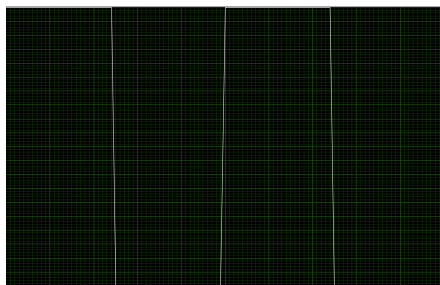
az amplitúdó itt is meghatározó tényezők. A fűrészjel gyakran használatos zenei szintetizátorokban, de az elektronikában is sokszor előfordul.



3. ábra. Fűrészjel

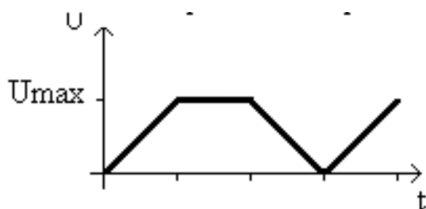
- 4) Négyszögjel (4. ábra): Ez a jel típus egy szimmetrikus hullámforma, amely négyzet alakú. A négyszögjelnél csak két feszültségértéke van: a pozitív és a negatív, ezek között váltakozik. Az amplitúdó és a frekvencia itt is fontos tényezők, meghatározzák, hogy milyen gyakran, és mekkorára ugorjon meg a jel. A négyszögjel jellemzően digitális áramkörökben használatos. A jel (2) Fourier sorként így számítható: [1]

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{U_{cs}}{2n-1} \cdot \sin(2n-1)\omega t \right) \quad (2)$$



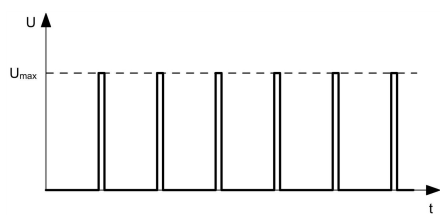
4. ábra. Négyszögjel

- 5) Trapézjel (5. ábra): Egy szimmetrikus hullámforma, amelynek emelkedő és csökkenő éle a pozitív és negatív feszültségi szintek között egyenes szakasszal kapcsolódik össze. A trapézjelnak négy feszültségértéke van: az alacsony, a magas és a pozitív és negatív trapézszintek közötti értékek. A trapézjel hasznos lehet például az elektronikai tesztelés során vagy a szimulációkban.



5. ábra. Trapézjel

- 6) Tűjel (6. ábra): (vagy impulzusjel) Egy nagyon rövid ideig tartó, nagy amplitúdójú jel. Ez a jel típus olyan gyors változású feszültség vagy áramimpulzus, amelyet általában mikrosekundumokban vagy akár nanosekundumokban mérnek. A tűjel gyakran használatos a kommunikációban és a műszerekben, például radarokban és ultrahangos berendezésekben, vagy például az adatátvitelben a bitjelek digitális reprezentálására.



6. ábra. Tűjel

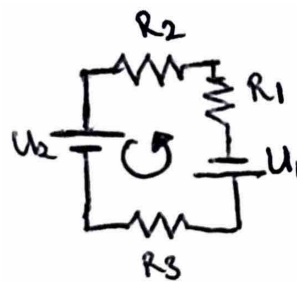
I-C. Feszültségosztó tétel

Ezzel a tétellel (3) könnyedén számolhatunk két ellenállás esetén az egyik ellenálláson eső feszültséget, a bemeneti feszültség, az első, és a második ellenállás ismeretében. A képlet:

$$U_1 = U_{be} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

I-D. Kirchhoff II. törvénye

Más néven a huroktörvény. Kirchhoff huroktörvénye szerint a hurokban szereplő feszültségek előjelhelyes összege nulla.



7. ábra. Kirchhoff II. törvényéhez (4) szemléltető ábra

A 7. ábrán láthatóak alapján a törvény azt mondja ki, hogy:

$$U_1 + U_{R1} + U_{R2} + U_2 + U_{R3} = 0$$

Vagyis általánosan:

$$\sum_{k=1}^n U_k = 0 \quad (4)$$

I-E. Oszilloszkóp

Az oszcilloszkóp egy elektronikai műszer, amely lehetővé teszi elsősorban a váltakozó feszültségű jelek időbeli alakjának grafikus megjelenítését. Az oszcilloszkóp működése alapján a bemeneti jel időbeli alakját ábrázolja egy kijelzőn, amelyen a vízszintes tengely az idő, a függőleges tengely pedig a feszültség értékét jelöli. Az oszcilloszkóp használata segít a jelek jellemzőinek, mint például az amplitúdó, frekvencia, periódusidő, időállandó, fáziseltérés és zaj jellemzőinek vizsgálatában és mérésében.

Használata széles körben elterjedt, manapság alkalmazva van az elektronikában, a kommunikációban, az orvostudományban. Például analóg és digitális áramkörök vizsgálatára, a hang- és képi jelek mérésére, illetve egyéb diagnosztizálási folyamatokban. Az oszcilloszkóp típusai eltérőek lehetnek méretben, konfigurációban és funkciókban, így az alkalmazási területtől és az igényektől függően különböző típusok állnak rendelkezésre. Az analóg és digitális oszcilloszkópok a legelterjedtebb típusok, és számos kiegészítő funkcióval és opcióval felszerelhető. Valami ehhez hasonló nagyon szép darab oszcilloszkóp van az érzékelő robotika laborban is.

II. FELADAT: KEZDETEK, ELSŐ SZÁMOLÁSOK

Mindenknek a legelején kiválasztottunk egy ellenállást, illetve egy kondenzátort. Az ellenállás névleges értéke színkódja alapján $1000\Omega \pm 1\%$, illetve a kondenzátor névleges kapacitása $47nF$.

II-A. Impedancia érték meghatározása

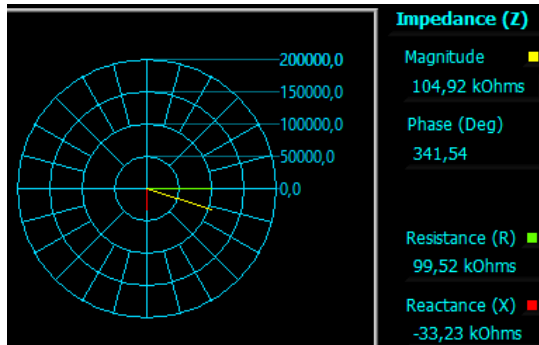
Az impedancia két részből tevődik össze. Első a valós része, vagyis az Re , illetve a képzetes része, ami pedig az Im , mint imaginárius része. Ez utóbbit jelen esetben csupán a kapacitancia (5) teszi ki, de ha lenne benne tekercs, akkor már lenne megjelenne az induktancia is. A kapacitív reaktancia az alábbi módon számítható:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C}, \quad (5)$$

ahol C a kondenzátor kapacitása. Tehát ezen képlet alapján megkapható, hogy például $100Hz$ -en

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 47 \cdot 10^{-9}} = 33.86k\Omega.$$

Ezt követően csak össze kell állítanunk a $z \in \mathbb{C}$ számunkat, ahol $a = Re$ és $b = Im$, tehát a z számunk a következő: $100000 + 33863i$.

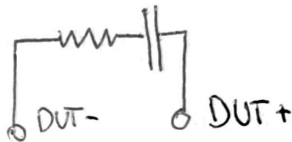


8. ábra. Impedanciája 100 Hz-en az áramkörünknek

A mérési eredményünk is hasonlóképp néz ki, az NI ELVIS II [2] impedanciamérőjével történő mérés után. A négyféle kapott értéket a 8. ábra szemlélteti jól.

II-B. A kapcsolat, amellyel a mérést végeztem

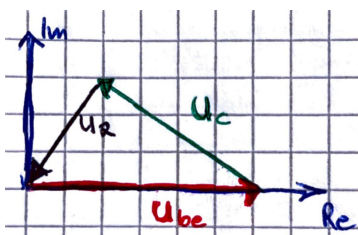
A Passzív áramköri elemek méréshez hasonlóan most is az impedancia méréshez a DUT+ és DUT- jelzésű be-/kimenetekhez kapcsoltuk a kis áramkörünket, ahogy az a 9. ábrán is látható. Ez meg tudta mérni a látszólagos ellenállást, tehát a teljes reaktanciát, valamint a valódi ellenállást, ami ugye a rezisztancia, ezen kívül kiszámolta a fázisszöget is, ami megegyezik a fenti komplex szám polárkoordinátákkal felírt alakjának φ értékével, vagyis az X^+ tengellyel bezárt szögével.



9. ábra. A kapcsolat, amellyel az impedanci mérést végeztem

II-C. Huroktörvény ismeretében a feszültségek előjeles összege

Amint azt a jegyzőkönyv elején feltűntettem (I-D), Kirchhoff II. törvénye értelmében a feszültségek előjeles összege egy zárt hurokban nulla. Ez itt is érvényes, annyi különbséggel, hogy itt a feszültségek komplex számokkal írhatók le igazán, vagy pedig ezen számok valós részeinek összegeként.

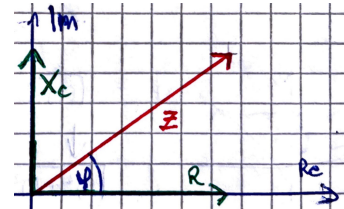


10. ábra. A feszültségek előjeles összege $U \in \mathbb{C}$ komplex számokkal

Ez a 10. ábra egy általános rajz, de mint ábra, alkalmas a számítások elvégzésének segítéséhez.

II-D. Az áramkör egyes komponensein eső feszültség meghatározása feszültségosztó összefüggéssel

A számításokhoz készítettem a 11. ábrát, amivel könnyedén számolható az egyes alkatrészeken eső feszültség. A számításaimat 100 Hz-en, 5V bemeneti feszültségen végzem.



11. ábra. Impedancia komplex számokkal

Tudjuk, hogy az eredő impedancia a z , aminek hosszával kell számolnunk, hogy az eredő ellenállást megkapjuk.

$$|z| = \sqrt{X_C^2 + R_1^2} = \sqrt{33863^2 + 100000^2} = 105.58k\Omega$$

Ez az eredmény elég közel áll a 8. ábrán látott "Magnitude" értékhez, úgyhogy tudjuk, hogy jól számoltunk. Ezután vegyük az X_C és az R_1 ezzel párhuzamos komponenseit.

$$\varphi = \arctan\left(\frac{X_C}{R_1}\right) = 18.7^\circ$$

$$R_R = R \cdot \cos(\varphi) = 94.7k\Omega$$

$$R_{X_C} = X_C \cdot \sin(\varphi) = 10.7k\Omega$$

És mivel $94717 + 10861 = 105578$, ezért jól számoltunk, tehát ez már mehet is a feszültségosztó összefüggésbe, amiből megtudjuk, hogy

$$U_C = U_{be} \frac{R_{X_C}}{R_{X_C} + R_R} = 5 \frac{10861}{10861 + 94717} = 0.51V$$

$$U_R = U_{be} \frac{R_R}{R_{X_C} + R_R} = 5 \frac{94717}{10861 + 94717} = 4.49V$$

És minthogy a kettő összege kiadja az 5V-ot, ismét tudható, hogy nem számoltunk el semmit.

Középiskolai ismereteink alapján, tudjuk, hogy ha felcserélünk két ellenállást, amik sorosan vannak kötve, se az eredő ellenállás, se az egyes áramköri alkatrészeken eső feszültség nem változik (csak a sorrend). Így nyugodt szívvel kijelenthetem, hogy a mérési utasítás 11. feladatának eredménye bármely másik frekvencián és bemeneti feszültségen számítva változatlan marad a mérési utasítás 5. feladatához képest.

II-E. Mérési utasítás 11. feladata szerint f_0 meghatározása

Ez az a frekvencia, amikor $X_C = R$. Mivel az R változatlan, az X_C viszont a frekvencia függvénye, ezért X_C kiszámítási képletét (5. képlet) egyelőre kell tennünk R -rel.

$$R = \frac{1}{2\pi f_0 \cdot C}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot 100000 \cdot 47 \cdot 10^{-9}}$$

$$f_0 = 33.86 \approx 34 \text{ Hz}$$

Mivel $q = 2$ mértani sorozatként tekintve 5 előtte és 5 utána lévő tagot is meg kell határoznunk, így ezek:

1; 2; 4.25; 8.5; 17; **34**;

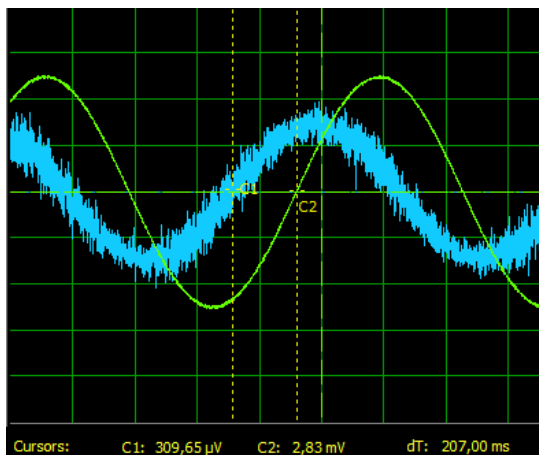
67.7; 135.5; 271; 542; 1083.5

III. FELADAT: MÉRÉSEK BEMUTATÁSA

III-A. Mérési utasítás 1. ábrája szerinti 'A' kapcsolás

Ez azt jelenti, hogy most $Z1 = C$ és $Z2 = R$, vagyis a fenti ellenállás a kondenzátor, az oldalsó pedig az ohmikus ellenállás. Továbbra is a II. feladatban ismertetett értékekkel számolva.

III-A1. Mérés oszcilloszkóppal, 'A' kapcsolás: A mérést több frekvencián is elvégeztem.



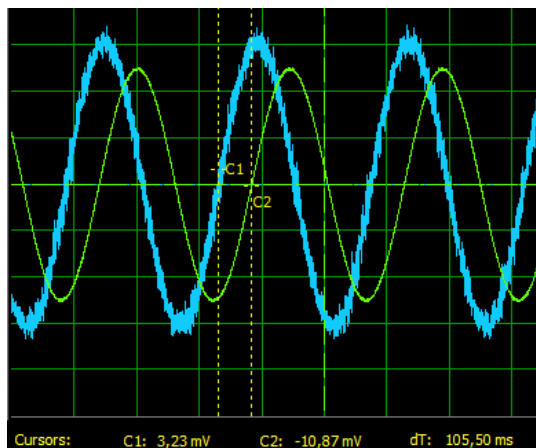
12. ábra. Mérés oszcilloszkópon 1 Hz-en 'A' kapcsolásnál

Mivel elég sok lenne, így csak néhány ábrát szúrtam be szemléltetésképpen. Ami érdekes, hogy a 12. és a 13., de még a 14. ábrán is látható, hogy zajos a mért jel, ami sokkal nagyobb pontatlansághoz vezet.

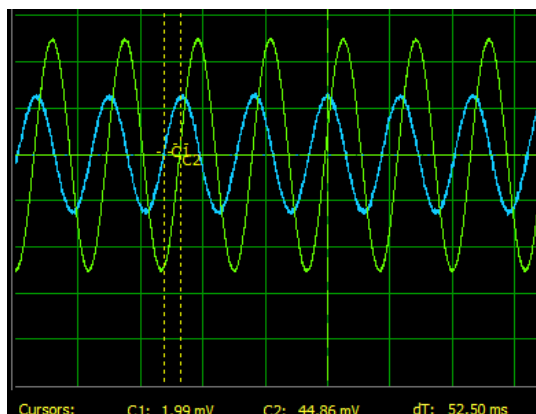
Az adott frekvencián a fázisszög kiszámítása mindegyiknél ugyanúgy történik, felhasználjuk az arányosságot, és az ebből alkotott képletet(6), így:

$$\varphi = \frac{t}{T} 360^\circ \quad (6)$$

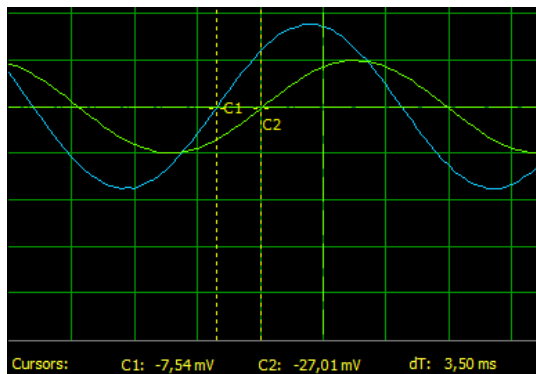
Ahol T a periódusidő (az 1. összefüggés), a t pedig a két görbe közti időbeli eltolódás. Ezt az eltolódást az NI ELVIS II szoftvera adta vonalzóval mértem meg, és mint a fenti ábrákon látszik, behúzgáltam közéjük, és a diagramok alatt az érték le is olvasható. Például a 34 Hz-en történt mérés (a 15. ábra) eredményeivel számolva a fázisszög a következőképp számítható:



13. ábra. Mérés oszcilloszkópon 2 Hz-en 'A' kapcsolásnál



14. ábra. Mérés oszcilloszkópon 4 Hz-en 'A' kapcsolásnál



15. ábra. Mérés oszcilloszkópon 34 Hz-en 'A' kapcsolásnál

$$\varphi = \frac{3.5 \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{34}} \cdot 360 = 42.84^\circ$$

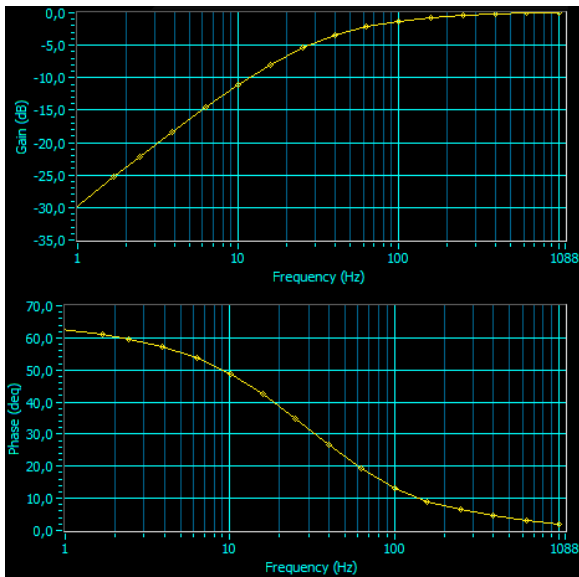
Ez az érték nagyjából akörül van, persze azért bele kell venni, hogy nem olyan könnyű pontosan behúzni a két vonalat, de látható azért, hogy az eredmény nagyjából stimmel.

Észre kell még venni, hogy itt a kék, vagyis a kimeneti jel van előrébb, és itt a fázisszög pozitív lesz, szemben a 18., a 19. és a 20. ábra eredményeivel, ahol a fázisszög negatív értékű lesz. Ez igazolható a 16. és a 21. ábrán található Bode analízis mérési eredménnyel.

III-A2. Mérés Bode analízissel, 'A' kapcsolás: [3]

Ezt a mérést egyszer kellett csak elvégezni, hiszen az ELVIS II magától állítgatja a frekvenciát a megadott kezdeti

és végfrekvencia között. Így a kirajzolt diagramon minden nagyon szépen látszik, és leolvasható.



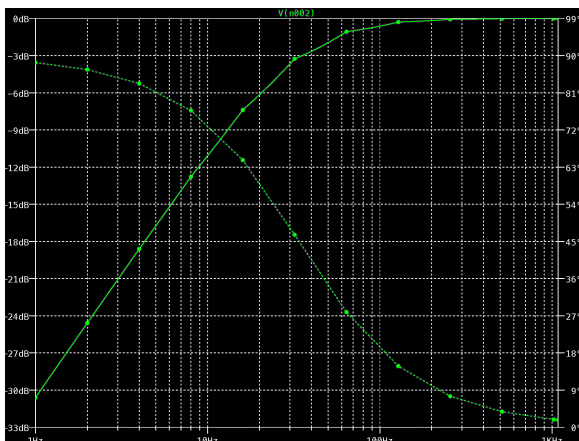
16. ábra. Bode analízátor 'A' kapcsolásnál

A 16. ábra mutatja meg a mérés eredményét. Ami érdekes volt, hogy az első pontokat nagyon lassan mérte meg. Ez köszönhető annak, hogy a kezdeti 1 Hz az 1 periódust jelent 1 secundum alatt. Ahhoz pedig, hogy jól mérjen, ezt többször is elvégzi és csak azt a pontosított eredményt adja át nekünk, így érthető, miért volt eleinte elég lassú.

A Bode analízátor pont azt csinálja, amit az LTspice szimulációja (a 17. ábra), csak ez ténylegesen mér. Különbőség az oszcilloszkóppal szemben, hogy ez magának állítja elő a jelet, nem kell neki külön jelgenerátor.

Ezen a 16. ábrán is leolvasható, hogy az előző mérési eredményünkkel szinkronban van, nem mond ellen. Illetve az ábra is megegyezik azzal, amit a szimulációs eredmény mutat a 17. ábrán.

III-A3. Szimuláció, 'A' kapcsolás: Nagyon hasonlóképp mér, mint a Bode analízátor, csak ez az ideális eredményeket mutatja meg, amik nincsenek hibával terhelve, legfeljebb annyira, hogy milyen pontos értékeket adtunk meg neki, meg a lebegőpontos számmal való műveletvégzésekből fakadó minimális hiba.



17. ábra. LTspice szimuláció 'A' kapcsolásnál

Ezen a 17. ábrán található szimulációs eredmény szem-

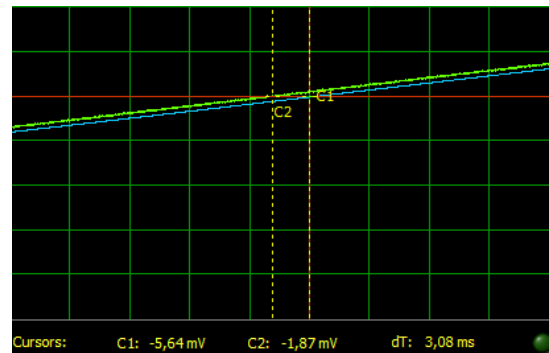
mel látható módon megegyezik a Bode analízátor mérte eredménnyel, és ezzel minden pontban ismert immár a fázisszöge.

III-A4. 2. pont és 8. pont összehasonlítása: Természetesen a mért és a számított eredmények ideális esetben azonosak, vagy közel azonosak. Például véve a 100 Hz frekvenciát látható, hogy az általam számított $\approx 18^\circ$ és a Bode analízátorral kapott szintén 18° körüli érték mondható egyezésnek.

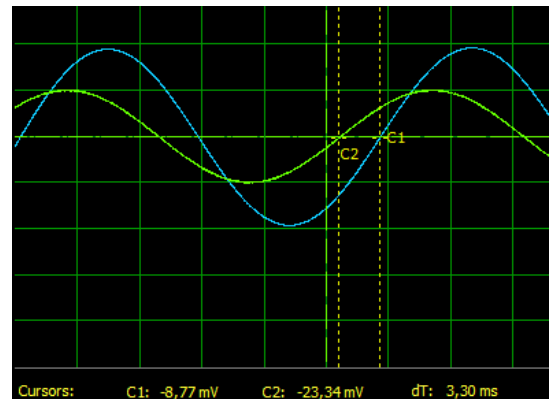
III-B. Mérési utasítás 1. ábrája szerinti 'B' kapcsolás

Ez azt jelenti, hogy most $Z1 = R$ és $Z2 = C$, vagyis a fenti ellenállás az ohmikus ellenállás, az oldalsó pedig a kondenzátor. Továbbra is a II. feladatban ismertett értékekkel számolva.

III-B1. Mérés oszcilloszkóppal, 'B' kapcsolás: Ismételten több mérést is jelentett ez, ezek közül illeszték be néhány illusztrációt.



18. ábra. Mérés oszcilloszkópon 2 Hz-en 'B' kapcsolásnál



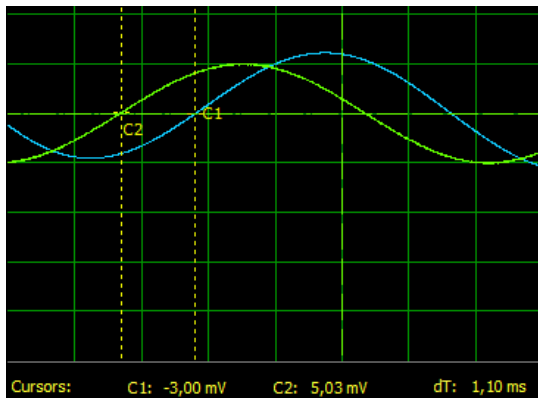
19. ábra. Mérés oszcilloszkópon 34 Hz-en 'B' kapcsolásnál

Vegyük megint példának itt is a 34 Hz-en (a 19. ábra) történt mérést.

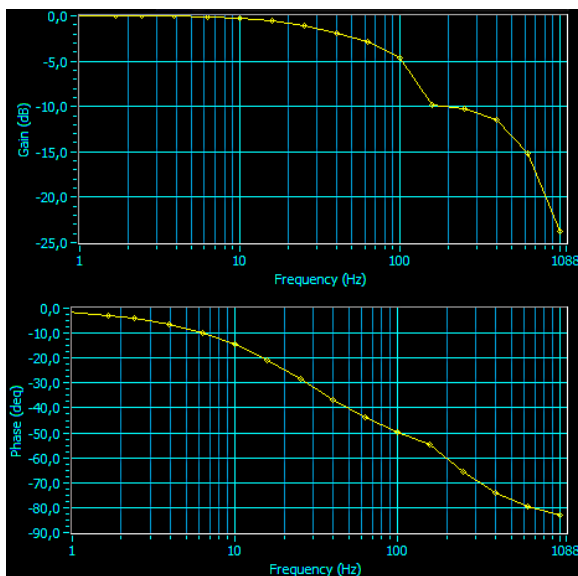
$$\varphi = \frac{3.3 \cdot 10^{-3}}{\frac{1}{34}} \cdot 360 = 40.4^\circ$$

Természetesen elég pontatlan, de nagyjából megfelel a valóságnak, hiszen ennek a két szögnek kiegészítő szögeknek kell lenniük, azaz a kettő összege együtt kiadja a 90° -ot.

III-B2. Mérés Bode analízátorral, 'B' kapcsolás: Ismét Bode analízátorral megmérjük, és bízunk abban, hogy hasonló lesz, mint a szimuláció.



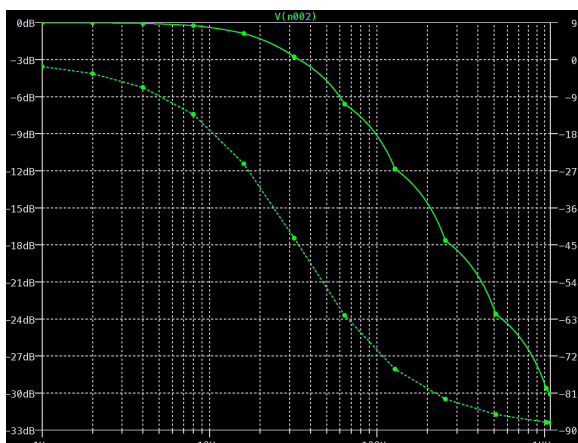
20. ábra. Mérés oszcilloszkópon 136 Hz-en 'B' kapcsolásnál



21. ábra. Bode analízátor 'B' kapcsolásnál

Továbbra is az elsőket lassan rajzolta ki. Mivel a szimulációt hamarabb csináltuk meg, tudom, hogy megint ügyesek voltunk, mivel az eredmény, amit a 21. ábra szemléltet hasonlít a szimulációshoz, ami pedig a 22. ábrán látható.

III-B3. Szimuláció, 'B' kapcsolás: Itt is a szaggatott vonal jelenti a fázisszögek grafikonját. Ideális esetben a 17. ábrán látott pontokban, és ezen pontokban mért fázisszögek összege kiadja a 90° -ot.



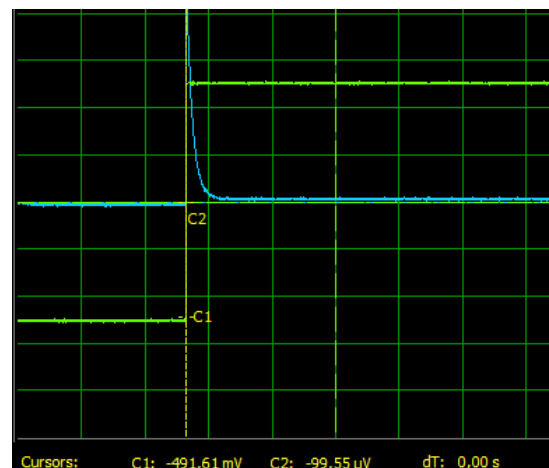
22. ábra. LTspice szimuláció 'B' kapcsolásnál

Az látható, hogy működik, tényleg úgy néz ki, ahogy lennie kell. Tulajdonképpen ez ugyanaz, mint az előző, csak a két esetben az áramkör két komponensére nézzük meg a méréseket.

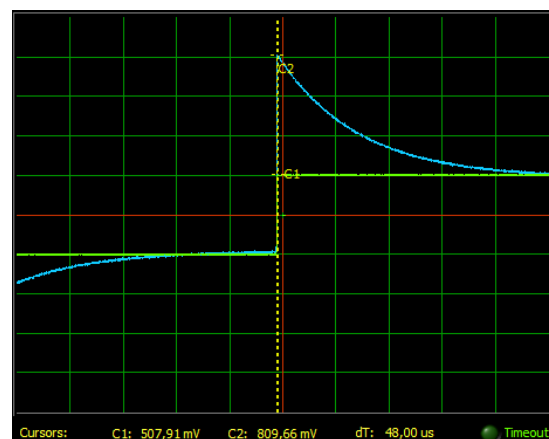
III-B4. 2. pont és 13. pont összehasonlítása: Mint a 8. ponttal való összehasonlítás esetén, itt is hasonlók lehet elmondani, hiszen a célunk az volt, hogy megegyezzenek. De vegyük példának most is a 100 Hz frekvenciát. A számított érték annyiban változik, hogy ezúttal nem az X^+ tengellyel, hanem az Y^+ tengellyel bezárt szögét vesszük, ami éppen $90^\circ - \varphi = 90^\circ - 18.7^\circ = 71.3^\circ$. A Bode szimulátorról pedig leolvassuk, hogy az eredmény egy 50° körüli érték, amit nem egészen értek, de ilyen is van. Valószínűleg a sok kis hiba eredményezett egy ekkora, viszonylag nagyobb eltérést. De cserébe a szimulációs érték LTspice-ban stimmelt.

IV. FELADAT: MÉRÉS NÉGYSZÖGJELLEL A KISZÁMÍTOTT FREKVENCIAKON OSZCILLOSKÓPPAL

A feladat, hogy a kapcsolásokban ugyanígy elvégezzük a méréseket, csak nem szinuszos jellel, hanem mint például a 20. ábrán is látható többek között, bal szélen ki lehet választani a négyzetes jeltípust. Ha így megmérjük ezeket, előzetesen azt spekuláltam, hogy nem fog változni.

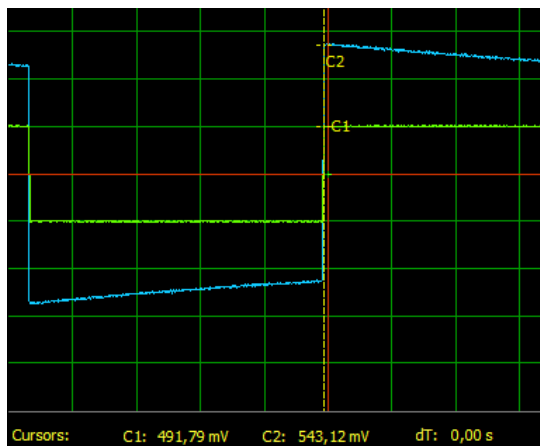


23. ábra. 'A' kapcsolásban 1 Hz-en négyszögjellel az oszcilloszkóp

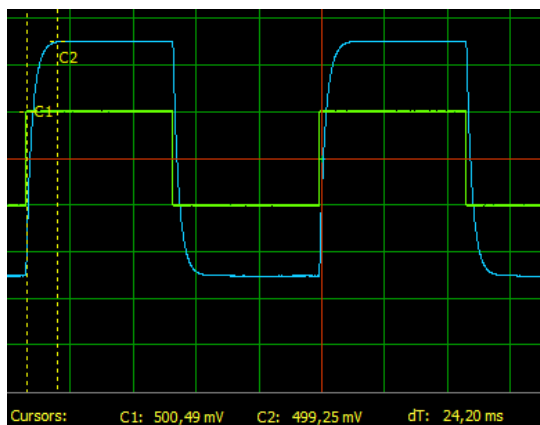


24. ábra. 'A' kapcsolásban 34 Hz-en négyszögjellel az oszcilloszkóp

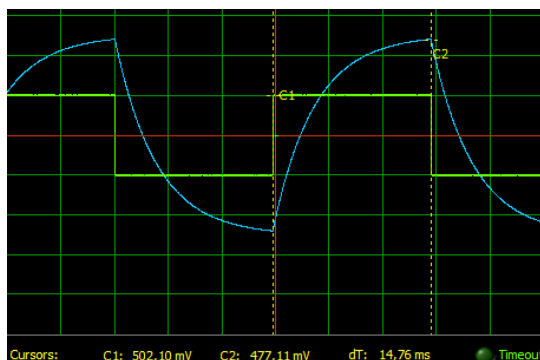
Néhány frekvencián történt mérést illesztettem be, mivel így sem kevés. Az eredmény viszont annál tanulságosabb. Azt



25. ábra. 'A' kapcsolásban 541 Hz-en négyszögjellel az oszcilloszkóp



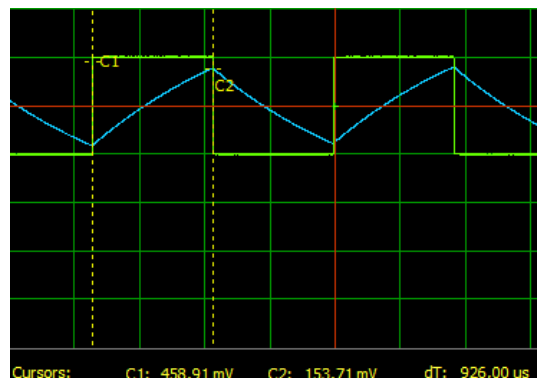
26. ábra. 'B' kapcsolásban 4 Hz-en négyszögjellel az oszcilloszkóp



27. ábra. 'B' kapcsolásban 34 Hz-en négyszögjellel az oszcilloszkóp

figyelttem meg, hogy amikor 'A' kapcsolásban voltunk, vagyis az ellenálláson nézzük a feszültségesést, akkor a jelalakok megváltozása teljes szinkronban volt, mint az látható a 23., a 24., és a 25. ábrán. Ez érthető is belegondolva, hiszen ott még a kondenzátor nem zavar be az értékek megugrásában. Persze látszik a jelalakon, hogy szépen lassan elkezd kisülni, de nem olyan erőteljesen, mint a 'B' kapcsolás esetén.

Ami tapasztalható a kondenzátoron történő feszültségmérésnél, tehát 'B' kapcsolásnál, hogy észrevehetjük, amint szép lassan a kondenzátor feltölt, majd, kisül (26., 27. 28. ábrák). Kicsit még egy háromszögjelre is emlékeztet a magas (541 Hz) frekvencián mért jelalak.



28. ábra. 'B' kapcsolásban 541 Hz-en négyszögjellel az oszcilloszkóp

Itt nem hagyunk elég időt, hogy teljesen feltöltődjön, míg az alacsony frekvencián történt mérésnél pedig szemmel láthatóan kellő ideje van a feltöltődésre.

LEZÁRÁS

A kezdeti nehézségekhez képest a végére megértettem, hogy mit is csinálunk és mit is mér melyik opció. Jó volt látni, ahogy a számolt eredményeim és a mért eredmények nagyjából megegyeznek. Ennél jobb csak azt volt látni, hogy a szimulációs eredményeink is megegyeznek, ami azt jelenti, hogy sikerült a középiskolában, és a Lineáris Algebrán elcsajátítottak alapján kiszámolni a helyes értékeket.

Ezen kívül érdekes volt ilyen szép méréseket látni és tapasztalni, valamint egészen újat csinálni. Így komplex számokkal még izgalmasabb.

Kíváncsi voltam a négyszögjeles eredményre is. Előzetesen azt gondoltam ki, hogy nem fog változni az érték, hiszen az eltolás ugyanígy marad, és ugyanolyan időközönként lesznek az értékváltozások. Ez persze csak addig tartott, amíg meg nem mértem, mert akkor fel véltem fedezni az exponenciális kisülést illetve feltöltődést. Ez az utolsó mérés különösen is tetszett, és tudott újat mutatni.

HIVATKOZÁSOK

- [1] K. András, „Periodikus jelek frekvencia analízise, fourier elv,” 05 2023. [Online]. Available: https://moodle.ppke.hu/pluginfile.php/74479/mod_resource/content/1/2023_Bevmeres_periodikus.pdf
- [2] NI, „Ni educational laboratory virtual instrumentation suite ii series (ni elvistm ii series) user manual,” 06 2011. [Online]. Available: https://electrical.engineering.unt.edu/sites/default/files/NI_ELVIS_II.pdf
- [3] D. L. Trumper, „Bode plots,” 04 2003. [Online]. Available: https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/97053/2-14-spring-2007/contents/readings/freq_resp.pdf