

RC tag vizsgálata

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–Tapasztalatszerzés az ELVIS próbapanel segítségével a passzív alkatrészek viselkedéséről. Mérés során előállított jelalakok rávezetése egy RC tagra, valamint áramkörök jelalak módosító hatásának vizsgálata. Idő és frekvencia mérésének elsajátítása, valamint a spektrumanalizátor tanulmányozása.

I. A JEGYZŐKÖNYVBEN HASZNÁLT FOGALMAK

Függvénygenerátor: olyan eszköz, mely feszültségváltozások időbeni előállítására szolgál.

Oscilloszkóp olyan elektronikus mérőműszer, amely elektromos feszültségek időtartománybeli ábrázolására és mérésére szolgál.

Spektrumanalizátor: olyan mérőműszer, amely időben változó feszültségek harmonikus felbontására és vizsgálatára alkalmas.

Bode-diagram: a rendszerelmélet, irányítástechnika, jelfeldolgozás és hálózatszámítás területén elterjedten használt grafikon, mely egy egy bemenetű, egy kimenetű rendszer átviteli karakterisztikájának ábrázolására szolgál. A diagram részét alkotó két részdíagram az átviteli karakterisztika amplitúdóját illetve fázisát ábrázolja a frekvencia függvényében.

Átviteli karakterisztika: Az átviteli karakterisztika az elektronikában egy négypólus bemeneti és kimeneti jele közötti összefüggés. Szokásos megadási módjai közé tartozik többek között a Bode-diagram és a matematikai közelítő függvények.

Négypólus: más néven kvadropólus, olyan, általában elektromos hálózatok, melyeknek négy csatlakozópontjuk van. Ha páronként igaz, hogy az egyik befolyó áram egyenlő a másikon kifolyóval, akkor a négypólus ún. kétkapu. Az elektromos hálózatok ilyenek a Kirchhoff II. (vágat) törvénye értelmében. Az ábrán I1 a felső bemeneti csatlakozóponton befolyik, és az alsón kifolyik, míg I2 a felső kimeneti csatlakozóponton folyik be és az alsó ki.

II. A FÜGGVÉNYGENERÁTOR

Függvénygenerátor egy olyan eszköz, mely feszültségváltozások időbeni előállítására szolgál. Időben váltakozó feszültséget állít elő a működése során. Leggyakrabban használt, a függvénygenerátor által előállított

jelalakok a szinusz, a négyszög és a háromszög. A szinusz jel előállítását akkor használjuk, amikor a digitális függvénygenerátorok lineáris szakaszokkal közelített vagy mintákból összerakott szinusz-t szimulálnak. A szinusz jelet különböző frekvencián képes előállítani a függvénygenerátor, így alkalmas frekvencia tartományban történő vizsgálatokhoz bemenő jel előállítására.

A négyszögjel általában valamilyen tranziens vizsgálatára nyújt lehetőséget, oly módon, hogy az előállított jel fel vagy lefutó éle hozza létre azt a jelenséget mely a tranziens viselkedést kiváltja. A tranziens pontos követését az oscilloszkóp teszi lehetővé.

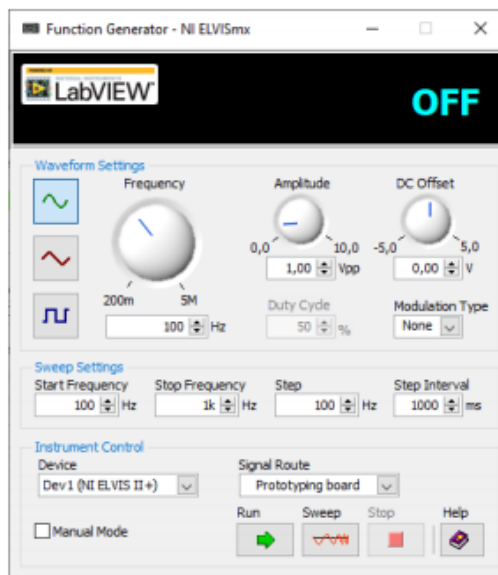
A háromszög jelet például átviteli karakterisztika rajzolásra szokták használni, mivel széles feszültség tartományon egyenletes változást biztosít, és az adott rendszer választását oscilloszkóp segítségével lehet vizsgálni.

A függvénygenerátor tehát egy feszültségforrás, amire jellemző az üresjáratú kimeneti feszültsége, valamint a kimeneti impedanciája. Jellegzetes értékek a 10 V_{pp} kimeneti feszültség valamint az 50 Ω kimeneti impedancia, de ettől eltérő értékek is előfordulnak.

Az NI ELVIS funkciógenerátor egy önálló, szoftveres rendszer, amely segítségével a következő paramétereket tudjuk beállítani az előállítandó jelnek:

- Hullámforma: milyen legyen a jelalak. Szinuszos, négyszög vagy háromszög.
- A váltakozó feszültség frekvenciája Hz-ben.
- A jel amplitúdója.
- DC eltolás.
- Működési ciklus.

Ezekon a funkciókon kívül a virtuális műszer a kimeneti jel frekvenciájának folyamatosan monitorozására is képes.



1. ábra

NI ELVIS funkciógenerátorának kezelőfelülete

III. A SPEKTRUMANALIZÁTOR

A digitális spektrumanalizátor időben változó feszültségek harmonikus felbontására és vizsgálatára alkalmas mérőműszer. Ez a műszer tetszőleges bemeneti feszültségelek vizsgálatát teszi lehetővé. Lehetőséget nyújt alacsony frekvenciás rezgések, például ipari gépek, repülőgépek, épületek rezgésprofiljainak megjelenítésére. Ezek mellett magas frekvenciás, például műholdas kapcsolatok analizálására is alkalmas.

Harmonikus vizsgálat alatt azt értjük, hogy a műszer bemenetére érkező jeleken harmonikus analízist végez, tehát megvizsgálja és megjeleníti a bemeneti jel Fourier spektrumát.

A digitális spektrumanalizátor tehát egy feszültségmérő műszer, amire jellemző az, hogy mekkora frekvencia tartományon képes feldolgozni a bemenetre érkező jeleket. Jellemző értékek a távközlésben használt spektrumanalizátorok esetén, hogy pár Hz és néhány GHz tartományban képesek a jel harmonikus tartalmának kiszámítására és megjelenítésére. A műszer bemenet általában $1M\Omega \parallel 15\text{ pF}$ mint az oszcilloszkópok esetén, de lehetőség van a szokásos $50\ \Omega$ -os koaxiális kábelek közvetlen fogadására is. Ebben az esetben a műszer $50\ \Omega$ bemeneti ellenállással dolgozik.

Az NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer (DSA) kiszámítja és megjeleníti az egysatornás RMS átlagolt teljesítmény spektrumát. Különböző ablakolási és átlagolási módok alkalmazhatók a jelre. Ezen kívül felismeri a csúcsharmonikusösszetevőt, és becsüli meg a tényleges frekvenciát és teljesítményt. Ez a műszer támogatja a digitális és az analóg, szinkron kiváltást. A digitális indításhoz TTL-szintű triggerjelet kell csatlakoztatni az NI ELVIS II sorozatú munkaállomás TRIG vonalához. Az analóg indításhoz beállíthatja a trigger szintet és a meredekséget. Kurzorok és jelmérések állnak rendelkezésre a jel elemzéséhez.



2. ábra
NI ELVIS DSA előlap

IV. A FOURIER-SPEKTRUM

A diszkrét Fourier-transzformált vektor alapján véve komplex vektor, bizonyos speciális esetektől (például valós, cirkulárisan szimmetrikus vektorok) komplex értékeket tartalmaz.

A k-adik koordinátán lévő komplex érték azt adja meg, hogy mekkora súllyal vesz részt az eredeti vektor előállításában az k frekvencia által specifikált komplex hullámfüggvény. A Fourier-spektrum vizualizációjához komplex értékeket kell megjelenítenünk, csak úgy, mint a Fourier-sorfejtés vagy Fourier-transzformáció esetén. Leggyakrabban itt is a komplex értékek abszolút értékét, azaz egy $|X|$ vektor esetén a vektort vizualizáljuk, és ez a vizualizáció már jól reprezentálja azt, hogy melyik frekvenciához tartozó hullám mekkora súllyal vesz részt az eredeti vektor előállításában. Mivel a komplex értékek abszolút értékének dinamika tartománya meglehetősen nagy, ezt csökkentendő sok esetben a $\log(|F|)$ értékeket vizualizáljuk.

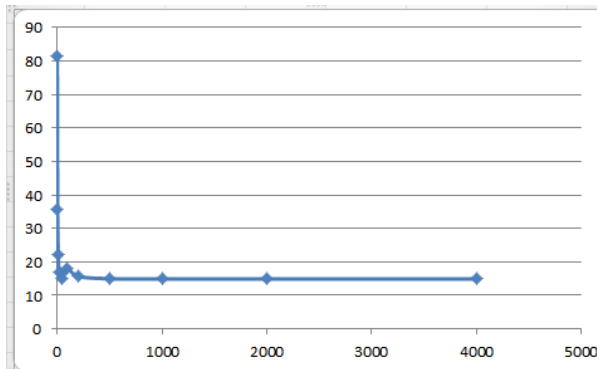
V. MÉRÉSI EREDMÉNYEK JELLEMZÉSE

Ebben a részben adott ellenállás érték mellett feladatom kiválasztani a megfelelő mérési adatokat.

En az ellenállásom értékétől 14,87 k Ω -ot választottam. Abból adódóan, hogy az ellenállás értéke független a frekvenciától, az ehhez tartozó mérési eredményeket egyértelműen össze tudtam gyűjteni. Fontos, hogy az ellenállás értéke maximum +/- 1%-os eltérést mutasson az egyes mérések között.

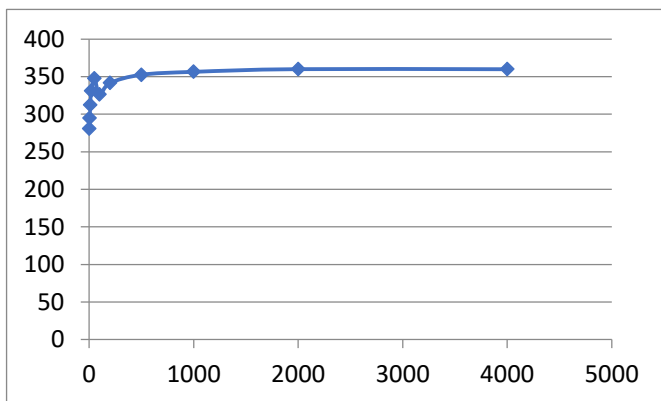
Frekvencia (Hz)	Amplitúdó (k Ω)	Fázisszög (fok)
2	81,47	280,58
5	35,87	294,58
10	22,08	312,38
20	17	331,03
50	15,23	347,53
100	17,92	326,16
200	15,69	341,49
500	15	352,44
1000	14,9	356,35
2000	14,87	359,92
4000	14,87	359,82

A következő görbén Excel segítségével ábrázoltam a frekvencia függvényében az amplitúdót. (3. ábra)



3. ábra
x-tengely: Frekvencia (Hz)
y-tengely: Amplitúdó (kΩ)

A második grafikonon a fázisszöget ábrázoltam a frekvencia függvényében. (4. ábra)



4. ábra
x-tengely: Frekvencia (Hz)
y-tengely: Fázisszög (fok)

Az impedancia geometriából adódóan (képzetes és valós tag 90°-os szöget zárnak be) a következő képlettel számolható:

$$|Z| = \sqrt{X_c^2 + R^2}$$

Az előző képletben szereplő X_c az úgynevezett kapacitív reaktancia, melyet a következő képlet segítségével lehet kiszámolni.

$$X_c = \frac{1}{2\pi * f * C}$$

Az előző összefüggősből látható, hogy a reaktancia (X_c) fordítottan arányos a frekvenciával. Ebből adódóan, ha a frekvencia tart ∞ -hez, akkor a reaktancia tart a nullához. A

$$|Z| = \sqrt{X_c^2 + R^2}$$

képlet alapján az impedancia pedig tart R-hez.

Az előző számolással magyarázható az, hogy a mérés során az amplitúdó- a frekvencia folyamatos növelése mellett folyamatosan közelített az ellenállás értékéhez.

A mérési adatokból összeállított táblázatból az is megfigyelhető, hogy a frekvencia növelése mellett a fázisszög is nőtt. A fázisszög értékénél megfigyelhető, hogy tart 2π -hez, azaz 360°-hoz.

Mivel tudjuk, hogy a fázis szög a következő képlettel számolható ki:

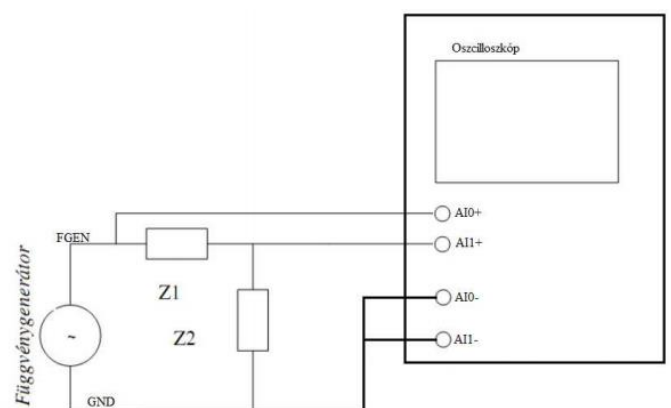
$$\varphi = \arctg\left(\frac{(-X_c)}{R}\right)$$

így adódik, hogy φ tart 2π -hez.

VI. BE ÉS KIMENETI FESZÜLTTSÉGEK VIZSGÁLATA

Ebben a részben a feladat az volt, a feszültségosztó összefüggésének ismeretében meghatározom a be és kimeneti feszültségek viszonyát váltakozó feszültség esetén $Z_1=C$ és $Z_2=R$ esetén.

A mérés során használt elrendezés a következő ábrán látható. (5. ábra)



5. ábra
Mérési elrendezés

Ezen mérés során az értékeket meghatározták: R=47 kΩ
C= 100 nF.

Ismert a kimeneti és bemeneti feszültségek arányát meghatározó képlet:

$$\frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}}$$

Ebből az egyenletből látható, hogy az oszcilloszkópos mérési eredményekből a második sorozat mérési eredményei felelnek meg. Itt a V_{pp} és az RMS folyamatosan növekszik.

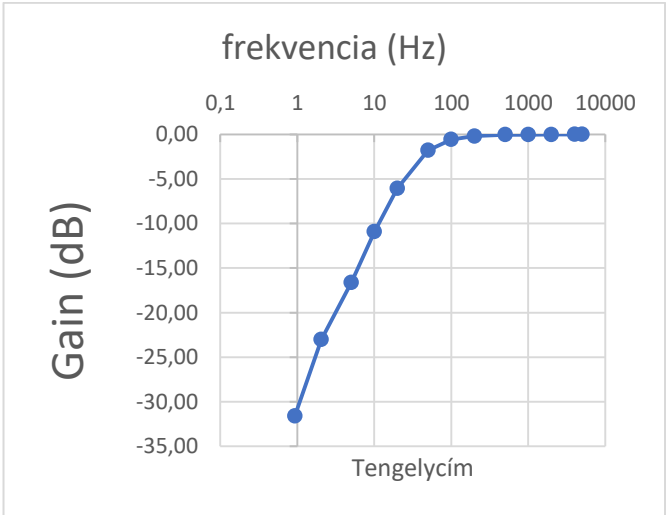
Frekvencia (Hz)	RMS ki (mV)	RMS be(mV)	Amplitúdó
0,9313226	9,53	362,07	0,263
2,0489	24,49	346,94	0,071
5,0291	51,7	350,02	0,148
10,0583	99,65	350,21	0,285
19,9303	175,35	352,78	0,497
49,9189	288,17	354,52	0,813
100,024	332,31	355,06	0,936
200,0481	347,27	355,4	0,977
499,934	353,81	355,47	0,995
1000,1	354,08	355,32	0,997
1999,9	354,38	354,91	0,999
4000	353,89	353,97	1,000
5000	353,6	353,79	0,999

7. ábra
Táblázatba foglalt értékek

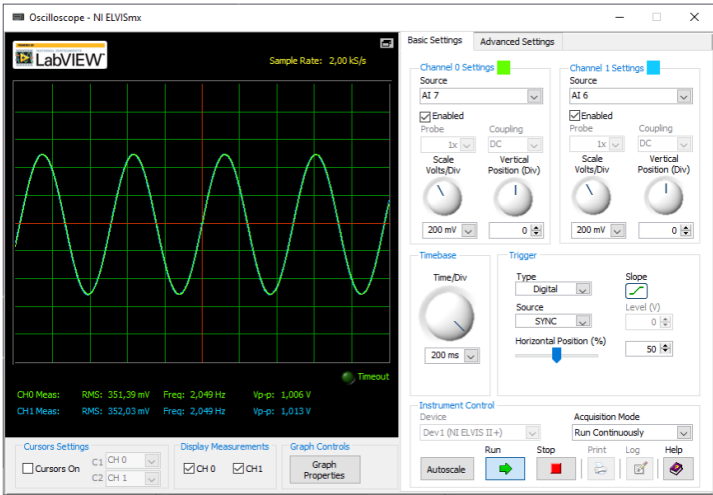
A mért RMS értékek alapján (ki és bemeneti feszültség) az amplitúdó számolható. A táblázatban számolt adatok szerepelnek az amplitúdó oszlopban. Az számolást a következő összefüggés alapján végeztem.

$$A = \frac{U_{ki}}{U_{be}}$$

Diagramot rajzoltam a be és kimeneti amplitúdó és fázis viszonyának megmutatására. A diagramon, a vízszintes tengelyen a mérési frekvenciát a függőlegesen az amplitúdó viszonyt logaritmikus, a fázist lineáris léptékben ábrázoltam. (8. ábra)



8. ábra
Az elkészült diagram



6. ábra
Oscilloszkópos mérési ábra

VII. EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

Az oszcilloszkópos ábrákról leolvas az adatokat a következőket kaptam. Fontos, hogy a chanel0-ra (CH0) van a kimenet kötve és chanell-re (CH1) van a bemenet. Az adatokat az alábbi táblázatba foglaltam.

A diagram elkészítéséhez további számolásokat kellett alkalmaznom, amellyel kiszámoltam az erősítést (Gain) dB-bel. Ezt az alábbi összefüggéssel tettem.

$$A_{dB} = 20 * \lg(A)$$

Az számolás eredményeit táblázatba foglaltam. (9. ábra)

Amplitúdó	Gain (dB)
0,026	-31,59
0,071	-23,03
0,148	-16,61
0,285	-10,92
0,497	-6,07
0,813	-1,80
0,936	-0,58
0,977	-0,20
0,995	-0,04
0,997	-0,03
0,999	-0,01
1,000	0,00
0,999	0,00

9. ábra
Számolás eredményei

Az eredményekből és a grafikonból látszik, hogy ebben az elrendezésben az RC tag aluláteresztő sávszűr. Ez azt jelenti, hogy az alacsony frekvenciákat nem vagy csak kis mértékben tompítja, míg a magas tartományban lévőket kiszűri.

VIII. MÉRÉSI EREDMÉNY ELLENŐRZÉSE

Ebben a részben az volt a feladatom, hogy ellenőrizsem a mérést több pontban a pillanatértékek felhasználásával.

Az ellenőrzéshez az alábbi képleteket fogom használni:

$$X_c = \frac{1}{2\pi * f * C}$$

$$U_{ki} = U_{be} * \frac{R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}}$$

Első ellenőrzési pont adatai:

- Frekvencia: $f = 499,933 \text{ Hz}$
- Bemeneti feszültség: $U_{be} = 355,47 \text{ mV}$
- Ellenállás: $R = 47 \text{ k}\Omega$
- Kapacitás: $C = 100 \text{ nF}$

Behelyettesítéssel a következő értékeket kaptam:

$$X_c = \frac{1}{2\pi * f * C} = 3,183 \text{ k}\Omega$$

$$U_{ki} = U_{be} * \frac{R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}} = 354,658 \text{ mV}$$

A számolt érték ebben az esetben megegyezik a mért értékkel.

Második ellenőrzési pont adatai:

- Frekvencia: $f = 200,0481 \text{ Hz}$
- Bemeneti feszültség: $U_{be} = 355,4 \text{ mV}$
- Ellenállás: $R = 47 \text{ k}\Omega$
- Kapacitás: $C = 100 \text{ nF}$

$$X_c = \frac{1}{2\pi * f * C} = 7,956 \text{ k}\Omega$$

$$U_{ki} = U_{be} * \frac{R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}} = 350,415 \text{ mV}$$

Ebben az esetben a mért érték csak kevésben tér el a számoltól, valószínűleg kerekítési hiba.

IX. MÉRÉSI EREDMÉNY ELLENŐRZÉSE

A feladatom az volt ebben a részben, hogy feszültségosztó összefüggések ismeretében határozzam meg a be és kimeneti feszültségek viszonyát váltakozó feszültség esetén $Z1=R$ és $Z2=C$ esetén.

Ebben az esetben azokat a mérési eredményeket kellett felhasználni, amelyekben kimeneti feszültség RMS értéke folyamatosan csökken.

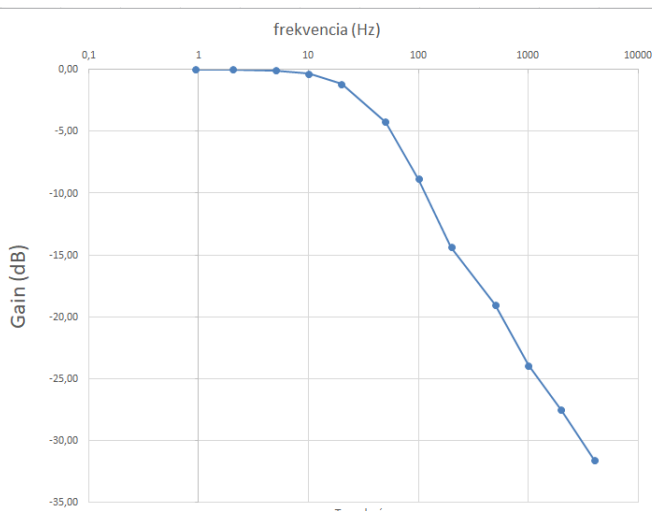
A mérési eredményeket ebben az esetben is táblázatba foglaltam. (10. ábra)

frek (Hz)	RMS ki (mV)	RMS be(mV)	Amplitúdó	Gain (dB)
0,931323	367,31	367,49	1,000	0,00
2,0489	351,39	352,03	0,998	-0,02
5,0291	351,32	354,93	0,990	-0,09
10,0583	340,89	354,53	0,962	-0,34
19,9303	309,84	355,14	0,872	-1,19
49,9189	216,32	352,16	0,614	-4,23
100,024	126,54	350,88	0,361	-8,86
200,0481	67	350,38	0,191	-14,37
499,934	39,21	350,36	0,112	-19,02
1000,1	22,22	350,11	0,063	-23,95
1999,9	14,71	349,65	0,042	-27,52
4000	9,2	349,16	0,026	-31,58

10. ábra
Mérési eredmények

Az erősítést és az amplitúdót az előző fejezetekben leírt számolási menetnek megfelelően kalkuláltam ki ebben az esetben is.

Az előzővel megegyező módon újra grafikont készítettem az adatokból.



11. ábra
Az elkészült diagram

A kapott eredményekből ebben az esetben az látható, hogy ebben az elrendezésben az RC tag felüláteresztő sávszűr. Ez azt jelenti, hogy a magas frekvenciákat nem vagy csak kis mértékben tompítja, míg az alacsony tartományban lévőket kiszűri. Pont fordítva, mint az előző mérés során.

X. MÉRÉSI EREDMÉNY ELLENŐRZÉSE

Ebben az esetben is ellenőriztem az adatokat az előzőkben már tárgyalt módon.

Első ellenőrzési pont adatai:

- Frekvencia: $f = 100,0240 \text{ Hz}$
- Bemeneti feszültség: $U_{be} = 350,88 \text{ mV}$
- Ellenállás: $R = 47 \text{ k}\Omega$
- Kapacitás: $C = 100 \text{ nF}$

Behelyettesítéssel a következő értékeket kaptam:

$$X_c = \frac{1}{2\pi * f * C} = 15,912 \text{ k}\Omega$$

$$U_{ki} = U_{be} * \frac{R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}} = 126,545 \text{ mV}$$

A számolt érték szerint a mérés helyes volt.

Második ellenőrzési pont adatai:

- Frekvencia: $f = 19,9303 \text{ Hz}$
- Bemeneti feszültség: $U_{be} = 355,14 \text{ mV}$
- Ellenállás: $R = 47 \text{ k}\Omega$
- Kapacitás: $C = 100 \text{ nF}$

Behelyettesítéssel a következő értékeket kaptam:

$$X_c = \frac{1}{2\pi * f * C} = 79,855 \text{ k}\Omega$$

$$U_{ki} = U_{be} * \frac{R}{\sqrt{X_c^2 + R^2}} = 309,954 \text{ mV}$$

Ebben az esetben is az eltérés tűréshatáron belüli a mért és a számolt érték között.

XI. LÁTSZÓLAGOS ELLENÁLLÁS ÉRTÉKE MEGEGYEZIK AZ ELLENÁLLÁSSAL

Ebben a részben az volt a feladatom, hogy határozzam meg azt a frekvenciát, ahol a kapacitás látszólagos ellenállásának abszolút értéke megegyezik az ellenállás értékével.

A feladatból adódik, hogy: $X_c = R$ és tudjuk, hogy $C = 100 \text{ nF}$ és $R = 47 \text{ k}\Omega$.

Rendezzük át az alábbi képletet!

$$X_c = \frac{1}{2\pi * f * C}$$

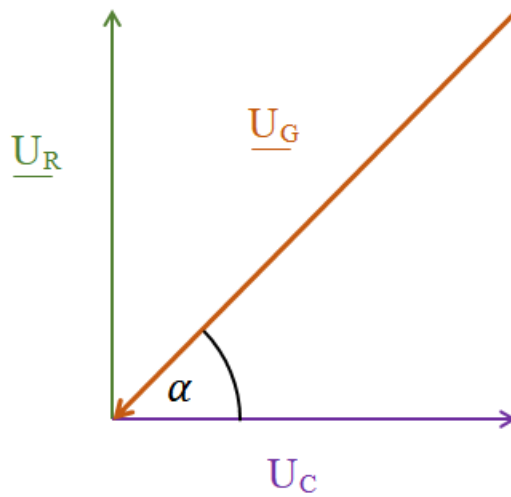
$$f = \frac{1}{X_c * C * 2\pi}$$

Behelyettesítés után adódik:

$$f = \frac{1}{47 * 10^3 * 100 * 10^{-9} * 2\pi} = 33,862 \text{ Hz}$$

Tehát $33,862 \text{ Hz}$ -es frekvenciánál fog megegyezni a kapacitás látszólagos ellenállásának abszolút értéke az ellenállás értékével.

A fenti adatokból az alábbi vektorábra készíthető:



12. ábra
Vektorábra

XII. VEKTORÁBRA KÉSZÍTÉSE

Ebben a részben az volt a feladatom, hogy készítsek vektorábrát a huroktörvény ismeretében.

A feladat leírásában szerepelt továbbá a következő összefüggés:

$$U_R + U_c + U_G = 0$$

melyben U_R az ellenálláson U_c a kondenzátoron eső feszültség és U_G a generátor feszültsége.

Kirchhoff- huroktörvénye alapján tudjuk, hogy sorba kapcsolt tagok esetében, zárt görbére, az áramkörü elemek feszültségeinek előjeles összege nulla. Ám ebben az esetben az egyes tagok fázisát is figyelembe kell venni.

Rendezzük az egyenletet!

$$U_R + U_c = -U_G$$

Tudom, hogy U_R és U_C vektorok merőlegesek.

$$\alpha = \frac{\pi}{4}$$

FELHASZNÁLT FORRÁSOK

[MÉRÉSI UTASÍTÁS](#)

[MÉRÉSI EREDMÉNYEK](#)

[ÁTVITELI KARAKTERISZTIKA](#)

[NÉGYPÓLUS](#)

[BODE-DIAGRAM](#)

[ELŐADÁS ANYAGA](#)

[SPEKTRUMANALIZÁTOR](#)

[FÜGGVÉNYGENERÁTOR](#)

[FOURIER-SPEKTRUM](#)

[ÁTERESZTŐ](#)