

TDK DOLGOZAT

G. Varga István Dénes

Irányított ultrahang előállítása és vizsgálata

Konzulens:

Dr. Fehér András, egyetemi docens,
Prof. Dr. Nagy Szilvia, egyetemi tanár.

Győr
2022

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

**Villamosmérnöki alapszak
5. félév**

TDK dolgozat

Irányított ultrahang előállítása és vizsgálata

Dr. Fehér András
egyetemi docens

Prof. Nagy Szilvia
egyetemi tanár

G. Varga István Dénes
hallgató

Lezárva: Győr, 2022. november 3

Tartalmi összefoglaló

G. Varga István Dénes: Irányított ultrahang előállítása és vizsgálata

Konzulens: Dr. Fehér András egyetemi docens, SZE, GIVK, Távközlési Tanszék,
Dr. Nagy Szilvia egyetemi tanár, SZE, GIVK, Távközlési Tanszék.

A TDK dolgozatom témája irányított ultrahangos hullám és annak mérése. Az ultrahangok alkalmazása a természetben is – gondoljunk a denevérekre – és hétköznapijainkban is széleskörűen előfordul.

Ultrahangos adók, és vevők mára filléres tömeggyártásban is elérhető árucikké váltak.

Korábbi tanulmányaim során megismerkedtem a hullámok interferenciájával, mely több hullám kibocsátásával jól irányítható hullámfrontokat hozhat létre. Irodalomkutatásom során nem talákoztam elektronikusan irányítható ultrahangos rendszerrel ezért kezdtem el a kutatásom.

A dolgozat két fő részből áll, az első az ultrahang irányítása elektronikai kapcsolásokkal. A második az elkészült eszköz mérésére szolgáló készülékek, kísérlet, mérési eredmények ismertetése.

Az ultrahang irányíthatóságát célzó elméleti ismeretek mellett a gyakorlatban is megvalósuló ultrahangos adót állítottam elő. Ennek érdekében kísérleteket és méréseket végeztem. Több nehézséggel szembesültem, amiket részletesen bemutatok.

Végül röviden kitérnék az esetleges felhasználási területekre.

Tartalomjegyzék

Rövidítések.....	7
1 Bevezetés.....	8
2 Szakirodalmi áttekintés.....	9
2.1 Ultrahang fizikája.....	9
2.2 Áttekintés, távolságmérés működési elve.....	10
2.3 Síkhullámú távolságmérés több vevővel.....	14
2.4 Az Ultrahang irányítása.....	18
Fázistoló kialakítása időzítővel.....	18
Fázistoló kialakítása Johson típusú számlálóval.....	20
Analógiák az antennarendszerek és az ultrahang előállítás között.....	21
3 Síkhullám keltése.....	22
3.1 Két hullám interferenciája.....	22
3.2 Három hullám interferenciája.....	23
4 Ultrahang keltése, vizsgálata.....	25
4.1 Ultrahang adók vizsgálata.....	25
Eredmény kiértékelése.....	26
4.2 A hullám láthatóvá tétele.....	29
Membrán mozgásának vizsgálata fény segítségével.....	29
Ultrahang megfigyelése füstkamrában.....	30
Ultrahang megfigyelése füstkamrában állóhullám segítségével.....	30
Schilleren-optika alkalmazása.....	31
5 Ultrahang detektálása.....	32
5.1 Mérés eszközei.....	32
LED - fototranzisztor pár működési frekvenciájának vizsgálata.....	35
5.2 Ultrahang vizsgálata optikai érzékelővel.....	37
5.3 Ultrahang vizsgálata professzionális optikai tükörrel.....	42
5.4 Irányított ultrahang vizsgálata.....	47
6 Összefoglalás.....	51
7 Köszönetnyilvánítás.....	52
Irodalom.....	53

Ábrajegyzék

2.1.1. ábra. Egy felnyitott ultrahangos szenzor (típus: CAMDENBOSS CTD40K1007R) balra szerkezet, jobbra burkolat (saját kép).....	9
2.2.1. ábra. Általam készített ultrahangos szenzor (saját kép).....	12
2.2.2. ábra. Gömbhullám generátorú szenzor és a hang útja pirossal jelölve (saját modell)....	12
2.2.3. ábra. Viszonylagos távotérben elhelyezkedő tárgy és gömbhullámú szenzor (saját modell).....	13
2.2.4. ábra. Gömbhullámú köztér pontos és pontatlan távolság mérése (saját modell).....	13
2.3.1. ábra. Ideális síkhullám és normál vektorra (saját modell).....	15
2.3.2. ábra. Síkhullám visszaverődés összetett alakzatról (saját modell).....	15
2.3.3. ábra. Síkhullám visszaverődése burkolójával (saját modell).....	16
2.3.4. ábra. Síkhullámú adó és hang útja (Saját modell).....	16
2.3.5. ábra. Visszaverődési törvény (i_1).....	17
2.3.6. ábra. Gömbhullámú adóval megvalósított távolság mérés több vevővel (Saját modell)	17
2.4.1. ábra. ATmega328P időzítő felépítése (p.116, részlet).....	19
2.4.2. ábra. A zöld csatorna siet (1. kép) késik (2. kép) - a sárga referenciához képest. (saját kép).....	19
3.1.1. ábra. Két hullám interferenciája (Octave).....	22
3.2.1. ábra. Három hullám interferenciája(Octave).....	23
3.2.2. ábra. Három hullám interferenciája, a források közötti $\phi=y$ fáziskülönbséggel (Octave).....	24
4.1.1. ábra. Az UH adó jellemzőinek mérési összeállítása a laboratóriumban (L1-110)(saját kép).....	25
4.1.2. ábra. A mérési összeállítás kapcsolási rajza (Tina).....	26
4.1.3. ábra. A Kimeneti feszültség [V] a frekvencia [kHz] függvényében (alapharmonikus: 38650 Hz).....	27
4.1.4. ábra. A Kimeneti feszültség [V] a frekvencia [kHz] függvényében (kék 1. minta, piros 2. minta).....	27
4.1.5. ábra. Az alapharmonikusok az 1. és 2. mintán (kék 1. minta, piros 2. minta).....	28
4.1.6. ábra. A gyártó által megadott közepes frekvencia (i_{10}).....	29
4.1.7. ábra. A gyártó által az adatban megadott érzékenység karakterisztika (i_{10}).....	29
4.2.1. ábra. Füstkamrában elhelyezett ultrahangos adó (saját kép).....	30
4.2.2. ábra. A mérési összeállítás szemléltető ábrája (Nachanat et.al.).....	31
5.1.1. ábra. A homorú tükör támasztékkal 16,5 cm 270253 (Innotech).....	32
5.1.2. ábra. A homorú tükör (jobb minőségű) (beszerzése: nem ismert).....	32
5.1.3. ábra. A mérési összeállítás. A könyvek a középtengelyt egyensúlyozzák ki. (saját kép)	33
5.1.4. ábra. A Schilleren optikai össze állítás a fény két szélsőséges útját fekete színnel jeleztem (saját kép).....	33
5.1.5. ábra. A Schilleren optikával készített kép láthatóvá tette a gyertya láng által keltett meleg levegő áramlását (a kép fordított állású az optika sajátossága, továbbá látható még hogy a fehér LED-et használtam).....	34
5.1.6. ábra. A gyártó által biztosított adatlapból, az ellenállás változás és a sebességének az összefüggése (i_{11}).....	35
5.1.7. ábra. Az oszcilloszkópól készített fotó bizonyítja, hogy a fényváltozás feszültség szint változással járt. (saját kép).....	36

5.1.8. ábra. Az optikai adó és az optikai szenzor kapcsolási rajza (Tina) a LED működésének validálásához.....	36
5.2.1. ábra. Egy sikertelen kép az ultrahangról (saját kép).....	37
5.2.2. ábra. A Mérés közbeni kép, a tetején látható a megvilágító egység, az optika által megvalósuló kép jobb oldalán látható folt az ultrahangos adó a várható hullámok útjába pedig a fototranzisztor (saját kép).....	38
5.2.3. ábra. A megtévesztő zavar hibásan detektált ultrahang képe (látható nagy mennyiségű zavar) (saját kép).....	38
5.2.4. ábra. A hibás mérési összeállítás kapcsolása (Tina).....	39
5.2.5. ábra. Az áthallásmentes, helyes mérési összeállítás (Tina).....	39
5.2.6. ábra. A képen látható több fototranzisztor egymás mellé forrasztva egy vonalát vizsgálata, továbbá a megvilágító fény is változott zöldre, hogy a fény hullámhossz kevésbé lehessen befolyásoló tényező (saját kép).....	40
5.2.7. ábra. A mérési eredmény táblázatba foglalva.....	40
5.2.8. ábra. A gyártó által biztosított iránykarakterisztika (i10).....	41
5.2.9. ábra. A hibás tükörrel végzett mérés eredménye.....	41
5.3.1. ábra. Egyetemi Schilleren optika.....	42
5.3.2. ábra. Ernyőn felfogott gyertya láng.....	42
5.3.3. ábra. Üdítő palackból ki áramló levegő.....	43
5.3.4. ábra. Nokia 5 (TA-1234) Telefonnal készített kép.....	44
5.3.5. ábra. Fujifilm FinePix S2950 digitális fényképezőgéppel készített kép.....	44
5.3.6. ábra. Samsung A52 SM-A525F/DS okos telefont készített kép.....	44
5.3.7. ábra. Első sikeres fotó m az ultrahangról.....	45
5.3.8. ábra. A függőlegetől bal oldalára irányított hang.....	46
5.3.9. ábra. Függőleges irányított hang.....	46
5.3.10. ábra. A függőlegetől jobb oldalára irányított hang.....	46
5.3.11. ábra. A mérési összeállítás.....	47
5.4.1. ábra. Mérési összeállítás (saját kép).....	48
5.4.2. ábra. Mérés kapcsolása (Tina).....	48
5.4.3. ábra. Brust fázisban eltolt jele, 2 periódus a szemléltetéshez (saját kép).....	49
5.4.4. ábra. Egy adó eltolása fázistolás függvényében a mért ultrahang mV-ban.....	49
5.4.5. ábra. Két adó eltolása fázistolás függvényében a mért ultrahang mV-ban.....	50

Rövidítések

m/s	Sebesség mértékegysége méter/szekundum
s	távolság
t	idő
TTL	A Transistor-Transistor Logic rövidítése.
UH	ultrahang
v	sebesség
V_{RMS}	Feszültség - effektív érték
[i1]	Internetes hivatkozás

1 Bevezetés

Az ultrahangot sok területen sikerrel alkalmazzák mint az orvoslásban (Pellucidum), (Visszértágulatok), (Sikovanyecz). A műszaki területeken is előszeretettel használják az ultrahangot, (Mohácsi)(Varga D.). Az általam kutatott téma célja a távolság mérés, felületérzékelés volt.

Ultrahangos szenzort egy egyetemi laborgyakorlat során használtam: egy HC-SR04-es típusú szenzort, egy motor közel terének vizsgálatára. Erre azonban a szenzort nem lehetett jól használni, ugyanis több vizsgálat során is alkalmatlan volt (hőmérséklet, páratartalom, szél, mozgás közbeni használat) ezért fogalmazódott meg bennem az, hogy saját ultrahangos szenzor kell készítenem.

Úgy gondoltam, az egyik hibát, amit a Doppler-effektus okoz, könnyedén kiküszöbölhetjük. A nagy sebességgel közeledő vagy távolodó tárgyakra pontatlanná válik a szenzor, ez a megfigyelés volt, ami miatt mélyebben el kezdtem foglalkozni a témával.

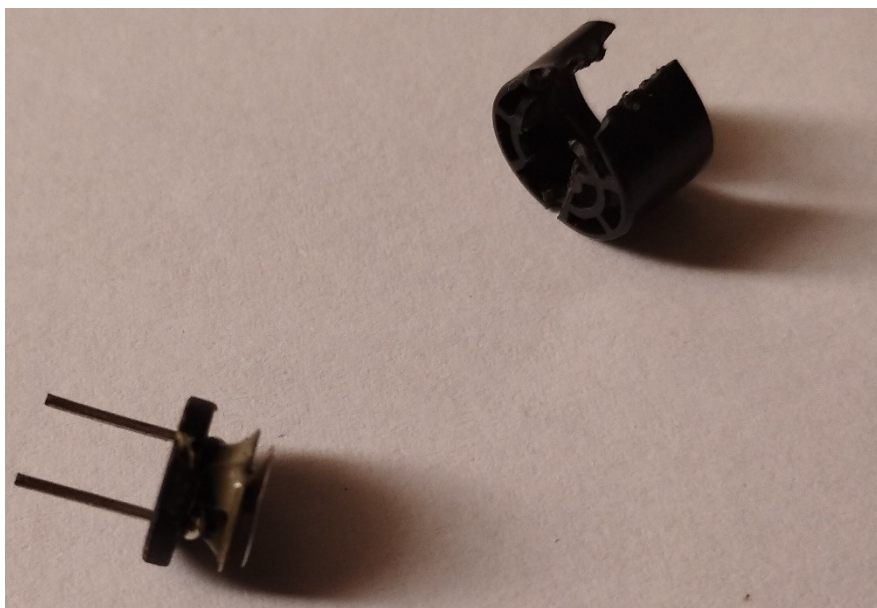
A dolgozatomban az ultrahangos síkhullámú adóval foglalkozom részletesen, annak fizikájával, felhasználásával, megvalósításával. Úgy gondolom, ez a terület még kellő lehetőséget rejt, ezért érdemes kutatni. A szimulációval képesek voltunk még a tervezési szakaszban megjósolni bizonyos bekövetkező eseményeket. A megvalósítás sok izgalmas problémát vetett fel, amik megoldásai előrébb vitték dolgozatomat. A teljes szenzor ugyan nem készült el, azonban komoly előrehaladást értem el a hang irányításában, illetőleg annak detektálásában.

2 Szakirodalmi áttekintés

2.1 Ultrahang fizikája

„Az ultrahang levegőben terjedő longitudinális nyomáshullám, ami levegőben 340 m/s sebességgel terjed.” [1] Ez azt jelenti, hogy ez a hullám az ember által hallható hanghulláméhoz rendkívül hasonló tulajdonságokkal rendelkező hullám. Ami viszont megkülönbözteti tőle, hogy a hanghullám frekvencia tartománya általában 20 Hz-től 20 kHz-ig terjed, míg az ultrahang e feletti frekvenciatartományban található, így a hullámhossza kisebb.

Előállításában is hasonlít a hanghoz, ugyanis lényegében egy membránt szükséges mozgatni, hogy nyomáshullámok, vagyis hang keletkezzen.



*2.1.1. ábra. Egy felnyitott ultrahangos szenzor (típus: CAMDENBOSS CTD40K1007R)
balra szerkezet, jobbra burkolat (saját kép)*

A dinamikus hangszórónál a membránhoz ragasztott tekercsre kapcsolt feszültség hatására áram indul meg, és ezzel mágneses tér keletkezik, ez lép kölcsönhatásba az állandó mágnes terével, és mozgatja a membránt. Az itt bemutatott ultrahangos szenzor azonban eltérő elvet követ. A piezoelektromos hangkeltő egy piezoelektromos tulajdonsággal rendelkező kerámia lap, amit egy vékony akár fél milliméternél is vékonyabb fémlaphoz ragasztanak. A

piezoelektromos hatás miatt az elektródára kapcsolt váltakozó feszültség hatására táguló és összehúzódó membrán mozgásra kényszeríti a ráragasztott fémlapot. Ez a megoldás megtalálható a hallható hangok tartományán alkalmazott magas hangsugárzók esetében is, felhasználni kívánt területtől függően változhat, hogy melyiket alkalmazzák. „Általánosságban elmondható, hogy ahol nincs szükség széles frekvenciaátvitelre és egyszerű, olcsó hangkeltő is megfelel, ott a piezo transducer a legjobb megoldás.” [i2] ez alapján választottam ilyen típusú adót. Szintén a választás mellett szól, hogy nagy tömegben olcsón előállított termékekről van szó.

2.2 Áttekintés, távolságmérés működési elve

Képzeljük el, hogy egy völgyben állunk, tőlünk egy pár száz méterre függőleges sziklafal magasodik. Amennyiben elkiáltjuk magunkat, vagyis hanghullámokat bocsájtunk ki a hang a sziklafalig terjed, majd egy nagy része vissza verődik felénk. Ezt a jelenséget visszhangnak hívják és az ultrahangos méréseknél is ezt használjuk ki, csupán nem a hallható hangok tartományán. [i12]

Az ultrahangos távolságmérésre irányuló mérések, amivel az általam kutatott téma is foglalkozik, az ultrahang reflexióját használja ki a távolság mérésére. Ezt az adatot azonban közvetlenül nem szolgáltatja a szenzor számunkra, viszont két másik adatot képesek vagyunk mérni és a szenzor segítségével akár a távolságot is megkaphatjuk megkaphatjuk Az alábbi összefüggés alapján:

$$s = vt$$

A összefüggéshez szükséges adatokat a következő módon kaphatjuk meg, melyek birtokában képesek vagyunk egy távolságot könnyebben meghatározni.

Ez a fajta távolság mérés azon alapul, hogy közel állandónak tekinthető a hang terjedési sebessége levegőben 331 m/s (0 °C-on, azonban fokenként 0,6 m/s-ot növekedik).

Néhány jellemzően előforduló anyag és a hang terjedési sebessége [i3] és [i9]:

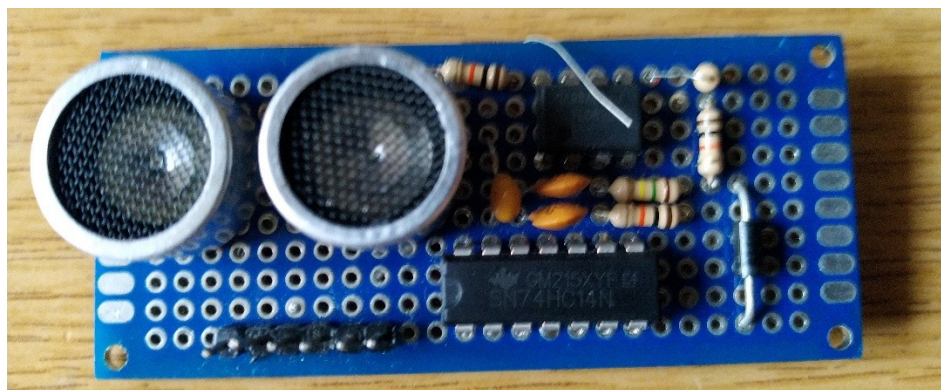
- Levegőben 0 ° C-on a hang 331 m/s
- Vízben (25 ° C -on) 1593 m/s.
- Szövetekben 1540 m/s.
- Fában 3700 m/s.

- Betonban 4000 m/s.
- Acélban 6100 m/s.
- Alumíniumban 6400 m/s.
- Vízgőzben 30 m/s

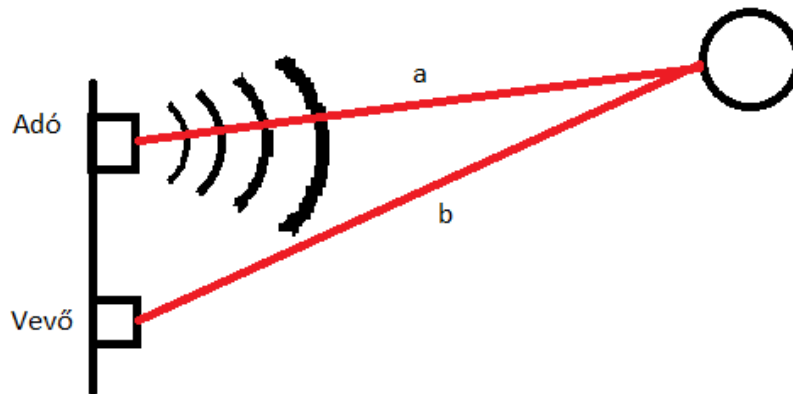
Amennyiben tudjuk, hogy milyen közegben terjed a hullám, a sebessége ismert lesz. Ezek az értékek akár nagymértékben is képesek változni. Gondoljunk a páratartalom változásra a levegőben, vagy egy öntvényben keletkezett zárványra. Amennyiben változik a páratartalom, a levegő részecskéi közé víz kerül, így abban is haladnia kell a hullámnak. Ebből adódóan a páratartalmat ezeknél a típusú méréseknél a pontosság növelése érdekében érdemes figyelembe venni. A fémekben történő vizsgálat esetén pedig a nem szokványos mérési eredmények utalhatnak zárványra.

A távolság kiszámításához a korrigált sebesség mellett, szükséges a visszaverődési késleltetés ideje is. Az utóbbi adatot viszonylag nehéz meghatározni, ugyanis nem használható a legtöbb eszköz adóként és vevőként is egyaránt. Ez alól kivételt képeznek az orvosi ultrahangos eszközök, melyek sajátossága, hogy azonos piezo kristályt használnak adóként és vevőként is. Ebben a felhasználási módban a kibocsátás és visszaérkezés között eltelt időnek a felével már közvetlen megkapható az ultrahang útjához szükséges idő. Ebben az elrendezésben az ultrahang két útja megegyezik, egybe esik, így nem szükséges további számítás.

Igyekeztem beszerezni ilyen adó- és vevőképes ultrahangos eszközt, de rendkívül költséges ezt a megoldást alkalmazni, többek között ezért nem emellett a megoldás mellett döntöttem. (Mégis fontosnak tartom ezt a megoldási módot is megemlíteni, ugyanis egyszerűsége miatt, a sebessége sokszorosa tud lenni a többi távolságmérő ultrahangos eszközhöz képest, és alkalmazható emiatt akár nagysebességű képalkotásra is)

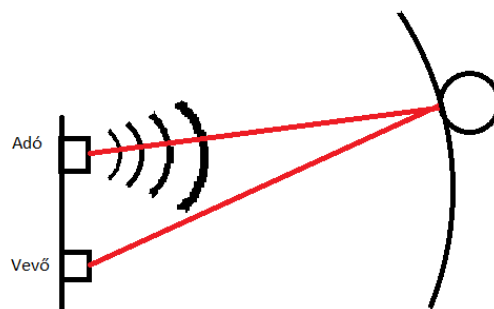


2.2.1. ábra. Általam készített ultrahangos szenzor (saját kép)

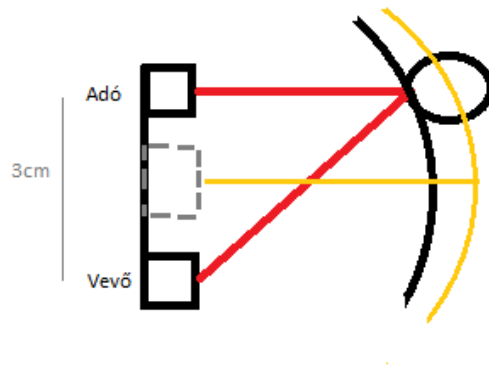


2.2.2. ábra. Gömbhullám generátorú szenzor és a hang útja pirossal jelölve (saját modell)

A többi ultrahangos szenzor esetén azonban, amikor az adó és a vevő külön eszközök, a forrás és a detektor egymástól eltávolodva helyezkednek el. A hang útja így a következőként módosul (2.2.2-es képen a): visszaverődésig megtett út (a) és a visszavert út (b) között útkülönbség van. Amennyiben kis távolságra végzünk méréseket, vagy nagy pontossággal kell végezni, vagy egy pontot szeretnénk vizsgálni a térben, ezt figyelembe kell venni, mert könnyen a következő hibába eshetünk:



2.2.3. ábra. Viszonylagos távolságban elhelyezkedő tárgy és gömbhullámú szenzor (saját modell)



2.2.4. ábra. Gömbhullámú közeltér pontos és pontatlan távolság mérése (saját modell)

Ha az adót és a vevőt azonos helyben lévőként modellezzük, akkor a kibocsátástól az érzékelésig eltelt idő fele alatt a hanghullám a sárga kör ív által meghatározott helyig képes eljutni (gömbhullám modell esetén). Ez a piros vonallal jelzett valós megtett úthoz képest távolabbi visszaverődési pontot jelez, ha a tárgy távolsága és adó vevő távolság összemérhető. Ez nem jelent komoly gondot amennyiben távolra szeretnénk vizsgálatot végezni ugyanis a szenzor méreteivel nem összevethető távolságokban, már a nyílási szöge az az adónak lényegesen beszűkül. A kapott eredmény mit jelet, nem egy pont helyzetéről tájékoztat a térben, hanem egy ív mentén elhelyezkedő tárgyról, kis eltéréssel.

Abban az esetben, ha közel térben szeretnénk vizsgálatot végezni a szenzorral, fontos a háromszöget figyelembe venni. Ha egy pontként kezeljük az adót és vevőt nagyobb ívvel számolhatunk, mint a valóságos. (Igaz a mellékelt képen is jól látható, hogy ez a kivitelű szenzoron az adót és vevőt igyekeznek a gyártók közel elhelyezni egymáshoz.) Derékszögű háromszög is felrajzolható minden esetben a körív mentén, amit egy egyenletrendszerrel könnyen kiszámíthatunk.

Egy példa a számításra:

A fenti derékszögű háromszög (2.2.4-es ábra) ismert oldala 3 cm az ismeretlen átfogó és befogó a sebesség és idő képletéből a gondolat kísérletben 15 cm. A befogó lesz a keresett sugár hossz. A felírható egyenletek:

$$c = \sqrt{3^2 + b^2}$$

$$15 = c + b$$

$$15 - b = c$$

$$\begin{aligned}
15 - b &= \sqrt{3^2 + b^2} \\
(15 - b)^2 &= 3^2 + b^2 \\
15^2 - 2 \cdot 15 \cdot b + b^2 &= 3^2 + b^2 \\
15^2 - 2 \cdot 15 \cdot b &= 3^2 \\
216 &= 30b \\
7,2 &= b
\end{aligned}$$

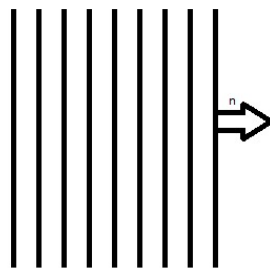
Amennyiben nem így számolnánk ki a távolságot, 7,5 cm-re számoltuk volna azt, ezért pontatlan eredményre jutnánk. Ez a rendszeres hiba így korrigálható.

Ezekkel az adatokkal már képesek vagyunk kiszámolni egy tárgyának a szenzortól való távolságát.

2.3 Síkhullámú távolságmérés több vevővel

Az első évben hallgatott modern fizika tárgy keretein belül hallott hulláminterferencia által létrehozott síkhullám mély benyomást tett rám. Ugyanis azután a tárgy után, keresni kezdtem, hogy milyen területen lehetne ezt jobban kihasználni. Míg a fentebb említett tárgyból, elkezdtem foglalkozni az ultrahangos szenzorral. Igaz nem találtam konkrét síkhullámmal működő ultrahangos szenzort, de éppen ezért szerettem volna készíteni egyet.

A síkhullám esetén a hullámfrontok egymással párhuzamos síkok, melyek egyenletes v sebességgel haladnak közös normálisuk irányában [14], amit a következő kép szemléltet.



2.3.1. ábra. Ideális síkhullám és normál vektorra (saját modell)

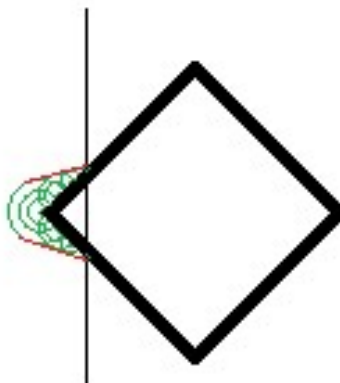
A síkhullám esetén, amennyiben a hullám útjában egy tárgy van, arról a hanghullámok egy része reflektálódik. Ez a reflektált hullám, amennyiben ultrahangos szenzorokról eddig leírtakat figyelembe vesszük, detektálható és távolság számítható. A visszaverődés viszont

összetettebb lesz, mint a gömbhullám esetébe, amit a következő ábrákon szeretnék szemléltetni.



2.3.2. ábra. Síkhullám visszaverődés összetett alakzatról (saját modell)

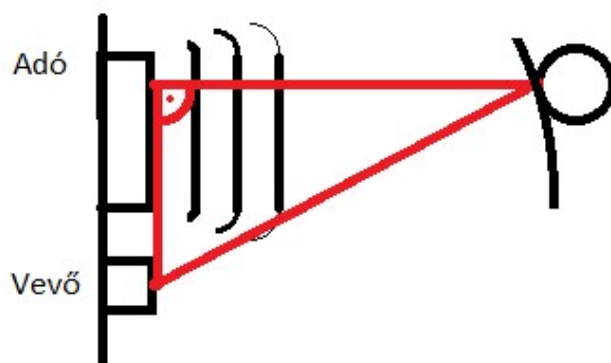
A képsort számítógépen rajzoltam, az idő rövidsége miatt modellezni nem volt alkalmam, de egy későbbi rész modellje elkészült. Az elkészítési elv rendkívül egyszerű volt, ugyanis azok a pixelek, amik beleütköztek egy közeghatárba, ott egy gömbhullám verődik vissza. Ahogy halad a síkhullám, a visszavert hullám is azonos sebességgel kell hogy haladjon, vagyis, ha egy pixelt halad előre a síkhullám, a gömbhullám is egy pixelt kénytelen növekedni (minden irányba). A Huygens-féle elv: A hullám terjedése során a hullámfelület minden pontja elemi gömbhullámok forrásának tekinthető, a hullámfelületet egy későbbi időpontban ezen elemi hullámok burkoló felülete adja meg. Ez az elmélet teszi lehetővé hogy, az általam berajzolt elemi gömbhullámoknak is vehetem a burkolóinak összegét. Ebben a speciális esetben, amikor egy négyszög sarkába ütközik a hullám első pontja, a következő ábrán a burkolókat kiemelve piros színnel láthatók.



2.3.3. ábra. Síkhullám visszaverődése burkolójával (saját modell)

Első felvetésként feleslegesnek tűnhet a síkhullám használata, ami néhány területen igaz is lehet, mint az a fenti ábrákon is.

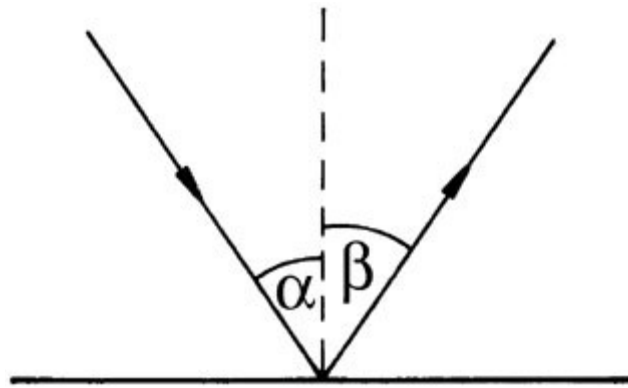
Az eddig vázolt (egy adó és egy vevővel rendelkező rendszer) esetekben nem tapasztalnánk komoly változást, ugyanis a sarok által keltett gömbhullám érkezne vissza a vevőbe, hasonlóan a gömbhullámú megoldáshoz. Különbség azonban, hogy tudhatóan síkhullámot bocsátottunk ki, igaz a szélein elhajlik (szintén a Huygens-féle elv miatt) a valóságban, mivel csak a végtelen kiterjedésű síkhullám szélei nem hajolnak el. Viszont az elhajló rész, a hullám előre haladtával egységnyi területre jutó energiája csökken, így azt egy szenzorral össze mérhető távolság után elhanyagolhatónak tekinthető.



2.3.4. ábra. Síkhullámú adó és hang útja (Saját modell)

Látható a 2.3.4 ábrán, hogy szenzor által érzékelni kívánt terület (a közelterét leszámítva, ahol a hullám szélei miatt is történhetnek hibás mérési adatok) lényegesen leszűkül, ami előnyös is lehet a mérés pontossága szempontjából.

A számított háromszög, egy derékszögű háromszög oldalainak felel meg. Valamint, ha nem élbe ütközik a hullám, hanem egy síkba, abban az esetben a hullám reflexió alapegyenletével számolhatunk a visszaverődéskor.

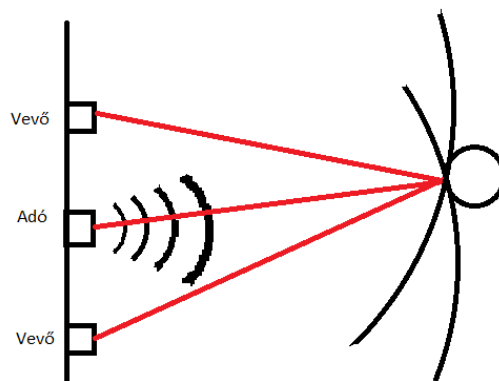


2.3.5. ábra. Visszaverődési törvény (i7)

[i7] Az az $\alpha=\beta$ a mi esetünkben síkhullám lesz a visszavert hullám is.

Lényeges kiemelni, hogy több vevővel rendelkező rendszer esetén, hogyan működhet az ultrahangos rendszer.

Irodalomkutatásom szerint több ilyen rendszer is fejlesztés alatt áll. A síkhullámú adókat rendkívül jól kiegészítené, egy több vevőből összeállított elrendezés.



2.3.6. ábra. Gömbhullámú adóval megvalósított távolság mérés több vevővel (Saját modell)

Amennyiben gömbhullámot alkalmazó adót használunk, a 2.3.6 ábra alapján elhelyezett két vevő már képes külön külön érzékelni a visszavert jelet. Mind a kettő által kiszámított ív mentén helyezkedhet el a vizsgált tárgy, ami azt jelenti hogy a két ív metszéspontjában található a tárgy. Igaz, 2 vevő még nem alkalmas teljes pozíció meghatározásra, ugyanis 2 dimenzióban adnak meg csak egy pontos pozíciót, a hiányzó térbeli elhelyezkedéshez további

vevőre van szükség. A síkhullám esetében ugyanígy történhet a távolság meghatározása. A síkhullám előnyeit a későbbiekben részletezem.

2.4 Az Ultrahang irányítása

Az ultrahangos síkhullámnak legfőbb előnye, úgy gondolom, a jó irányíthatóság. Mivel a Huygens-féle elv alapján kis méretű gömbhullámokból szeretnék előállítani síkhullámot, több ultrahangos adót felhasználva oly módon, hogy az általuk keltett ultrahang burkolója egy síkot közelítsen.

Sikerült analógiát találni az ezzel a módszerrel előállított ultrahang és a fázisvezérelt antennarács között (Teréki).

Analógiaként megemlíthető, antennarácsok elemi antennák sokaságából épülnek fel így biztosítva a nyaláb pozicionálást. „Fázisvezérlésnél az egyes sugárzók fázisviszonyait fázistolókkal változtatva, azonos amplitúdó eloszlást feltételezve mozgatják a fázisfrontot, s ezzel az iránykarakterisztikát.” (Teréki)

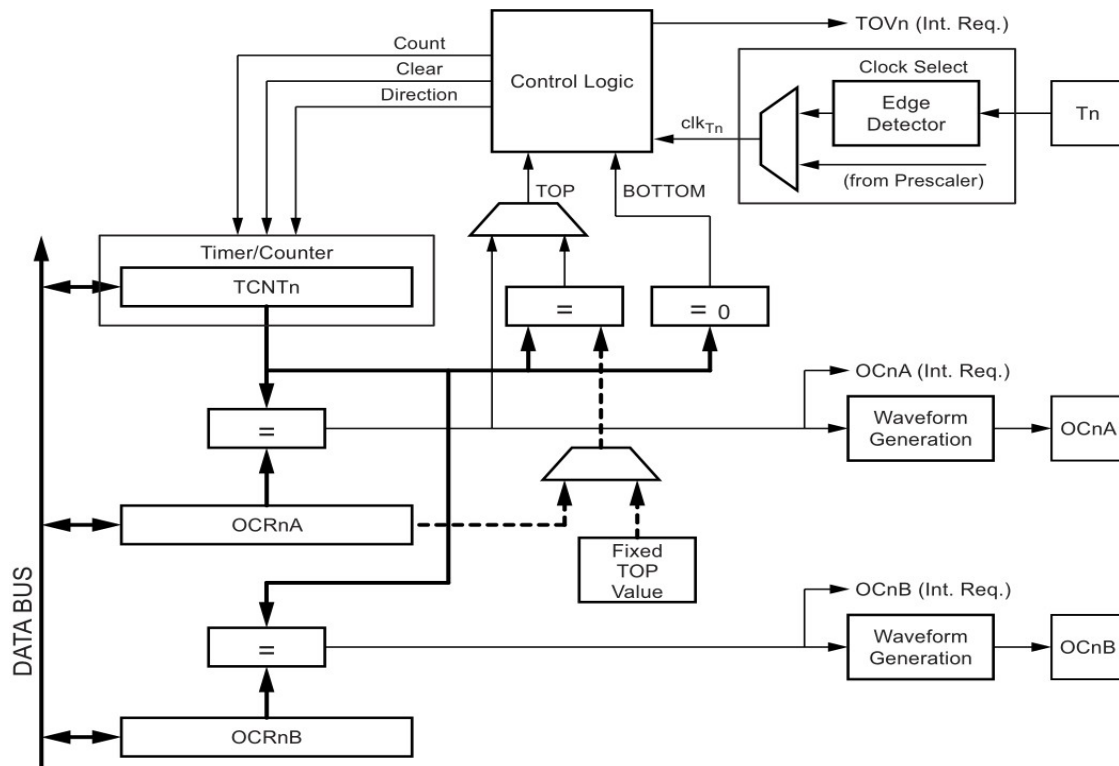
Az antennáknál alkalmazott módszert szerettem volna látványosabbá tenni, ezért készítettem egy interferencia szimulációt a működés szemléltetésére.

Az ultrahangos rendszeremnél ez a megoldási mód volt számomra a legkecsegtetőbb, amire sikeres kísérleteket is tettem.

Fázistoló kialakítása időzítővel

Bizonyos processzorok rendelkeznek belső időzítő-számláló áramkörrel. Kialakítás során a ATmega328P processzort felhasználva (Arduino Uno) készült első fázistoló alkalmazás.

A regiszter visszatöltés üzemmódjával működő programrészlet digitálisan folyamatos állítást tesz lehetővé.



2.4.1. ábra. ATmega328P időzítő felépítése (p.116, részlet)

Az alábbi ábrán jól megfigyelhető a fázisszabályozás széles lehetősége. (Sárga csatorna felfutó él mid szinkronizálással)



2.4.2. ábra. A zöld csatorna siet (1. kép) késik (2. kép) - a sárga referenciához képest. (saját kép)

Fázistoló kialakítása Johson típusú számlálóval

Tételezzünk fel egy két kimenetű számlálót, melynek fázis felbontása a számlálási ciklus hosszától függ, ami széles határok között változhat, akár 1/360 fok felbontással is.

[illegible][illegible]

A RISC architektúrájú ATmega328P utasítás végrehajtása 16MIPS, 16MHz órajel esetén kellően gyors. Ez kellően gyors, akár fok felbontású szabályozás eléréséhez is.

Fontos megemlíteni, hogy az így előállított kimeneti jel kitöltési tényezője nem 50%, de ez könnyen elérhető egy kimeneti kettesosztó alkalmazásával.

Ezzel a módszerrel biztosítható, hogy a 38 kHz-es alapharmónikus mellett a következő harmonikus csak a 3. harmonikus legyen, a 2. harmonikus elnyomásra kerüljön, gondoljunk a szimmetrikus négyszögjel Fourier-sorára!

Analógiák az antennarendszerek és az ultrahang előállítása között

Mind az antennák, mind ultrahang esetén elméletileg megoldható az amplitúdóban való irányítás, azonban az ultrahangos esetben ez gyakorlati nehézségekkel jár.

Tudjuk, hogy a kisugárzott teljesítmény összefüggésben van az adónak a felvett teljesítményével, de nem tudjuk, hogy a felvett teljesítmény növelésével milyen függvény szerint változik a kimenő teljesítmény növekedése, gondoljunk a linearitásra. (A későbbiekben feltárt rezonancia frekvencián való eltéréseket ezzel a módszerrel akár módosíthatnánk is adónként.) Ehhez a módszerhez egy hitelesített vevőre lenne szükség az adott frekvencián, hogy kellő pontossággal lehessen méréseket végezni, és a kívánt erősítéseket meghatározni.

Antennák esetében „Frekvenciavezérlésnél a tápvonalban terjedő jel frekvenciáját, ezzel együtt az antennarácsra jutó jel frekvenciáját változtatjuk, s ezáltal változik az elemi rések gerjesztésének fázisviszonya is.” ... „A fázisvezérelt antennarácsok (FAR-ok) rendkívül rugalmas rendszerek megvalósítására alkalmasak, egyidejűleg több nyaláb kialakítható, valamint szokványos karakterisztikák nagy kisugárzott teljesítmény mellett megvalósíthatók.” (Teréki)

Sajnos az ultrahangos adókban lévő piezokristály nem képes több különböző frekvencián dolgozni azonos hatékonysággal, vagy abban az esetben egy modulált hullámot állít elő. A kisugárzott teljesítmény viszont ebben a megvalósításban is növelhető, a költségek kordában tartása mellett.

Az ultrahang esetében csupán egy típusú adóval rendelkezem, amit gerjeszthetünk, azonban annak az elhelyezése, amplitúdóban való egyezése és fázisa határozza meg a szenzor paramétereit.

„A gerjesztési törvény függvényében nemcsak iránykarakterisztika formát, hanem annak térbeli elmozdulását is meg lehet valósítani. Gyakorlati követelmény az oldalszirom elnyomás, amely a széleken lévő sugárzó elemek miatt következik be.” Ennél a típusú adónál is lesznek egyéb sugárzási irányok, amik elnyomása kedvező lehet a számunkra, ezt egy későbbi mérésből láthatjuk majd.

3 Síkhullám keltése

A hullámok irányításának legegyszerűbb lehetséges vizsgálata a szimuláció.

A közismert kétdimenziós hullámegyenlet Descartes-i koordinátákban:

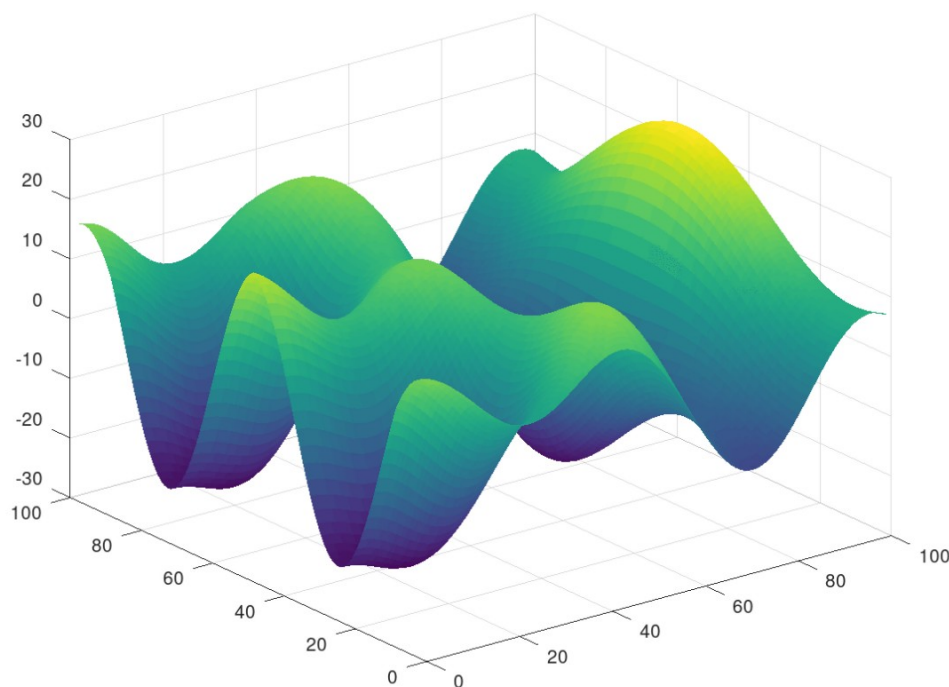
$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) F(x, y, t) = C \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} F(x, y, t) \quad (3.1)$$

speciális, folyamatos gerjesztésű megoldását keresve kapjuk a az általunk modellként használható függvényt.

A Következőkben erre mutatok példákat, melyeket Octave pogrammal (Octave) végeztem.

3.1 Két hullám interferenciája

A szimuláció célja, hogy bebizonyítsuk a hullám irányíthatóságát fáziseltolással, továbbá, hogy több elemi hullám eredője síkhullámot eredményezhet.

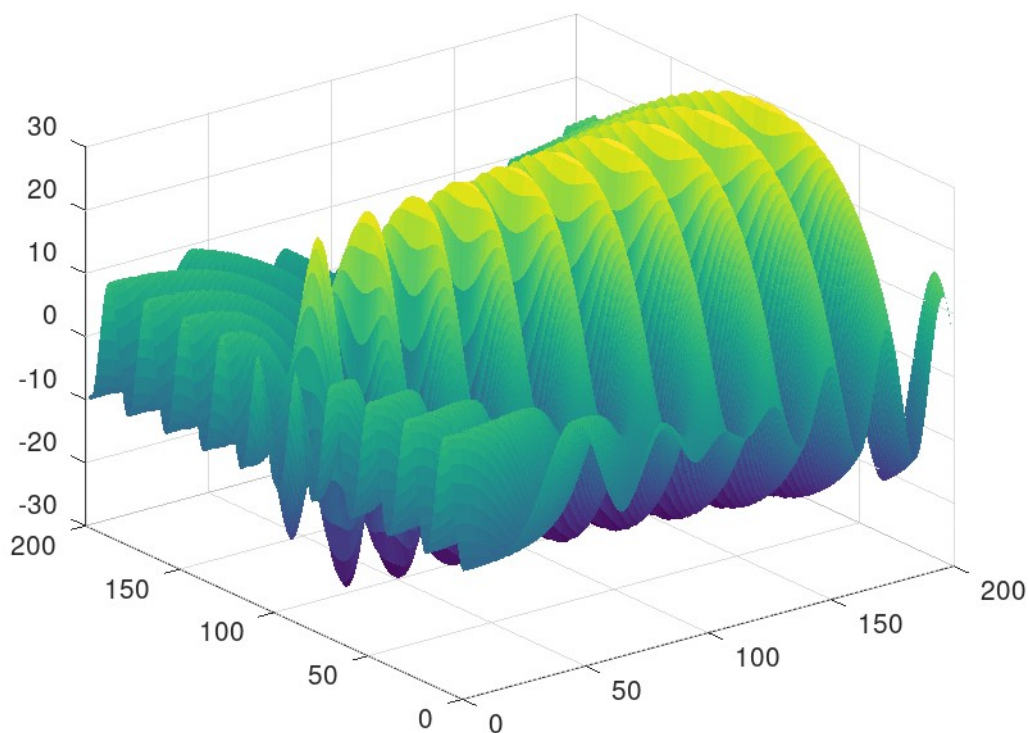


3.1.1. ábra. Két hullám interferenciája (Octave)

Az elkészült képen jól láthatóan (igaz csupán 2 hullámkeltő pontot helyeztünk el), de így is kialakult egy rendkívül erős hullámfront, ami közel síkhullámnak felel meg (a tengelyek távolságok amik mm-ben értendők). Azonban meg kell jegyezni, hogy láthatóan létrejöttek melléknyalábok is, amik azért alakultak ki, mert a két hullámkeltő a hullámhosszokkal megegyező távolságban helyezkednek el egymástól. Ez azonban a valóságban is így történik, ezért volt szükséges ekkora távolságra elhelyezni egymástól ezeket a pontokat.

3.2 Három hullám interferenciája

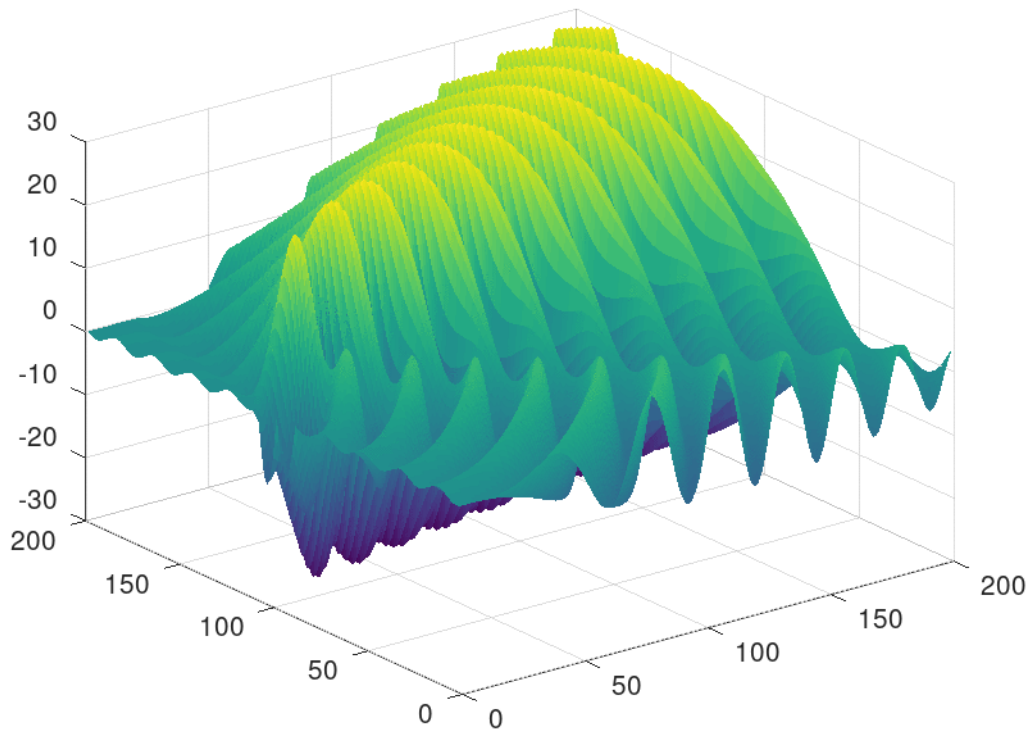
A következőkben 3 hullám gerjesztése esetén kialakuló néhány hullámfrontot mutatok be. Azonos fázisú rejesztés esetén, jól megválasztott gerjesztési pontoknál merőleges hullámfrontot kelt, a 3.2.1 ábra ilyen esetet mutat. (A tengelyek távolságok, amik mm-ben értendők.)



3.2.1. ábra. Három hullám interferenciája (Octave)

Megváltoztatva a gerjesztések fázisát, a hullám frontja irányíthatóvá válik a 3.2.1 ábra.

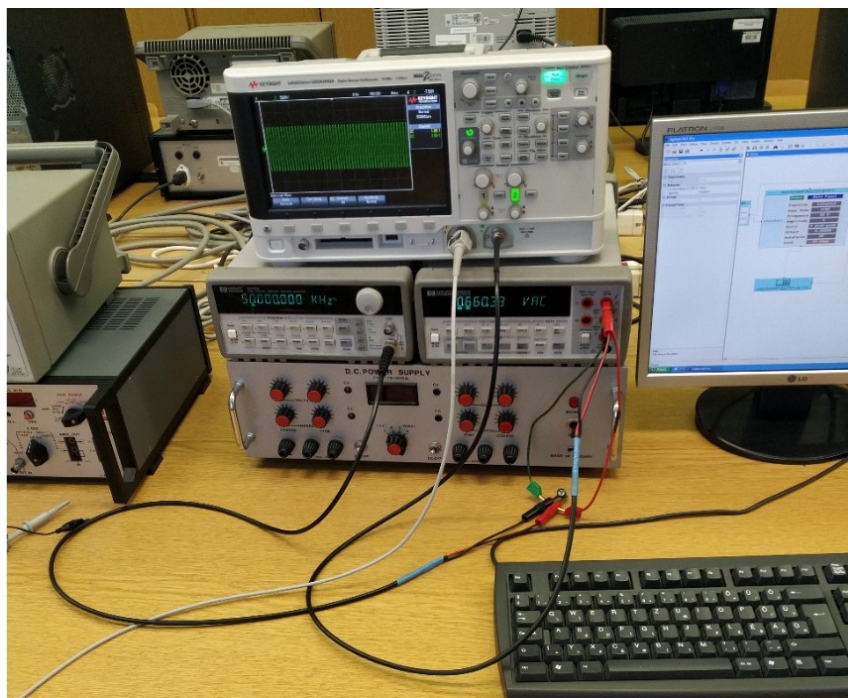
Jól látható, hogy a 3.2.1 ábrához képest a hullámfront most a sarokba tart. (A tengelyek távolságok, amik mm-ben értendők.)



3.2.2. ábra. Három hullám interferenciája, a források közötti $\phi=y$ fáziskülönbséggel (Octave)

4 Ultrahang keltése, vizsgálata

4.1 Ultrahang adók vizsgálata



4.1.1. ábra. Az UH adó jellemzőinek mérési összeállítás a laboratóriumban (L1-110)(saját kép)

Az ultrahangos adó impedanciamenetét a gyártó online adatlapja, pdf formában elérhetővé tette. Elsőként ennek pontosítására és ellenőrzésére irányult a vizsgálat.

A vizsgálatom során kiderült, hogy nagy szórással készítették ezeket az adókat.

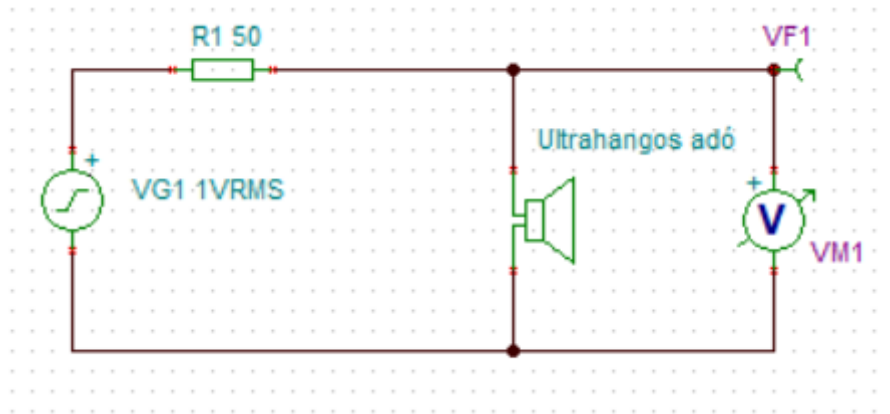
Az általam tervezett felhasználásnál különösen lényeges, hogy az egyes adók rezonancia frekvenciáik megegyezzenek. Amennyiben ez nem teljesül, az akár a keletkezett amplitúdókülönbségek miatt, a gerjesztett nyalábunk általunk tervezettől jelentősen eltérhet. Ez számunkra nem előnyös interferenciával járna, és az irányított ultrahang iránya nem felelne meg az elméleti iránynak és hibássá teheti a további vizsgálatokat.

A mérés során felhasznált mérőeszközök:

- Függvénygenerátor: Hewlett Packard 33120A

- Multiméter: Hewlet Packard 34401A
- Vizsgált Ultrahangos adó: CAMDENBOSS CTD40K1007R

A mérési összeállítás:



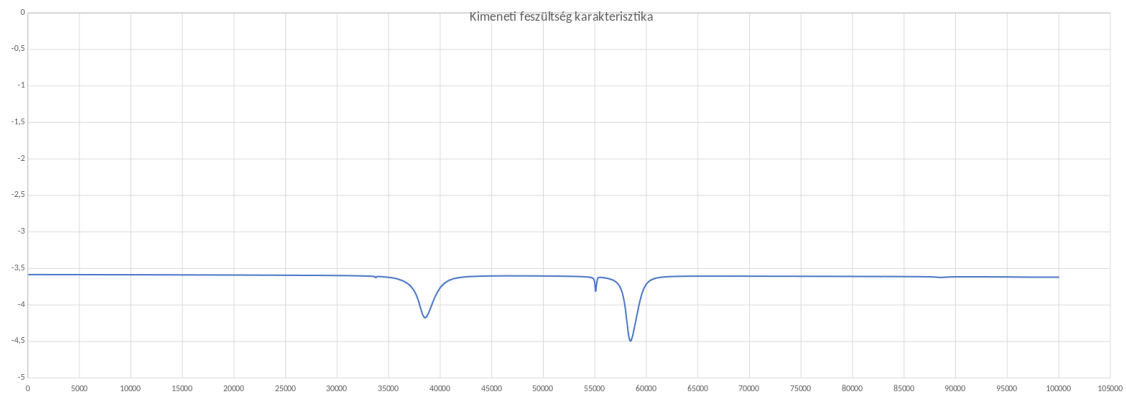
4.1.2. ábra. A mérési összeállítás kapcsolási rajza (Tina)

A VF1 ponton egy oszcilloszkópot tettünk a jelek folyamatos vizsgálatára. Az R1-es ellenállás a jelgenerátor belső ellenállása. A terhelő impedancia függvényében ezen jelentősen változik a feszültségesés. A mérést 100 Hz-100 kHz tartományban végeztem $\Delta f=50$ Hz lépésközzel.

Automatizált mérést végeztem Agilent VEE programozási környezetben. Az eredményeket számítógép utófeldolgozáshoz fájlba rögzítette.

Eredmény kiértékelése

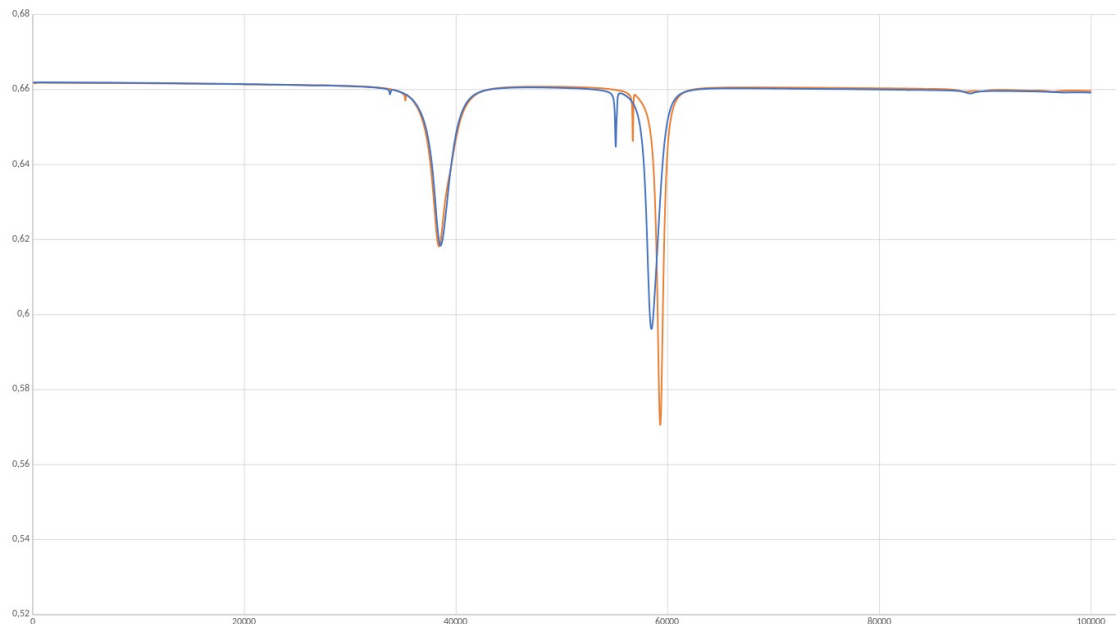
Az ultrahangos adó feszültségének frekvenciafüggése az 1. minta esetén. Készítettem egy szemléltetés diagramot, a mérési eredményekből. Jól látható, hogy a feszültség lényegesen változik a frekvencia függvényében. Ez számomra azt jelenti, hogy vannak bizonyos rezonancia frekvenciái, amin az adó impedanciája lecsökken. Így nagyobb áram tud folyni rajta, és nagyobb teljesítményt képes leadni, azaz ezeken a frekvenciákon érdemes használni az eszközt a 4.1.3 alapján.



4.1.3. ábra. A Kimeneti feszültség (V) a frekvencia (kHz) függvényében (alapharmonikus: 38650 Hz)

Megfigyelhető, hogy nem egy kiugró érték van, hanem több jelentős rezonancia pontot is mértem, és számos kisebb változása van. Ezekre az eredményekre nem számítottam, ugyanis a gyártó csupán egy ilyen rezonancia frekvenciát adott meg. Mivel fenn áll a lehetősége, hogy csupán egy hibás adót vizsgáltunk, ezért ugyan ezt a mérést elvégeztem egy másik azonos típusú adó példányán is.

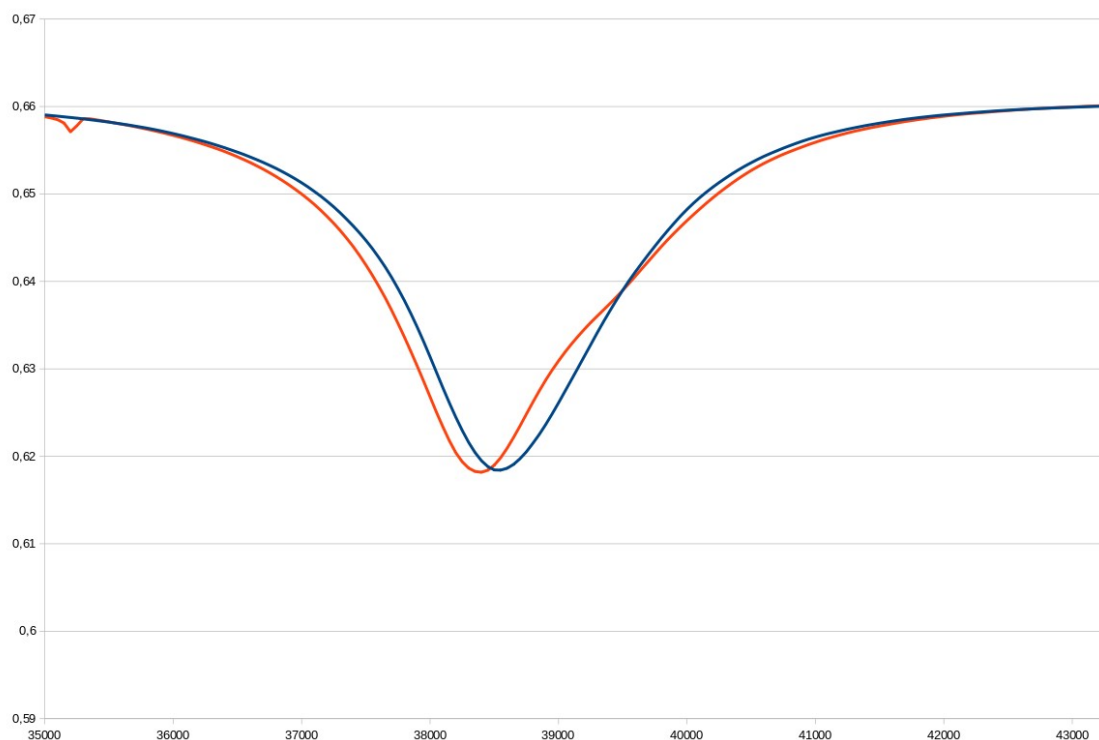
Jobban látható a különbség közös grafikonon ábrázolva.



4.1.4. ábra. A Kimeneti feszültség (V) a frekvencia (kHz) függvényében (kék 1. minta, piros 2. minta)

Rögtön szembetűnő, hogy rendkívül hasonló a két grafikon, de nem tökéletesen illeszkedik a két kép egymásra, főleg a gyártó által nem említett pontokban kiemelkedő az eltérés. Sajnos számunkra jelentős helyen sem kellően pontos a két karakterisztika.

Vélhetően a piezo rezonátor geometriai méreteit nem sikerül pontosan tartani a gyártás során, gondoljunk a pontos fémezés méretére, így a parazita módusok megjelenésében is jelentős különbségek vannak.



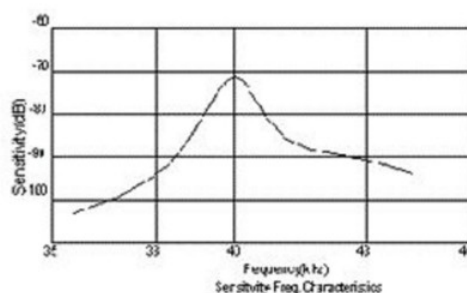
4.1.5. ábra. Kimeneti feszültség (V) a frekvencia (kHz) függvényében az alapharmonikusok az 1. és 2. mintán (kék 1. minta, piros 2. minta)

Alkalmazásom szempontjából az alapharmonikust részletesen megvizsgálva a következőt láthatjuk a 4.1.5 ábrán. Kinagyítva a 40 kHz környékét, nem csak az szembeötlő, hogy nem egyezik a két karakterisztika. Pontosán a táblázatból tudható, hogy az első számúnak a mért legalacsonyabb feszültsége 40 kHz környékén 38550 Hz-en mértem míg a másodikét 38400 Hz-en mértem ez 150 Hz különbség. Továbbá a két érték azt is jól mutatja, hogy a gyártó által ígért 40 kHz-es közepes frekvenciát, de még az általuk megszabott tűrést sem teljesíti a szenzor.

3	Center Frequency	KHz	40 ± 1
---	------------------	-----	------------

4.1.6. ábra. A gyártó által megadott közepes frekvencia (i10)

D. INPUT VOLTAGE/S.P.L CHARACTERISTICS



4.1.7. ábra. A gyártó által az adatlanban megadott érzékenység karakterisztika (i10)

Az alkalmazás szempontjából aggodalomra adhat okot a 4.1.7 ábra szerinti 3-5 dB érzékenység ingadozás.

Értékelés összegzése:

A mérés eredménye alapján elmondható hogy, több frekvencián is képes adni jó teljesítménnyel az adó. Amennyiben azonos fázisban azonos teljesítményt szeretnénk vele adni meg kell válogatni az alkatrészeket az alkalmazásunkhoz.

4.2 A hullám láthatóvá tétele

A dolgozat korai szakaszában már megfogalmazódott bennem, hogy rendkívül fontos lenne egy szemléletes kép készítése, az ultrahang irányításáról. Sokkal látványosabbnak gondolom, mint szám adatok változása alapján következtetni a hang meglétére.

Ennek a problémának a megoldásra kerestem választ.

Membrán mozgásának vizsgálata fény segítségével

Az első, amivel találkoztam, mint hang láthatóvá tételi mód egy membránra ragasztott kis tükör darab. Ezt a tükröt egy lézerrel világítjuk meg, és a membránba ütköző hanghullámok megrezegtetik azt. A rezegtetéssel megmozgatják a tükröt is, amitől a lézer visszavert nyaláb látványosabb elmozdulása látható. Ez a megoldási mód sajnos számomra nem volt alkalmas,

mert lézerrel nem rendelkezttem, valamint a rendszer nagy légmozgásokra képes csak reagálni, az általam használt ultrahangos adó viszonylag aránylag kis teljesítménnyel rendelkezik. Ezért más megoldást kerestem.

Ultrahang megfigyelése füstkamrában

Gondolkodtam egy füstkamrán alapuló megoldáson. Ebbe a füstkamrában bocsájtottam volna ki a hangot, egy síkban szórt lézer sugárral. A füst a levegővel együtt mozogva, amit az ultrahangos adó mozgatott, egy nagy sebességű kamera rögzíteni tudta volna, hogy milyen irányban alakul ki hullám. Ez a megoldás a nagy sebességű kamera hiánya miatt sajnos nem volt megvalósítható.

Ultrahang megfigyelése füstkamrában állóhullám segítségével

A harmadik módszert valósítottam meg, melyhez szintén füstkamrára volt szükség. A megépítésénél azt használtam ki, hogy állóhullámmá alakítható a hullám, így nem kellett a nagy sebességű kamera. Elegendő volt pontos távolságra elhelyezni az adót, és a reflektáló felületet.



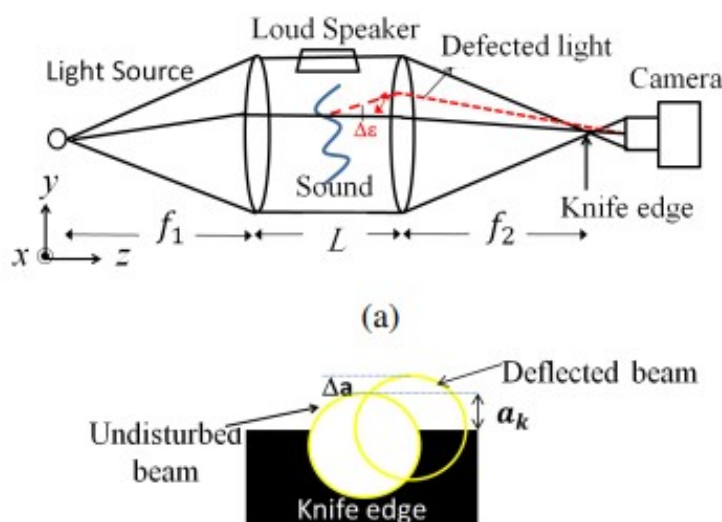
4.2.1. ábra. Füstkamrában elhelyezett ultrahangos adó (saját kép)

Ez a megoldást több formában is igyekeztem elkészíteni, de teljes sikert egyik se hozott. A legnagyobb gondot, a nehéz távolságbeállítás okozta, ugyanis a fél hullámhossz 4,26 mm. A

másik nagy problémát az egyéb légmozgás kizárása okozta. A fentebb látható kép tűnik a legsikeresebbnek, mégis, számomra nem volt kellően meggyőző.

Schilleren-optika alkalmazása

Így jutottam el, a következő módszerhez, a Schilleren optikai megoldáshoz. Ez a megoldás főként áramlások láthatóvá tételére szokták alkalmazni (mint pl.: hőáramlás, hang vagy különböző járművek légellenállásának vizsgálatára)



4.2.2. ábra. A mérési összeállítás szemléltető ábrája (Nachanat et.al.)

A megoldást jól szemlélteti a 4.2.2 ábra. A módszer lényege, hogy egy fényforrás elé domború lencsét helyezünk, amitől a fény párhuzamos sugarakban halad tovább. Ezek a fénysugarak viszont csak abban az esetben maradnak párhuzamosak, amíg a közeg homogén. Amennyiben a levegőt például elkezdjük melegíteni, a sűrűsége megváltozik, és fénytörést szenved el a fény. Ez a fénytörés eljut a következő lencséig, ami szintén egy domború lencse. Az ábrán jól látható, hogy a párhuzamosan érkező fény egy pontba fókuszál. Azonban (piros szaggatott vonallal jelölt vonal) ami nem párhuzamos a többi fénysugárral annak az útja kissé eltolódik. A mérési leírás (Nachanat e.a) egy késpengét használ a párhuzamos fények szűrésére. Ezt a 4.2.2. ábra alján látható rajz mutatja, ugyanis a párhuzamosan érkező fény nagy része a késbe ütközik. Azért van szükség erre a megoldásra, mert rendkívül kevés fényváltozást eredményez

a levegő sűrűségváltozása miatt bekövetkező fénytörés. Ezzel a módszerrel nagymértékben csökkenthető az általunk érzékelt nem lényeges fény mértéke. Továbbá az ezután keletkező képet közvetlenül egy nagy sebességű kamerával vették fel.

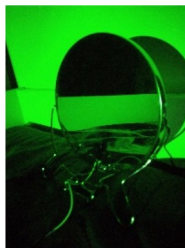
5 Ultrahang detektálása

Az ultrahang detektálásához a gyakran alkalmazott Schilleren optikai összeállítás alkalmaztam több módosítással.

5.1 Mérés eszközei

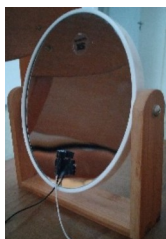
Az általam használt eszköz egy superbright zöld LED. A vizsgálataimat elején fehér színű, később zöld színű LED-del végeztem, hogy a mérést a fény spektrumképe kevésbé befolyásolja, továbbá a zöld színre az emberi szem érzékenyebb és a spektrum képe az egyik legkeskenyebb.

Egy tükört vásároltam erre a célra az innotech shopból.



5.1.1. ábra. A homorú tükör támasztékkal 16,5 cm 270253 (Innotech)

A tükör minőségi paraméterei (életlen fókuszpont) miatt ez kevésbé felelt meg.

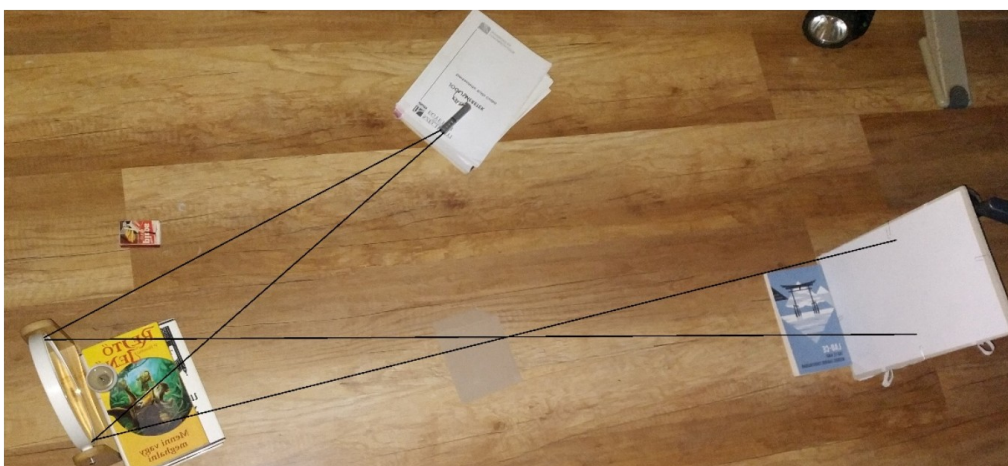


5.1.2. ábra. A homorú tükör (jobb minőségű) (beszerzése: nem ismert)

A mérési összeállításom pedig az 5.1.3 ábra mutatja.

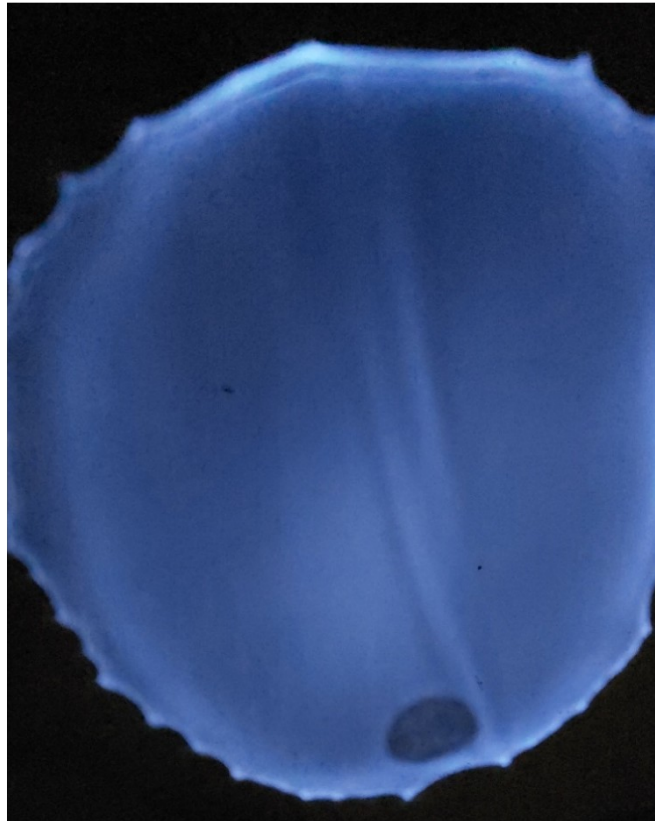


5.1.3. ábra. A mérési összeállítás. A könyvek a középtengelyt egyensúlyozzák ki. (saját kép)



5.1.4. ábra. A Schilleren optikai össze állítás a fény két szélsőséges útját fekete színnel jeleztem (saját kép)

Az általam összeállított kísérlet a következő módon valósult meg. Egy fényforrást helyeztem közel fókusz távolságba és a látható módon helyeztem el. Közel kétszeres fókusz távolságba, pedig egy felfogó ernyőként szolgáló fehér papírlapot. Ez az optikai összeállítás a leglátványosabb kísérletre már így is alkalmas, ami a meleg levegő áramlását detektálja. A következő képen egy a tükör elé helyezett mécses lángja által keltett áramlás látható. Az összeállítás eredménye, hogy a tükör alkalmas az áramlást láthatóvá tenni.



5.1.5. ábra. A Schilleren optikával készített kép láthatóvá tette a gyertya láng által keltett meleg levegő áramlását (a kép fordított állású az optika sajátossága, továbbá látható még hogy a fehér LED-et használtam)

Nehézségek a megépítés közben

Mivel a hang sebessége rendkívül magas az emberei szem által közel sem érzékelhető ugyanis az emberi szem közel sem képes ekkora frekvenciát érzékelni. 24 képkocka másodpercenként már mozgó képnek látszódik, azonban meg kell jegyezni, hogy közel 80 Hz-ig az erre érzékenyek képesek enyhe villódzást érzékelni egy lámpa villódzásánál. A mi esetünkben a hang is hasonló fényvillódzást eredményez. De még ha érzékeny is a saját szemünk erre az 50-szer gyorsabb villódzást semmiféleképpen se láthatnánk.

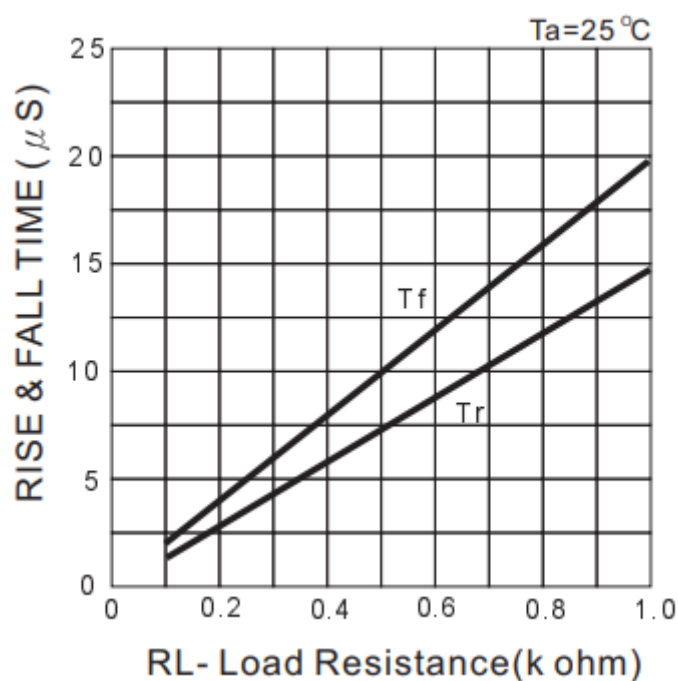
Erre a megoldásra a stroboszkóp hatást kihasználva, állóvá (vagy lelassíthatóvá) tehető a kép. Ez a hatás a következőn alapul. A megvilágító fény ne legyen folytonos, egy fajta villogó fényt használva elérhető, hogy a kép állónak hasson, mint ahogy a filmekben a kocsikerék: amennyiben pontosan 24 fordulatot tesz meg másodpercenként (vagy legalább ahhoz nagyon közeli sebességgel forog) a küllőit állónak láthatjuk. Az iparban bevett dolog, hogy esztergagép felett elhelyezett megvilágító eszköznek szigorúan tilos halogén fénycsővet használni, ugyan is a fénycső nem folyamatosan világít, hanem 100 Hz-en villogó fénye van.

Ez a villogás pontosan megegyezik a szinkron gép közel terheletlen fordulatszámának a frekvenciájával. Vagyis a forgó gép tengelyét mindig ugyan azon pozíciójában lenne megvilágítva, ami baleset forrása lehet. (3 fázisú világítással ez kiküszöbölhető.)

Első próbálkozásként egy superbright zöld LED-et szerettem volna 40 kHz négyszögjellel megvilágítani. Erről viszont nem lehettem teljes bizonyossággal meggyőződve, hogy működik a LED ilyen magas frekvencián. (Gondoljunk a monitorok és TV-k utóvilágítás adataira).

LED - fototranzisztor pár működési frekvenciájának vizsgálata

A működés validálásához újabb vizsgálatra volt szükség. Ezt úgy tehettem meg, hogy HPTB3J-44D fototranzisztort teszteltem. Ez a típus a gyártó által megadott adatai alapján képes akár $2\mu\text{s}$ alatt is változtatni az áram értékén, ami 50 kHz.



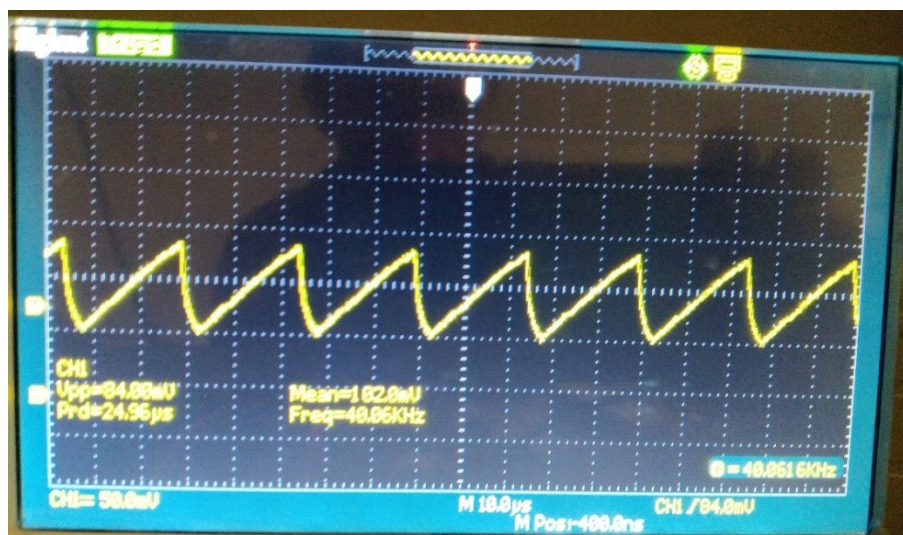
5.1.6. ábra. A gyártó által biztosított adatlapból, az ellenállás változás és a sebességének az összefüggése (ill)

Ez azt jelenti, hogy a grafikon alsó szakaszán lévő tartományt használtam.

Az eszköz megóvása miatt nagy munkaellenállás használatával végeztem mérést, mivel féltetem az alkatrészt a nagy áramoktól. Így viszont helytelen eredményt kaptam.

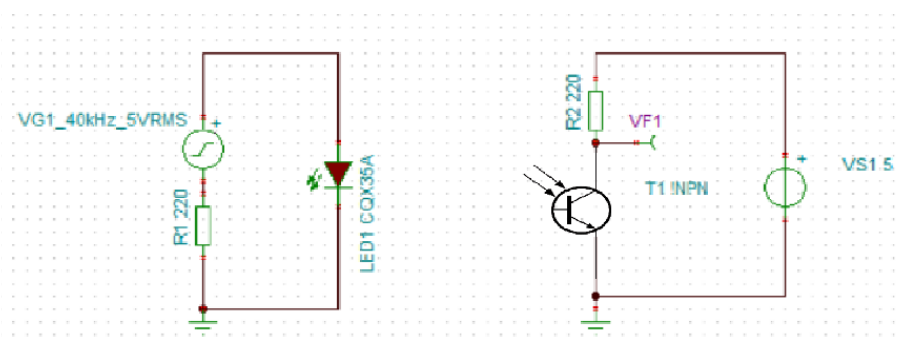
Ugyan észlelhető volt a fényváltozás hatása, de csak az egyenáramú komponens leszűrésével. Ez arra engedett következtetni, hogy az utóvilágítás valóban nagy szerepet játszik a mérés sikerességében. Ezt jeleztem a konzulensemnek, ő hívta fel a figyelmem, hogy kisebb

ellenállás használatával a mérés validálható. Ezt az áramköri elemet kicserélve ($220\ \Omega$ -ra) sikeresen le tudtam mérni a fény villódzásnak a frekvenciáját.



5.1.7. ábra. Az oszcilloszkópól készített fotó bizonyítja, hogy a fényváltozás feszültség szint változással járt. (saját kép)

A képen az értékek kissé nehezen olvashatóak, mégis látható, hogy 40 kHz-en váltakozik a fényintenzitás és egy kis egyenáramú komponens is tartalmaz (háttérfény). A végleges mérési összeállítás a LED kapcsolási sebességének validálásához az 5.1.8. ábrán látható.

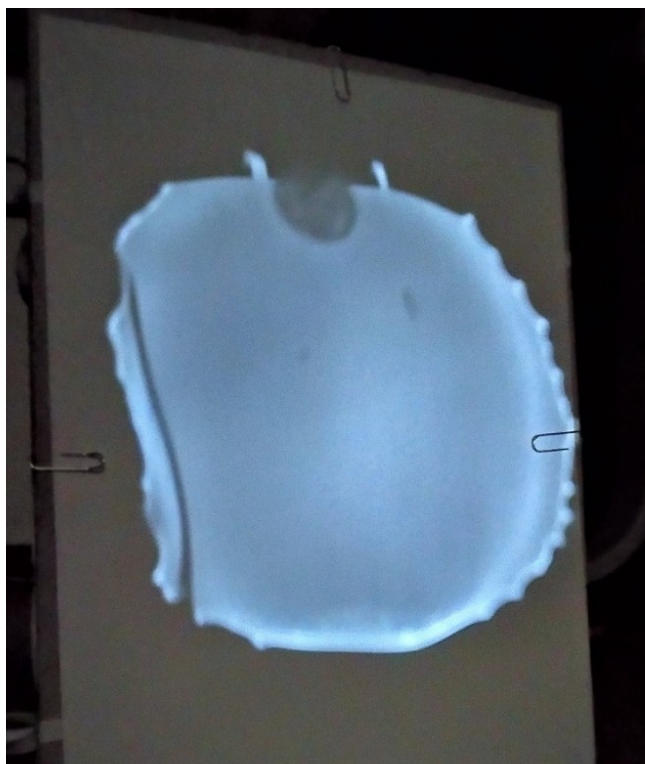


5.1.8. ábra. Az optikai adó és az optikai szenzor kapcsolási rajza (Tina) a LED működésének validálásához

5.2 Ultrahang vizsgálata optikai érzékelővel

Az elkészült kép és elemzése

Ezek után már a rendelkezésemre állt egy tükör, ami képes az áramlást láthatóvá tenni, továbbá egy stroboszkópként működő LED. Ez a két eszköz szükséges a hang láthatóvá tételéhez, a tükör elé helyezett és gerjesztett adóval. A mérést összeállítottam több alkalommal, fotókat készítettem az ernyőről, amin a keletkező képet kellett volna kapnom, azonban egyszer se kaptam a várt képet.



5.2.1. ábra. Egy sikertelen kép az ultrahangról (saját kép)

Sokszori sikertelen próbálkozás után újabb módszerhez folyamodtam, amit eddig más forrásban nem találtam. Elhagyva a stroboszkóp effektust, folyamatosan megvilágítva az ernyőt, fototranzisztort tettem oda az ernyőn, ahol várhatóan hullámnak kell megjelennie. Első alkalommal csupán egyet.



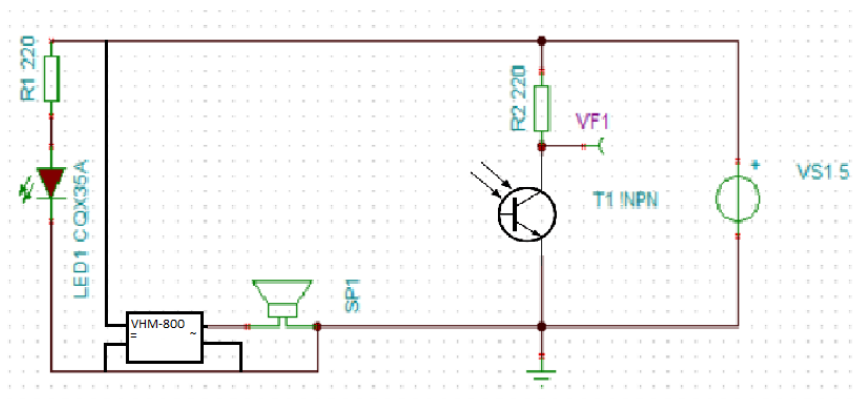
5.2.2. ábra. A Mérés közbeni kép, a tetején látható a megvilágító egység, az optika által megvalósuló kép jobb oldalán látható folt az ultrahangos adó a várható hullámok útjába pedig a fototranzisztor (saját kép)

Rendkívül nagy örömmre detektáltam egy 40 kHz-es jelet a tranzisztoron. Sajnos véletlenül előbb kapcsoltam ki a fényforrást, mint a hangforrást. Ez újbóli kedvezőtlen eredménnyel járt számomra. Ekkor meg kellett volna szünnie a jelnek, mégis továbbra is szinte változatlanul látható volt.



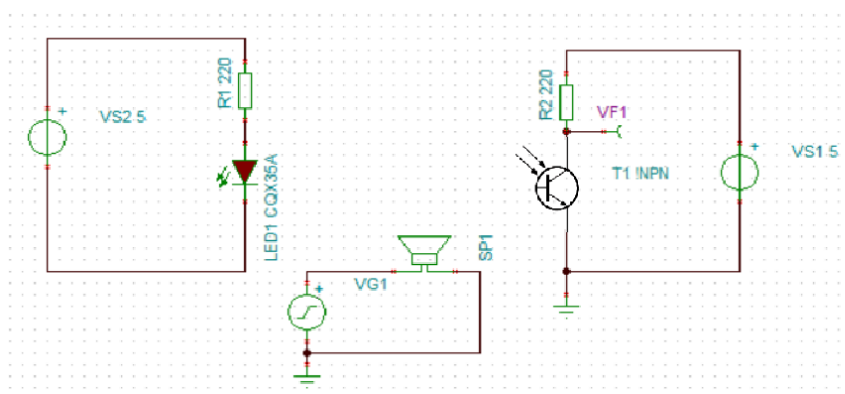
5.2.3. ábra. A megtévesztő zavar hibásan detektált ultrahang képe (látható nagy mennyiségű zavar) (saját kép)

Ez egy eddigi ismeretlen probléma forrása lehet. Első gondolatom az árnyékolatlan vezetékek közötti áthallás volt. Ezért a vezetékeket távolabb helyeztem egymástól, de nem javult a helyzet. Ez arra enged következtetni, hogy mivel a kapcsolást, otthon végeztem a saját eszközeimmel a mérési összeállításban kell a problémát keresni. Véleményem szerint a VHM-800-as frekvenciagenerátor volt az az eszköz ami visszahatott a tápegységre.

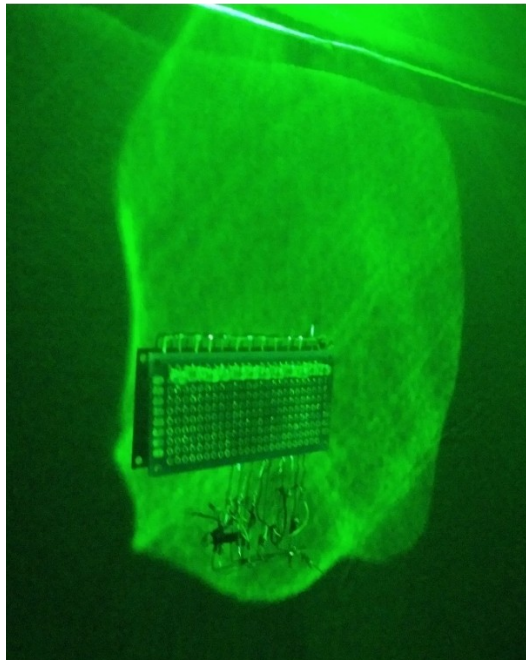


5.2.4. ábra. A hibás mérési összeállítás kapcsolása (Tina)

Lehetőségem volt az egyetemen megismételni ezt a mérést, és szerencsére nem tapasztaltam ezt a hibás jelenséget. Így, hogy megfelelő módon el tudtam végezni a mérést, már láttam az értelmét a módszert tovább bővíteni. Vettem további 12 db azonos típusú fototranzisztort ezeket egy nyáklapra forrasztva végeztem további méréseket.



5.2.5. ábra. Az áthallásmentes, helyes mérési összeállítás (Tina)



5.2.6. ábra. A képen látható több fototranzisztor egymás mellé forrasztva egy vonalát vizsgálata, továbbá a megvilágító fény is változott zöldre, hogy a fény hullámhossz kevésbé lehessen befolyásoló tényező (saját kép)

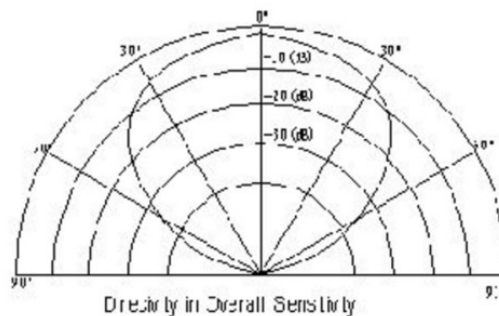
Így tudtam egy vonal mentén vizsgálni a fény erősségét, akár nagyobb sebességen is, mint amit képesek vagyunk szabad szemmel meglátni. A képen látható mérési összeállításnak a mérési eredménye látható. A függőleges tengelyen a feszültség csúctól csúcsig tartó értékét ábrázoltam, míg az alsó tengely címei az adott fotó tranzisztorok sorszáma.



5.2.7. ábra. A mérési eredmény táblázatba foglalva

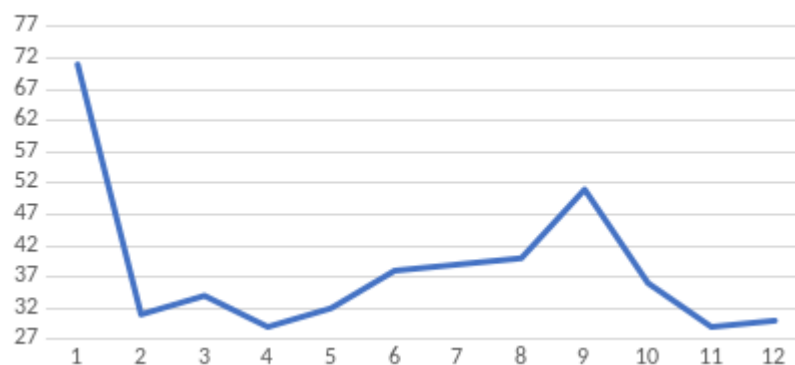
Jól látható az éles ugrás a 7. és 8. érzékelő között jelentős ugrás. Ez arra enged következtetni, hogy ott található a főnyaláb. További érdekesség, hogy a 3. is egy kiugró értéket mutat,

amiről a gyártó szintén nem adott információt, pontosabban egy nyalábot rajzoltak csupán az iránykarakterisztikán.



5.2.8. ábra. A gyártó által biztosított iránykarakterisztika (i10)

Készítettem egy további mérést a másik tükör használatával is. Érdekelt, hogy a tükör, aminek több fókusz pontja is van, és az adott képe nem homogén, vajon milyen eredményt produkál a mérés során. A függőleges tengelyen a feszültség csúcsától csúcsig tartó értékét ábrázoltam, míg az alsó tengely címei az adott fotó tranzisztorok sorszáma.



5.2.9. ábra. A hibás tükörrel végzett mérés eredménye

Látható az adatokból készített diagramon, hogy a zavarok jelentősebbek, a mért eredmények is egy nagyságrenddel kisebb, ugyanis a fókusz távolsága, közel 2x-e volt a másik tükörhöz képest. Ezért a fényforrásból származó fényből nagyobb távolságban lényegesen kevesebb jutott a tükörbe. Érdekes megfigyelni, hogy amennyiben az 1. mérést hibásnak tekintjük, a 9. mérés úgy tűnik kiugró értéket képvisel. Azonban úgy gondolom ezzel a típusú tükörrel nem végezhető pontos mérés mivel elképzelhető, hogy egy a készülő kép a több fókusz pont miatt eltolódik, más pontra helyeződik.

5.3 Ultrahang vizsgálata professzionális optikai tükörrel

A fentebb le írt kísérletek után a konzulensem fáradhatatlan munkája miatt, fény derült arra hogy az egyetemünk egy karán található egy ilyen optikai eszköz amire szükségünk volt. (Ez a kar már a korábban jármű közegellenállás vizsgálatára használta.) A fentebb említett kísérletek után került sor ennek a tükörnek a használatára.



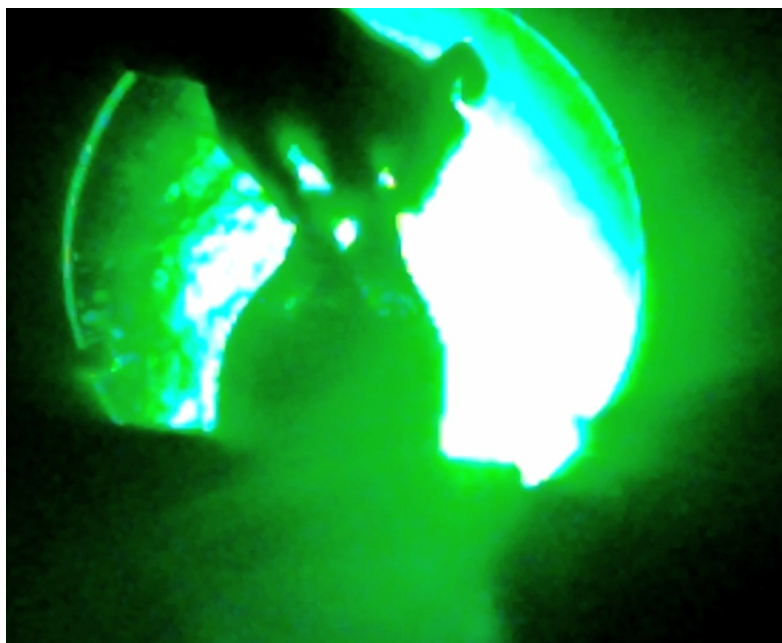
5.3.1. ábra. Egyetemi Schilleren optika

A kísérlet összeállításában különbség a korábbiakhoz képest főként a méretekben található, ugyan is ennél a kísérletnél a tükör fókusz távolság 10 m, és a tükör átmérő is lényegesen nagyobb volt. A főbb változtatás után ismét több kísérletet is végeztünk. A kéz hő áramlását továbbá a gyertyás kísérletet többször is elvégeztem.



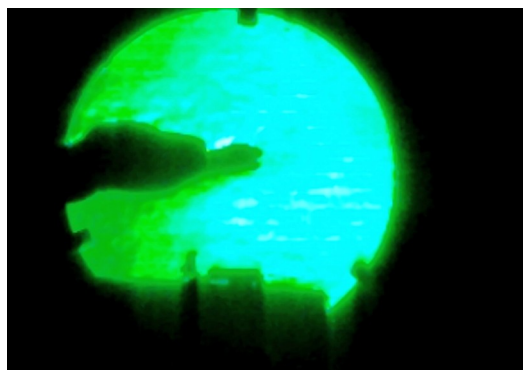
5.3.2. ábra. Ernyőn felfogott gyertya láng

Ezek után továbbá próbáltam ismét az ultrahangot lefényképezni. Kezdetekben továbbra is a felfogó ernyővel szerettem volna meglátni a képet, azonban ez nem hozta rögtön a várt sikert. A korábbiakban már feltételezett elméleteket ugyan úgy alkalmaztuk. A stroboszkópként megvilágító LED kitöltési tényezőjét alacsonyra be állítva nagy feszültséggel használva, hogy a kibocsájtható fényt maximalizáljuk. Továbbá pengével az információt nem hordozó fényt leválasztva. Továbbá $10V_{RMS}$ -al gerjesztett ultrahangos adó mellett. Egy estén mikor nem volt jelentős a külvilágból érkező fény szabad szemmel látható volt a felfogó ernyőn az ultrahang. Ezt több módszerrel is próbáltuk megörökíteni, azonban (a hosszú záridő, fókusz beállítások, blende be állítások, ISO módosítások) mind hiába valóak voltak a rendkívül minimális fény különbség miatt nem volt látható a fotón az ultrahang. Ezen felbátorodva kezdtünk el új módszerbe. Miszerint egy kamerába a fényt közvetlenül irányítjuk. Ezzel a eljárással a kéz hő áramlását az üdítő palackban lévő túlnyomásnak a ki engedése továbbá a gyertyás kísérletet többször is elvégeztük.

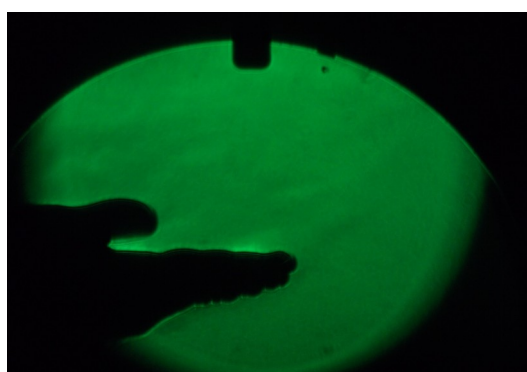


5.3.3. ábra. Üdítő palackból ki áramló levegő

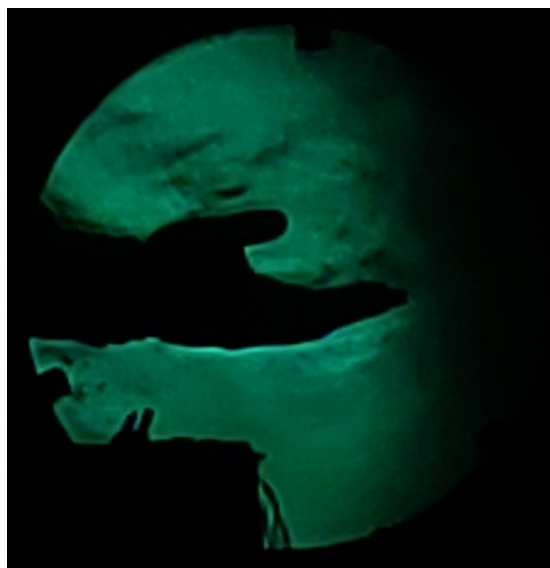
A korábbi képekkel össze vetve már az alap kísérletek is lényegesen látványosabbak voltak. Ez után a kamerában kerestük a hibát ugyan is úgy véltük az lehet a leggyengébb láncszem. Mivel kezdetben az én Telefonomat használtam Nokia 5 (TA-1234), Ez után egy Fujifilm FinePix S2950 digitális fényképezőgépet használtam. Végül egy Samsung A52 SM-A525F/DS telefont használtam.



5.3.4. ábra. Nokia 5 (TA-1234) Telefonnal készített kép

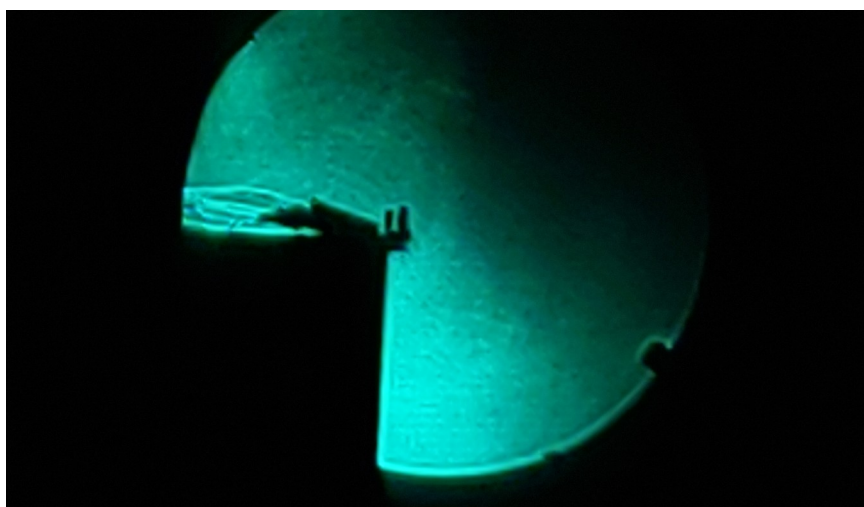


5.3.5. ábra. Fujifilm FinePix S2950 digitális fényképezőgéppel készített kép



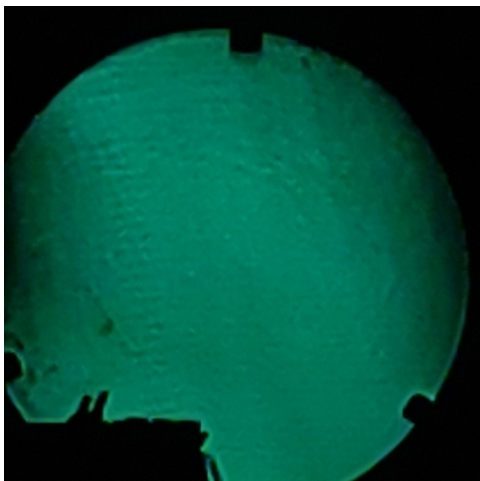
5.3.6. ábra. Samsung A52 SM-A525F/DS okos telefont készített kép

Látható hogy, azonos kísérleti összeállítás mellett a fényképező gép nagyban befolyásolta az eredményt. A három képből sajnos a Nokia márkájú telefon nem tudott kellő élességet biztosítani hogy, jó képet készítek vele. A fényképezőgép megfelelő lett volna de mivel ehhez a kísérlethez lett beszerezve nem sajátítottam el a kezelését annyira hogy érdemi felvételt tudtunk volna vele készíteni. A Samsung telefon már lényegesen könnyebben kezelhetőbb volt a két korábbinál, és kellően sok beállítási lehetőséget biztosított ahhoz hogy éles képet készíthessünk. Mi után sikeresen megtaláltam a legjobb kép készítő eszközt ami a rendelkezésünkre állt, megkezdtük az ultrahanggal való kísérletezést. Többszöri próbálkozás beállítási nehézség után készítettem ezt a képet.

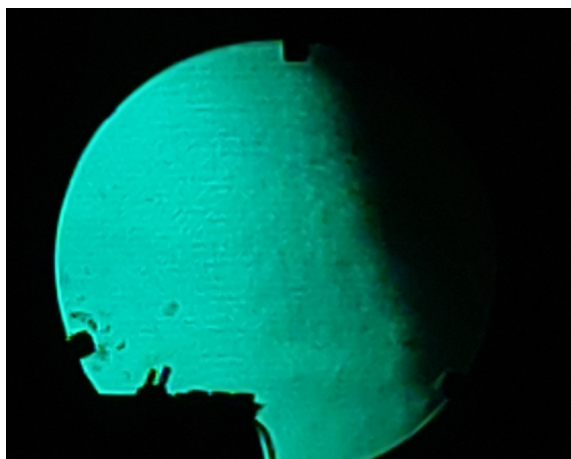


5.3.7. ábra. Első sikeres fotó m az ultrahangról

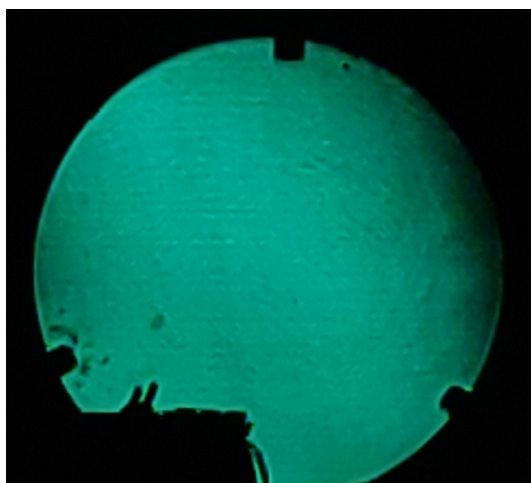
A kép különlegessége, hogy 5 órányi sikertelen próbálkozás után tudtam lencsevégre kapni, ami azt eredményezte hogy, rendkívül fáradt voltam és elsőként nem hittem a saját szememnek. A záridő hossza miatt ($1/4000$) a kép csíkos volt így könnyen össze keverhettük az ultrahangot a kép készítési sajátosság miatt keletkező csíkokkal. Ezért láthatóan nem függőlegesen keltettem a hangot hanem szögbe állítva tudtam ezt a hibát kiküszöbölni. Továbbá hogy a fáradtság biztosan nem csapta be a szemünket egy további kísérletet tettünk a kép készítésekor. A kép készítő nem tudta hogy, mikor zárom az áramkört (az az keltem a hullámot), azonban kép alapján meg tudta ítélni azt. Így biztosak lehettünk a kép hitelességében, ugyan is sikerrel meg tudta ítélni mikor keltem a hullámokat. Az irányított ultrahangról készült képek:



5.3.8. ábra. A függőlegestől bal oldalára irányított hang



5.3.9. ábra. Függőleges irányított hang



5.3.10. ábra. A függőlegestől jobb oldalára irányított hang

A képek még mindig nem a legtokéletesebbek főleg a melléknyalábok nem jól kivehetők. A fő nyaláb sem teljesen folytonos, azonban úgy gondolom az eszközeinkből ez volt a legtöbb amit ki tudtunk hozni ennyi idő alatt. A főbb irányok jól láthatóak a képeken vagyis irányítani képesek vagyunk az ultrahangot. Ezért végeztem további méréseket, hogy a távol térben a melléknyalábokat valóban nem jelentősek vagy csupán a mérési össze állítás volt pontatlan.



5.3.11. ábra. A mérési össze állítás

Az ultrahang keltését a későbbiekben részletezem.

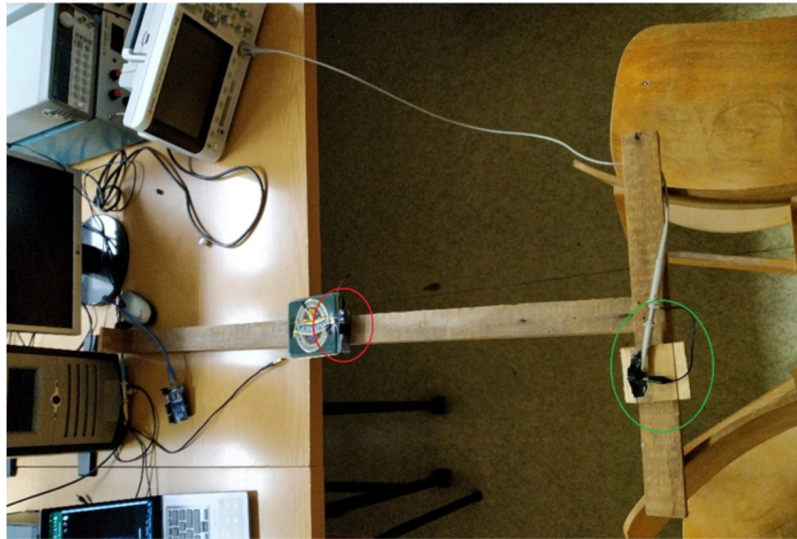
5.4 Irányított ultrahang vizsgálata

Mérés során felhasznált eszközök:

- Jelgenerátorok: Hewlet Packard 33120A, 3 db
- Vizsgált Ultrahangos adó: CAMDENBOSS CTD40K1007R
- Ultrahangos vevő: TCT40-16R/T 40KHZ

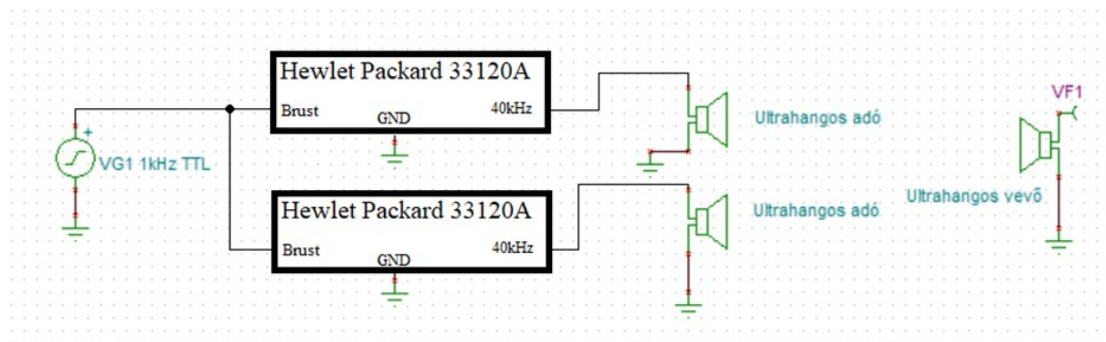
A képen látható eszközzel végeztem a mérést, aminek a lényege, hogy a mérés egységesítve legyen. Egyes mérési körülmények azonosak maradjanak. A mérési össze állítás arra szolgált, hogy merőleges legyen egymásra az adó és a vevő. Így kis hibát véve a kísérletbe. A mérés különlegessége hogy a két adót két külön jelgenerátorról működtettem, így megvalósítható volt a fázisban való eltolás.

Mérési össze állítás:



5.4.1. ábra. Mérési összeállítás (saját kép)

Kapcsolási rajz:



5.4.2. ábra. Mérés kapcsolása (Tina)

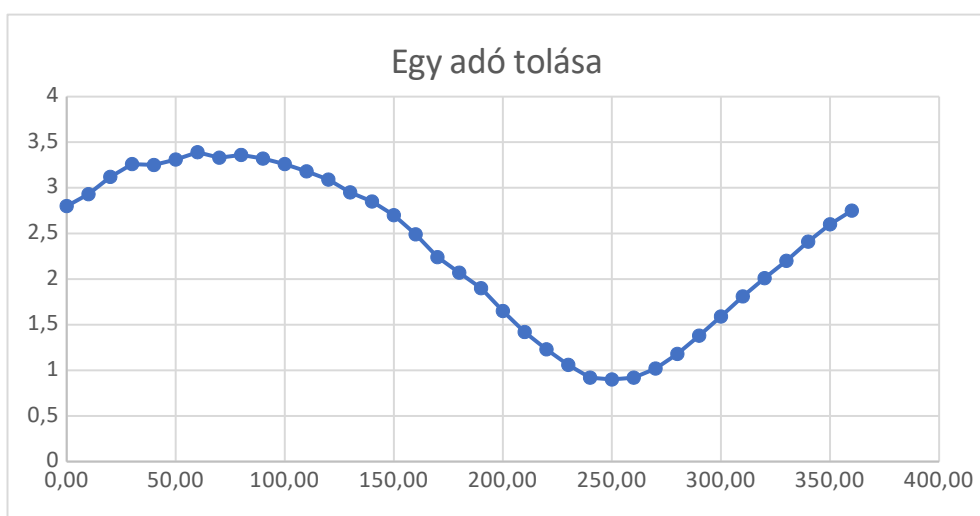
Jól látható a kapcsolási rajzból, hogy a fázisban való eltolást hogy lehetett megvalósítani. Egy VG1-el jelölt jel generátort használtam (azonos típusú mint a másik kettő Hewlett Packard 33120A) Ezzel a generátorral egy indítójelet biztosítottam ami szinkronizálta Burst üzemmódban a két generátort. Ebben a beállítási módban lehet $\pm 360^\circ$ -ban fáziseltolást alkalmazni a generátor indítójéléhez képest, miközben a burst hossza 1...50000 periódus vagy végtelen lehet.



5.4.3. ábra. Brust fázisban eltolt jele, 2 periódus a szemléltetéshez (saját kép)

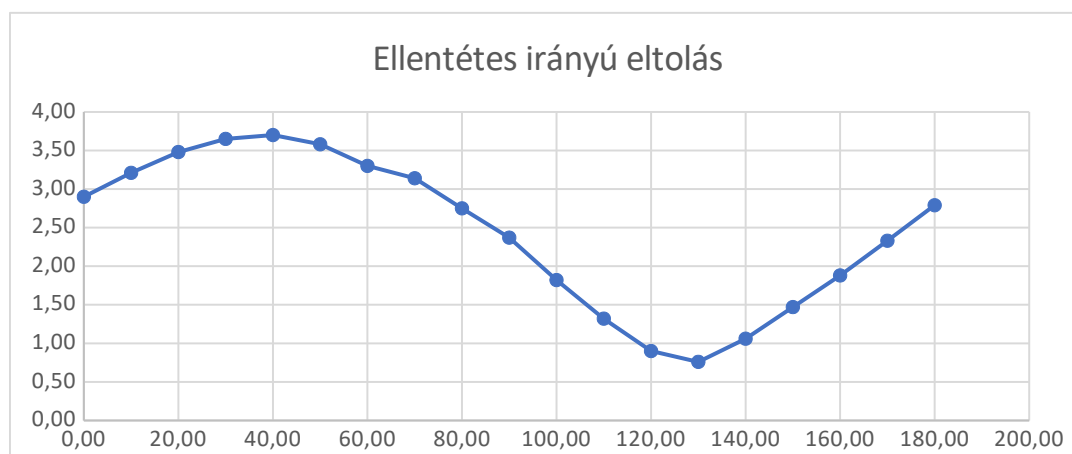
Mindegyik mérést egységes távolságról végeztem 97,6 cm elhelyezve az adót a vevőtől. A korábban ismertetett módon vizsgáltam az adókat kezdetben 3-at szerettem volna használni de nagyon eltérő rezonancia frekvencia miatt kettő alkalmazása mellett döntöttem ezek rezonancia frekvenciája 40,7 kHz és 40,3 kHz. (A nem használté 38,025 kHz-volt.)

A mérés során a fix helyzetben lévő adók és vevőkkel végeztem. Az első mérés alkalmával 10°-onként eltoltam az egyik adó fázisát. A vevővel a V_{RMS} értékét mértem a vevőn. Ezeket az adatokat vevőre kapcsolt oszcilloszkópból olvastam ki és az eredményeket táblázatban összesítettem és grafikonban ábrázoltam. A grafikon jól szemlélteti hogy, kialakult egy maximum érték amiből jól következtethetünk a nyaláb széttartására, ugyanis az adóra kapcsolt fázistolás arányos a kialakuló hullám irányával.



5.4.4. ábra. Egy adó eltolása fázistolás függvényében a mért ultrahang (mV)-ban

A második mérés során szintén 10° -okként toltam el a fázist azonban míg az egyik adóon pozitív irányban addig a másik adóon negatív irányban. Ez egy szemléletes példa hogy, lehet a nyaláb irányát megváltoztatni.



5.4.5. ábra. Két adó eltolása fázistolás függvényében a mért ultrahang (mV)-ban

Értékelés:

A mérés sikeresnek tekinthető összességében ugyanis a mérési eredményekben a fázistolásnak megfelelően tolódtak a helyi maximum értékek is. Érdekessége hogy a szemmel merőlegesnek látszó adó és vevő nem volt valószínűleg tökéletesen merőleges ugyan is abban az esetben 0° -nál maximum értéket kellett volna mérni. Ez azt jeleneti számomra hogy, vagy a forrasztás során történt egy nem kívánt szög kialakulása, vagy a mérés során nem volt tökéletesen szemeben a két eszköz.

6 Összefoglalás

A mérésekből jól látható, hogy az ultrahangos síkhullám 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 síkhullám 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.

7 Köszönetnyilvánítás

Ezt a fejezetet azért tartom fontosnak, hogy helyet kapjon a dolgozatban, mivel rendkívül sokan segítettek munkámat. A nyár folyamán amikor a témában részletesebben elkezdtem kutakodni és a láthatóvá tételt opciót vizsgáltam Dr. Giczi Ferencsel, tanszékvezető egyetemi docens úrhoz fordultam tanácsért, aki segített a kezdeti nehézségekben. Az év megkezdésével konzulensem lett Dr. Fehér András egyetemi docens és Dr. Nagy Szilvia egyetemi tanár. 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, ő tanácsolta, hogy konzultájak Dr. Berta Miklós egyetemi docenssel, akivel több konzultációt is tartottam és rendkívül érdekes kérdések merültek fel a vele tartott konzultációk során, mint a LED utóvilágításának kérdése. Továbbá a professzionális optikai tükörért: Dr. Vehovszky Balázs Egyetemi docens Széchenyi István Egyetem Járműfejlesztési Tanszék. Mindenki munkájáért nagyon hálás vagyok és köszönöm nekik az együttműködést!

Irodalom

Nyomtatott irodalom

- (Atmel) Atmel ATmega328P 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System, Programmable Flash DATASHEET (7810D-AVR-01/15)
- (Bogner) Bogner, P., Walter , N., Barta, M., Vandulek, C., Harkányi, Z., Morvay, Z., . . . Balkay, L. (2014). *Az orvosi képalkotás fizikája*. Budapest: Medicina Könyvkiadó Zrt.
- (Donald) Donald, R. (1962). *Hangok és visszhangok*. Budapest: Táncsics Könyvkiadó.
- (Farnell) Ultrasonic Transducer
<https://www.farnell.com/datasheets/2074959.pdf>
- (Levius) Dr. Levius, E. (1992). *Optikai demonstrációs kísérletek*. Budapest: Tankönyvkiadó Vállalat.
- (Mohácsik) Mohácsi Gábor
Ultraszónus rétegvastagság- és rétegtrend-mérés
Anyagvizsgálók lapja, 2001. (11. évf.) 2. sz. 67-68. old.
- (Nachanat et.al) VISUALIZATION OF SOUND FIELD BY MEANS OF SCHLIEREN METHOD WITH SPATIO-TEMPORAL FILTERING Nachanant Chitanont, Keita Yaginuma, Kohei Yatabe, Yasuhiro Oikawa
- (Nagy) Nagy, L., Várkonyi, Z., Kálmán, L., Bálint , E., Laczkó, G., Tandori , J., & Turzó , K. (1992). *Fizika gyakorlatok*. Szeged: Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Egyetem.
- (Octave) John W. Eaton, David Bateman, Søren Hauberg, Rik Wehbring (2022). GNU Octave version 7.2.0 manual: a high-level interactive language for numerical computations. URL
<https://www.gnu.org/software/octave/doc/v7.2.0/>
- (Pellucidum) 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.

- (Sikovanyecz) 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.
- (Tarnóczy) Tarnóczy, T. (1982). *Zenei akusztika*. Budapest: Zeneműkiadó.
- (Teréki) Teréki Csaba : Fázisvezérelt antennarácsok
ZMNE Repülőműszaki Intézet, REPÜLÉSTUDOMÁNYI
KÖZLEMÉNYEK XVIII. évfolyam 38. szám 2006. p. 139-149
- (Tina) Texas Instruments, Tina-TI, Spice-based analog simulation
program
ármkőrszimulációs program
<https://www.ti.com/tool/TINA-TI>
- (Varga D.) Ultrahang-radar
Varga D. 2008. október
- (Veit) Veit, I. (1977). *Műszaki akusztika*. Budapest: Műszaki
könyvkiadó.
- (Visszértágulatok) 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.

Internetes irodalom

- (i1) <https://hu.wikipedia.org/wiki/Ultrahang>
Letöltve: 2022.10.15
- (i2) <http://www.electronics-articles.com/ACOUST041/assets/Elektronikai%20eszk%C3%B6z%C3%B6kben%20haszn%C3%A1lt%20hangkelt%C5%91k.pdf>
Letöltve: 2022.10.15
- (i3) <https://www.meteorologiaenred.com/hu/Hangsebess%C3%A9g.html>
Letöltve: 2022.10.15
- (i4) <http://elmfiz.elte.hu/~bantay/eldin/sugarzas.pdf>
Letöltve: 2022.10.15
- (i5) https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/Ultrahangvizs_alapok.pdf
Letöltve: 2022.10.15
- (i6) <http://contents.acoust.ias.sci.waseda.ac.jp/publications/IEEE/2015/ICASSP-Nachanant-2015Apr.pdf>
Letöltve: 2022.10.15
- (i7) <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termeszettudomanyok/fizika/fizika-9-evfolyam/feluleti-es-terbeli-hullamok-visszaverodese/hullamok-visszaverodese>
Letöltve: 2022.10.15
- (i8) http://www.repulestudomany.hu/archiv/RTK_2006_1.pdf
Letöltve: 2022.10.15
- (i9) https://hu.frwiki.wiki/wiki/Vitesse_du_son
Letöltve: 2022.11.03
- (i10) <https://www.farnell.com/datasheets/2074959.pdf>
Letöltve 2022.11.04
- (i11) <https://www.tme.eu/Document/a24b9461832ac96e5e3959d478f3bcc8/hptb3j-44d.pdf>
letöltve 2022.11.04
- (i12) https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/Ultrahangvizs_alapok.pdf
letöltve 2022.12.31