

MUZSIKÁLÓ FIZIKA

Jendrék Miklós
VSZC Boronkay György Műszaki
Szakgimnáziuma és Gimnáziuma, Vác

Ezt a címet adtam a 2107. évi, Debrecenben tartott nemzetközi *Science on Stage* fesztiválra készített projektemnek. Bemutatóm alapjául a 2015 áprilisában megjelent *Elektroakusztikus átalakítók* [1] című cikkben közzétett kísérletek továbbfejlesztett, új ötletekkel kiegészített változatai szolgáltak. A legszükségesebb két eszköz továbbra is egy tekercs és egy számítógép-hangfal. A kísérletek fő célja a fizikai jelenségek színesebb, érdekesebb, rendhagyó módon történő bemutatása.

A tekercs kettős funkciót tölt be: elektromágneses indukció elvén működhet változó mágneses mező érzékelőjeként, illetve áramot szállítva lehet mágneses mező forrása (elektromágnes). Bontott, újrahasznosított alkatrészeket használok: régi motorok állórészei, relék, fojtótekercsek, elektromágnesek (1. ábra). Mindkét funkció betöltésére legalkalmasabbak a vasmagos, nagy menetszámú tekercsek.

Hangfrekvenciás elektromágneses mezőforrások észlelése

Kapcsoljunk egy vasmagos tekercset az erősítő (például aktív számítógép-hangfal) bemenetére. Az így kapott elektromágneses érzékelőnköt közelítsük különböző elektromos berendezésekhez. Kezdjük a PC-hangfallal. A mély, bűgő hang elárulja, hol található benne a tápegység transzformátora. Lényegesebben zajosabb hangok „jönnek” a hálózati adapterekből. Ezek a kellemetlen, haszontalannak tűnő jelek jó szolgálatot tehetnek egy látványos kísérlet elvégzésénél.



1. ábra. Nagy menetszámú, vasmagos tekercsek.

Csillapított rezgések előállítása

Közelítsünk a hálózati adapterhez egy pár száz kilohertzre hangolt rezgőkört. Ilyet tanuló elektronikai készletben találhatunk, vagy magunk is készíthetünk. A ferritúdra helyezett közel 100 menetes tekercs és egy 0,5 nF-os kondenzátor megfelel e célnak. Az adapterből kilépő impulzusok biztosítják a veszteségek periodikus pótlását.

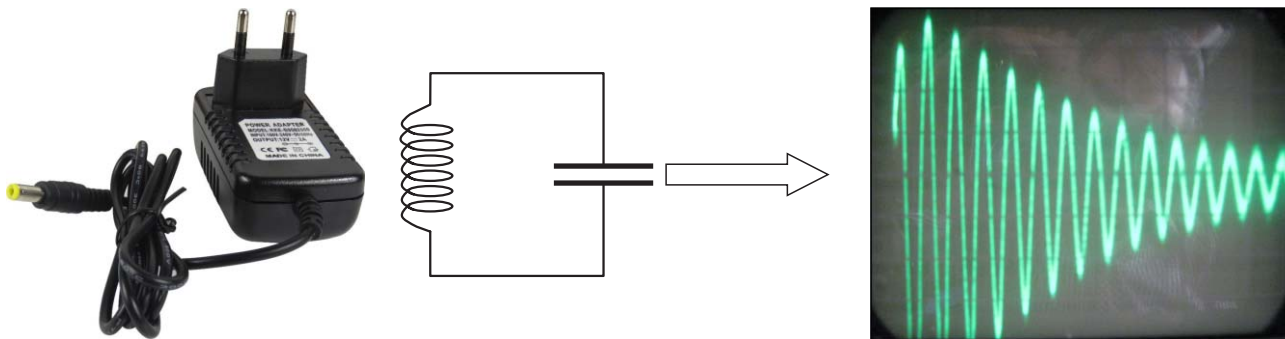
A csillapított rezgéseket akkor lehet jól megfigyelni, ha a rezgőkör sajátfrekvenciája egy-két nagyságrenddel nagyobb, mint a veszteségek periodikus pótlását szolgáló jelek frekvenciája. Ilyenkor két egymást követő impulzus között létrejönnek a csillapodó rezgések, amelyek jól kirajzolódnak az oszcilloszkóp képernyőjén (2. ábra).

Csillapítatlan rezgések keltése

Ha az érzékelő tekercset a saját erősítő hangszórójához – azaz annak elektromágneséhez – közelítjük, csillapítatlan rezgéseket kapunk. A jelenség hasonlít a mikrofon okozta gerjedésre, de azzal a különbséggel, hogy most a visszacsatolás nem akusztikus, hanem elektromágneses úton történik. Különböző visszacsatoló tekercsek esetén más-más lesz a keltett hang magassága, de minden esetben szinuszos rezgés jön létre.



Jendrék Miklós 1979-ben az Ungvári Állami Egyetemen szerezte meg a fizikatanári diplomáját. 1989-től a Váci Szakképzési Centrum Boronkay György Műszaki Szakgimnáziuma és Gimnáziuma főállású fizikatanára. Tehetséggondozás mellett nagy hangsúlyt fektet az egyszerű – a tananyag jobb megértését szolgáló – saját fejlesztésű eszközök készítésére, és azok segítségével történő kísérletek leírására, bemutatására.

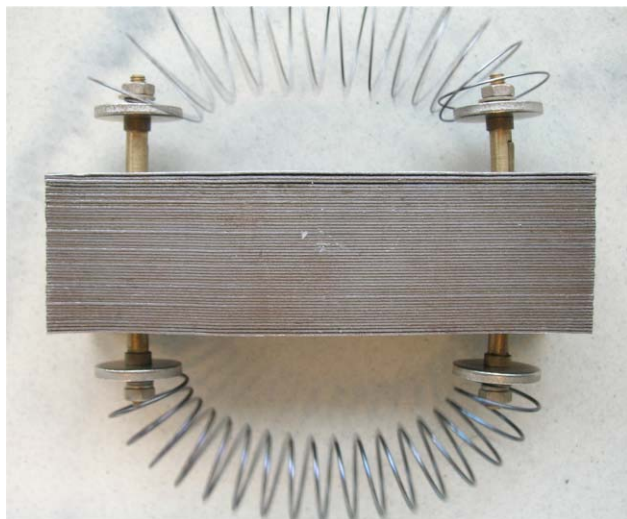


2. ábra. Csillapított rezgések előállítása.

Megfelelő tekercs kiválasztásával elérhetjük, hogy a visszacsatolást követően a kialakult rezgések frekvenciája az ultrahang tartományába essen. A gerjedés tényét oszcilloszkóppal tudjuk ellenőrizni, a frekvenciát műszerrel, vagy egy másik generátor segítségével a *Lissajous*-görbék alapján határozhatjuk meg. Egy referenciagenerátor frekvenciájának elhangolásával lebegést hozhatunk létre. Ilyenkor a két rezgés alfrekvenciájának összege és különbsége is megjelenik. Az utóbbi hang formájában jelentkezik, hiszen az egyik – összeállításban szereplő – tekercs a hangszóró tekercse.

Csillapítatlan rezgéseket úgy is előállíthatunk, ha a mágneses detektorunkat hangszedőként használjuk. Fogjunk be satuba egy fűrészlapdarabot. A lemezt mágnesezzük fel, vagy helyezzünk rá egy kis mágnesdarabot. Hozzuk rezgésbe a fűrészlapot, és közelítsük hozzá az érzékelő tekercset. Az elektromos átalakításokon és erősítésen átesett jel ismét hang formájában köszön vissza. Jó akusztikai tulajdonságokkal bíró asztal, illetve megfelelő hangerősség esetén, akusztikus pozitív visszacsatolás révén, csillapítatlan rezgések keletkeznek. A rezgő rendszer szempontjából a hangszóró olyan kényszerrezgés forrása, amelynek frekvenciája egybeesik a lemez sajátfrekvenciájával, rezonancia jön létre. Fűrészlap helyett sikeresen használhatunk hangvillát is.

3. ábra. Állóhullámok keltésére szolgáló „eszköz”.

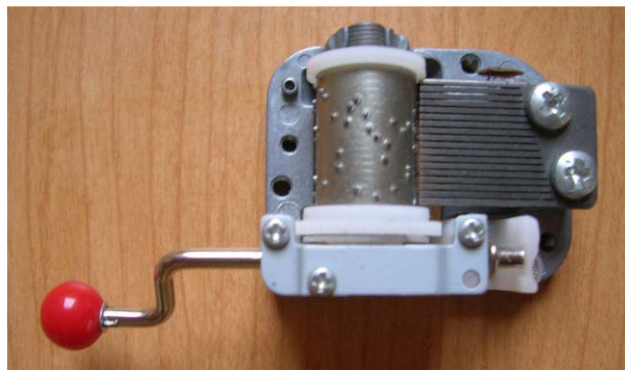


Még egy pár hangszedő alkalmazás

Rögzítsük a mechanikai készletből származó, banándugókkal ellátott rugók végeit. Ehhez kiválóan alkalmas a szétszedhető transzformátor záróvasa (3. ábra). Gyönyörű állóhullámokat kelthetünk a rugók megpengetésével. Mágneses érzékelő tekercsünket közelítsük a rezgő rugókhoz. Egyre hangosabb lesz a rezgések keltette hang. A kísérlet elvégzése előtt a rugókat érdemes egy darab mágnessel felmágnesezni. A hang magassága és hangszíne a rugók minőségén túl függ a pengetés módjától is: más lesz transzverzális és más longitudinális hullámok esetén.

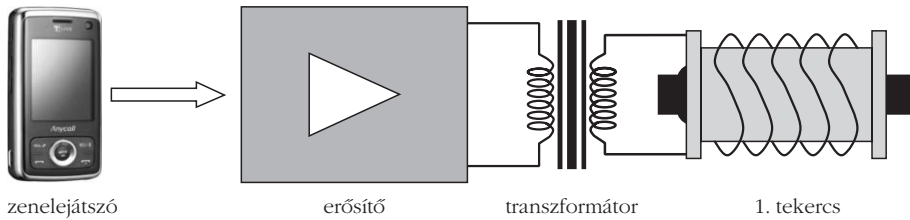
Zenedoboz (4. ábra) akusztikus rezonátor hiányában nagyon halkán szól. Ha érzékelő tekercsünket az eszköz hangot adó acéllemezekéhez közelítjük, jellegzetesen fém hangszínezetűvé válik a felerősített jel.

4. ábra. Zenedoboz.



5. ábra. Elektromosgitár-modell.





6. ábra. Távvezeték szemléltetését szolgáló összeállítása.

Ezen az elven működik az elektromos gitár is. Készítsünk egy gitármodellt: feszítsünk ki acélhuzalt egy tekercs felett (5. ábra). Ha az erősítő bemenetére kapcsolt vasmagos tekercshez közelítünk egy mágnes, jellegzetes zajhatást fogunk észlelni, ami nem indukciójelenség, hiszen a hang magassága nem függ a mágnes mozgatási sebességétől. A domének ugrásszerű átfordulása okozza a hatást (Barkhausen-effektus).

Gyenge mágnes közelítésével jelentősen növelhetjük vagy csökkenthetjük a húr mágnesezettségének mértékét. A mágnes hosszirányú elmozgatása jellemzően csökkenti, míg a keresztirányú növeli a mágneses hatást.

Az áram mágneses hatása

Zenelejátszót egy néhány wattos erősítő bemenetére csatlakoztassunk (6. ábra). Az erősítő kimenetére pedig – hangszóró helyett – egy tekercset kapcsolunk. A kísérlethez megfelel a párszáz menetes légmagos tekercs is, de lényegesen jobb hatást, és univerzálisabb alkalmazást kapunk, ha nagy menetszámú, vasmagos tekercset használunk. Az utóbbi esetben – impedanciaillesztés céljából – az erősítő és az 1. tekercs (később lesz második is) közé egy transzformátort szükséges iktatni, a menetszamarány legalább 1:20 legyen. A kis menetszámú tekercset az erősítő kimenetéhez, a nagy menetszámú pedig a vasmagos tekercshez kell kapcsolni. Mágneses szenzorunkkal megbizonyosodhatunk arról, hogy az áramkör különböző szakaszai (tekercs, transzformátor, összekötő vezetékek) mind elektromágneses mező forrásai: a zene ütemével megegyező hangfrekvenciás jeleket indukálnak az érzékelő tekercsben.

Az összeállítás egy távvezetékrendszer szemléltetésére is alkalmas. Ugyanis a kis ellenállású körbe iktatott – veszteséget modellező – előtét-ellenállás lényegesen megnövelheti az eredő ellenállást és egyben a veszteséges teljesítményt. Ugyanez az ellenállás – az amúgy is nagy szekunder kör ellenállás miatt – nem sokat változtat annak eredőjén. Így a

veszteség is elhanyagolható lesz. Minderről, az unalmas 50 Hz-es frekvencia helyett, zenehallgatás közben győződhetünk meg.

Az 1. tekercsre egy akusztikus rezonátort – konzervdobozt, teáskannát – helyezünk, a „hangszóróba” pedig

egy kis méretű, erős mágneset tegyünk! A vasmagos tekercsnek köszönhetően viszonylag kis (1-2 W) teljesítmény esetén is – bár akusztikailag nem kifogástalan, de – jól működő hangszórót kapunk. Most vegyük elő az érzékelő tekercsünket, és közelítsük a kannához! Az indukált jelben a mély hangok erőteljesen kiemelődnek.

Fejlesszük tovább az energiaátalakítási láncot! Az 1. tekercsre egy másikat helyezünk, így még egy transzformátort kapunk (7. ábra). A 2. tekercset kapcsoljuk egy fényforrásra, például LED-es kerékpárlámpára! A fényforrás fényerőssége – szemmel láthatóan – a hang ütemében ingadozik. Amennyiben nem nyeri el tetszésünket a „zenehallgatás” e (békés) módja, irányítsuk a fényt egy PC-hangfal bemenetére kapcsolt fényérzékelőre, ami akár egy napelem is lehet. A lámpát infravörös LED-re cserélve további érdekes kísérleteket végezhetünk. Ugyanakkor a fényel szállított jel demodulálására ebben az esetben fotodiódát vagy fototranzisztort kell használnunk [2].

Összegzés

Hangfrekvenciás elektromágneses és fényjelek detektálásával és átalakításával egy sor fizikai jelenség mutatható be látványos, nem szokványos módon. Elektromágneses mező érzékelésére tekercseket, a fényjelek detektálására fényérzékelő elemet (fototranzisztor, fotodióda) használhatunk. Erősítés után a jeleket ismét hanggá alakítjuk. A jelátalakítási folyamatok során lehetőség nyílik fénytani, akusztikai, elektromágneses jelenségek vizsgálatára, bemutatására. A leírt kísérletekről készült videók az interneten megtekinthetők [3].

Irodalom

- Jendrék M.: Elektroakusztikus átalakítók. *Fizikai Szemle* 65/4 (2015) 128–130.
- Jendrék M.: Látható hangok, hallható fények. *Fizikai Szemle* 62/3 (2012) 96–100.
- https://drive.google.com/drive/folders/10hL4U7_rK5NyYlyb7lpW52NRKXI_sv8?usp=sharing

7. ábra. Energiaátalakítási lánc.

