

# **TDK DOLGOZAT**

G. Varga István Dénes

## **Irányított ultrahangos mérések**

Konzulens:  
Dr. Fehér András, egyetemi docens,

Győr  
2023

**Széchenyi István Egyetem  
Gépész, Informatikai és  
Villamosmérnöki Kar  
Távközlési Tanszék**

Villamosmérnöki alapszak  
7. félév

**TDK dolgozat**

**Irányított ultrahangos mérések**

**Dr. Fehér András**  
egyetemi docens

**G. Varga István Dénes**  
hallgató

**Lezárva: Győr, 2023. 10. 31.**



# Tartalmi összefoglaló

**G. Varga István Dénes** :Irányított ultrahangos mérések

Konzulens: Fehér András

A TDK dolgozatom témája irányított ultrahangos hullám előállítás, és azzal mérések végzése. Ultrahangos adók, és vevők mára filléres tömeggyártásban is elérhető árucikké váltak. Irodalomkutatásom során nem találkoztam elektronikusan irányítható ultrahangos szenzor rendszerrel ezért kezdtem el a kutatásom. Korábbi tanulmányaim során megismerkedtem a hullámok interferenciájával, mely több hullám kibocsátásával jól irányítható hullámfrontokat hozhat létre. Jelen dolgozatban ennek gyakorlati megvalósításával, és mérés technikai alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatával foglalkoztam.

A dolgozat két fő részből áll, az első az ultrahang irányítása mikrovezérlővel. A második az elkészült ultrahangos eszköz mérésére szolgáló készülékek, kísérletek, mérési eredmények ismertetése.

Az ultrahang irányíthatóságát célzó elméleti ismeretek mellett a gyakorlatban is megvalósított irányított ultrahangos adót állítottam elő, ezzel és a visszaverődött jeleket vizsgálva méréseket végeztem. Több nehézséggel szembesültem, amiket részletesen bemutatok. Munkámmal megvalósítottam egy irányított ultrahanggal működő szenzort. Végül röviden kitérek az esetleges felhasználási területekre.

# Tartalomjegyzék

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tartalomjegyzék.....</b>                                    | <b>5</b>  |
| <b>Rövidítések .....</b>                                       | <b>9</b>  |
| <b>1. Irányítás megvalósítása mikrovezérlővel .....</b>        | <b>10</b> |
| 1.1 Programozás Célja .....                                    | 10        |
| 1.2 Megvalósítási lehetőségek .....                            | 10        |
| 1.2.1 A sebesség kérdése .....                                 | 10        |
| 1.2.2 Assembly programozás előnyének mérése: .....             | 11        |
| 1.3 Assembly programról.....                                   | 11        |
| 1.3.1 A fázistoló program magyarázata: .....                   | 12        |
| <b>2. Irányított ultrahang irányításának bizonyítása .....</b> | <b>17</b> |
| 2.1 Irány karakterisztika felvétele .....                      | 19        |
| <b>3. Visszavert ultrahang eredménye .....</b>                 | <b>21</b> |
| 3.1 Eszközök és kapcsolásuk .....                              | 21        |
| 3.1.1 Adó oldal .....                                          | 23        |
| 3.1.2 Vevő oldal .....                                         | 24        |
| 3.2 Általános mérés ultrahanggal.....                          | 25        |
| 3.2.1 Kezdeti állapot .....                                    | 26        |
| 3.2.1.1 A nyáklapban terjedő hullámok bizonyítása .....        | 28        |
| 3.2.2 HC-SR40 vizsgálata .....                                 | 30        |
| 3.2.3 Egyszerű megoldás .....                                  | 31        |
| 3.2.4 Távolság mérése .....                                    | 32        |
| 3.2.5 Veszteség mérése .....                                   | 33        |
| 3.2.6 Veszteségek kompenzálása.....                            | 35        |
| 3.2.7 Áramkörüi megoldás.....                                  | 35        |
| 3.2.8 Veszteségi tényező meghatározása .....                   | 38        |
| 3.2.9 Egyenlet szoftverbe való integrálása .....               | 38        |
| 3.2.10 Összeállítása a kompenzáló erősítőnek .....             | 39        |

|           |                                                    |           |
|-----------|----------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.11    | Eredmények felhasználása .....                     | 41        |
| <b>4.</b> | <b><i>Anyagmeghatározás ultrahanggal .....</i></b> | <b>41</b> |
| 4.1       | Kísérlet anyag meghatározására.....                | 41        |
| 4.2       | Másodlagos reflexió .....                          | 43        |
| <b>5.</b> | <b><i>Összefoglalás.....</i></b>                   | <b>45</b> |
|           | <b><i>Köszönetnyilvánítás.....</i></b>             | <b>46</b> |
|           | <b><i>Felhasznált irodalmak .....</i></b>          | <b>47</b> |

## Ábrajegyzék

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. ábra C++ és assembly sebesség összemérő program eredménye .....                             | 11 |
| 1.2. ábra C++ és assembly sebesség összemérő program eredménye .....                             | 11 |
| 1.3. ábra Fázistolás .....                                                                       | 13 |
| 1.4. ábra Fázistolás .....                                                                       | 15 |
| 1.5. ábra Fázistolás .....                                                                       | 15 |
| 1.6. ábra Fázistolás .....                                                                       | 16 |
| 2.1. ábra Kísérleti össze állítása az ultrahang irányítására .....                               | 17 |
| 2.2. ábra "nagy adók" irányítottságának mérése .....                                             | 18 |
| 2.3. ábra "Kicsi adók" irányítottságának mérése .....                                            | 18 |
| 2.4. ábra CTD40K1007R adatlapjában szereplő irány karakterisztika. ....                          | 19 |
| 2.5. ábra Irány karakterisztika .....                                                            | 20 |
| 2.6. ábra Irány karakterisztika mérésére össze állított adó oldal .....                          | 21 |
| 3.1. ábra Elméleti kapcsolási össze állítás .....                                                | 22 |
| 3.2. ábra Adók és vevő a valóságban .....                                                        | 22 |
| 3.3. ábra Adók közvetlen vezérlése mikrovezérlővel .....                                         | 23 |
| 3.4. ábra Komplex kapcsolat adó és vevő oldali erősítéssel .....                                 | 24 |
| 3.5. ábra Vevő oldali erősítő kapcsolat .....                                                    | 24 |
| 3.6. ábra Első reflexió mérése .....                                                             | 25 |
| 3.7. ábra Másodlagos reflexió első detektálása .....                                             | 26 |
| 3.8. ábra [i8] forrás 7. oldal kétirányú hangsugárzás .....                                      | 26 |
| 3.9. ábra Az általam használt eszköz belsőjéről készített fotó. Egy CTD40K1007R. ....            | 27 |
| 3.10. ábra Különböző vevőkön mért kezdeti állapot .....                                          | 27 |
| 3.11. ábra Rezgés vizsgálatának kísérleti összeállítása .....                                    | 28 |
| 3.12. ábra Rezgés vizsgálatának kísérleti összeállításának eredménye .....                       | 28 |
| 3.13. ábra A rezgés vizsgálatának kísérleti összeállításán változtattam az orientáción. A mérési |    |

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| eredmény változott az orientációval .....                                                   | 29 |
| 3.14. ábra [i17] HC-SR04 kapcsolási rajza.....                                              | 30 |
| 3.15. ábra Fém doboz vizsgálata kezdeti rezgés nélkül .....                                 | 31 |
| 3.16. ábra Mérési össze állítás .....                                                       | 32 |
| 3.17. ábra A csillapítás mérésének a megvalósítása.....                                     | 34 |
| 3.18. ábra Csillapítás mérése.....                                                          | 35 |
| 3.19. ábra A [i16] forrásból származó változtatható erősítésű erősítő elvi kapcsolása ..... | 36 |
| 3.20. ábra Változtatható erősítésű erősítő elektronikai kapcsolása.....                     | 37 |
| 3.21. ábra TINA TI szimuláció eredménye .....                                               | 37 |
| 3.22. ábra Közelített függvény .....                                                        | 38 |
| 3.23. ábra PWM program részlet .....                                                        | 38 |
| 3.24. ábra PWM program részlet .....                                                        | 39 |
| 3.25. ábra Tűző panelen megvalósított kapcsolat .....                                       | 39 |
| <b>3.26. ábra</b> Függvény által vezérelt kitöltési tényezőjű PWM jel .....                 | 40 |
| 4.1. ábra Keménykötetes könyv reflexiója.....                                               | 42 |
| 4.2. ábra 23mm-es fa lap reflexiója.....                                                    | 42 |
| 4.3. ábra Párna reflexiója .....                                                            | 42 |
| 4.4. ábra Könyv fizikai mérete.....                                                         | 43 |
| 4.5. ábra Könyv vastagságának érzékelése .....                                              | 44 |

## Rövidítések

|                  |                                        |
|------------------|----------------------------------------|
| m/s              | Sebesség mértékegysége méter/szekundum |
| s                | távolság                               |
| t                | idő                                    |
| v                | sebesség                               |
| $V_{\text{RMS}}$ | Feszültség - effektív érték            |
| [11]             | Írott hivatkozás                       |

# 1. Irányítás megvalósítása mikrovezérlővel

## 1.1 Programozás Célja

Korábbiakban bizonyítottam, az ultrahang irányíthatóságát a fázisvezérléssel. Teszteltem az írt programot, hogy hasonló működést érjek el, mint a már korábban elkészített kísérleteim során. Ekkor Brust jellel szinkronizáltam a jelgenerátorokat, és vezéltem az ultrahangos adókat. A fáziseltolás függvényében képes voltam egy pontban az ultrahang amplitúdóját csökkenteni és növelni, kihasználva a kioltási és erősítési pontokat.

## 1.2 Megvalósítási lehetőségek

A megvalósítás kezdetén a rendelkezésre álló eszközök korlátozták a lehetőségeimet. Ezért kezdtem meg a program írását egy Arduino UNO mikrovezérlővel, az általa támogatott C++ módosításokat tartalmazó nyelvén. Mivel tapasztalataim szerint ezen mikrovezérlők nagy szórással rendelkeznek a pontosságot tekintve, saját méréseket is végeztem. Nagy szerepe van a pontosságnak egy olyan alkalmazásban, ahol nanosecundum eltérések is változást hoznak az eredményben. Méréseim rávilágítottak arra, hogy ezen programozási nyelven, ezzel az eszközzel nem fogom elérni a kellő sebességet. Ezért egy modernebb eszköz beszerzése mellett döntöttem, egy STM32F103 mikroprocesszort tartalmazó mikrovezérlő formájában. A szállítás várakozási ideje miatt, nem azzal az eszközzel történt a fejlesztés ezen szakasza, ezért egy másik nyelv használatába kezdtem, hogy az eszköz szállítási ideje ne okozzon nagy késedelmet. Ez pedig az Assembly programozási nyelv volt. A nyelv tesztelése után kellő gyorsaságúnak ítélt meg, és elkészítettem egy programot, amit lentebb elemzek.

### 1.2.1 A sebesség kérdése

Az általam használt ultrahangos adó rezonancia frekvenciája 38-41kHz között található, mivel ezen a frekvencián képes a legnagyobb hangteljesítményt kiadni az eszközt. Ez azt jelenti, hogy a szoftveren az elérni kívánt periódus idő 0,000025s azaz 25 $\mu$ s. Az Arduino UNO gyári adatlapjában szereplő digitalWrite () parancs C++ nyelvben, a gyártó által ígért sebesség 3,4 $\mu$ s. Ez azt jelenti, hogy a

legkisebb fázistolás  $48,96^\circ$ , amit ezzel a programozási nyelvvel el lehet érni. Ennél jóval kifinomultabb rendszert szerettem volna megalkotni.

### 1.2.2 Assembly programozás előnyének mérése:

Kíváncsiságból és az összehasonlíthatóság érdekében készítettem egy demonstrációs programot. Aminek a program kódja a 0.1 és 0.2 ábrán tekinthető meg az 1. mellékletben.



1.2. ábra C++ és assembly sebesség összemérő program eredménye

A demonstrációs programban a legrövidebb impulzust szerettem volna kiadni, a legkisebb, de létező fázis eltéréssel. A C++ nyelvben ez a mikrovezérlő  $12,75\mu s$  ideig volt magas állapotban, és megoldható volt assembly nyelven  $375ns$  ideig tartó impulzus is. Ez 34-szer gyorsabb működést jelent ebben a példában. A két jel közti idő, vagyis a későbbiekben a legkisebb fázis eltolási idő is lényegesen kisebb ebben a megvalósításban. Ezek az eredmények győztek meg, hogy ezt a nyelvet válasszam a program megírásához.

## 1.3 Assembly programról

Az Assembly programozás előnyei ismertek voltak számomra korábbi tanulmányaim miatt. Azonban tényleges programot ezzel a módszerrel nem írtam korábban. Ezért az [i13] számú forrásban megjelent oldal, és az oldalt szerkesztő videós oktató anyagából írtam meg ebben a nyelvben a programot. A nyelvet csupán a kritikus sebességű területeken használtam. Ahol nem volt lényeges (vagy pont, hogy hasznos, a kissé lassúbb működés, erre később kitérek) a gyors működés, ott a C++ nyelven íródott a program, mivel ezen a nyelven könnyebb volt a programozás. A mikrovezérlő soron kommunikál a felhasználóval. Készítettem egy programot, amiben először két lehetőség közül kell választania a felhasználónak, hogy automata, vagy kézi üzemmódban szeretné a letapogatást végezni. Amennyiben automata üzemmódot választjuk, minden irányba kiküld egy 40 kHz-es hullámot. Ez a jelenlegi dolgozatnak nem képezi lényeges részét, ezért csak említeni szerettem volna, ugyanis a későbbiekben automatizáltan szeretném végezni a letapogatást. A kézi üzemmódot választva, újra a felhasználónak kell választania. Kis utasítás után, 0-55-ig tudja a balra történő irányt megadni, 55-ös irányba tud egyenesen előre hullámot kiadni. 55-110-ig jobb oldalra tudja irányítani a hullámot.

Minden irányba, amit beállítunk, 5 hullámot ad ki. Továbbá addig nem ad ki hullámot, amíg meg nem adjuk az új irányt. Ez általában, ha gyors a reakció időnk is, bele telik 1-2s-be, ami alatt a korábban kiadott hullám már jelentősen nem fogja befolyásolni az új mérést.

### **1.3.1 A fázistoló program magyarázata:**

A main függvény C++ nyelven rendkívül egyszerűen íródott. A globális változók használata ilyen kisméretű program esetén nem befolyásolja az átláthatóságot. Ezért alkalmaztam, a kimenetek megadásához továbbá egy előjel nélküli számot is, az „a” változót. Ebben a változóban lesz elmentve a felhasználó által megadott irány 1. melléklet 0.5 ábrán megtekinthető.

Ezt követi az .asm fájlban szereplő függvények deklarálása, ez a részlet látható a 0.8 ábrán.

Beállítok 3 lábat kimenetnek, továbbá beállítom a Serial.begin paranccsal a soros kommunikáció sebességét, látható a program részlet a 6.8 ábra 1. mellékletében.

Az 1. melléklet 0.7 ábráján a loop-ban ami az Arduino környezetben a main()-nek felel meg, különbsége, hogy a loop()-on belül lévő parancsok végtelenszer végrehajtnak. Látható a felhasználónak adott néhány instrukció, és a változó, amivel a lehetőségek közül választ mentem el. Továbbá a while ciklus célja, hogy amíg nem választ a felhasználó, addig nem lép tovább, megvárva a felhasználót, hogy dönthesse a választási lehetőségek közül. Kézi üzemmódban, a fentebb leírt használati utasítás után, amit a felhasználóval közlünk, várakozik a program az aktuális irányra. Az 1. melléklet 0.7 ábráján if-vel kiválasztom melyik aktuális irányba szükséges eltolni a fázist, mivel az érték megadja az irányt. Az eltolás mértékét szükséges meghatározni, ezért kellett az „a” értékeket módosítani (az „a” új értéke közvetlenül az eltolás értékét adja meg, különböző sorrendben emelve magas és alacsony állapotba a kimenetet). Majd egy biztonsági várakozás után folytatódik a program, és újra választhatunk „a” irányt.

A meghívott függvények magyarázata az 1. melléklet 0.8. ábrán tekinthető meg.

A fájl elején a függvényeket a, global paranccsal tudjuk deklarálni. Továbbá a szükséges könyvtárakat is meghívjuk.

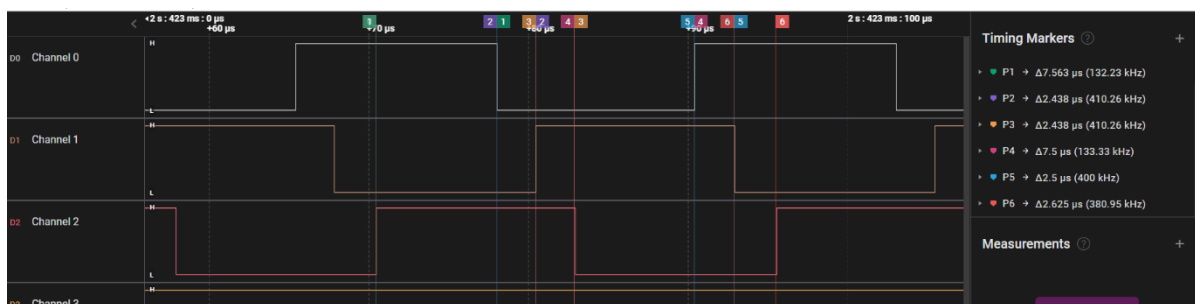
A legegyszerűbb függvény az 1. melléklet 0.9 ábráján látható, előre történő irányítást valósítja meg, vagyis a 3 kimenet egyszerre (0°-os fáziseltolással) adja ki a 3 meghatározott kimenetén a 40kHz-es négyzetű jelet.

Az első parancsba R16 értéke vegye fel a 0011 1000 bináris értéket, ami hexadecimálisan a 38-nak felel meg. Majd betöltjük az R21-es regiszter értékét, 0-értékűnek állítom be. Az R19-es regiszter értékét 5-re állítom be. Az R19-értéke határozza meg hány hullámot adunk ki. Majd az R16-ba szereplők szerint adjuk meg, melyik biteket állítsuk magas értékre. Ezt követően meghívjuk a myDelay

függvényt. Ezután a portokat alacsonyra állítjuk, azonos paranccsal (ugyanis ezzel az utasítással lehet több port értékét egyszerre állítani), majd meghívjuk az előbbi késleltető függvényeket. Ezzel egy periódust megtesz a kimenetünk, ezért csökkentjük az R19-es regiszter értékét a DEC paranccsal. A BRNE utasítás után az agn sorból folytatódik a program, vagyis egy új négyszögjelet ad ki az eszköz. Addig ad ki négyszögjeleket az eszköz, amíg R19-értéke el nem éri a nullát, ugyanis is ekkor az utána következő sort nem hajtódik végre. Így kerülünk ki a ciklusból, majd az utolsó sorban visszatér oda, ahonnan meghívták.

Az 1. melléklet 0.10. ábra programrészlete is hozzátartozott az egyik fő okhoz, ami miatt assemblyben íródott egy része a programnak. Ebben a nyelvben akár egy órajel idejű időt is késleltethetünk (igaz abban a megoldásban a megszakítást nem tudjuk használni). Ez kissé lassabb megoldás a nope utasításnál, azonban könnyen alkalmas hosszabb várakozásra is, mint néhány órajel ciklus, de a ms-nál (ami a legkevesebb várakozás C++ nyelvben) lényegesen rövidebb időket is tudunk várakozni. A 24R regiszterbe töltöttem a 61-es decimális értéket. Ebből kivonok egyet, majd vissza ugrik a 13-mal jelzett részre a vezérlés. Ez mind addig ismétlődik, míg a DEC művelet már fut le, nem csökkenti R24 értékét és ezért a közvetlen alatta lévő sort átugorja. Ha ez megtörténik, visszatér oda, ahonnan meghívták.

A jobbrak való irányítás két függvényre osztható. A későbbiekben bemutatásra kerül, hogy erre miért volt szükség. Elsőként a jobbrak nevű függvényt elemzem már a korábbi részletességet mellőzve, a részlet megtekinthető az 1. melléklet 13.ábráján. A C++ program részletből az R24-es regiszterbe történik a felhasználó által adott változó mentése. Konstans értékeket menetek R22, és R19-be ezek a konstansok segítségével lesz a fáziseltolástól függetlenül adott frekvenciájú jel. A MOV paranccsal átmásolom az aktuális változó értékét R16-ba, majd hozzáadom R29 értékét. Erre azért van szükség, mert így kapható meg a legnagyobb fáziseltolás jobb oldalra pl.:(C részletben megadott  $100-82=18$ )  $18+28=46$ . A következő sorban a kiadandó négyszögjelek száma látható. Majd R18-értékének fél periódusidőt töltünk be, amiből kivonjuk a növelt eltolást pl.:  $56-46=10$ . Ezután R16-értékét is csökkentjük R18 értékével pl.:  $46-10=36$ . Ezekre a műveletekre a következő idő diagram miatt volt szükség.

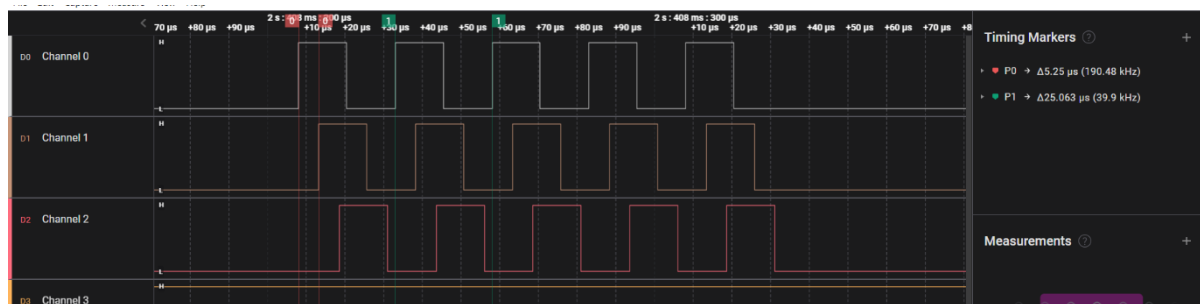


1.3. ábra Fázistolás

Látható a három négyszögjel sorrendje. 90°-feletti fáziseltolásnál a két szélső jelalaknál az első jel alacsony szintjén fog magasba menni a 3. jel. Továbbá minden magas, illetve alacsony átmenet a programozás szempontjából, egy új állapotot fog eredményezni. Ez azt jelenti, hogy a 25 $\mu$ s periódus a példában említett irányításnál 2 fajta várakozási időt fog eredményezni. Egy 7,5 $\mu$ s körüli időt és egy 2,5 $\mu$ s körülit. Ezért volt szükséges ezeket az értékeket a jelek kiadása előtt kiszámolnia a programnak. Visszatérve (12. ábra) kiadom az aktuális (jobb oldalnak), megfelelő iránynak a szélső első jelet (3-as). Majd várakozok R16-nak megfelelő értékét. Alacsonyra állítom a másik oldali adó értékét (5-ös). Várakozok R18-nak megfelelő időt, és magas állapotba billentem a középső kimenetet. Ezután szintén R18-nak megfelelő értéket várakozok, és alacsony állapotba billentem a legrégebb óta magas szinten lévő lábat (3as). Ez után R16-értékének megfelelő értéket várakozok. Ezek után lehet a jelen alkalmazásban 5-ös lábat magas állapotba billenteni. Majd R18-as várakozás után a középső kimenetet is alacsony állapotba billentjük. A ciklus végéig R18-értékének megfelelő várakozás után fejeződik-be a ciklus, magja. Addig ismétlődik, amíg van kiadandó hullám. Ha minden hullámot kiadtunk, hogy az 5-ös kimenet is teljes periódust tudjon menni, várakozunk R16-értékének megfelelő időt, és alacsony állapotba visszük a kimenet. Az 1. melléklet 0.12.ábrán szereplő program részlet a különböző késleltetéseket mutatja be. A myDelay egy konstans értékkel késleltet ez az előre történő irányításnál lényeges. A többi késleltetés különböző regisztereket használva végzi el a késleltetést. A shift R20-ban lévő értékszer fut le. A myD R18 értékének megfelelő számmal fut le. A korábbiakban hasonló módon végzi mindegyik függvény a késleltetést. A kivonás időigényes feladat, ezt használjuk ki, minél nagyobb a regiszterben átadott érték, annál többször kell a kivonást elvégezni. Ezzel van módunk késleltetni, előnye, hogy egy érték módosításával tudjuk változtatni a késleltetést.

Az 1. melléklet 6.16 ábráján szereplő programrészletben látható programban. Elsőként elmentem az R20-as változóba az adott értéket. Továbbá egy fél periódus időnyi késleltetés értékét, ami 56. A CLR paranccsal kitisztítjuk a regisztereket. Majd az R26-os regiszterbe töltjük azt az értéket, ahányszor szeretnénk, hogy lefusson a függvény. Ezután átmásoljuk az R22-es regiszter értékét (az az eltárolt 56-os értéket) R18-ba, hogy úgy tudjunk műveleteket végezni vele, hogy a konstans a későbbiekben is rendelkezésre tudjon állni. Majd ezután két azonos sor következik, az R18-as regiszter értékéből kivonásra kerül az aktuális irány. Erre azért van szükség, mert az R18 értéke fogja meghatározni a maradék kitöltési időt. A program kommentjei között is olvasható ez a magyarázat, miszerint R18-ba töltjük 56-értékét, amennyiben ez az irány értéke 27 akkor 2-szer várakozunk 27 értékének megfelelő időt. Vagyis  $56-27-27=2$  várakozási ciklus marad arra, hogy az először átbillentett kimenetet visszaállítsuk. Majd azonos sorrendben, ahogy magasba, úgy alacsonyba billentjük a kimeneteket. Továbbá itt is várakozunk a maradék kitöltendő időt. Ezután

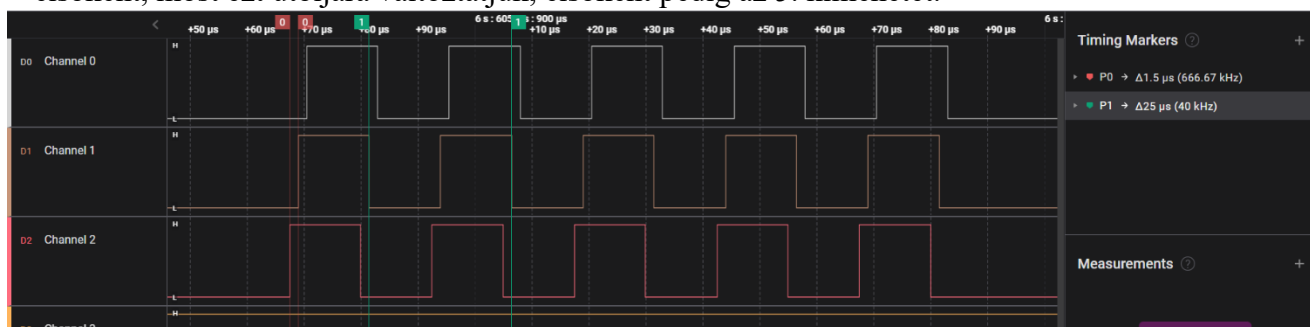
kivonunk R26-ból egyet, amíg nem éri el 0 értéket a ciklus magja lefut. Amennyiben elérte a 0 értéket, visszatér a vezérlés oda, ahol meghívta a függvényt.



#### 1.4. ábra Fázistolás

Az idő diagramja „a” egy alkalmazás esetén (30 as értéket adva a bemenetre). Az idődiagramon látható „a” korábbiakban leírtak szerint működik mindegyik kimenetet egy késleltetés idővel, ami kisebb, mint a fél periódus idő fele (vagyis az 56-ból kevesebb, mint 28) van megvalósítva. Amennyiben mindegyik kimenet magas állapotba került, az eltolás függvényében egy kitöltő időt iktatunk be az eltolás mértékétől függően (változó értékű kitöltést). Majd azonos sorrendben, ahogy magas állapotba helyeztük a kimenetet, azonos sorrendbe, alacsony sorrendbe állítjuk azokat, azonos eltolási időt tartva, mint a korábbiakban. Miután mindegyik alacsony állapotba került a korábban is említett kitöltéssel érjük el a 40kHz-et.

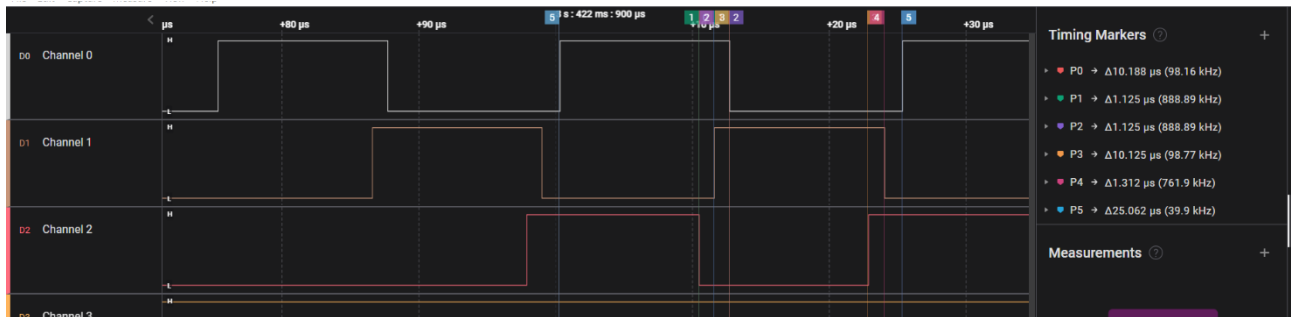
A balra történő irányítás elmélete nagyon hasonló a jobbra történő irányításhoz, ezért csak különbségeiről szeretnék említést tenni. Az 1. melléklet 6.18 ábráján szereplő program megvizsgálása során alig pár sorban találunk eltérést. Ez azért van, mert majdnem ugyanazt a viselkedést szeretnénk elérni. A különbség, hogy a korábbiakban a D port 3. kimenetét változtattuk elsőként, most ezt utoljára változtatjuk, elsőként pedig az 5. kimenetet.



#### 1.5. ábra Fázistolás

A bbalrak függvény megtekinthető az 1. melléklet 0.15. ábráján. A függvény magyarázatokor - az előző fejezethez hasonlóan - csupán az eltérésekre szeretnék kitérni. Azonos késleltetéseket alkalmazva, mint korábban, a függvény hasonlóan egy 0-28 közötti értéket kap. Ezt az értéket megnöveljük 28-cal. A megnövelt értéket kivonjuk fél periódusidőből (az így kapott szám mindenképpen kisebb lesz fél periódus idő felénél). Hívjuk ezt az értéket „kis számnak”. A kis számot kivonjuk a megadott érték és 28 összegéből, az így kapott számot hívjuk „nagy számnak”. Ezután ellentétben a

jjobbrak függvényben olvasottól, ebben az esetben először az 5-ös lábat emeljük magas szintre. Majd várakozunk nagy számnak megfelelő ideig. Ezután alacsony értékre visszük a 3-as lábat, majd várakozunk kis számnak megfelelő ideig. Ezután magas értékre visszük a 4-es lábat, majd kis számnak megfelelő ideig várakozunk, hogy alacsony értékre vigyük az 5-ös lábat. Ezután megint nagy számnak megfelelő ideig várakozunk, és magasba visszük a 3-as lábat. Majd két kis számnak megfelelő várakozás között, alacsony állapotba visszük a 4-es lábat. Ez a ciklus annyiszor fut le, amennyi R26 regiszter értéke, majd visszatér oda, ahol meghívták a függvényt.

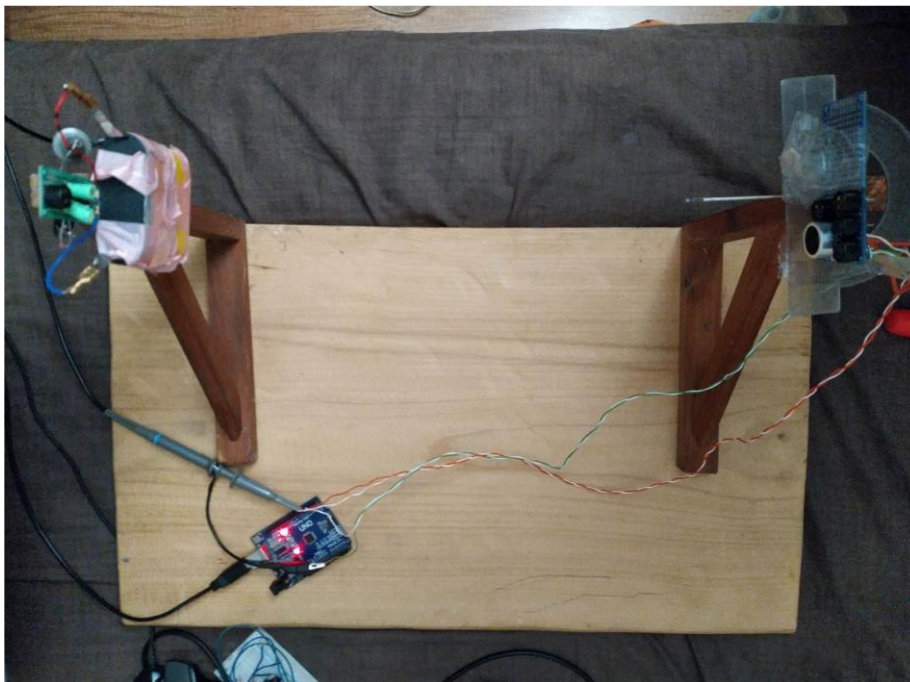


1.6. ábra Fázistolás

Az idődiagramon látható, hogy (2es értéket megadva) minden egyes kis időszakaszt lemérve látható, hogy a helyes működést értem el ezzel a működéssel (az elnevezések is jogosak voltak).

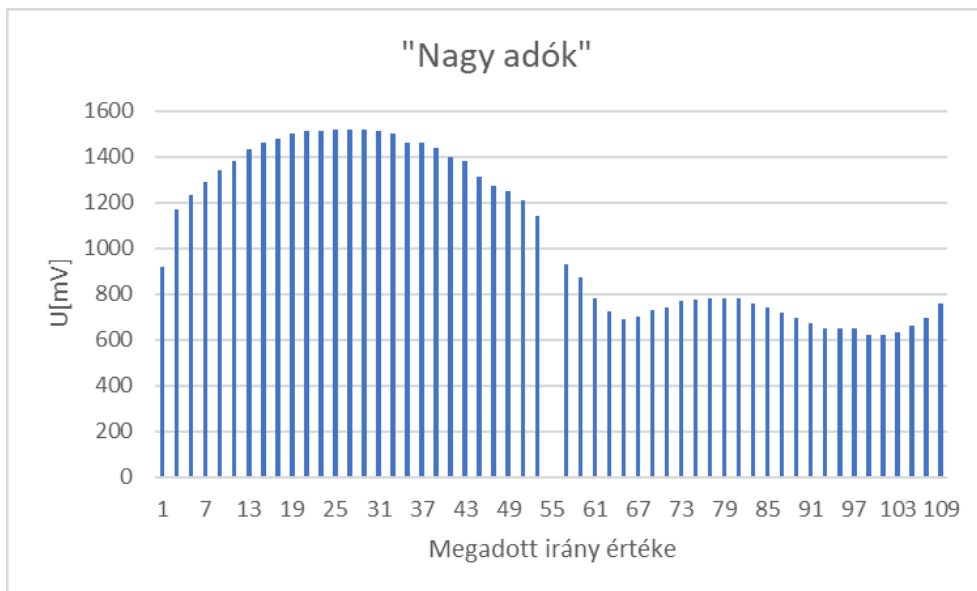
## 2. Irányított ultrahang irányításának bizonyítása

A fentebb olvasható programot használva elvégeztem egy kísérletet, bebizonyítani nem csupán a programozott mikrovezérlő helyességét, hanem az irányított ultrahang kioltási és erősítési pontjainak kialakulását. A mérési összeállításom:



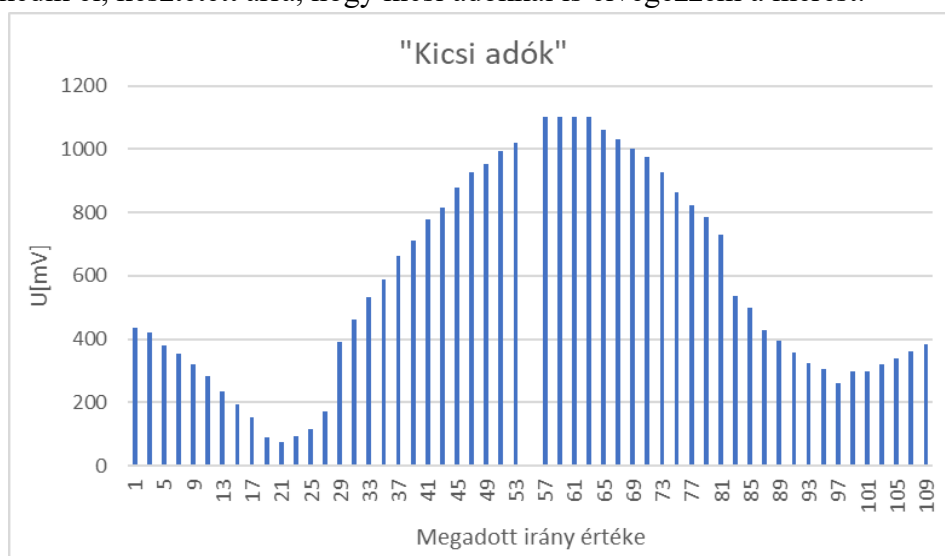
*2.1. ábra Kísérleti össze állítása az ultrahang irányítására*

A jobb oldalon látható „kicsi adók”, amiből 3-at használtam, hogy a leprogramozott lehetőségeimet teljesen kihasználjam. A vevő oldalon egy konstans 13 szoros erősítést használtam 4,5 V-os elemről táplálva az erősítőt. Ez a fotó (2.1 ábra) a második mérési sorozatról készült az első alakalmával a „nagy adók”-ból használtam 3 darabot. A mérés során a fizikai összeállítást nem módosítottam, végig egy irányban vizsgáltam az adókat és a vevőket is. Kizárólag az irányítottságot módosítottam, a fázistolással. Minden irányba történő kiadott hullámról egy távolságban, a 33,5 cm megtételéhez szükséges időpontban (és kis eltéréssel a környékén) leolvastam az oszcilloszkópon mért csúcstól csúcsig mért értéket. Az eredményeket táblázatban rögzítettem. Az átláthatóság érdekében az értékeket táblázatban ábrázoltam.



2.2. ábra "nagy adók" irányítottságának mérése

A 2.2-es ábrán látható eredményből látható, hogy kialakult egy nagyon-nagy amplitúdóval rendelkező csúcsérték, ami viszonylag nagy irányítottsági tartományban meg is maradt. Ezen felül érdekesség, az előre történő irányhoz (55-ös értéknél) tartozó eredménye értékelhetetlenül kicsi (50mV) értéket vett fel. Igaz a grafikonról leolvasható, de nem szerettem volna említés nélkül hagyni. Ez az eredmény, ami miatt döntöttem amellett, hogy az előre történő ultrahang kiadása (mivel ekkor a mikrovezérlő 3 kimentet egyszerre kénytelen magas és alacsony állapotba át helyezni, nem képes elegendő áramot biztosítani a kimenetén) miatt, erősíteni szükséges a kimenő jeleket is. Ezen részről később részletesen értekezem. Érdekes eredmény 73 és 85 között kialakuló hullámmászás. Ez az eredmény véleményem szerint egy mellék nyaláb lehet, ami közvetlenül az adó előtt is megjelenhet, kellően oldalra irányított főnyaláb mellett. Ez az eredmény, és hogy a maximum hely nem 55 érték vagy annak környékén helyezkedik el, késztetett arra, hogy kicsi adókkal is elvégezzem a mérést.



2.3. ábra "Kicsi adók" irányítottságának mérése

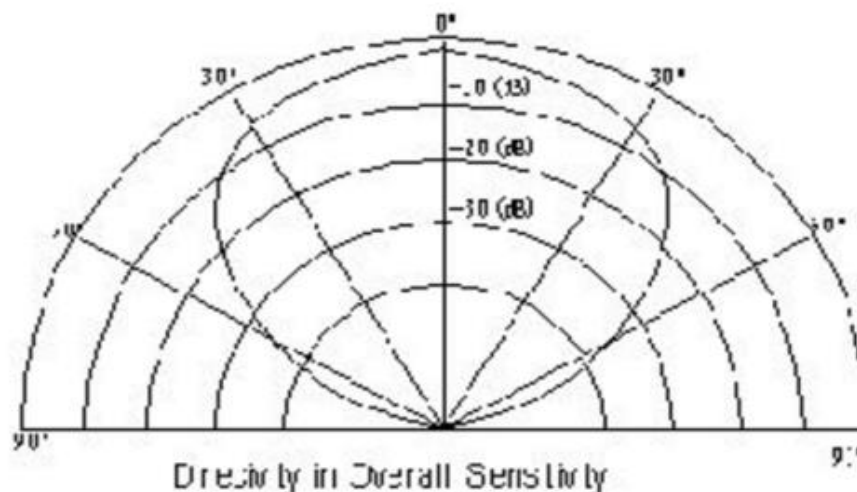
A 2.3 ábrán látható kicsi adónál szintén az 55-ös irányhoz nem tartozik érték, szintén a korábban leírt okból kifolyólag. Az irányítás ezen a karakterisztikán lényegesen jobban megközelíti a várt eredményt. Azonban az szélső irányítottságban szintén megjelenik egy-egy emelkedő jelalak. Ezek a jelek úgy gondolom szintén melléknyalábokra utalnak. Azért vonható le ez a következtetés, mivel a fázistoló programban nem alkottam olyan részeket, amik azt eredményeznék, hogy „újra megjelenjen” a főirányítottságú nyaláb. Ezt akkor tapasztalhatjuk, ha körbe érünk, és újból elérnénk a maximális interferenciát a jelek összegéből adódóan. Ezért ezek bizonyosan melléknyalábok lesznek. Ennek bizonyítására készítettem el az iránykarakterisztikáját az eszköznek.

## 2.1 Irány karakterisztika felvétele

Az idő szűkössége miatt csupán a kicsi adókból összeállított rendszer karakterisztikáját vizsgáltam meg. Érdekes eredményekre számítanék a nagy adók vizsgálatánál is, ugyanis abban az összeállításban közel hullámhossz nagyságban helyezkednek el az adók egymástól, ezért jóval több erősítési és kioltási pontot tapasztalhatnánk abban a rendszerben.

Az ultrahangos adó gyártója az adatlapban közölte az egy adóra vonatkozó irány karakterisztikáját, ez látható a 2.4. ábrán.

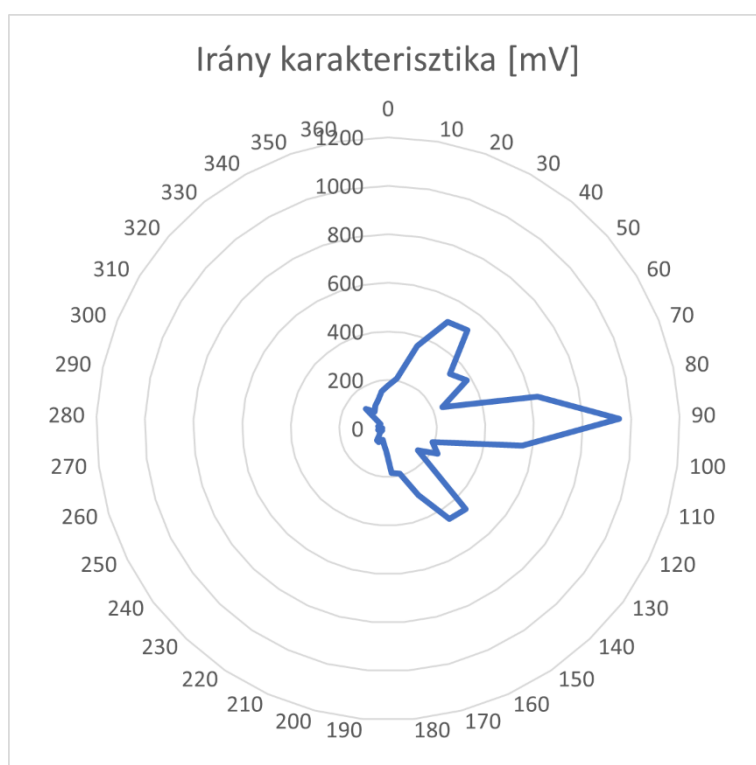
### E. DIRECTIVITY



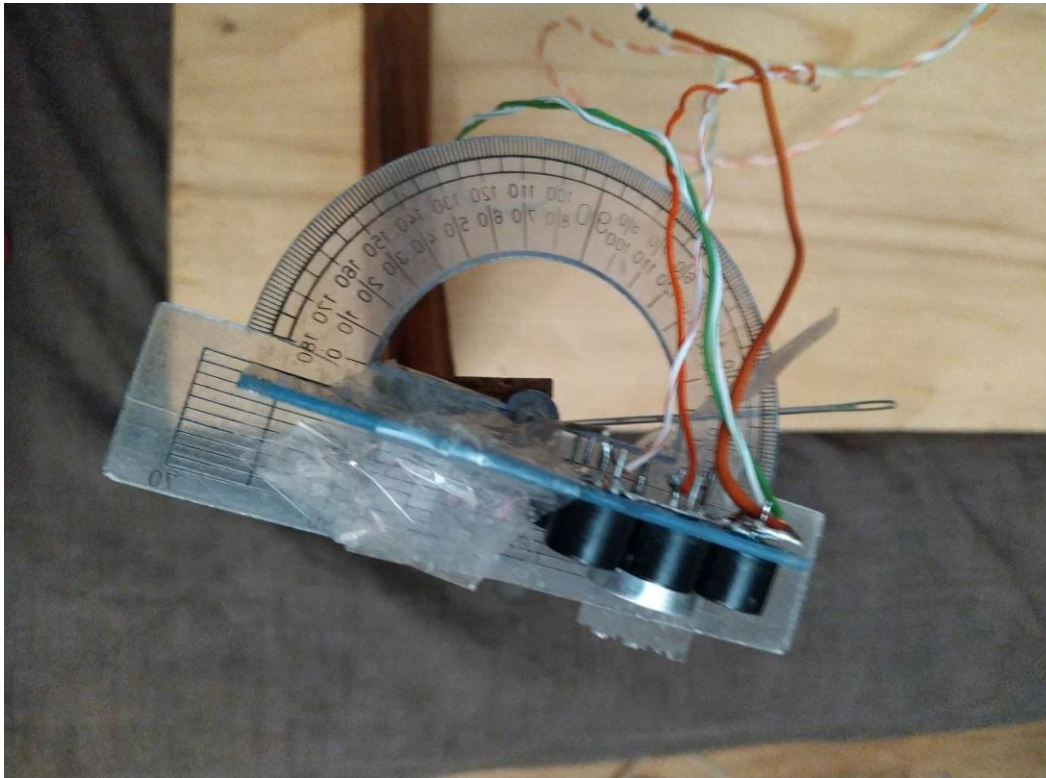
2.4. ábra CTD40K1007R adatlapjában szereplő irány karakterisztika.

Ehhez hasonló mérést szerettem volna elvégezni. Sajnos nem állt rendelkezésemre különleges hangszigetelésű szoba. Ezzel a módszerrel és a korábban bemutatott mérési összeállítással készítettem el a mérést. Azonos távolságra elhelyezkedő volt az adó és a vevő minden mérés alkalmával, így tudtam

biztosan az éppen valóságnak megfelelő értéket mérni (biztos lehettem abban, hogy nem egy reflektált hullámot mértem le). Érdekesség a korábbiakban nem említett szögmérőhöz rögzítettem az adómat. Ennek középpontján egy tűt át dugva tudtam elforgatni. Ez a mérési összeállítás nem tökéletes pontossággal bír azonban személtetésre alkalmas. A mérés során a korábban említett ok miatt nem tökéletesen előre, hanem az 56-os irányba bocsátottam ki hullámokat. Ez kis mértékben befolyásolja csak az irányítottságot, azonban nagyobb jelszintekkel voltam képes dolgozni, ezért pontosabb mérést tudtam kivitelezni. 10°-onként változtattam az adó orientációját, ezzel tudtam az ábrát megkapni. A 90°-nál a legnagyobb amplitúdó a fő irány, 140-150° között látható egy mellékirány, és 30°-40° között a párja. Elvégeztem az adó „hátljánál is” a méréseket, azonban nagy kiugró értékeket várható módon nem tapasztaltam.



2.5. ábra *Írány karakterisztika*

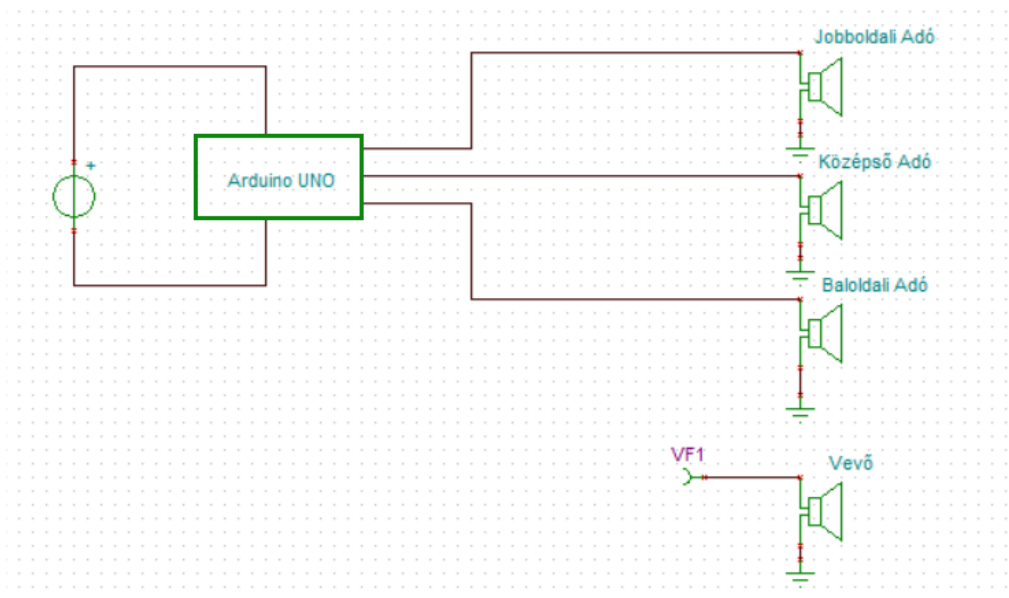


2.6. ábra Irány karakterisztika mérésére össze állított adó oldal

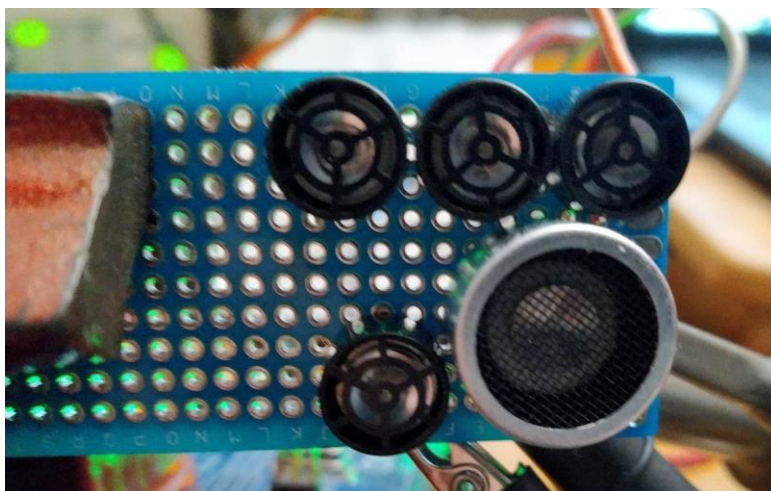
### 3. Visszavert ultrahang eredménye

Célom, a radar alkalmazáshoz hasonló eszköz létrehozása, az irányított ultrahanggal. Korábbi munkám során rávilágítottam az ultrahangos adók jelgenerátorral történő gerjesztése esetén, egy irányított nyalábot tudunk alkotni. Ezt megvalósítottam, mikrovezérlővel. Teszteltem, és arra az eredményre jutottam, hogy valóban képes az általam alkotott eszköz egy aktuális irányba, ultrahang tartományban hanghullámokat kisugározni. Azonban eddig csupán a kibocsájtott adóval foglalkoztam, nem, vagy csak nagyon kis figyelmet szentelve az érzékelésnek, a visszaérkező jel eredményére. Ezt a fejezetet főként ezeknek a méréseknek és eredmények ismertetésének szeretném szentelni. Milyen módon voltam képes javítani egy széles körben elterjed, és olcsó eszköz tulajdonságán, továbbá, hogy milyen nehézségek adódnak egy új eszköz kezdeti szakaszán.

#### 3.1 Eszközök és kapcsolásuk



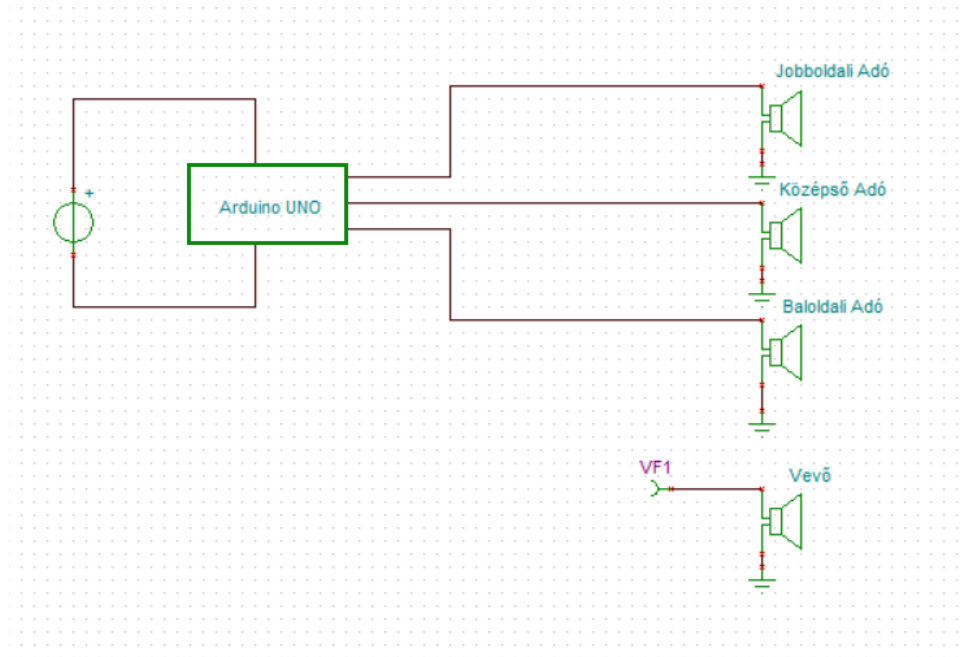
3.1. ábra Elméleti kapcsolási össze állítás



3.2. ábra Adók és vevő a valóságban

A későbbiekben is a kapcsolásban látható elvet követtem, azonban csupán az első mérések során használtam a fentebb látható kapcsolást. A 3.1 ábrán látható VF1, vevőre kapcsolt oszcilloszkópot mérőpontját jelöli. Azért volt fontos ez, mivel a vevőn nem csupán a maximum feszültség értékek fontosak, hanem hogy a kibocsájtás, és visszaérkezés közti időt is megkaphassuk. Az adó három azonos adó, amiket egy Arduino UNO vezérel, a fentebb látható programsorok alapján. Ez az összeállítás volt több mérésen is, ahol majd láthatóak a hibák is, amiket kiküszöböltem, vagy kiküszöbölésére dolgoztam ki módszert.

### 3.1.1 Adó oldal

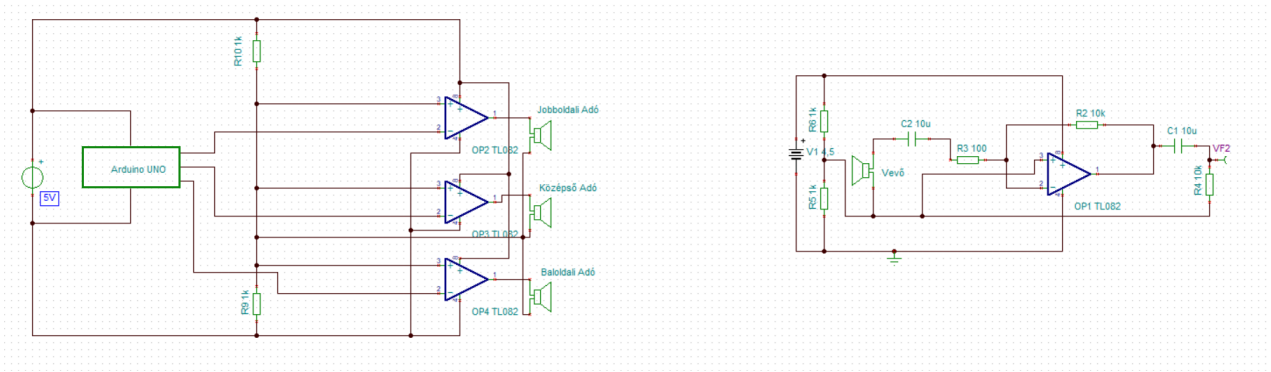


3.3. ábra Adók közvetlen vezérlése mikrovezérlővel

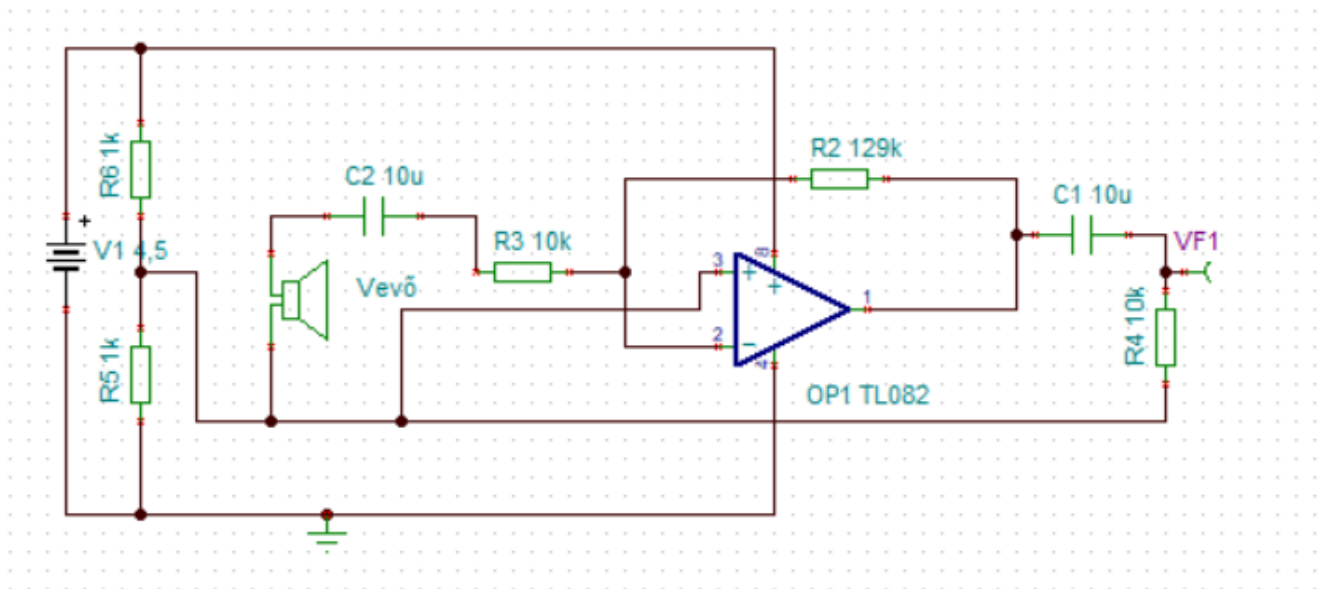
Az Arduino kimenő jele - a korábbiakban elmondott módon - közvetlenül az ultrahangos adókhoz csatlakozott. Így, a programsor alapján a fáziskülönbség függvényében közel  $180^\circ$ - fáziskülönbséget is beállíthatunk. A kezdeti lépések során elégségesnek tűnt ez a fizikai összeállítás, azonban egy mérés rávilágított, hogy nem megfelelő teljes mértékben. Abban az esetben, mikor teljesen előreadtunk ki hullámot, nagy mértékben lecsökken a kibocsátott amplitúdó. Ez úgy gondolom, azért következik be, mivel a kimenetek egyszerre nem képesek ekkora áramokat kiadni, ezért szükséges egy köztes fokozatot beiktatása.

Az irány karakterisztikánál mért eredményből látható a grafikonon (2.3 ábra), az 55-ös irány nagy mértékben eltér a várhatótól (előre irányított ultrahang lényegesen gyengébb, mint a várt). Ezért készítettem TL082-es műveleti erősítőkből a kimentek elé egy-egy nyílt hurkú erősítéssel rendelkező erősítőt. Ez sajnos csak részben oldotta meg a problémát, ugyanis ez a típusú erősítő kis teljesítményt képes csak kiadni (az alábbi alkalmazáshoz alacsony teljesítmény). A kimeneti maximális áram 10 mA ez rendkívül kevés, azonban hasznos eredménye, hogy minden irányítottságban azonos teljesítményt ad ki. A megoldás nem volt alkalmazva jelen formájában, azonban a későbbiekben mindenképpen szeretném kompenzálni a hibát. Esetlegesen egy komplementer Emitter követő végfokozat használatával.

### 3.1.2 Vevő oldal



3.4. ábra Komplex kapcsolás adó és vevő oldali erősítéssel



3.5. ábra Vevő oldali erősítő kapcsolás

A vevő oldal a 3.5 ábrán - ahogy feljebb is említettem - egy ultrahangos vevő közvetlen jelváltozását figyeltem oszcilloszkóppal. Azonban a mérések korai szakaszán, már különösen 1 m feletti távolságoknál a hasznos jel a zavar szintbe süllyedt, és nem volt értékelhető eredményem. Ezért konzulensem javaslatára egy elemtelepet alkalmazva (ugyan is a telep nem visz a rendszerünkbe zavarokat), erősítettem a hasznos jeleket. Az erősítést 13-szorosra választottam, mivel a vizsgált anyagok 10 cm távolságban még nem torzították a jelalakot, de közel a tápfeszültségig, erősítésre kerültek.

## 3.2 Általános mérés ultrahanggal



3.6. ábra Első reflexió mérése

Az első mérésem során a 3.6 ábrán látható képet tudtam készíteni. A nagy mennyiségű zavarból három, a számunkra a használt frekvenciájú jelet vehetünk ki a vevő kapcsain. Az első a legnagyobb (piros körben), hogy a többi érték is észlelhető legyen. Ez a jel teljes méretében nem is vehető ki az oszcilloszkóp képernyőjén. Ez a jel úgy tapasztaltam, hogy az ultrahangos adók által megrezgetett nyáklapban terjedő mechanikai hullám. Erről a későbbiekben részletesebben értekezem 3.2.1. fejezetben. A zölddel jelölt jel, a hang útjába helyezett tárgy volt. A citromsárgával jelölt pedig a tárgy mögött lévő falat jelenti. A kibocsájtás és az első biztosan 40 kHz-es visszaverődött (vagyis a zöld ellipszissel jelzett) jel között eltelt idő, és a hangsebesség szorzatából megkaptam a távolságot.

Hosszmérő eszközzel (mérőszalaggal) ellenőriztem a kiszámított értéket. Mind a tárgy, mind a fal távolsága megegyezett a számított értékkel, 2-vel való osztás után. A számított érték kétszerese volt a mértnek, mivel a hang 2-szer tette meg a távolságot, ezért szükséges az osztás. Ez a mérés több eredménnyel is szolgált számomra. Az első a kezdeti hiba kiküszöbölésének a fontosságát, ugyanis amíg a nyáklapból érkező rezgések jóval nagyobb értékűek, mint a reflektáltak, addig az a mérés

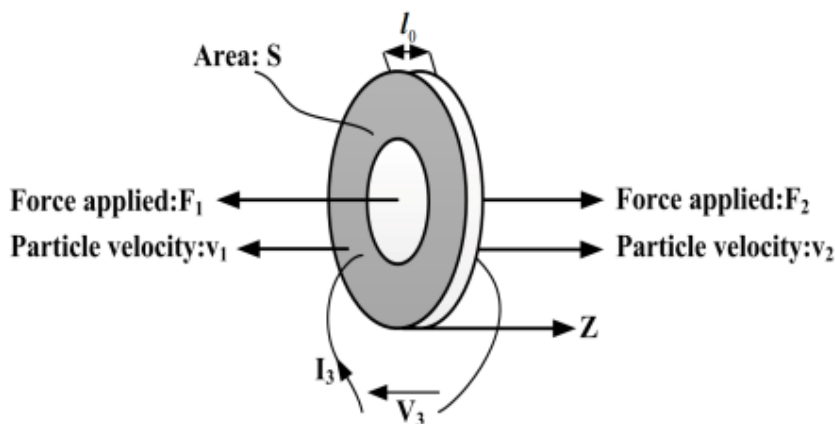
távolság nem használható. A második, hogy a csupán  $\sim 1$  m-re lévő fal (tulajdonsága, hogy jól reflektáló anyagról van szó) visszavert jele nagyon kismértékű, ezért a jelet erősíteni szükséges. A harmadik észrevétel egy másik mérésből adódott (csupán az irányítottságot változtattam).



3.7. ábra Másodlagos reflexió első detektálása

A mérés eredménye az irányítottságtól függ. Pontosabban nem a fő reflektált hullámok határozzák meg, hanem a másodlagos reflexiót elszenvedő hullámok mértéke, ebben a mérésben nagyobbak voltak (igaz korábban is alakultak ki másodlagos reflexiót szenvedő hullámok, de ebben a kitüntetett irányban jóval jelentősebben volt mérhető). Ez volt az első tapasztalatom az irányítottsággal, és az ultrahangos eszközömmel, ez az első méréssorozat határozta meg az elkövetkezendő munkám irányát.

### 3.2.1 Kezdeti állapot



3.8. ábra [i8] forrás 7. oldal kétirányú hangsugárzás

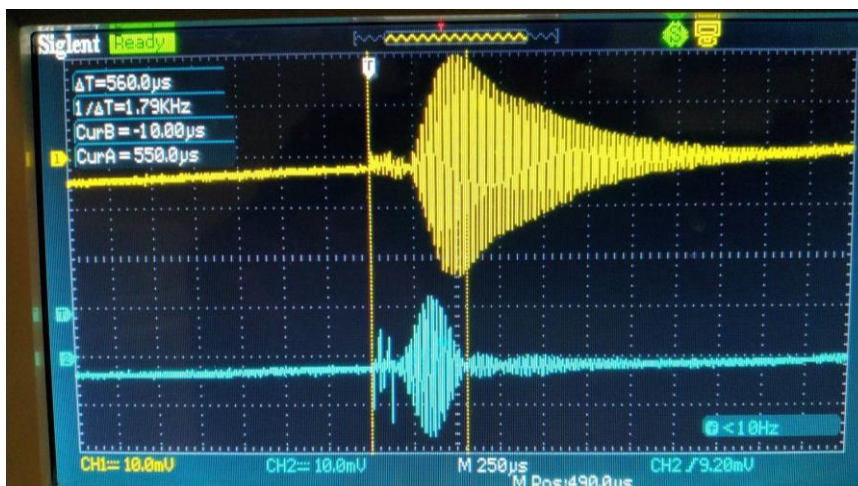
Mivel közvetlen fizikai kapcsolat van a forrás és a nyelő között, ezért még ha az akusztikai irányítottsága miatt a legnagyobb teljesítményt előre is adja ki az adó, véleményem szerint azonos teljesítményt kell ellentétes irányba is sugározni.

Ezt az összesen kiadott teljesítményt rendkívül nehéz mérni, mivel az ultrahangos adó kialakítása során már a gyártónak nem áll érdekében ez a fajta irányítottság. Ezért gyártótól függően különböző megoldásokat alkalmaznak ennek a negatív irányú erőnek az elnyelésére/irányítására. Néhány forrás valamiféle elnyelő anyaggal csillapítja a nem kívánt ultrahangot [18]. Ez a fajta elnyelés rendkívül jó eredményeket képes szolgáltatni, mivel a hangelnyelő anyagok is frekvenciafüggők. A piezoelektromos hangkeltő, mivel kitüntetett frekvenciákon képes csak adni, ezért rendkívül effektíven működhet. Ez jó megoldás, továbbá amennyiben a hullámhosszhoz illesztett az anyag mérete, még hatékonyabb csillapítást tudunk elérni vele.



3.9. ábra Az általam használt eszköz belsőjéről készített fotó. Egy CTD40K1007R.

A membrán alatt látható egy másik fém lap, funkciójáról közvetlen írást nem találtam, de úgy gondolom, hogy ez a hanghullámokkal hivatott reflektálni. Az első mérési eredményből is látható (3.10 ábra), hogy mégsem képes minden körülmény között ezt megtenni. Másik ultrahangos vevőt is alkalmazva készítettem a következő mérést.



3.10. ábra Különböző vevőkön mért kezdeti állapot

A kék sávon az eddig vizsgált eszközt láthatjuk, a sárgán pedig egy másik, nagyobb fizikai méretekkel rendelkező eszközt, de nagyon hosszan lecsengő jel tartozik kezdeti értékben, ami nem előnyös tulajdonság. A probléma bizonyítására készítettem egy kísérletet, majd a későbbiekben az általam megvalósított megoldásáról is írok.

### **3.2.1.1 A nyáklapban terjedő hullámok bizonyítása**

Egy ultrahangos vevőt nem az adóval azonos oldalra a nyáklapon, hanem vele ellentétes irányban forrasztottam fel. Ugyanis amennyiben valóban a nyáklapban terjedő hullámok okozzák a hibát, úgy nem lényeges az irányítottsága a vevőnek, mivel azonos átmeneteken kell az energiának tovább haladnia, hogy detektálható legyen a vevőn. A kísérlet összeállítása látható a 3.11. ábrán.

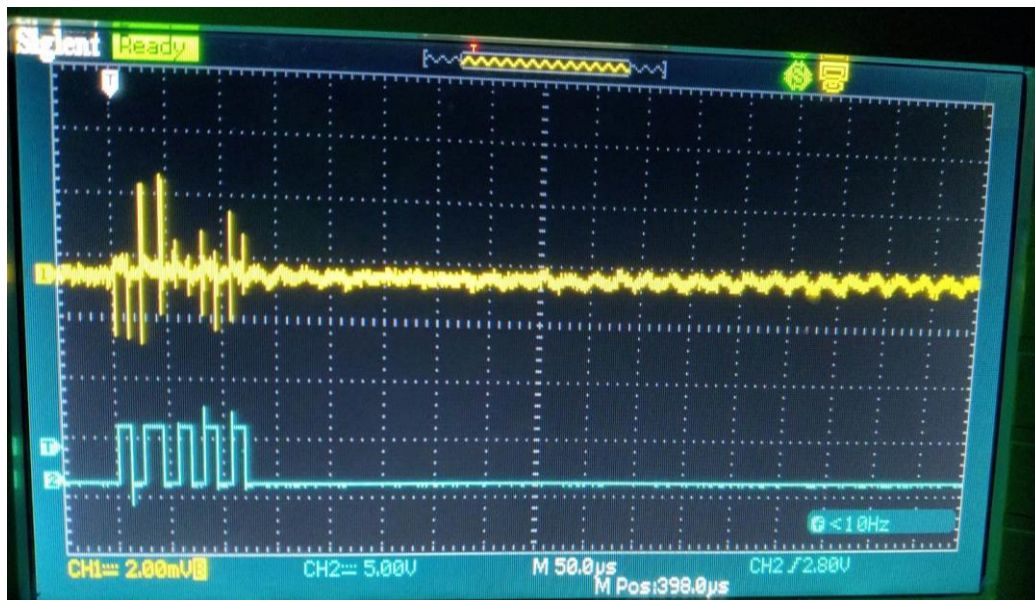


3.11. ábra Rezgés vizsgálatának kísérleti összeállítása



3.12. ábra Rezgés vizsgálatának kísérleti összeállításának eredménye

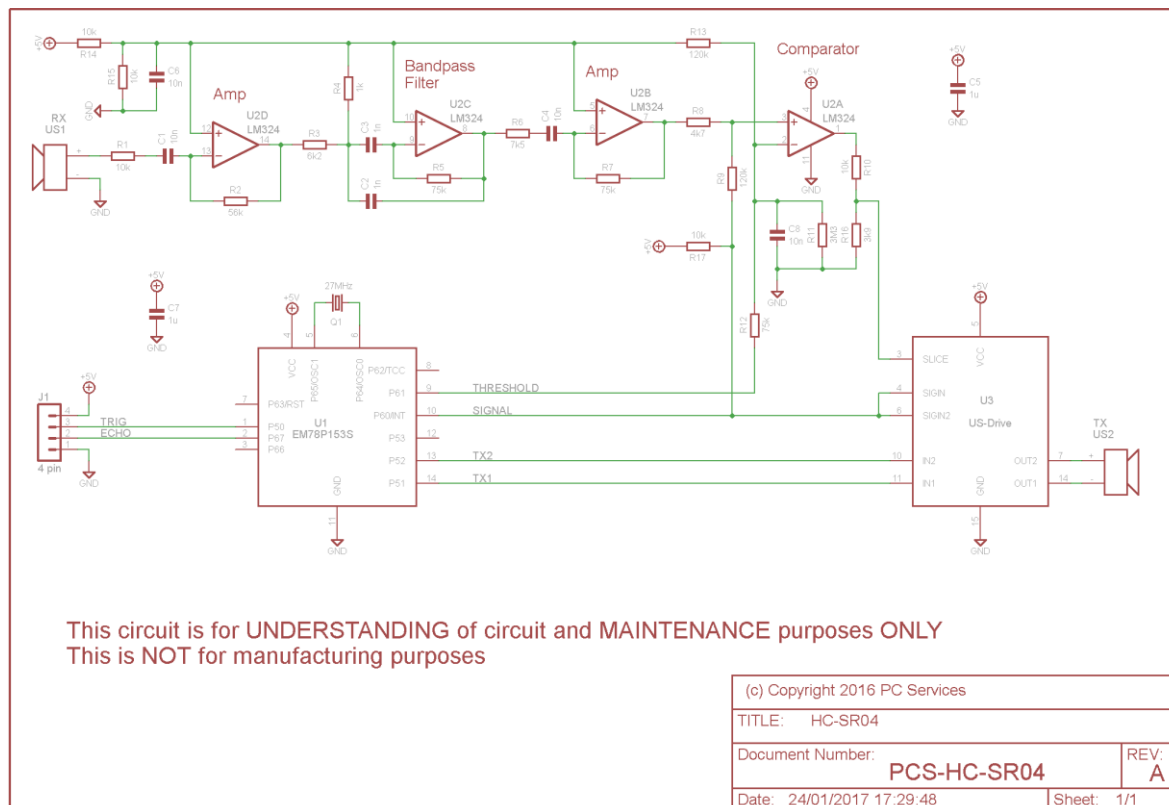
Látható a nyáklap alsó oldalán egy kicsi és egy nagy adó. A felső oldalán pedig egy vevőt használtam. Az eredmény a 3.12 ábrán látható, lényegesen kisebb rezgést mértem, mint korábban. Ezért módosítottam az elrendezést úgy, hogy ha a nyáklapban terjedő hullámok okozzák a zavart, akkor azt az új elrendezésben is képesnek kéne lennem mérni.



3.13. ábra A rezgés vizsgálatának kísérleti összeállításán változtattam az orientáción. A mérési eredmény változott az orientációval

A sejtésem bebizonyosodott, aminek eredménye látható a 3.13 ábrán, a levegőben terjedő hullámot mértem a módosított kísérletben. Az elforgatással tudtam csökkenteni az Amplitúdót. Továbbá megfigyeltem egy jelenséget, ami nagy valószínűséggel ténylegesen a nyáklapban terjedő hullám volt. A kiadott impulzusokkal egyidejűleg a sárga színű egyes csatornán látható tüskék után (ezeket a tüskék a gerjesztéstől keletkező elektromágneses zavarok) közvetlenül. Látni vélek 3 kis méretű 40kHz-es hullámot. Ezzel bizonyítva a nyáklapban terjedő hullámok létezését. Azonban az első mérés során mért óriási jelet nem ennek tulajdonítom, hanem az oldalra történő sugárzásnak.

### 3.2.2 HC-SR40 vizsgálata



3.14. ábra [i17] HC-SR04 kapcsolási rajza

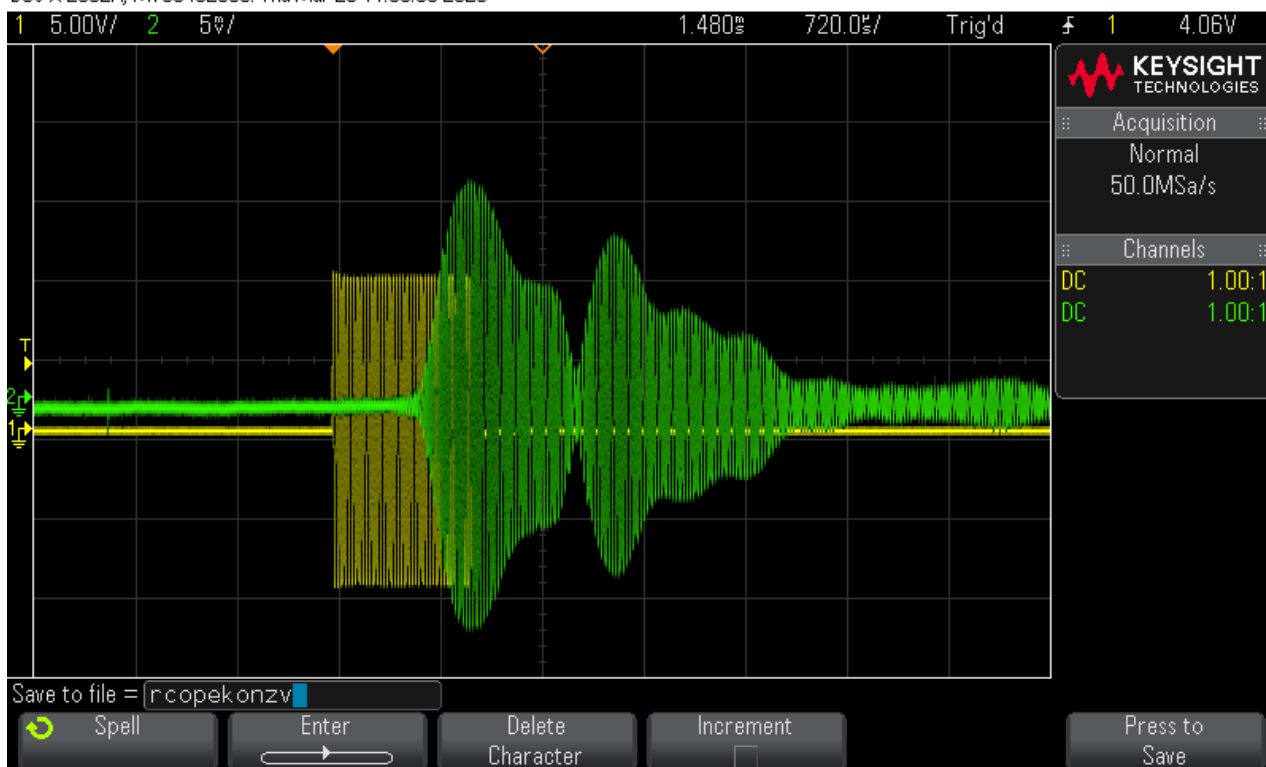
Ezt az ultrahangos eszközt már korábbi tanulmányaim során többször alkalmaztam, de a belső kapcsolását pontos működését nem ismertem. Az interneten talált forrás [i17] több hasznos információt is közöl az oldalon. Igaz nem a gyártó által készített oldalon találtam, hanem főként tapasztalati eredményeket közöl felhasználótól. Megtalálható az oldalon a kapcsolási rajza is az eszköznek, így kissé részletesebben bepillantathatunk, egy már elterjedt széles körűen használható olcsó eszköz áramköri megoldásaiba. A kapcsolásból látható, hogy mikrovezérlőbe érkezik be a jel, (ennek pontos programját csak a gyártó ismeri), majd egy másik integrált áramköri elem vezérli az ultrahangos adót. A visszaérkező jelet először erősítik 5,6-szorosára, majd egy aktív szűrő található az áramkörben. Ezt a szűrő áramkört, egy 10-szeres erősítés követi. Ezután, egy komparátor vizsgálja meg a jelet. Amennyiben egy meghatározott szint fölé emelkedik a feszültség, átbillen, jelezve U3 jelű áramköri elemnek, ami jelt ad U1-nek és visszaszolgáltató egy magas szintű impulzust a szenzor. Ez egy rendkívül egyszerű működés, azonban a korábbiakban említett kezdeti időben kiadott jelekről nem találtunk áramköri megoldást. A forrás írója is tesz említést erről az idővesztésről. Ezen eszköz gyártói állítólag „eldobják” ezt a mérési időt szoftveresen (amit nem ismerünk), nem tekintik tényleges eredménynek. Ennek az áramköri megnyilvánulását a komparátor referencia szintjén láthatjuk, ugyanis

azt egy TRESHOLD, vezetékkal változtatja U1-es IC. Bemutattam ezt a megoldást, azonban nem túl elegáns, egy akár hasznos mérési eredményt is eldobni, a nyáklap rezgése, vagy az oldal sugárzás miatt, ezért más megoldást szerettem volna saját módszeremnél használni.

### 3.2.3 Egyszerű megoldás

Az általam végső soron használt megoldás, egy triviális megoldás volt, ami nem más, mint külön elhelyezni egy másik eszközön az adót és a vevőt. Elszeparálva nem képes több anyagból kilépni, majd újra belépni akkora energiát hordozva, hogy az a mérést nagymértékben befolyásolja. Így készült a lentebb 3.15 ábrán látható mérés.

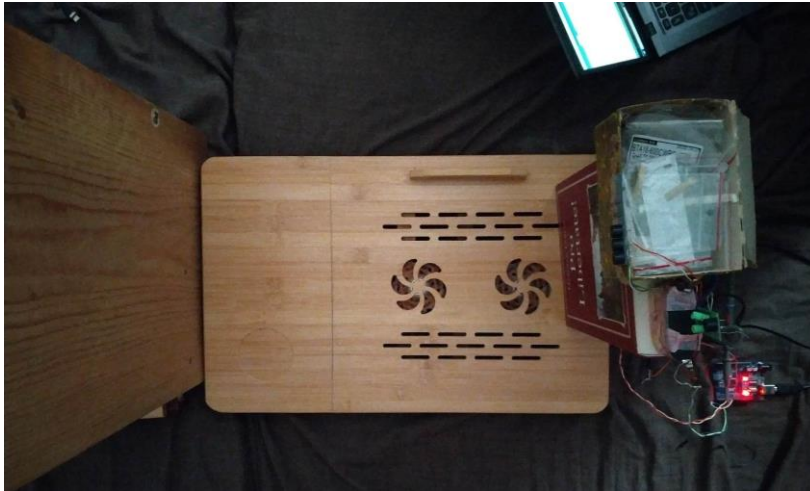
DSO-X 2002A, MY55462508: Thu Mar 23 11:58:06 2023



3.15. ábra Fém doboz vizsgálata kezdeti rezgés nélkül

Közvetlenül előre történő irányítás mellett (ebben az összeállításban 40 db periódusú szinuszos jellel) nagy közelségre történő mérésnél egy fémházt láthatunk a jel útjába (amiben található még egy doboz). Igaz, kép nem készült róla, azonban amikor nem helyeztünk a hang útjába tárgyat, nem tapasztaltunk semmiféle jelformát a vevőn. Ez alatt a mérés alatt döbbszünk rá, hogy a kezdeti hiba nem befolyásolta a megítélő képességünket, óriási veszteségeket szenved el a hanghullám a levegőben. Ugyanis úgy tapasztaltam, hogy már egy méteres távolságnál is a zajszintbe süllyed a reflektált jel szintje. Ezért egy konstans erősítést iktatva a rendszerbe, (a vevőt bemutató fejezetben bemutatott erősítő 3.1.2 fejezetben) már 4m-es távolságban is képes voltam detektálni a reflektáló testet.

### 3.2.4 Távolság mérése



3.16. ábra Mérési össze állítás

A legegyszerűbb távolság mérési módot már bemutattam. Az oszcilloszkóp egyik csatornáján a kiadott jelet triggereli az oszcilloszkópot, normál üzemmódban megfelelő időt kijelezve. Az oszcilloszkóp másik csatornáján vizsgálva a vevő jelét (pontosabban az erősített visszaérkezett jelet) megkaphatjuk az időt, ami alatt megtette a hang az utat. Ezt a mérési metódust használtam és megfigyeltem, hogy nem csupán a reflektáló testet közelítve vagy távolítva a szenzortól az eltelt idő változik, hanem a jel nagysága amplitúdója is.



8.17. ábra Viszonylagos közel elhelyezkedő tárgyról reflektáló hullámok



8.18. ábra Azonos tárgy, és orientációjú tárgy távolban elhelyezve

A fentebb látható eredmény miatt döntöttem úgy, hogy a következő mérést elvégzem és megvizsgálom a rendszerem csillapítását.

### 3.2.5 Veszteség mérése

Irodalom kutatásaim alapján tisztában voltam azzal, hogy a különböző anyagokban terjedő hullámok veszteséget fognak elszenvedni a közegben történő haladástól. Amit az alábbi általános képlet írhat le röviden:

$$I = \frac{I_0}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (4)$$

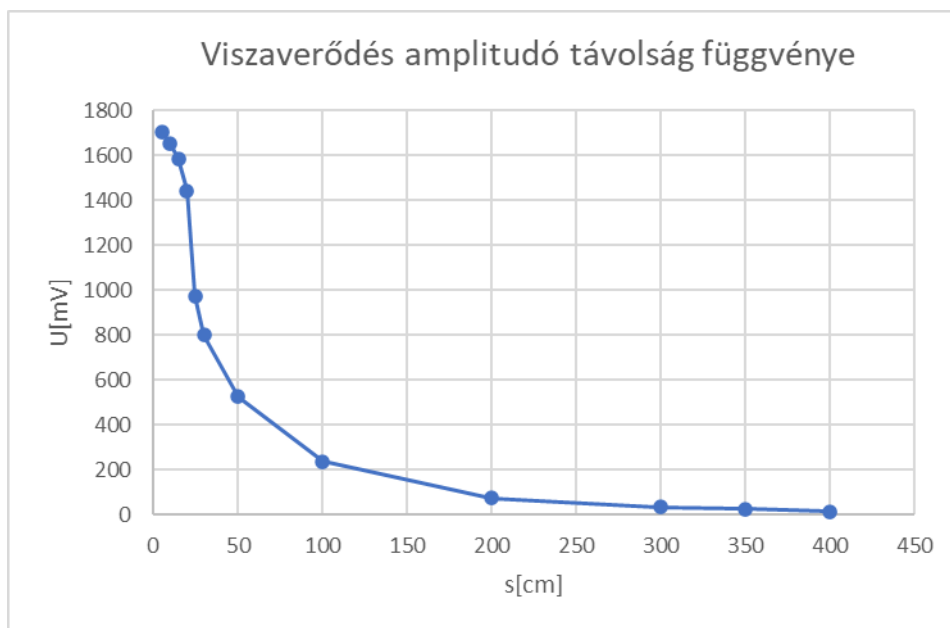
Az egyenlet bal oldalán szerepel a csillapítást elszenvedett amplitúdó. A jobb oldalon a kezdeti Amplitúdó van jelölve  $I_0$ -val,  $r$  a forrástól való távolság (sugár irányban), továbbá konstansok láthatók még az egyenletben. Ez a képlet azt mutatja be, hogy a hang teljesítménye inverz négyzetesen csökken a terjedési távolság növekedésével. Ez azt jelenti, hogy minél messzebb vagyunk a hangforrástól,

annál kisebb lesz a hang teljesítménye, és hangosabb hangforrásokra van szükségünk ahhoz, hogy ugyanakkora hangintenzitást érzünk el.



*3.17. ábra A csillapítás mérésének a megvalósítása*

A mérés során előre irányított hullámokat bocsátottam ki, amit soros kommunikációval adtam meg a mikrovezérlőnek. Ez a kimenetein 40kHz-es négyszög jelet kiadva, (legkisebb fáziseltolás mellett) 3 ultrahangos adót vezérelt. Az érzékelt tárgy síkját igyekeztem merőlegesen elhelyezni az adóval, így biztosítva a mérésben lényeges paraméter vizsgálatát. Ezt követően a tárgyat egy mérőszalag mentén mozgatva, a visszavert jeleket erősítettem 13 szorosára. Majd oszcilloszkópon vizsgáltam a jel amplitúdóját és a visszaérkezés idejét. Utóbbi mérés nem volt lényeges, fő oka csupán a validációja volt a mérési eredményeimnek. Az első mérés a korábban említett fő csillapítás igazolása volt. A mérési eredményeimet grafikon formában mutatom be.



3.18. ábra Csillapítás mérése

Láthatjuk az eredményből, hogy  $1/x$  szerint egy csillapodó függvényt kaptunk. Ez az eredmény azt az információt hordozza, hogy miként csökken a mérés amplitúdója a távolsággal.

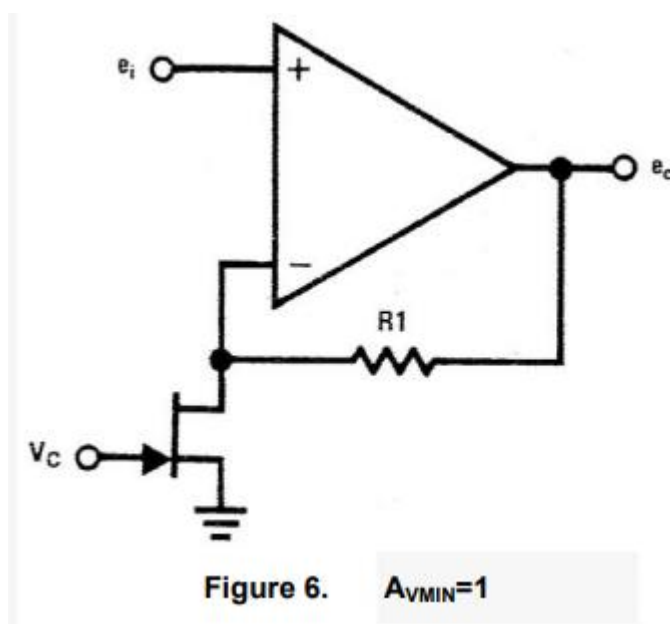
### 3.2.6 Veszteségek kompenzálása

Az előző fejezetben olvashattunk a rendszeremben elszenvedett csillapításról. Amennyiben a korai szakaszt csillapítatlannak tekintjük, 15-20cm és a felett pedig kompenzációt hajtánánk végre. Abban az esetben a jel várhatóan sokkal nagyobb távolságokról is detektálható lesz. Ezzel a megvalósítással igaz elveszítjük azt az információt, miszerint az amplitúdóból is meg lehet állapítani a távolságot. Ezt el kell fogadnunk ebben a megoldásban, de az idő különbségből adódó távolság számítási lehetőség továbbra is fent marad majd, sőt a távolság, amiben érzékelni tudunk növekedni fog várhatóan.

### 3.2.7 Áramköri megoldás

Ezt a kompenzálást kezdetben saját ötletek alapján szeretnénk volna megoldani (exponenciális erősítő, közös emitteres erősítő egyik elemének kicserélése). Az interneten való kutatás viszont újból meghozta az eredményt. [116] Ebben a dokumentumban egy rendkívül egyszerű megoldást találtam a fent

álló problémára miszerint, hogy lehet alakhűen erősíteni egy 40kHz-es sin jelet, mialatt az erősítését változtatjuk. A következő áramkörü megoldást találjuk a [i16] forrás 2. oldalán.

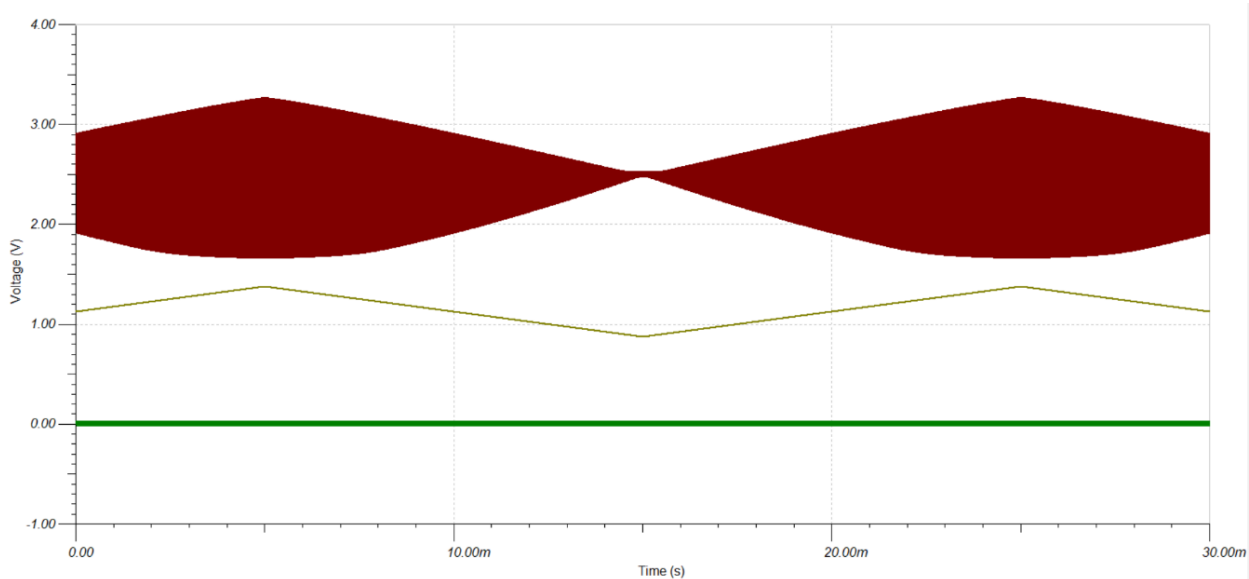


### 3.19. ábra A [i16] forrásból származó változtatható erősítésű erősítő elvi kapcsolása

Egy nem invertáló erősítő átalakított kapcsolása szerepel a 2. oldal 6. ábráján. Ez a kapcsolat nem invertáló bemenetére kapcsolva az erősítendő jelet, a műveleti erősítő kimenetén az  $e_o$  ponton a  $V_c$  feszültség szintet változtatva, más mértékű erősítést eredményez. Ugyanis a föld potenciálon lévő ellenállást egy JFET-re cserélve, akár egy mikrovezérlő is képes vezérelni. Ezt a megoldást szerettem volna alkalmazni változtatható erősítésű erősítő megalkotásához.

A mikrovezérlő, hogy képes legyen vezérelni egy analóg bemenettel rendelkező eszközt úgy, hogy 2 állapotnál több legyen a beállítási lehetőség, D/A átalakítás szükséges. A megvalósításnál ennek az egyik módja egy műveleti erősítőt felhasználni összeadó kapcsolásként. Az összegző kapcsolat bemenő ellenállásnál lévő ellenállását pedig megfelelően súlyozni szükséges. Elkészítettem erre a 4-bites A/D átalakítót. Ezzel mégis több probléma adódott. Rendkívül kevés jelszintet tudtam felhasználni, továbbá a mikrovezérlő 4 kimenetet kellett volna használni. Erre lett volna lehetőség, azonban ez a programozás idejét meghosszabbítja. Ezekkel a nehézségekkel szembesülve, ötlött eszembe a PWM funkció a mikrovezérlőn. Ez a funkció, pulzus szélesség modulációt jelent. A pulzus szélességeinek átlaga egy feszültség szintet fog eredményezni, ez az átlag feszültség széles körűen változtatható. Ezt az impulzus szélesség változtatott jelet, közvetlen képes szolgáltatni a mikrovezérlő. A PWM jelet viszont szükséges simítani. Erre egy ellenállást és egy kondenzátort használok, amit alul

kapcsolást TINA TI rendszerben állítottam össze, a valóságnak teljes mértékben megegyező eszközökkel. Egy szimulációt is futtatva ellenőriztem az elmélet helyességét. A valóságtól eltérően a PWM helyett háromszög jelet adva a Gate lábra a JFET-nek. A következő eredményt kaptam: igaz itt még nem tökéletesen szimmetrikus, azonban egy erősített jelet kaphatunk a gate feszültség függvényében, mely detektálásra megfelelő.

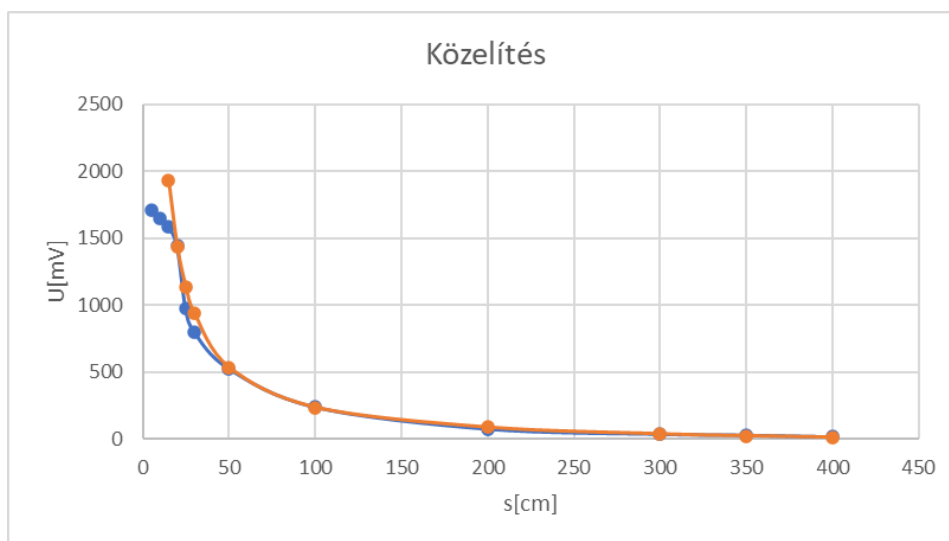


37

### 3.2.8 Veszteségi tényező meghatározása

Korábbiakban már tettem említést az irodalomban fellelhető levegő veszteségéről. Az általam felépített rendszer viszont ennél összetettebb modellt igényelne. A modellalkotás helyett, mivel rendelkezésemre állt minden eszköz, mérés által jutottam az ismeretlen függvény pontjaihoz és közelítettem egy függvénnyel. Ezt a közelítést nem manuálisan végeztem. A legáltalánosabb közelítéseket megadott pontok alapján elvégzi az alábbi [i15] forrás az oldalon. Megadtam a szükséges adatokat, majd megvizsgálva a kapott eredményeket, amik megítélésem szerint a legkisebb hibával (mivel több függvény is azonos hibával rendelkezett) rendelkezett, kiválasztva tovább pontosítottam.

$$y = \left(\frac{3000}{x}\right) - 65 \quad (5)$$



3.22. ábra Közelített függvény

A függvény már rendelkezésre állt. Ezt követően, meg kellett alkotni egy analóg jelet, hogy az vezérelje a JFET-et.

### 3.2.9 Egyenlet szoftverbe való integrálása

```
int a,i;
for(i=12; i<412; i++){
    a=0;
    a=((30000/i)-65)/10;
    analogWrite(10,a);
    delayMicroseconds (100);
}
a=0;
analogWrite(10,a);
```

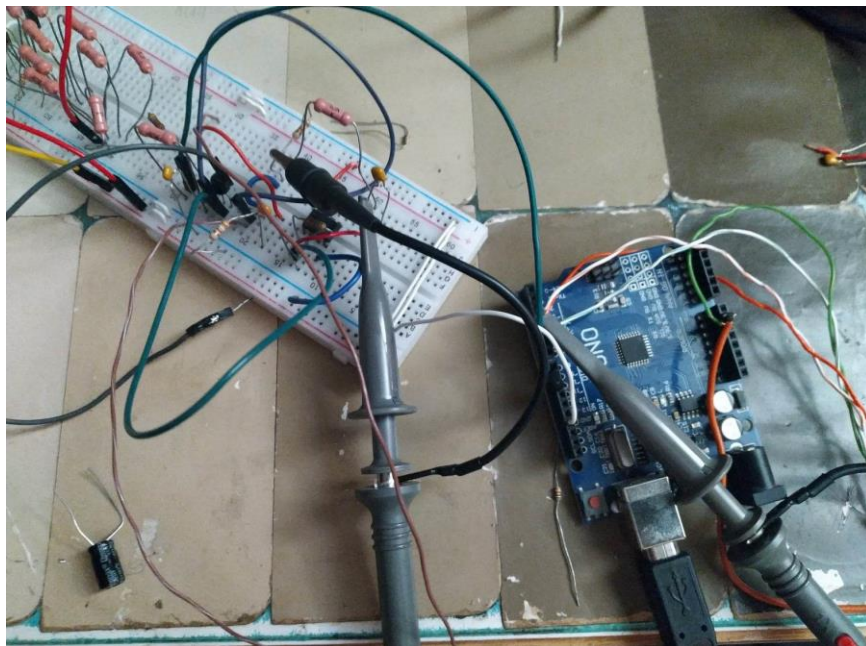
3.23. ábra PWM program részlet

A 3.25 ábrán látható pár sor felel a korábban is használt Arduino UNO loop függvényén belül, a PWM előállításáért. C++ nyelven íródott program, amennyiben a kimenetként állítottuk be, korábban a használni kívánt 10-es lábat. A for ciklus első tagjában deklarált értéktől a második tag értékéig minden egyes ciklus alatt eggyel növelve önmaga értékét, belép a ciklusba, ott műveletet hajt végre, és a következő ciklusban ismét növeli önmaga értékét. Ezt követően a ciklus magjában az „a” változót 0-val tesszük egyenlővé - ugyanis ezt a változót korábban is használtuk már - , majd a korábban megalkotott közelített függvény. Egy osztás látható a függvényen módosításként, hogy a 0-255-ig tartó tartományon belül maradjon az a változó értéke. Majd az analogWrite parancs PWM jelet szolgáltat a 10-es lábán a kitöltési tényező mérettel. Ezt követően egy várakozás látható. Erre azért van szükség, mert a mikrovezérlő számlálója (amennyiben nem várakozunk) nem képes egy for ciklus alatt egy számlálást végrehajtani, ezért ezzel a várakozás ideje alatt ad ki PWM jelet a kimenet. Majd a cikluson kívül „leállítjuk” a PWM jelet, ugyanis ez külső perifériákból adódó művelet, ami a program futása közben akár más műveletek elvégzése közben is szolgáltat jelet. Ez számunkra nem szükséges, és nem várt eredményekkel járna. Ez a megoldás csupán 490Hz-es impulzusokra van értelmezve alapértelmezetten, ezért magasabbra állítottam 7,8kHz-re, ennek megoldása látható a 8.26 ábrán. Ezen a frekvencián lényegesen hatékonyabb dolgozni.

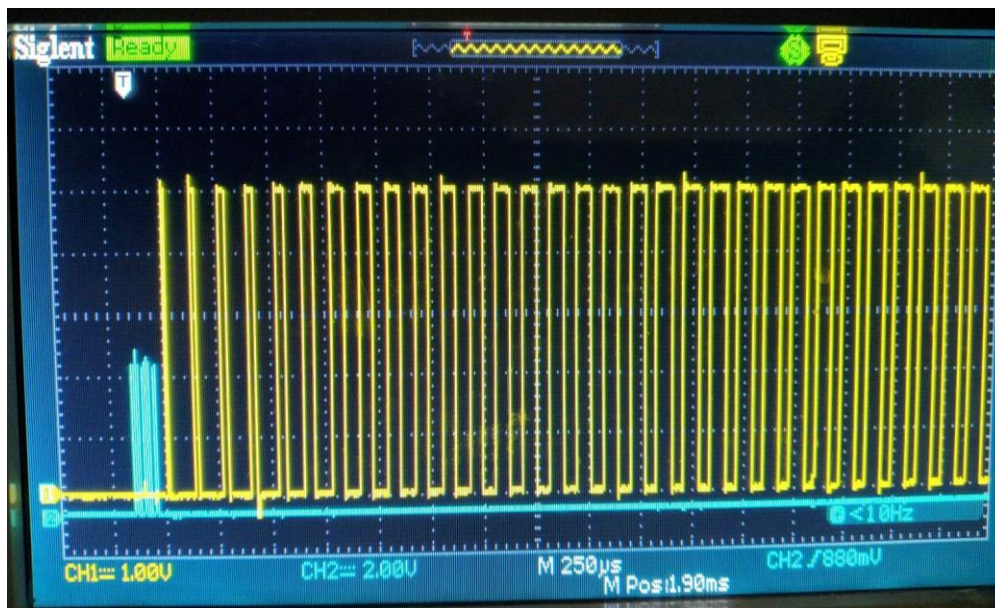
```
TCCR1A = 0b00000001; // 8bit  
TCCR1B = 0b00001010;
```

3.24. ábra PWM program részlet

### 3.2.10 Összeállítása a kompenzáló erősítőnek



3.25. ábra Tűző panelen megvalósított kapcsolat



3.26. ábra Függvény által vezérelt kitöltési tényezőjű PWM jel

A szimuláció alapján összeállítottam a kapcsolást. A PWM jelet vizsgálva az elvárt működést produkálta. a kitöltési tényező az idő teltével arányosan növekedett (korábbiakban csupán a csillapításról értekeztünk, az erősítésnek értéke a függvény egy konstans értékből való kivonása után kaphatjuk meg).



8.29. ábra A függvény fizikai megvalósítása PWM jellel

A jelekből jól látható, hogy hasonló eredményt értem el, mint a konstansból kivont függvény esetén. A JFET-nek szükséges U<sub>GS</sub> feszültség szint, mivel a mikrovezérlő 1V és 0V érték közé állítottam. Az U<sub>S</sub> a mikrovezérlő szintjéhez képest 2,5V-on helyezkedett el, az U<sub>GS</sub> szintet -1,5 és -2,5 közé

állítottam be, mégsem kaptam a várt működést. Sok viszony között változtattam az összeállítást (Source feszültség szintjét mozgatva 0V és 5V között, míg a Gate feszültséget 2,5V-ra állítottam), de nem sikerült a kapcsolást olyan működésre bírni, ami számomra megfelelő lett volna.

### **3.2.11 Eredmények felhasználása**

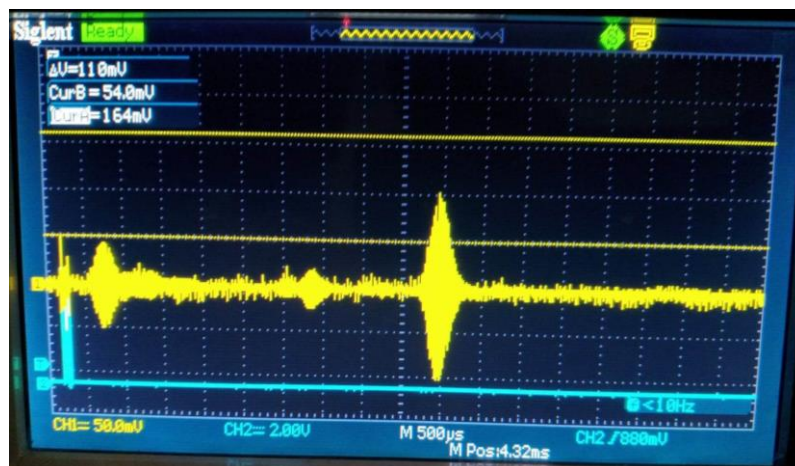
Igaz nem sikerült az erősítést növelni a mikrovezérlő vezérlés kitöltési tényezőjével, ami a mérési eredményeimből készült csillapítást veszi alapul. Ezek az eredmények mégis úgy gondolom, a későbbiekben felhasználhatók. Amennyiben alacsony, de mérhető feszültséget tudunk detektálni a feldolgozás során, a csillapítást utólag tudjuk kompenzálni. Ennek fontosságát a következő fejezetben részletezem.

## **4. Anyagmeghatározás ultrahanggal**

Abban az esetben, ha egy teljes érzékelést szeretnénk meghatározni, és nem csupán azt, hogy egy bizonyos területen van-e tárgy vagy nem, érdekes lehet számunkra az anyaga a tárgynak. Úgy gondoltam, hogy az ultrahang erre is választ nyújthat. Az orvoslásban már évtizedek óta használják ezt a bizonyos anyagmeghatározást. Úgy gondoltam, az én eszközöm is képes lehet a levegőben terjedő ultrahanggal hasonló eredményt elérni. A következő kísérleteket tettem ennek kiderítésére.

### **4.1 Kísérlet anyag meghatározására**

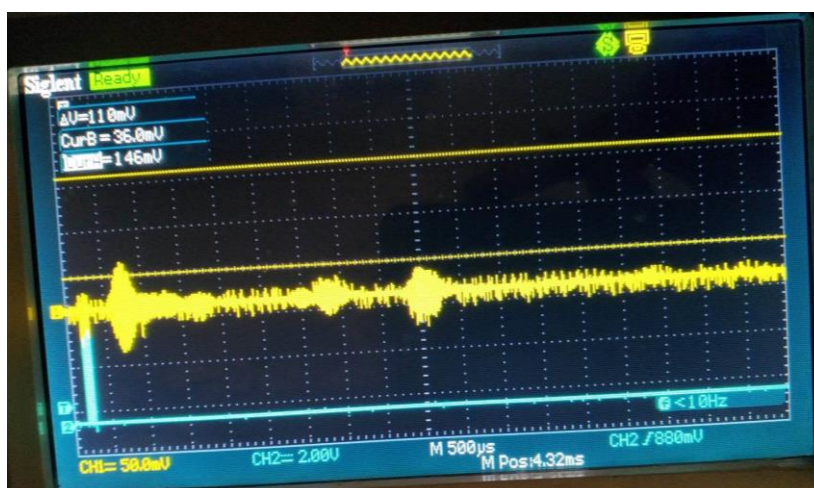
75 cm távolságra az ultrahangos eszköztől elhelyeztem egy könyvet a 4.1 ábrán látható az eredménye, és végeztem reflexiós mérést. Ezután ugyanarra a helyre helyeztem egy falapot a 4.2 ábrán látható az eredménye, és végeztem új mérést. Ezt követően egy párnát tettem erre a helyre a 4.3 ábrán látható az eredménye.



4.1. ábra Keménykötetes könyv reflexiója



4.2. ábra 23mm-es fa lap reflexiója



4.3. ábra Párna reflexiója

Az eredményekből jól látható, hogy minden anyagnak más reflektáló képessége van. A korábbiakban leírt levegő csillapítását figyelembe véve, akár más távolságokban is képesek lehetünk az anyagok meghatározására. A mérés során a szemléltetés és a csillapítás viszonylagos

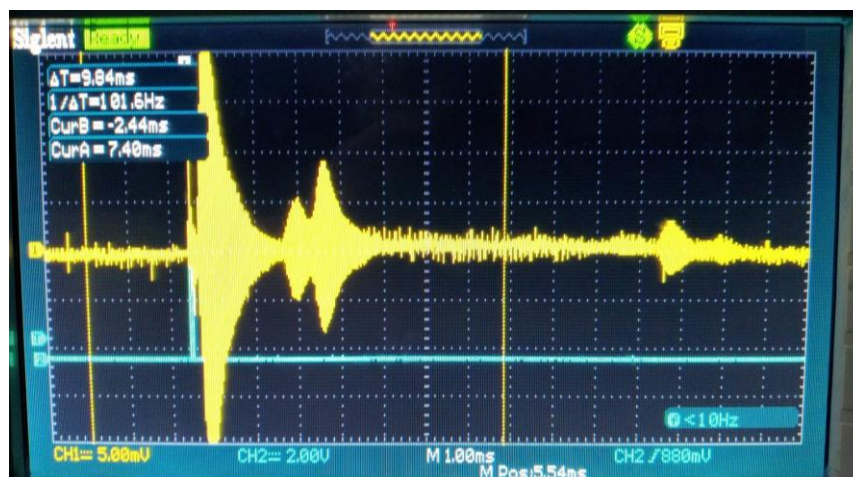
kiküszöbölés érdekében helyeztem egy távolságra a mérendő tárgyakat. A későbbiekben több anyag visszaverő képességét is szeretném megvizsgálni, hogy ezzel az elkészülő szenzort a lehető legtöbb anyag felismerésére alkalmassá tegyem.

## 4.2 Másodlagos reflexió



4.4. ábra Könyv fizikai mérete

A már korábban is megfigyelt jelenséget mértem le ezzel a méréssel. Megfelelő irányban kiadott hullámok esetén két hullámfront figyelhető meg. Nem minden irányban jelenik meg a másodlagos hullám, vagy amennyiben igen, abban az esetben lesz egy irány, amiben a legerőteljesebb hullámfrontot mérhetünk. Ennek okára igyekeztem rájönni. A következő eredményre jutottam, a fényhullámokról tanultak szerint. Amikor a fény (vagy más hullám) új közeg, vagy test határához ér, egy része visszaverődik a felületről, másik része behatol az új közegbe. Ez a törvényszerűség ebben az esetben sincs másként. Amennyiben a beesési szög a legkisebb, abban az esetben a legnagyobb reflexió lép fel. Ez azt eredményezi, hogy a másodlagos reflexió abban az esetben lesz a legnagyobb. Az elsődleges reflexió miatt bekövetkező törés eltéríti általában az eredeti irányától a hullámot. Ezért vannak esetek, mikor keletkezik másodlagos reflexió (amit detektálni is tudunk), azonban lesz mindig egy legnagyobb másodlagos reflexió is.



4.5. ábra Könyv vastagságának érzékelése

Akkor kapjuk a legnagyobb visszaérkezett teljesítményt, ha a beesési szög a legkisebb. Már a korábbiakban bemutattam egy anyagmeghatározási módot. Amennyiben ismerjük az anyagot, abban az esetben a vastagságát is képesek vagyunk kiszámolni, mivel a legtöbb anyagban a hang terjedési sebessége ismert. Követve az analógiát, a távolság méréshez azonos képlettel, a levegőben terjedő hangsebességtől eltérő sebességgel számolva (jelen esetben a papír sebességével számolva), a fent látható kísérletben is elvégeztem az anyag vastagságának a meghatározását. Az idő leolvasható a 4.5 ábráról.

$$v_{\text{papír}} = 345 \text{ m/s}$$

$$t = 0,3 \text{ ms}$$

$$s = v \cdot t = 5,115 \text{ cm} \tag{6}$$

A számított eredmény jó közelítéssel egyezik a mért értékkel, ami 4,5cm-volt látható az értéke a 9.4 ábrán. A hiba nagy valószínűséggel a papír anyagából adódik, ugyanis átlagos papírra vonatkozó terjedési sebességet találtam csak, számításomhoz.

## 5. Összefoglalás

Elkészítettem a fázistoláson alapuló irányítást, assembly nyelven írt programmal. Elkészítettem, és megmértem az összetett adók eredő irány karakterisztikáját, így mérhetővé vált a mellék nyalábok nagysága. Megvizsgáltam a visszaérkező jelet és javítottam a mérési metódust. A kezdeti időben történő zavarokat igyekeztem kiküszöbölni, javítottam. Reflektált jelek közül képes vagyok megállapítani a pontos irányt, ellentétben az általános ultrahangos távolságmérőkkel szemben. Megteremtettem a jövőbeni lépéseim számára az alapot, ami által nem csupán pontos irányt tudok meghatározni, hanem kellő információgyűjtéssel anyagok szerinti megkülönböztetést is lehetőséget teremtek.

A mérésekből jól látható, hogy az ultrahangos síkbeli hullám lényegesen másabb eredményeket képes szolgáltatni, mint a gömbhullám. Rendkívül érdekes lenne egy több vevős rendszerbe építve az eszköz alkalmazni, ugyanis ez a megoldás véleményem szerint bizonyos területeken, ahol eddig nem volt alkalmas az ultrahangos technika mérésekre, ott is sikeresen alkalmazhatóvá teheti az ultrahangos rendszereket. Az orvoslásban az utóbbi években óriási fejlődésen ment át, az ott kialakult fejlődéseit az eszköznek úgy gondolom más területekben is lehetne hasznosítani.

Alkalmazva az autók távol terét is képes lenne esetleg vizsgálni. Ez a megoldás ugyanis a viszonylagos kis teljesítményű adók összessége, nemcsak, hogy olcsóbb, mint egy nagy teljesítményű, hanem irányíthatóbb is, mint a nagyobb kivitelűek. További előnyt jelenthet az optikai szenzorokkal szemben, hogy rossz látási viszonyok mellett is képes lenne (kiegészítő szenzorokkal együtt) a szükséges pontosságot elérni (igaz, az infratechnika szintén alkalmas erre).

Előnye lehet ennek a megoldásnak még az, hogy mivel elektronikusan szabályozható a mérés iránya, óriási sebességgel lehet pásztázást használni. Hátrányként a megnövekedett számítási igényt látom, ugyanis az ebből az eszközből előállított szenzor szabályozásán/vezérlésén kívül, a visszaérkező jelekből a távolságszámítás nagyságrendekkel bonyolultabbá válik. A síkbeli sík hullám előállításának feltétele lesz az is, hogy azonos amplitúdójú jeleket kell a gömbhullámú adóknak kibocsátaniuk, fázisban való eltolásukat jól vezérelni szükséges, valamint a fizikai elhelyezésük is nagy pontosságot igényel. Ettől függetlenül, véleményem szerint, mégis érdemes lenne ezzel a technikával előállítani szenzort.

## Köszönetnyilvánítás

Ezt a fejezetet azért tartom fontosnak, hogy helyet kapjon a dolgozatban, mivel rendkívül sokan segítettek munkámat. A korábbi munkáim során Dr. Giczi Ferencsel, tanszékvezető egyetemi docens úr, Dr. Berta Miklós egyetemi docens, Dr. Vehovszky Balázs. A konzulensem Dr. Fehér András egyetemi docens és Dr. Nagy Szilvia egyetemi tanár volt. Fehér tanár úr az egész projekt alatt óriási segítséget nyújtott, és bármilyen kérdés merült fel gyorsan tudtunk megoldást találni rá. Nagy Szilvia tanárnő elméleti kérdésekben adott segítséget, főleg a fizikai kérdésekkel tudtam hozzá fordulni. Az elektronikai áramkörökben Dr. Borbély Gábor tanszékvezető egyetemi docens segédkezett. Mindenki munkájáért nagyon hálás vagyok és köszönöm nekik az együttműködést!

## Felhasznált irodalmak

- [1] <https://akuzechie.blogspot.com/2021/09/assembly-programming-via-arduino-uno.html>
- [2] <https://physics.stackexchange.com/questions/334866/sending-a-single-photon-to-glass>
- [3] <https://planetcalc.com/5992/>
- [4] <https://www.onsemi.cn/pub/collateral/an-6603cn.pdf>
- [5] <https://www.britannica.com/science/sound-physics/Refraction>
- [6] <http://www.pcserviceelectronics.co.uk/arduino/Ultrasonic/electronics.php>
- [7] <https://www.mdpi.com/1424-8220/13/5/5996>
- [8] <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/10/2253>
- [9] [http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Visszave\\_.htm](http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Visszave_.htm)
- [10] <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/fizika/fizika-11-evfolyam/a-geometriai-optika-alapjelensegei/a-planparalel-lemez-es-a-prizma>
- [11] <https://soundproofliving.com/sound-reflecting-materials/>
- [12] <https://nerdytechy.com/how-to-change-the-pwm-frequency-of-arduino/>
- [13] <https://datasheetspdf.com/pdf/1115619/Motorola/J202/1>
- [14] <https://www.britannica.com/science/sound-physics/Circular-and-spherical-waves>
- [15] <https://www.farnell.com/datasheets/2074959.pdf>
- [16] <https://www.mdpi.com/2072-666X/11/10/928>
- [17] <https://iopscience.iop.org/article/10.7567/JJAPS.24S1.68/pdf>
- [18] <https://www.mdpi.com/1424-8220/13/5/5996>
- [19] <https://www.nanowerk.com/nanotechnology-news2/newsid=59796.php>
- [20] <https://www.davidpilling.com/wiki/index.php/HCSR04>
- [21] <https://slideplayer.hu/slide/2132109/>

Nyomtatott irodalom:

- [í1] Development of an ultra-broadband ultrasonic imaging system: prototype mechanical sector device Iwaki AKIYAMA · Shigemi SAITO · Akihisa OHYA The Japan Society of Ultrasonics in Medicine 2006
- [í2] Ferroelectret non-contact ultrasonic transducers v. bovtun, j. doring j. bartusch beck a. erhard y. yakymenko 15 June 2007
- [í3] PSpice Modeling of a Sandwich Piezoelectric Ceramic Ultrasonic Transducer in Longitudinal Vibration Xiaoyuan Wei, Yuan Yang \*, Wenqing Yao and Lei Zhang Published: 30 September 2017
- [í4] Atmel ATmega328P 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System, Programmable Flash DATASHEET (7810D-AVR-01/15)
- [í5] Bogner, P., Walter , N., Barta, M., Vandulek, C., Harkányi, Z., Morvay, Z., . . . Balkay, L. (2014). *Az orvosi képalkotás fizikája*. Budapest: Medicina Könyvkiadó Zrt.
- [í6] Donald, R. (1962). *Hangok és visszhangok*. Budapest: Táncsics Könyvkiadó.
- [í7] Ultrasonic Transducer <https://www.farnell.com/datasheets/2074959.pdf>
- [í8] Dr. Levius, E. (1992). *Optikai demonstrációs kísérletek*. Budapest: Tankönyvkiadó Vállalat.
- [í9] Mohácsi Gábor Ultrahangos rétegvastagság- és rétegrend-mérés Anyagvizsgálók lapja, 2001. (11. évf.) 2. sz. 67-68. old.
- [í10] Nagy, L., Várkonyi, Z., Kálmán, L., Bálint , E., Laczkó, G., Tandori , J., & Turzó , K. (1992). *Fizika gyakorlatok*. Szeged: Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Egyetem.
- [í11] Nemcsik-Bencze Zsófia - Várbíró Szabolcs - Rudas Gábor - Nemcsik János Az izolált septum pellucidum hiány praenatalis diagnosztikája ultrahang- és mágneses rezonancia képalkotó vizsgálattal Orvosi Hetilap, 2020. (161. évf.) 52. sz. 2195-2200. old.
- [í12] Sikovanyecz János A nőgyógyászati ultrahang-diagnosztika alapjai: hogyan kerüljük el a tévedéseket? Nőgyógyászati és szülészeti továbbképző szemle, 2019. (21. évf.) 5. sz. 191-192. old
- [í13] Tarnóczy, T. (1982). *Zenei akusztika*. Budapest: Zeneműkiadó.
- [í14] Teréki Csaba : Fázisvezérelt antennarácsok ZMNE Repülőműszaki Intézet, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK XVIII. évfolyam 38. szám 2006. p. 139-149

[í15] Texas Instruments, Tina-TI, Spice-based analog simulation program ármkörszimulációs program <https://www.ti.com/tool/TINA-TI>

[í16] Veit, I. (1977). *Műszaki akusztika*. Budapest: Műszaki könyvkiadó.

[í17] Szabó Attila Nagy intenzitású fókuszált ultrahang (HIFU) alkalmazása visszértágulatok kezelésében Új, non-invazív terápiás lehetőség Érbetegségek: orvostudományi szakfolyóirat, 2021. (28. évf.) 1. sz. 9-12. old.

[í18] G. Varga István Dénes Irányított ultrahang előállítás és vizsgálata TDK dolgozat

# Mellékletek

## 1. melléklet

```
extern "C"
{
    void as();
}

void setup() {
    pinMode(bal, OUTPUT);
    pinMode(kozep, OUTPUT);
    pinMode(jobb, OUTPUT);
}

void loop() {
    digitalWrite(bal, HIGH);
    digitalWrite(kozep, HIGH);
    digitalWrite(jobb, HIGH);

    digitalWrite(bal, LOW);
    digitalWrite(kozep, LOW);
    digitalWrite(jobb, LOW);

    as();

    delay (2);
}

;-----
; Assembly Code
;-----
#define __SFR_OFFSET 0x00
#include "avr/io.h"
;-----
.global as
;-----

as:
SBI    PORTD, 3
SBI    PORTD, 4
SBI    PORTD, 5

CBI    PORTD, 3
CBI    PORTD, 4
CBI    PORTD, 5

RET
```

0.2. ábra C++ és assembly sebesség összemérő program eredménye

0.1. ábra Program részlet Assembly nyelv sebességének méréséhez

```
unsigned int a = 0;
int bal = 3;
int kozep = 4;
int jobb = 5;
```

0.3. ábra Globális változók használata

```
extern "C"
{
    void elore();
    void jjobbrak(byte);
    void bbalrak(byte);
    void jobbrak(byte);
    void balrak(byte);
}
```

0.4. ábra .asm fájlban szereplő függvények deklarálása

```

void loop() {
  a=0;
  Serial.println("Kézi üzemmód");
  Serial.println("Adja meg az irányt 0-55 osztás esetén balra irány 55 előre, 55-110 jobbra ");
  while (Serial.available() == 0) {
  }
  a = Serial.parseInt();
  Serial.println(a);
  while (Serial.available() == 0) {
  }
}

```

*0.5. ábra Kimenetek és kommunikáció beállítása*

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(bal, OUTPUT);
  pinMode(kozep, OUTPUT);
  pinMode(jobb, OUTPUT);

}

```

*0.6. ábra Program részlet*

```

        if (a < 28 && a > 0)
        {
            a=28-a;
            jjobbrak(a);
        }
        if (a < 55 && a > 27)
        {a=55-a;
        jobbrak(a);}
        if (a == 55)
        { elore();
        }
        if (a > 55 && a < 82) {
            a = a - 55;
            balrak(a);
        }
        if (a > 83) {
            a = a - 82;
            bbalrak(a);
        }
        delay (1);
    }

```

0.7. ábra Program részlet

```

;-----
; Assembly Code
;-----
#define __SFR_OFFSET 0x00
#include "avr/io.h"
;-----
.global elore
.global jobbrak
.global balrak
.global jjobbrak
.global bbalrak
;-----

```

0.8. ábra Program részlet

```

;-----
elore:
    LDI    R16, 0x38
    LDI    R21, 0x00
    LDI    R19, 5
agn:OUT    PORTD, R16 ;o/p to port D the binary pattern 111111
    RCALL myDelay    ;delay
    RCALL myD
    OUT    PORTD, R21
    RCALL myDelay    ;delay
    RCALL myD
    DEC    R19
    BRNE  agn;
    RET    ;return to caller
;-----

```

0.9. ábra Program részlet

```

;-----
myDelay:                ;3-level nested loop subroutine
    LDI    R24, 61      ;inner loop counter to give 0.5s delay
13: DEC    R24          ;decrement inner loop
    BRNE   13           ;loop if not zero
    RET                     ;return to caller
;-----

```

### 0.10. ábra Program részlet

```

;-----
jjobbrak:
    MOV    R20, R24      ;Az adott érték elmentése
    LDI    R22, 57       ;fél periódus ciklusa
    LDI    R19, 28

    CLR    R16
    CLR    R18
    ADD    R20, R19
    LDI    R26, 5        ;egy irányítottágba történő kiadandó jelek száma
    MOV    R18, R22      ;a fél periódusból kivont fázis tolás idejének elmentése
    SUB    R18, R20      ;a fázistolás idejéből kivonjuk maradékot kitöltő időt pl.: 56-50=6
    SUB    R20, R18

jjk: SBI    PORTD, 3
    RCALL  shift         ;eltolás meghívás
    CBI    PORTD, 5      ;set D3 to LOW
    RCALL  myD
    SBI    PORTD, 4
    RCALL  myD
    CBI    PORTD, 3
    RCALL  shift         ;eltolás meghívás
    SBI    PORTD, 5      ;set D3 to HIGH
    RCALL  myD
    CBI    PORTD, 4
    RCALL  myD

    DEC    R26           ;
    BRNE   jjk          ;ha még ebből az irányítottágból van kiadandó jel visszaküldi jbrészletre
    RCALL  shift         ;eltolás meghívás
    CBI    PORTD, 5      ;set D5 to LOW
    RET
;-----

```

### 0.11. ábra Program részlet

```

;-----
myDelay:                ;3-level nested loop subroutine
    LDI    R24, 61      ;inner loop counter to give 0.5s delay
13: DEC    R24          ;decrement inner loop
    BRNE   13           ;loop if not zero
    RET                     ;return to caller
;-----

shift:
    MOV    R24, R20      ;betölti a késleltetést
10: DEC    R24          ;decrement inner loop
    BRNE   10           ;
    RET                     ;return to caller
;-----

myD:
    MOV    R24, R18      ;betölti az értéket ami a fenti pl-ban 10
14: DEC    R24          ;1 kivonása R22-ből
    BRNE   14           ;amíg nem 0 14 részletre visszaküldés
    RET                     ;
;-----

```

### 0.12. ábra Program részlet

```

;-----
balrak:
    MOV    R20, R24    ;Az adot érték elmentése

    CLR    R16
    CLR    R18

    LDI    R22, 56     ;fél periódus ciklusa
    LDI    R26, 5      ;egy irányítottágba történő kiadandó jelek száma
    MOV    R18, R22    ;az alap fél periódus idő számolása
    SUB    R18, R20    ;a fél periódus idejének kivonása az aktuális eltolásfüggvényében az eredmény R18-ba kerül pl:56-23=33
    SUB    R18, R20    ;mivel két fázis tolás következikbe még egyszer ki kell vonni belőle pl 33-23=10

jbk:  SBI    PORTD, 5   ;HIGH állapotba állítás D5-öt
      RCALL shift      ;eltolás meghívás
      SBI    PORTD, 4   ;HIGH állapotba állítás D4-et
      RCALL shift      ;eltolás meghívás
      SBI    PORTD, 3   ;HIGH állapotba állítás D3-at

      RCALL myD         ;Kitölteni a szükséges időt hogy 40KHz legyen mindegyik ciklusban

      CBI    PORTD, 5   ;LOW állapotba állítás D5-öt
      RCALL shift      ;eltolás meghívás
      CBI    PORTD, 4   ;LOW állapotba állítás D4-et
      RCALL shift      ;eltolás meghívás
      CBI    PORTD, 3   ;LOW állapotba állítás D3-at

      RCALL myD         ;Kitölteni a szükséges időt hogy 40KHz legyen mindegyik ciklusban

      DEC    R26        ;
      BRNE  jbk         ;ha még ebből az irányítottágból van kiadandó jel visszaküldi jbrészletre
RET
;-----

```

### 0.13. ábra Program részlet

```

;-----
jobbbrak:
    MOV    R20, R24    ;Az adot érték elmentése

    CLR    R16
    CLR    R18

    LDI    R22, 56     ;fél periódus ciklusa
    LDI    R26, 5      ;egy irányítottágba történő kiadandó jelek száma
    MOV    R18, R22    ;az alap fél periódus idő számolása
    SUB    R18, R20    ;a fél periódus idejének kivonása az aktuális eltolásfüggvényében az eredmény R18-ba kerül pl:56-23=33
    SUB    R18, R20    ;mivel két fázis tolás következikbe még egyszer ki kell vonni belőle pl 33-23=10

jk:  SBI    PORTD, 3   ;HIGH állapotba állítás D3-öt
      RCALL shift      ;eltolás meghívás
      SBI    PORTD, 4   ;HIGH állapotba állítás D4-et
      RCALL shift      ;eltolás meghívás
      SBI    PORTD, 5   ;HIGH állapotba állítás D5-at

      RCALL myD         ;Kitölteni a szükséges időt hogy 40KHz legyen mindegyik ciklusban

      CBI    PORTD, 3   ;LOW állapotba állítás D3-öt
      RCALL shift      ;eltolás meghívás
      CBI    PORTD, 4   ;LOW állapotba állítás D4-et
      RCALL shift      ;eltolás meghívás
      CBI    PORTD, 5   ;LOW állapotba állítás D5-at

      RCALL myD         ;Kitölteni a szükséges időt hogy 40KHz legyen mindegyik ciklusban
      DEC    R26        ;
      BRNE  jk         ;ha még ebből az irányítottágból van kiadandó jel visszaküldi jbrészletre
RET
;-----

```

### 0.14. ábra Program részlet

```

;-----
bbalrak:
    MOV    R20, R24    ;Az adott érték elmentése
    LDI    R22, 57     ;fél periódus ciklusa
    LDI    R19, 28

    CLR    R16
    CLR    R18
    ADD    R20, R19
    LDI    R26, 5      ;egy irányítottságba történő kiadandó jelek száma
    MOV    R18, R22    ;a fél periódusból kivont fázis tolás idejének elmentése
    SUB    R18, R20    ;a fázistolás idejéből kivonjuk maradékot kitöltő időt pl.:56-50=6
    SUB    R20, R18

bbk: SBI    PORTD, 5
    RCALL  shift       ;eltolás meghívás
    CBI    PORTD, 3     ;set D3 to LOW
    RCALL  myD
    SBI    PORTD, 4
    RCALL  myD
    CBI    PORTD, 5
    RCALL  shift       ;eltolás meghívás
    SBI    PORTD, 3     ;set D3 to HIGH
    RCALL  myD
    CBI    PORTD, 4
    RCALL  myD

    DEC    R26         ;
    BRNE  bbk          ;ha még ebből az irányítottságból van kiadandó jel visszaküldi jbrészletre
    CBI    PORTD, 3     ;set D3 to LOW
RET
;-----

```

0.15. ábra Program részlet