

KÍSÉRLETEK MODULÁLT ULTRAHANGGAL

Piláth Károly, Vitkóczy Fanni
ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium

Az ultrahangok iránti érdeklődést egy, az Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenye (International Young Physicists' Tournament, IYPT) által közzétett versenyfelhíváshoz kapcsolódó feladat keltette fel. A feladat az optika terén széles körben alkalmazott Fresnel-lencséhez hasonló felépítésű akusztikus lencse tervezése, elkészítése, és működésének vizsgálata volt [1]. A projekt megvalósításához vezető út során felmerülő problémák és megoldásaik olyan új lehetőségeket teremtettek az olcsón kivitelezhető hullámtani kísérletek bővítéséhez, amelyek megosztásra érdemesek e lap hasábjain is.

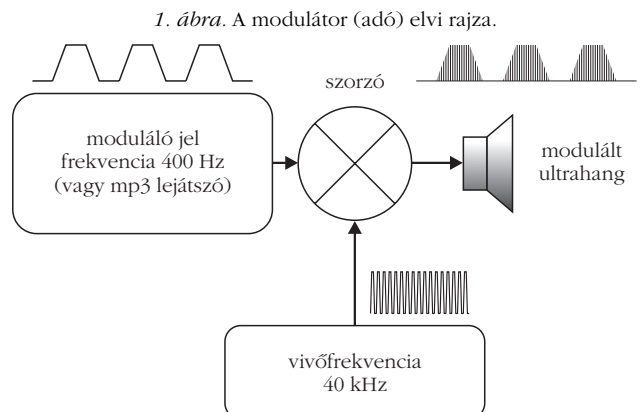


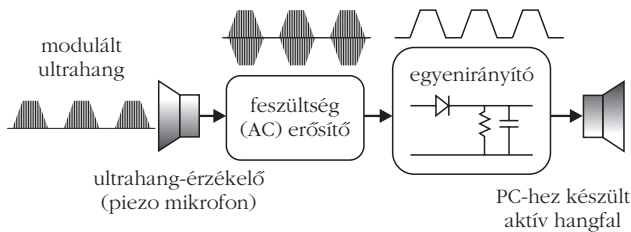
Piláth Károly fizika-kémia szakos tanár 1979-ben végzett az ELTE-n. Ezt 2005-ben informatikatanári végzettséggel egészítette ki a Veszprémi Egyetem Informatika Karán. Korábban a Balassi Bálint nyolc évfolyamos gimnáziumban tanított, majd 2005 óta a Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium tanára. 2013-tól a fizika-informatika munkaközösség vezetője.



Vitkóczy Fanni matematika-fizika szakos tanár, 2016-ban végzett az Eötvös Egyetemen. 2015 óta az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium tanára.

A feladat megoldása során az érdeklődés azért fordult a modulált ultrahangok irányába, mert a hallható hangok frekvenciatartományában egy Fresnel-lencse mérete olyan nagy lett volna, hogy az kezelhetlenné tette volna a berendezés vizsgálatát [2]. Kezelhető méretű (maximum A4) lencse csak az ultrahangok frekvenciatartományában állítható elő. A rövid hullámhossz mellett szükségünk volt egy egyszerű, olcsó indikátorra is. Ehhez fejlesztettünk egy modulált ultrahangot előállító adót és egy demodulátort tartalmazó vevőt. A modulált ultrahang és detektálása egy olyan amplitúdómodulált rádió adóvevőhöz hasonlítható, amelyben a vivőhullámok szerepét az elektromágneses hullámok helyett, az amplitúdómodulált ultrahanghullámok töltik be. A berendezések elvi vázlatát az 1. és 2. ábrán látható. Az adó oldalon (1. ábra) kibocsátott ultrahang (40 kHz, $\lambda = 0,85$ cm) amplitúdóját moduláljuk egy, a hallható hangok tartományába eső jellel (440 Hz). A mo-





2. ábra. A demodulátor (vevő) elvi rajza.

dulált ultrahangot egy piezoelektromos hangszóróval csatoljuk ki a levegőbe.

A vevő oldalon (2. ábra) egy ultrahangra érzékeny piezoelektromos „mikrofonnal” a vett jelet elektromos jellé alakítjuk, felerősítjük, majd demoduláljuk. E demodulált jel frekvenciája megegyezik a moduláló jel frekvenciájával. Ezt a hallható hangok frekvenciatartományába eső elektromos jelet rávezethetjük egy olcsó, PC-hez készült aktív hangfalra, vagy egy PC-hangkártya bemenetére, és már detektálhatjuk (akár a fülünkkel) is a vevő által érzékelt hanghullámok intenzitását.

A 40 kHz-es vivőfrekvenciára azért esett a választás, mert ezen a frekvencián működik az Arduinohoz kifejlesztett ultrahangos távolságmérő szenzor (3. ábra). Az ebben használt filléres adó (piezoelektromos hangszóró) és vevő (piezoelektromos mikrofon) alkatrészek így könnyen hozzáférhetők.

Az adóáramkör (4. ábra) kapcsolástechnikailag egy egyszerű NE 556 (2 darab NE 555 egy tokban) áramkörre van alapozva. Az IC első fele (U1) a körülbelül 440 Hz frekvenciájú négyzögjelet állítja elő a modulációhoz. Az IC másik fele (U2) állítja elő a 40 kHz frekvenciájú négyzögjelet (vivőfrekvencia). Ennek értéke a P1 potenciométerrel finoman hangolható. A modulátor szerepét a BC 547 tranzisztor tölti be. Ha nincs külső jelforrás csatlakoztatva az Audio In feliratú jackhez, akkor az alapértelmezett kimenet egy 440 Hz frekvenciával amplitúdómodulált 40 kHz-es jel. Ez megy ki a TR jelű piezo hangszóróba. Ha egy



3. ábra. Ultrahangos távolságmérő szenzor.

külső jelforrást (például mobiltelefon, MP3 lejátszó) csatlakoztatunk az Audio Inhez, akkor annak jele modulálja a 40 kHz-re hangolt vivőfrekvenciát. Tapasztalataink szerint a zene átvitele nagyon felkelti a tanulók érdeklődését.

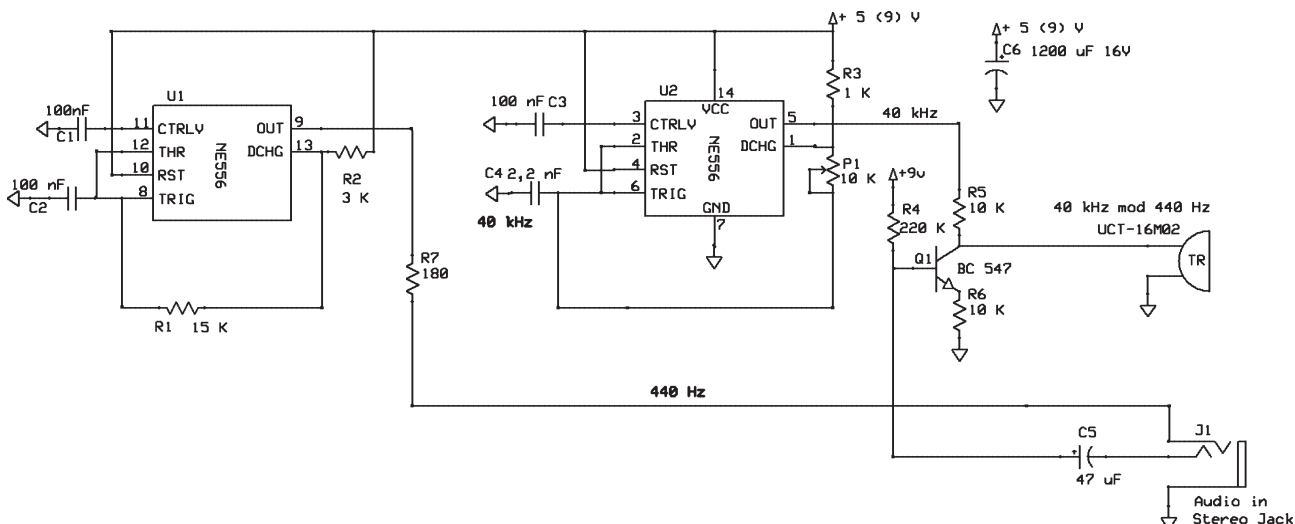
A 40 kHz közeli frekvencia optimális értéke a P1 potenciométerrel állítandó be, oly módon, hogy a demodulátor (vevőkészülék) kimenetén maximális amplitúdójú jelszintet állítunk be.

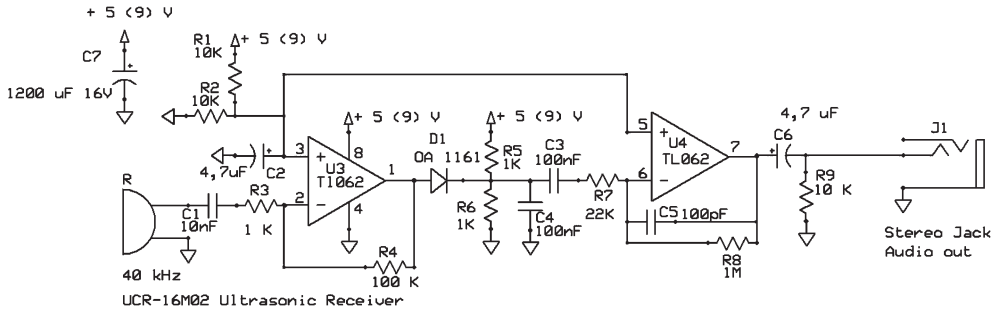
A demodulátoregység egy mikrofonból (R), egy százszoros erősítésű AC erősítőből (U3), egy diódából (D1) és egy kondenzátorból (C4) áll (5. ábra). Kimenetét a számítógépbe épített hangkártya bemenetére, vagy egy aktív PC-hangfal bemenetéhez lehet kapcsolni és már mérhetünk is. Mindkét áramkör tápellátása megoldható egy 9 V-os telepről, vagy akár a PC-ből kicsatolt 5 V feszültségről is. Ez utóbbi esetben az eszközök nem igényelnek egyedi áramforrást.

Az így elkészült berendezés hullámtani szempontból úgy viselkedik, mint egy ultrahangos adó-vevő pár. Mivel a jel érzékelését a modulációval, majd a demodulációval hallhatóvá tettük, így a hullámtérben mérhető interferenciahelyek már fülre is kiértékelhetők!

Az építéshez sokféle szenzor közül választhatunk, de a legolcsóbb, ha veszünk egy Arduinohoz (3. ábra) készült távolságmérőt (körülbelül 300 Ft,) majd kifor-

4. ábra. Az adó kapcsolási rajza.





5. ábra. A demodulátor (vevő) kapcsolási rajza.

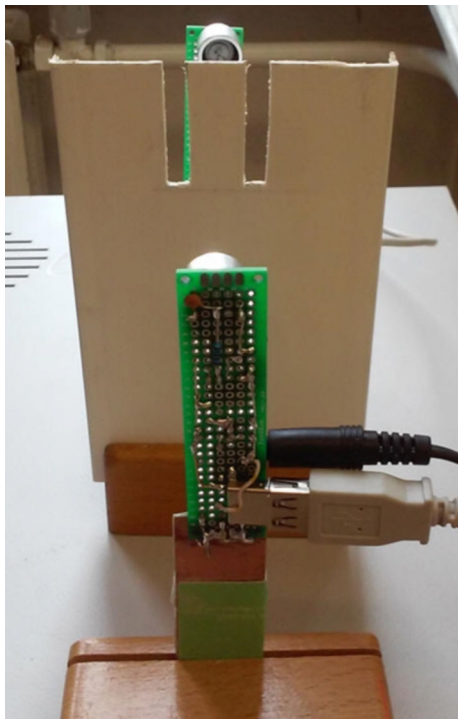
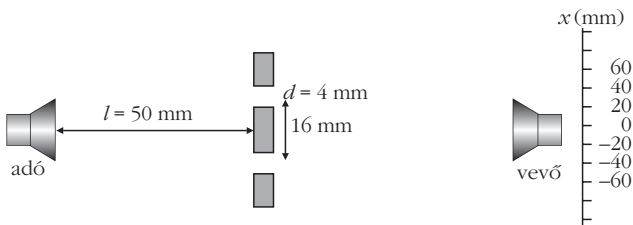
rasztjuk belőle az adó-vevő párost. Az áramköröket egy univerzális NYÁK-lapon készítettük el, de hamarosan elkészítjük a nyomtatott áramkörös verziót is.

Néhány kísérlet, amely könnyedén elvégezhető a megépített eszközzel.

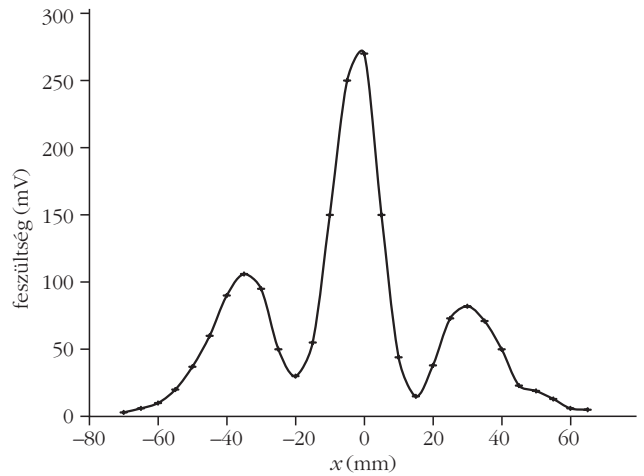
A Young-féle interferencia, azaz elhajlás két résen

A Young-féle kétréses interferenciakísérlet a fény hullámtermészetének egyik döntő bizonyítéka, ebben a kísérletben hanghullámokkal is bemutatható. A kísérleti elrendezés (6. ábra) az eredetivel azonos, csupán a hullámforrásban és a rések szélességében különbözik.

6. ábra. A kísérleti elrendezés.



gyelre merőlegesen mozgatva, számítógép segítségével a fénytani kísérletekhez hasonló interferenciakép rajzolódik ki (7. ábra).



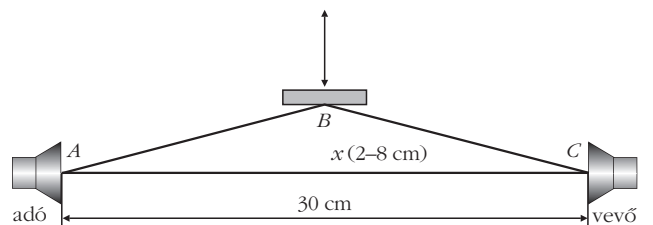
7. ábra. A mért „interferenciakép” [4].

A Loyd-féle interferenciakísérlet

A Loyd-féle elrendezésben azonos forrásból érkező, de különböző utakat befutó hullámok interferenciáját vizsgálhatjuk (8. ábra). Az adóból a hullámok egy része direkt módon az AC szakaszt befutva érkezik a vevőkészülék mikrofonjához. Ha az AC felezőpontjától x távolságra (2-8 cm) elhelyezünk egy „tükört” (lehet egy névjegykártya, vagy műanyag lap), akkor a vevő mikrofonján megjelenik a tükörről visszavert, ABC szakaszt befutott hullám is. Ez azért lehetséges, mert az adó körülbelül 60° térszögben sugároz.

Az x távolságot változtatva, a vevő kimenetén egymást követő maximumokat és minimumokat detektálhatunk. A módszer hullámhosszmérésre is kiválóan

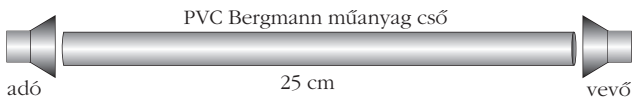
8. ábra. A Loyd-féle tükörkísérlet.



alkalmas. A kísérletben az ábrán látható beállítással mértünk, de természetesen kipróbálható számtalan egyéb konfiguráció is.

Hullámvezető cső

Meglepő eredményt szolgáltat, ha kipróbáljuk a mikrohullámú eszközökben alkalmazott csőtápvonalak vagy hullámvezetők akusztikus analógiáját (9. ábra). Az ultrahang gyakorlatilag alig érzékelhető intenzitás-csökkenés mellett halad keresztül a csövön.



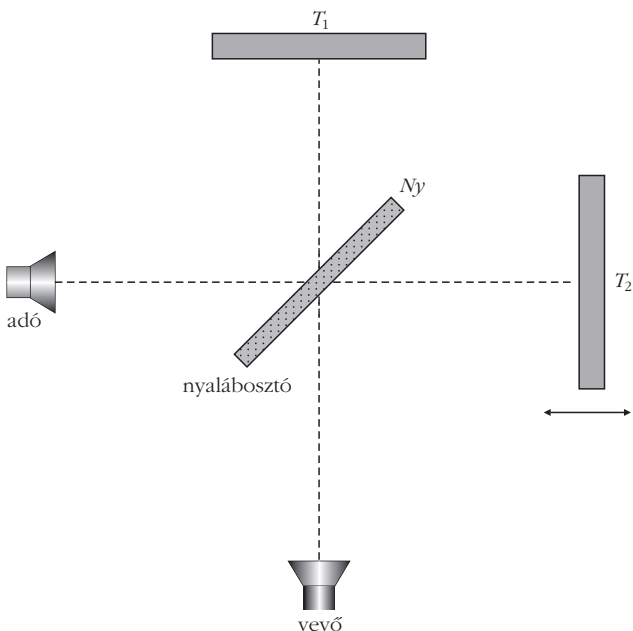
9. ábra. Csőtápvonal.

Michelson-féle interferométer

A Michelson-féle interferométer (aktualitása jelentősen növekedett a gravitációs hullámok felfedezése óta) elvi vázlatja a 10. ábrán látható. Az adóból származó ultrahang az N_y nyalábosztóra (sok apró – 2,5 mm átmérőjű fúróval kitágított – lyukkal ellátott univerzális NYÁK-lapra) esik, amely a beeső hang körülbelül 50%-át visszaveri, 50%-át pedig átengedi. A beeső hanghullám így két nyalábra oszlik. Az egyik egy mozgatható tükörrre (T_2), a másik egy rögzített T_1 tükörrre esik (PVC-lemezek). Mindkét tükör az N_y nyalábosztóra veri vissza a hangot.

A rögzített T_1 tükörről visszaverődő sugárnyaláb fele az N_y nyalábosztón áthaladva a mikrofonra esik, akárcsak a mozgatható T_2 tükörről visszavert hullámok. Így módon az eredeti sugárnyaláb először kettéosztódik, majd az így keletkezett nyalábok egy része visszafelé egyesül egymással. Mivel a nyalábok ugyanabból a forrásból származnak, koherens hullámoknak tekinthe-

10. ábra. A Michelson-féle interferométer elvi vázlatja.



tők. A T_2 tükör mozgatásával a hullámok közötti útkülönbség ezen a hullámhosszon kényelmesen szabályozható, így az interferencia fülre is pontosan kiértékelhető. Az interferométer karjait tapasztalataink szerint körülbelül 6-7 cm távolságra célszerű beállítani. A kísérlet fényképe a 11. ábrán látható.

Fresnel-féle zónalemezek

Ezt követően megvizsgáltunk néhány lehetőséget az eredeti célként meghatározott Fresnel-féle lencse elkészítésére is. E cikkben már csak egy kiforrott – kísérleteinkben a legmeggyőzőbben működő – példány elkészítésének módját mutatjuk be. A lencse alapanyaga – a lehetséges változatok közül – egy 2 mm vastagságú sörkarton papír, amely már kellően szilárd ahhoz, hogy önhordó legyen, de ez a vastagság olyan, hogy még éppen befogható az iskolák többségében még fellelhető, fából készült optikai tartóelemekbe.

A Fresnel-féle körgyűrűket lézergravírozással vágattuk a papírba. Erre a legalkalmasabb cégnek a Limes Model Kft.-t [5] találtuk.

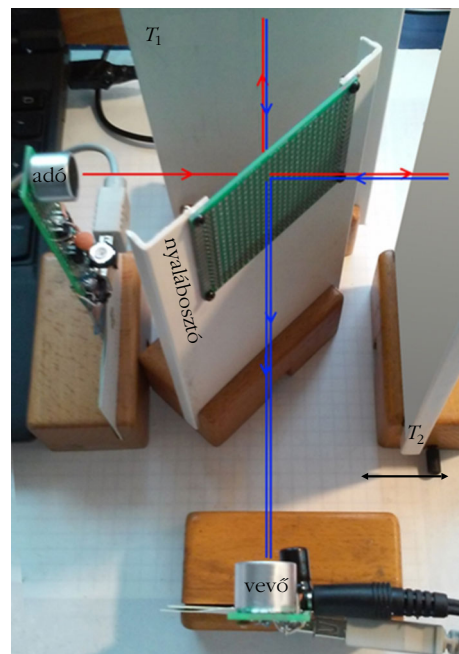
A Fresnel-féle zónalencsék tervezésének elméleti alapjait terjedelmi okokból nem ismertetjük, de például a [6–8] forrásokból részletesen olvashatnak róla.

A Fresnel-féle koncentrikus körök sugarának méretezéséhez az alábbi egyenletet használtuk:

$$R_n = \sqrt{n\lambda f + \frac{n^2\lambda^2}{4}},$$

ahol R_n az n -ik zóna sugara, λ az ultrahang hullámhossza, f pedig a lencse tervezett fókusztávolsága. Az így kiszámolt zónák közül minden másodikat vágattunk ki, de hagytunk összekötő elemeket is a zónák mechanikai egyben tartásához.

11. ábra. A Michelson-kísérlet fényképe.





12. ábra. Az elkészült Fresnel-lencse mérés közben.

A számított zónák sugarai 40 kHz frekvencia és 5 cm-re tervezett fókusztávolság esetén:

n	1	2	3	4	5	6
R_n (m)	0,021	0,0304	0,0379	0,0446	0,0508	0,0566
n	7	8	9	10	11	12
R_n (m)	0,0621	0,0675	0,0727	0,0778	0,0828	0,0878

Az elkészült mintapéldány képe az 12. ábrán látható. A lencse AutoCAD-ben készült kivágósablonya letölthető a honlapról [9].

Irodalom

1. <http://iypt.org/images/e/ef/problems2016.pdf>
2. http://www.ncsm.city.nagoya.jp/cgi-bin/en/exhibition_guide/exhibit.cgi?id=S406&key=F&keyword=Fresnel%20lens
3. https://www.zeitnitz.eu/Scope/Scope_en.html
4. Vitkóczy Fanni: *Interferencia a hangok világában*. Szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, 2016.
5. <http://limesmodel.hu>
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Zone_plate
7. <http://www.nel.com.tr/Eklenti/416,p2151800pdf.pdf?0>
8. <http://metal.elte.hu/~phexp/doc/huo/i3s4.htm>
9. http://pilath.fw.hu/kivago_sablon_reloaded.rar