

# Impedancia-mérés

Heiszman Henrik

Neptun kód: ENV2R9

Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Információs Technológiai és Bionikai Kar

1083 Budapest, Práter utca 50/A

heiszman.henrik@hallgato.ppke.hu

**Téma–ELVIS próbapanel segítségével különböző hálózatok, áramköri elemek impedanciájának mérése. A mérés során felhasznált eszközök: NI ELVIS próbapanel, Digitális multiméter, NI ELVIS mx számítógépes kezelőfelület, ELVIS impedancia mérőműszer, beépített oszcilloszkóp és függvénygenerátor.**

## I. A JEGYZŐKÖNYVBEN HASZNÁLT FOGALMAK

Passzív áramköri elem: azok az elemek melynek helyettesítő képében nem található sem áramgenerátor, sem feszültséggenerátor ilyen lehet például egy ellenállás vagy egy kondenzátor.

Ellenállás (áramköri alkatrész): az elektronikai alkatrészek egyik fajtája, melynek feladata az, hogy megfelelő mértékű elektromos ellenállást biztosítson egy áramkör adott részén.

Elektromos ellenállás: elektromos vezető két pontjára kapcsolt feszültség és a vezetőn áthaladó áram erősségének a hányadosaként értelmezett fizikai mennyiség, mértékegysége az Ohm, jele:  $\Omega$ .

Digitális multiméter: A digitális multiméter több méréshatárú feszültségmérőt, árammérőt és ellenállásmérőt tartalmaz, sok esetben más mennyiségek pl. frekvencia, tranzistorok áramerősítési tényezője, hőmérséklet stb. mérésére is alkalmas. Az én mérésem során ezt a szerepet is az NI ELVIS próbapanel és a hozzá tartozó szofver tölti be.

Belső ellenállás: a különböző áramforrások és valódi áramköri egységek jellemző adata. Ez a mennyiség határozza meg, hogy milyen mértékben terhelhető egy áramforrás, illetve, hogy egy-egy eszköz.

Kondenzátor: olyan áramköri elem, amely villamos tér létrehozásával elektromos töltést képes tárolni. A legegyszerűbb kondenzátor legalább két, párhuzamos vezető anyagból (fegyverzet) és a közöttük lévő elektromosan szigetelő anyagból (dielektrikum) áll.

Kapacitás: a kondenzátor legfontosabb jellemzője. Minden test alkalmas elektromos töltések befogadására, tárolására. Azt, hogy egy kondenzátor mennyi töltést képes tárolni, kapacitásnak nevezik és C-vel jelölik. Mértékegysége a farad [F].

Váltakozó áram: olyan elektromos áram, amelynek intenzitása és iránya periodikusan változik.

Impedancia: a váltakozó áramú ellenállás.

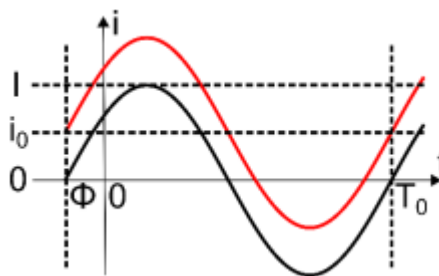
## II. VÁLTAKOZÓ ÁRAM

A váltakozó áram egy olyan speciális áram, amelynek intenzitása és iránya periodikusan változik. Ez azt is jelenti, hogy egy  $T_0$  periódusidő szerint periodikus  $i(t)$  időfüggvénynek is tekinthető. Abban az esetben, ha az egy periódus alatt egy irányba átfolyó összes töltés zérus, pontosabban mondva, a függvény egy periódusra vett integrálja azonosan egyenlő nullával, akkor tiszta váltakozó áramról beszélhetünk. Az  $i(t)$  nem tiszta váltakozó áram, ha van egyenáramú komponense is.

A szinuszos váltakozó áram  $i(t)$  időfüggvénye az alábbi képlettel írható le:

$$i(t) = A * \sin(\omega_0 t + \phi)$$

Ahol  $A$  az áram amplitúdója, másnéven csúcsértéke,  $\omega_0$  az áramkörfrekvenciája,  $t$  az idő és  $\phi$  a jel fázisa.



1. ábra

Tiszta váltakozó (fekete) és egykomponenst tartalmazó váltakozó mennyiség (piros) időfüggvénye

## III. IMPEDANCIA ÉS REAKTANCIA

Az impedancia, mint az már írtam, a váltakozó áramú ellenállás. Váltakozó áramú hálózatokban a komplex feszültség és a komplex áram értékeinek hányadosa. Mértékegysége megegyezik az ellenállásával: Ohm [ $\Omega$ ]. Jele:  $Z$ . Ez a mennyiség egy komplex számmal kifejezhető, amelyben a valós rész megegyezik az ellenállással, a képzetes rész pedig az áramköri elemek induktivitásának és kapacitásának függvénye.

A reaktáns tulajdonság azt mutatja, hogy a definícióban használt szinuszos váltakozó feszültség és szinuszos váltakozó áram egymással nincs azonos fázisban, köztük fáziseltérés van.

A reaktancia mértékegysége megegyezik az impedancia mértékegységével: Ohm [ $\Omega$ ]. Jele:  $X$

Ellenállás impedanciája alatt a váltakozó feszültség és áram hányadosát értjük. Ez az érték megegyezik az egyenáramú ellenállással.

$$Z_R = \frac{V_R}{I_R}$$

Kondenzátor impedanciája:

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

Az összefüggésből egyértelműen látható, hogy a körfrekvencia növekedésével a kondenzátor egyre kisebb impedanciát mutat az áramkör számára, amely nem egyezik meg az egyenáramú ellenállással, mert, ideális esetben, az minden kondenzátor esetén végtelen nagy.

A kondenzátor impedanciája nem függ az áramköri elemre kapcsolt feszültségtől, más szóval, a  $Z_C$  egy lineáris tulajdonság.

Tekercs impedanciája:

$$Z_L = j\omega L$$

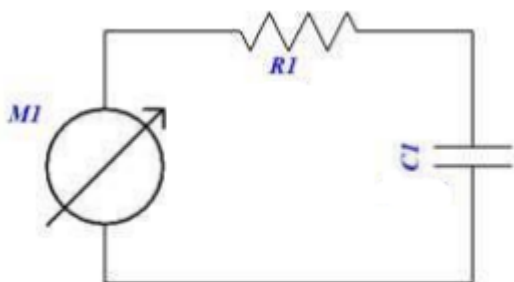
A képletből észrevehető, hogy a körfrekvencia növelésével az induktivitás egyre nagyobb impedanciát fog mutatni az áramkör számára, amely nem egyezik meg az egyenáramú ellenállással, (csak úgy, mint a kondenzátornál), mert az induktivitásnál, ideális esetben, az ellenállás nulla.

Ebben az esetben is egy lineáris tulajdonságról beszélhetünk.

#### IV. LÁTSZÓLAGOS ELLENÁLLÁS

A mérési feladat része ként egy előre meghatározott, ellenállás és kondenzátor soros kötéséből álló hálózat impedanciáját kellett megmérni, legalább kilenc frekvencián az ELVIS próbapanel segítségével.

Az összeállított áramkör rajzát a következő ábra szemlélteti. (2. ábra)



2. ábra

Első mérési feladat kapcsolási rajza

A feladat leírásában az értékek a következők voltak:

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = 100 \text{ nF}$ .

Én a mérés során egy  $22 \text{ k}\Omega$ -os ellenállást és egy  $47 \text{ nF}$ -os kondenzátort használtam. Ez a két érték, a mérés szempontjából megfelelőnek bizonyult, hiszen a mérési leírásban megadott

paraméterek szerinti időállandó és az én általam használt áramköri elemek paramétereiből adódó időállandó csak kis mértékben tér el. Ez abból adódik, hogy arányaiban, amennyivel csökkent a kondenzátor kapacitása, annnyival nőtt az ellenállás értéke.

Az áramkör összeállítása után megkezdtem a hálózta impedanciájának mérését. Ehhez az NI ELVIS impedancia mérőműszerének pozitív és negatív mérővezetékét csatlakoztattam a hálózat megfelelő részéhez.

A feladat leírása szerint megkerestem azt a frekvenciát, amelynél a kondenzátor látszólagos ellenállásának abszolútértéke megegyezik az ellenállás értékével.

Ez az eset csak és kizárólag akkor lehetséges, ha a komplex szám szöge  $45^\circ$ -os vagy  $315^\circ$ -os a valós tengely pozitív feléhez képest. Ezt a szöget könnyedén ki tudtam számolni a kondenzátor impedanciájának meghatározására szolgáló összefüggés segítségével.

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

A számolás eredménye képpen azt kaptam, hogy a keresett frekvencia  $154,3 \text{ Hz}$ .

Összefoglalás képpen, ezen a frekvencián megegyezik a kondenzátor látszólagos ellenállásának abszolútértéke megegyezik az ellenállás értékével.

Ezt az értéket az ELVIS, úgy nevezett Impedance Analyzer eszközével ellenőriztem. A megfelelő frekvencia beállítása után, a kijelzőről leolvassva meggyőződtem arról, hogy a bezárt szög csak kis mértékben tért el  $315^\circ$ -tól, valamint a rezisztencia és a reaktancia abszolútértéke hibahatáron belül megegyezett.

A feladat leírásának megfelelően további nyolc frekvencián is elvégeztem a mérést. Ebből négy kisebb volt, mint az előzőekben kiszámolt és ellenőrzött frekvencia, és négy nagyobb volt. A mérési eredményeimet az alábbi táblázatba foglaltam.

Frekvencia	Látsz. eá.	Fázisszög	Reziszt.	Reakt.
65	560,4	292,87	21,79	-51,65
85	43,13	298,82	21,75	-39,54
105	38,66	304,21	21,79	-31,97
125	34,55	308,94	21,72	-26,87
154,3	30,7	315,02	21,85	-21,79
175	28,97	318,52	21,7	-19,18
205	27,19	322,98	21,7	-16,37
475	22,8	341,99	21,68	-7,05
755	22,1	348,8	21,67	-4,29

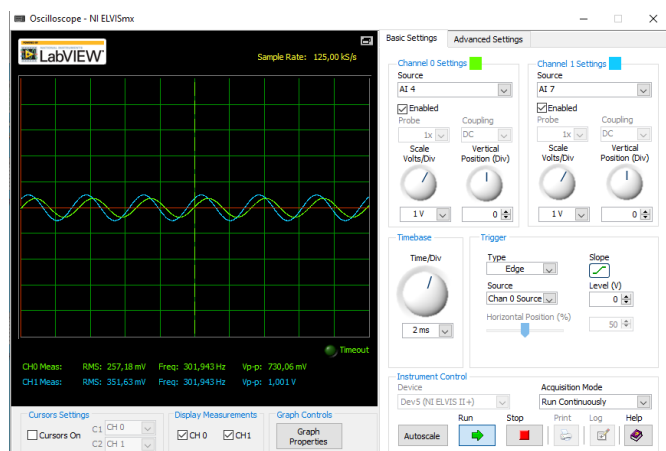
Mértékegységek az alábbiak:

- Frekvencia: Hz
- Látszólagos ellenállás:  $\Omega$
- Fázisszög:  $^\circ$  (fok)
- Rezisztancia:  $\Omega$
- Reaktancia:  $\Omega$

Ezzel az első mérési feladatban foglaltaknak maradéktalanul eleget tettem.

## V. KONDENZÁTOR FESZÜLTSGÉNEK MÉRÉS

Második feladat leírásában szerepelt az első feladatban használt áramkörben szereplő kondenzátor feszültségének mérése oszcilloszkóppal illetve spektrumanalizátorral. Az előző méréshez képes annyiban tér el az áramkör, hogy az impedancia mérőműszer helyére az ELVIS függvénygenerátorát kötöttem be. Az összeállítást úgy valósítottam meg, hogy az NI ELVIS MX programon belül az oszcilloszkóp segítségével az alap bemeneti jelszintet és a kondenzátor feszültségét össze tudjam hasonlítani. Ez azt jelenti, hogy az ELVIS függvénygenerátorát bekötöttem az egyik analóg bemenetre (AI 4) és a kondenzátor feszültségét pedig egy másik (AI 7) inputon figyeltem. Az alábbi ábrán látható az összeállított hálózat által az oszcilloszkópon megjelenített kép. Zölddel látható az eredeti függvény és késsel pedig a kondenzátor feszültsége. (3. ábra)



3. ábra

Az oszcilloszkóp képe a mérés során

A mérés során, az oszcilloszkópon látványosan megfigyelhető volt, hogy hogyan változik, tolódik el egymáshoz képes a két függvény görbéje eltérő frekvenciájú váltakozó feszültségek mellett. Érdekes volt megfigyelni, hogy 154,3 Hz frekvenciájú gerjesztéskor ténylegesen 45°-os eltolást láthattam a bemeneti és a kondenzátor feszültségének időfüggvénye között.

## VI. NÉGYSZÖG GERJESZTÉS VIZSGÁLATA

Ebben a mérési feladatban vizsgálnom kellett az előző részben összeállított hálózatot akkor, amikor négyszögjellel gerjesztettem.

A vizsgálat során a spektrumanalizátoron látható jelen megfigyelhető volt, hogy páratlan felharmónikuson jelentek meg tüskék. Ez azt jelentette, hogy például 200 Hz-nél ez 600 Hz, 1000 Hz és így tovább. Továbbá megfigyelhető volt, hogy a frekvencia növekedése során az amplitúdó pedig arányosan csökkent. Négyszögjel során megfigyelhető volt továbbá, hogy a magas frekvenciájú komponensek amplitúdója gyorsan csökkent.

Ez a valóságban nem pontosan igaz ebben a formában. A valóságban egy szigetelő ellenállása petaohmméter nagyságrendű ( $10^{15}$ ), amelyből az adódik, hogy nagyon nagy feszültséggel kellene mérnünk, hogy használható eredményt kapjunk. Ezt pedig biztonsági okokból nem kockáztathatjuk

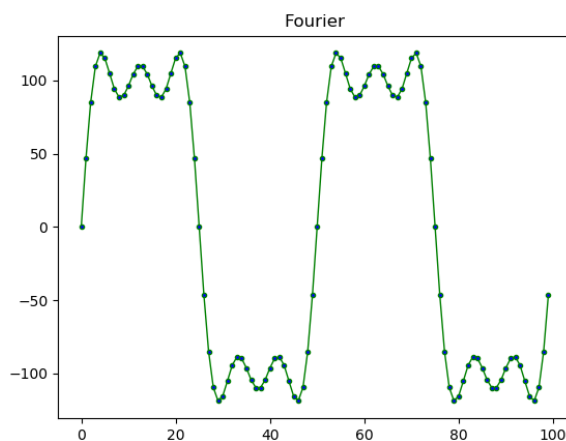
## VII. FOURIER TRANSZFORMÁLT

Ebben a feladatban az előző mérési eredményt kellett a összevetni a jelalakra vonatkozó Fourier sorfejtés eredményével.

A tanultak alapján a négyszög jel Fourier transzformáltja a következő:

$$x(t) = \left(\frac{4}{\pi}\right) * \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(2\pi(2k-1)ft)}{2k-1}$$

A Fourier transzformáltat a következő ábra szemlélteti. (4. ábra)



4. ábra

Négyszögjel Fourier transzformáltja

Ebben az esetben ez a művelet megegyezik azzal, hogy a sinus jelhez hozzáadjuk a  $2k+1$ -szeresét, azaz a páratlanadik többszörösét. Ezt a szummából láthatóan végtelen sokszor csinálja meg. Ebben az esetben a jel annál inkább hasonlít négyszögre, minél többször végezzük el az összeadást.

Itt látható az előző feladat során tapasztalt jelalakokkal való hasonlóság. Látható, hogy a komponensek (páratlan szinuszos jelek) megjelentek a mérés során a spektrumanalizátoron is. Ebből látható, hogy a mérés és a kapott érték az előző feladatban az elvártaknak megfelelő volt.

## VIII. FIZIKAI ÖSSZEFÜGGÉS AZ EREDMÉNYEK KÖZÖTT

Fizikai tanulmányaimra hagyatkozva megpróbáltam összefüggést találni az előző mérések és számítások eredményei között. A kondenzátor tulajdonságából adódóan, a gyors feltöltődés és kisülés miatt a magas frekvenciatartományokon a görbét módosítja, ellaposítja.

## IX. MÉRÉS HIBÁJÁNAK BECSLÉSE

Több külső és belső hatás következménye lehet a mérési hiba. Külső behatás lehet például az, hogy remegett a kezünk mérés során, ebből adódóan nem megfelelő kontaktus jött létre a műszer és a mérendő objektum között. Másik ilyen zavaró tényező lehetett a levegőben lévő, töltéssel rendelkező részecskék befolyása.

De számunkra ebben az esetben az igazán fontos, a mérést nagyban befolyásoló tényező a mérőműszerünk (ELVIS) belső ellenállása. Tudjuk, hogy feszültség mérő belső ellenállása ideális esetben végtelen. A mi esetünk az ELVIS gyártói specifikációi szerint a belső ellenállása  $11\text{ M}\Omega$ .

## FELHASZNÁLT FORRÁSOK

[MÉRÉSI SEGÉDLET](#)

[TÚRÉS](#)

[ELVIS SEGÉDLET](#)

[ELLENÁLLÁSOK](#)

[OHM-TÖRVÉNY](#)

[NI ELVIS HASZNÁLATI UTASÍTÁS](#)

[KONDENZÁTOR](#)

[FOURIER TRANSZFORMÁCIÓ](#)

[IMPEDANCIA](#)