

VI. Évfolyam 2. szám - 2011. június

Répás József

jozsef_repas@helloworld.com

IGBT MŰKÖDÉSE ÉS ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A BIZTONSÁGTECHNIKÁBAN

Absztrakt

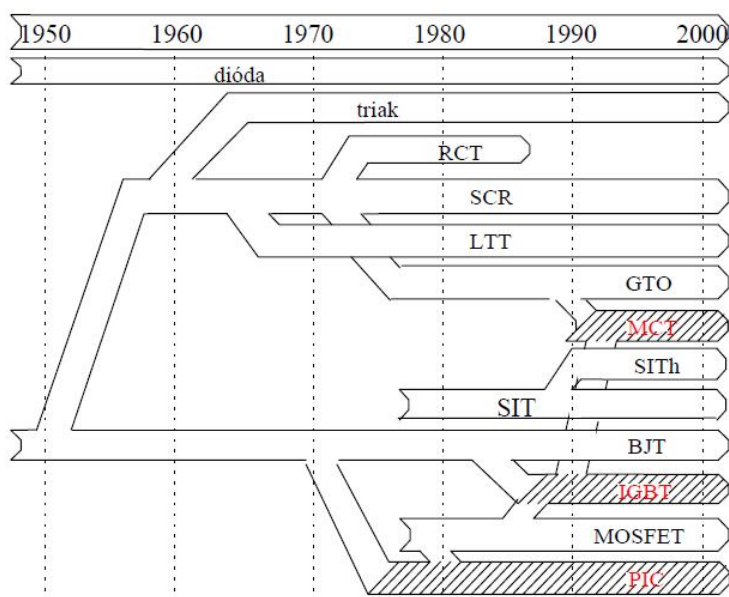
Világszerte évről évre növekszik az érdeklődés az elektromos energia iránt. A növekvő energiaköltségek, a CO₂ kibocsátás, a fosszilis tüzelőanyagok behatárolt rendelkezésre állása, megköveteli a szignifikáns energiaspórolást. Nagy megtakarítási lehetőséget kínál sok ipari felhasználás, mint például a hajtás és áramellátó rendszerek. Hangolt rendszereknél megnövekedett szükséglet az „intelligens” vezérlő és teljesítménykapcsolás. Az IGBT-k kulcselemként kínálóznak az ipari felhasználás kínálatában. Az IGBT egy szigetelt kapujú bipoláris tranzisztor (Insulated-Gate Bipolar Transistor) a MOSFET továbbfejlesztése. Kimagasló technikai tulajdonságai alapján széles körben alkalmasak biztonságtechnikai területen való felhasználásra.

All over the world the interest for electrical energy is increasing. The increasing energy costs, CO₂ emission, the limited availability of fossil fuels make compulsory the significant energy-saving. Different industrial applying gives a lot of saving possibilities like drive and power systems. By tuned systems more and more intelligent controller and power switching needed. The IGBT-s has key functions in the offer of industrial applying. IGBT is an isolated based bipolar transistor (Insulated-Gate Bipolar Transistor), an upgraded MOSFET. By their extra high technical properties they can be used widely in safety.

Kulcsszavak: *hangágyú, IGBT, teljesítményerősítő, ultrahang ~ LRAD, IGBT, power amplifier, ultrasound*

IGBT KIALAKULÁSA

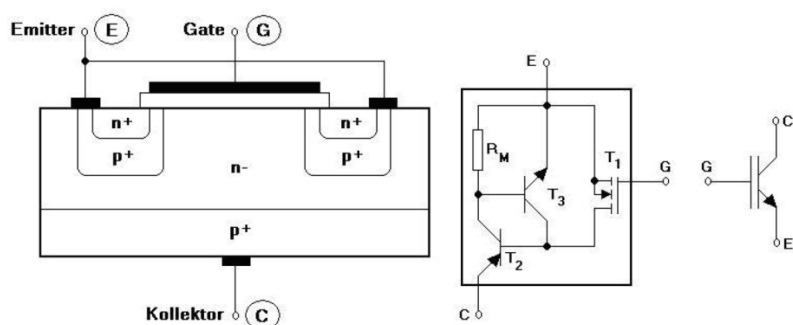
A szigetelt kapujú bipoláris tranzisztorok /IGBT/ átmenetet képeznek a bipoláris tranzisztorok és a MOSFET-ek között. Először 1979-ben állították elő, ez idő alatt a technológiai és gyártástechnikai fejlődés az elektronikában nagyteljesítményű elemet eredményezett. Teljesítményerősítés területén az IGBT-k, a feszültségerősítés és áramerősítés területén egyaránt jeleskednek. Feszültségerősítés területén a több száz volt és több kilóvolt közötti területen mozog, míg áramerősítés területén a néhány kiloamperig jut el. Egyesíti a bipoláris tranzisztorok - BJT /*Bipolar (Junction) Transistor*/ és a MOSFET-ek /metal-oxide-semiconductor field-effect transistor/ előnyeit. Feszültséggel vezérelhető, magas kapcsolási frekvencia, és kis feszültségesés. A bipoláris tranzisztorhoz hasonlóan az IGBT is kis vezetési veszteséggel rendelkezik, a MOSFET-ekhez hasonló nagy bemeneti impedancia mellett.



1. ábra. Félvezető elemek fejlődése [1]

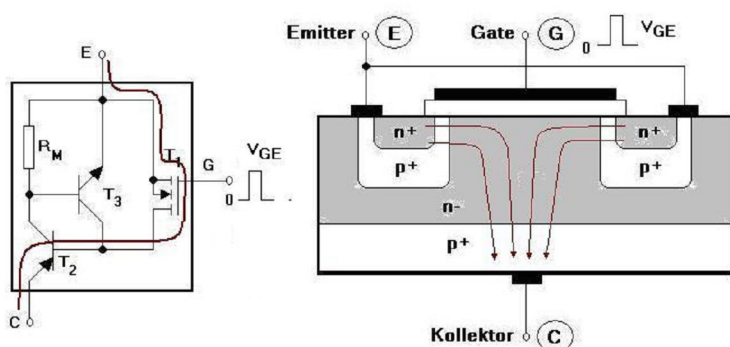
INSULATED-GATE BIPOLAR TRANSISTOR MŰKÖDÉSE

Bipoláris tranzisztorokhoz hasonlóan a főáramot kétféle töltéshordozó (elektronok és lyukak) alkotja. Ezen kívül alacsony saturációs feszültségben, magas áramerheltségben és specifikus kapcsolási tulajdonságaiban hasonlítanak [2]. MOSFET tranzisztorokra az alacsony I_G vezérlőáramban, nagy kapcsolási sebességben és feszültségvezérelt jellegében hasonlítanak. IGBT lényegében a vertikális MOSFET továbbfejlesztett változata, amelyben az ismert MOSFET struktúrát egy p réteggel egészítették ki.



2. ábra IGBT cella kialakítása, helyettesítő képe, rajzjele [3]

Ha az IGBT-t E-C feszültségre kapcsoljuk, és $+V_{GE}$ feszültséget kap, akkor a 3. ábrának megfelelően alakul ki az áramvezetés egy IGBT cellában. IGBT is cellák ezreiből áll, hasonlóan a teljesítmény MOSFET-hez.



3. ábra Áramutak egy IGBT cellában [4]

Mára a teljesítményelektronika gyakorlati alkalmazásaiban az IGBT-k nagyon népszerűek lettek.[5] MOSFET-ekhez hasonlóan készülnek, létezik N-csatornás és P-csatornás változata. P-csatornás IGBT-nél a rétegek szennyezettsége ellentétes. P-csatornás IGBT szimbólumánál a nyíl ellentétes irányú. Lényeges különbség a MOSFET-ekkel szemben abban áll, hogy a P és N zóna duplán diffundált.

Leegyszerűsítve, az IGBT úgy működik, mint egy olyan MOSFET, amelynek a drift-tartományát kisebbségi töltéshordozók (N-csatornás IGBT esetén lyukak) injektálásával vezetőképességében moduláljuk. Az IGBT vezérlési oldalról alapvetően egy MOSFET, tehát a gate-emitter-feszültség vezérli az eszköz állapotát.[6]

Utóbbi időben jelentős haladást értek el a veszteségek leredukálását illetően a kis chipméretek készítésénél is. Ezáltal kialakítható egyre kompaktabb és kedvezőbb áru rendszer. Manapság a gyártók keresik a megoldást az IGBT-k és az egyenirányító diódák felhasználási feltételeinek egyeztetésére. A technológia előrehaladásával, az IGBT-k, IGBT-modulok olyan technikai jellemzőkkel rendelkeznek, ami alapján felvetődik az analóg alkalmazás lehetősége.

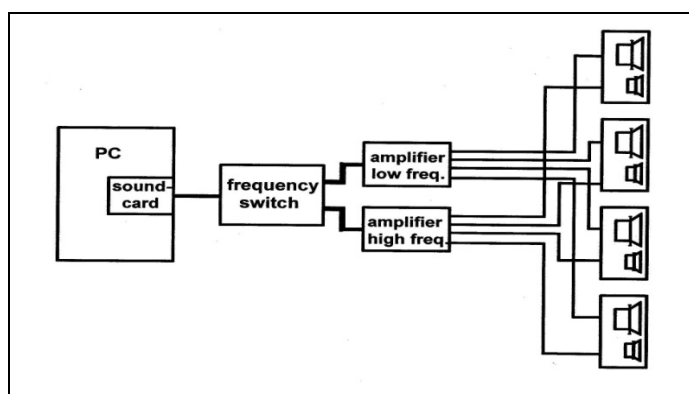
IGBT ALKALMAZÁSA A BIZTONSÁGTECHNIKÁBAN

Kezdetektől fogva fontos szempont a magántulajdon védelme. Vagyon elleni bűncselekmények számának növekedésével egyre nagyobb hangsúlyt kell fektetni az önálló védekezésre. Az ember a történelem évezredei során mindig küzdött azért, hogy társai ne veszélyeztessék tulajdonát. Így aztán már az ősember is gondosan őrizte a barlangját, s az

elkövetkező korok emberei igyekeztek jobb és jobb megoldásokat találni, hogy biztonságban tudhassák eszközeiket. A tudat, hogy egy idegen járt, az engedélyünk nélkül a magántulajdonunkban, talán az okozott anyagi- és eszmei- kárnál is fájdalmasabb tud lenni.

Az IGBT nagy teljesítménye miatt megfelelő kapcsolatban alkalmazható figyelemfelkeltésre, megzavarásra, elüldözésre, bénításra. Intelligens épületek vezérlésében is alkalmazható, mind az energiaellátás, vezérlés és optimalizálás területén, mind a Home Audio rendszerek esetén. A figyelem felkeltésére és megzavarásra erősítő fokozatba kapcsolva lehet alkalmas, ahol nagyteljesítményű hangszórókkal kiegészítve a kapcsolást riasztó hangot képes kiadni. Elüldözésre, bénításra hangágyúként való használatban lehet alkalmas, ahol szintén a nagy teljesítményerősítést kihasználva építhető olyan eszköz, amely mind a hangfrekvenciás, mind ultrahangos tartományban képes nagy intenzitású hangot kibocsátani. Intelligens otthonok esetén az épületautomatizálásban is alkalmazható a nagy kapcsolóteljesítmény miatt, Home Audio rendszereknél pedig hangfrekvenciás erősítőkben alkalmazható és kiváló hangzás biztosítható vele.

Egy korábban általam tervezett IGBT-s erősítőkapcsolás /J-17-es IGBT-s teljesítményerősítő/ az épületvezérlés kivételével a jól alkalmazható, jelen cikkben csak a hangágyúként való alkalmazást tárgyalom. Figyelemfelkeltésre nagy teljesítményű hang sugárzásával tehető alkalmassá. A kapcsolat széles frekvencia átvitelének köszönhetően ultrahang erősítésre is alkalmas, ami a hangágyúként való alkalmazás esetén szükséges. A 4. ábrán látható elrendezés szerint a végerősítő fokozatban (az ábrán: amplifier low freq. és amplifier high freq.) van lehetőség IGBT alkalmazására.



4. ábra IGBT alkalmazási lehetősége [7]

A betörő, aki komoly veszélyeztetést jelent vagyunkra - gyorsan és feltűnésmentesen dolgozik. A legtöbb betörő különösen értékeli a nyugodt munkát. Minden, ami hangos, felhívhatja egy harmadik személy figyelmét. Az idő pénz – a betörőnek is. Célirányosan azokat az épületeket keresi, amelyekbe rövid idő alatt behatolhat. Az egyes objektumok kinyitása gyakran csak pár percet igényel. Minden betöréses lopás elleni biztonsági intézkedés alapja a mechanikus és elektronikus biztonságtechnika együttes alkalmazása. Az elektronikus biztonság kialakításának egyik lehetősége az ultrahang vagy ultrahang-közeli frekvenciájú hangágyú kialakítása.

HANGÁGYÚ ÉS MŰKÖDÉSI ELVE

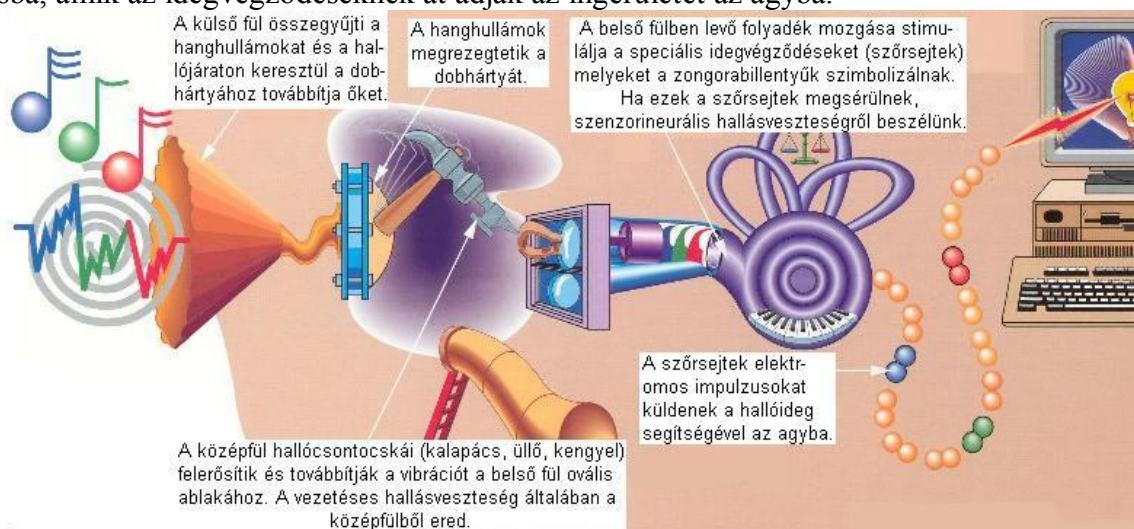
A hang fegyverként való alkalmazására már az ószövetségi írásokban is tettek utalást. Jerikó város falai a zsidó kürtök hatására omlottak össze. Bár Jerikó falai összeomlásának bibliai magyarázatát kutatók erősen vitatják, mégis a történet utal arra, hogy a hang fegyverként való alkalmazására már az ókorban is voltak elképzelések. Az ember a hangot,

mint „eszközt” a történelme során a kommunikáció mellett már a kezdetektől fogva elrettentő eszközként, azaz fegyverként is alkalmazta, mind önvédelmi, mind támadó értelemben. Az emberi fejlődés, a fizikai törvények mind mélyebb megismerése, az orvostudomány fejlődése egy idő után azonban elértek egy olyan szintet, amikor az orvosok már megfelelő ismeretekkel rendelkeztek arra vonatkozóan, hogy a hang különböző formái milyen hatással vannak az emberi szervezetre. A haditechnikai fejlesztéssel foglalkozó szakemberek pedig - felhasználva az elért tudományos és műszaki eredményeket – kifejezetten azt kutatták, hogy a hangot hogyan, milyen formában lehet fegyverként alkalmazni.[8]

HANG ÉS HALLÁS

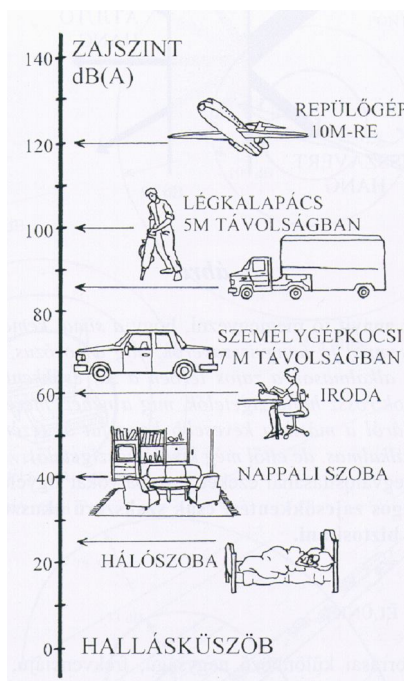
A hang longitudinális nyomáshullám (Longitudinális hullám esetén a hullám terjedési iránya megegyezik a rezgésiránnyal, sűrűsödési és ritkulási helyek követik egymást). Levegőben 330 m/s, vízben, szilárd anyagokban anyagtól függően akár 1500 m/s körüli sebességgel terjed. Hangot főként a fülünkkel halljuk, de a bőrünk, koponyacsontjaink is részt vesznek az érzékelésben.[9]

Hallás során a hanghullámok megrezegtetik a dobhártyát, aminek a rezgését a hallócsontocskák átviszik az ovális ablakra. Ennek hatására a csigában lévő folyadék mozgásba jön. A hang frekvenciájától függően a folyadék más-és más szőrsejteket hoz mozgásba, amik az idegvégződéseknek át adják az ingerületet az agyba.



5. ábra Hallás folyamata [10]

A hallható hangok frekvenciája 20-20.000Hz-ig terjed. Fülérzékenysége a 3000Hz körüli tartományban a legjobb. Legkisebb halható hang (hallásküszöb) és legnagyobb fájdalmat még nem okozó hang (fájdalomküszöb) közötti 120dB-es hangerőkülönbség elviselését az teszi lehetővé a fül számára hogy az érzet erőssége az ingernél lassabban nő, a logaritmikus skála szerint.



6. ábra Hangnyomásszintek[11]

Ezt a fájdalomküszöböt kihasználva lehetőség van olyan riasztó eszköz építésére, amely az ultrahanghoz közeli és ultrahang frekvenciájú hangokkal igyekszik elüldözni a behatolót.

A 20 000 Hz-nél magasabb és 100 MHz-nél alacsonyabb frekvenciájú hangokat ultrahangnak nevezzük. Egyes irodalmak, ezt a az alsó küszöböt 16-18 KHz-re teszi. Sok esetben a 100 MHz-en felüli hangokat is ultrahangnak tekintik. Az ember hallása nem olyan fejlett, hogy hallja az ultrahangot. Az embertől valamivel magasabb hangokat még hallják a kutyák, és a macskák, ez körülbelül 35 – 40 KHz - ig terjed, de egyes rágcsálók érzékelik a 100 KHz - es hangokat is. Az ultrahang természetesen az élő szervezetekre is hatással van. Ultrahangos kezelést alkalmaznak a gyógyászatban egyes ideg-, izom- és csontrendszeri megbetegedések gyógyítására. Talán legismertebb szerepe mégis az, hogy szervezetben belüli diagnosztikai vizsgálatokra használják, segítségével megállapíthatnak egyes betegségeket, vagy például a magzat elhelyezkedését a méhben.[12]

Az ultrahangok mechanikai rezgések, amiket már nem érzékelünk hangként. Biológiai hatásuk a dózistól függően lehet az életfunkciók serkentése vagy az életfolyamatok gátlása. Ultrahang a sejt közötti állományt fellazítja, a sejteket elroncsolja. Különösen érzékeny rájuk a középfül és a szem. Bőrünk az ultrahangot zömmel visszaveri, a szőrzettel borított test azonban hőenergiává alakítja. Ultrahang pontos biológiai hatása még nem tisztázott.[13]

Ezeket az információkat felhasználva, készíthetünk egy olyan berendezést, amely egy esetleges behatolás alkalmával képes lehet a bénításra, elüldözésre, mivel nagy teljesítménnyel sugározva az ilyen hangokat, az ember számára elviselhetetlen.

SZÉL ÉS HANGÁGYÚ

Az első olvasatra könnyen fantazmagórikusnak és komolytalannak tűnő fegyvereket a folyamatos és egyre súlyosabb károkat okozó szövetséges légitámadások elleni eszközökként fejlesztették ki 1945 elején. Bár a túlzóan merész tervek a háború elején még valószínűleg a hadvezetés ellenállásába ütköztek volna, az 1945-ös év beköszöntével már szinte válogatás nélkül finanszíroztak olyan programokat, amik az adott helyzetben akár minimális sikerrel kecsegtetett volna. Egy osztrák mérnök, Dr. Zippenmayer által felvázolt szélágyú koncepciója

minden furcsasága ellenére elnyerte a vezetés támogatását (főleg Adolf Hitlerét!) és a program zöld utat kapott. Dr. Zippenmayer vezetésével működő csoport másik "találmánya" a hangágyú volt, amely abból az ötletből sarjadt, hogy bizonyos frekvenciájú és intenzitású hanghullámok képesek kárt tenni a mind a repülőgépekben és, vagy annak személyzetében. A furcsa szerkezetben metánt és levegőt égettek, az ezzel előidézett robbanásokat ezután hangtükrök segítségével irányították. Mivel a robbanások rövid időközönként követték egymást, ezért a hangjukat sikerült nagyfrekvenciájú hullámokká alakítani. Egyes jelentések szerint épült egy prototípus ebből a furcsa ágyúból, amit aztán teszteltek. A konstrukció hiányosságaiból adódóan azonban képtelen lett volna a hanghullámokat nagy magasságba feljuttatni és minden valószínűség szerint sosem került bevezethető állapotba. A szélágyúból egyetlen egy példány élte túl a háborút (a vélemények megoszlanak, hogy a korai prototípus e az vagy a harcban is bevetett változat, nos ezt nem tudni), amit az amerikai katonák találtak meg a hillerslebeni lőtéren. A hangágyúról sem makett, sem tervrajzok, sem pedig prototípus nem maradt fent.[14]



7. ábra Dr. Zippenmayer féle hangágyú[15]

MODERN HANGÁGYÚ

Napjainkban a hajózási vállalatok a nemzetközi katonai támogatás mellett egyre inkább megpróbálják saját maguk védettebbé tenni járműveiket a mind gyakoribb kalóztámadások ellen. A tengeri rablók az év első napján is megkaparintottak egy egyiptomi teherhajót Afrika szarvánál. A védelmi eszközök közül különösen divatosnak számítanak manapság a fejlett technológiájú, úgynevezett nem halálos fegyverek.

Kalózkodás idejében való megfékezésére a legkeresettebb high-tech eszköz a hangágyú (LRAD - Long Range Acoustic Device). A fegyvert az amerikai haditengerészet a USS Cole hadihajó elleni, 2000-ben elkövetett támadást követően állította hadrendbe. Fegyver lelke egy kerek, kissé parabolaantennára emlékeztető eszköz, amely, akár csak egy megafon, nagyon erős hangot bocsát ki. 150 decibel erejű hangorkánt a közelben lévő célpont, amelyre irányozták, elviselhetetlennek tartja. Alapváltozatban a fegyver hatótávolsága ötszáz méter.

Hangágyút fejlesztett ki és vetett be a palesztin tüntetők ellen az izraeli hadsereg. A morajló hangot adó készülék a fül belső kamráit zavaró elektromos frekvenciákat bocsát ki és ezáltal a céltömegben tartózkodó embereken egyensúlyzavar, szédülés és hányinger lesz úrrá.

Az izraeli hadsereg és a városi rendőrségek komoly reményeket fűznek a sikeresen bemutatkozott új tömegoszlató fegyver iránt.[16]



8. ábra LRAD alkalmazása[17]

Kisteherautó platójára erősített szerkezet (8. ábra) 10 másodperces időközönként „lőtt” az emberek közé, és a csodálkozó palesztin fiatalok fülüket befogva, tántorogva igyekeztek elszaladni a helyszínről. Egyik helyszínen jelen lévő tudósító elmondta, hogy hiába tapasztotta tenyerét a fülére, mert a mélyen dübörgő hang a kezén át behatolt a fejébe és hamarosan erős szédülés és hányinger fogta el. Az izraeli hadsereg és a tüntetések elfojtásában nagy gyakorlatot szerzett városi rendőrségek komoly reményeket fűznek a sikeresen bemutatkozott új tömegoszlató fegyver iránt. „Sikerült megoldanunk azt a hármas célt, hogy a terroristák távol maradjanak a katonáinktól és minél hamarabb megtisztítsuk a terepet olyan módon, hogy a tüntetők közül sem sérüljön meg senki” – fejtette ki véleményét egy magát megnevezni nem akaró izraeli katonatiszt.[18] Hazánkban is alkalmazzák riasztásra. A Szelíd-tavat az elmúlt évekig alkalmanként leadott puskalövésekkel próbálták védeni, de tavaly nyáron korszerűsítésként hangágyú lett üzembe helyezve.[19] Ezt azonban nem alkalmazták sokáig.

ÖSSZEGZÉS

A nagy teljesítményű hang előállítására különböző lehetőségek állnak rendelkezésre. Az erősítő elemek választásának kritikus pontja a torzítás, átvitel és hatásfok. Elektroncsövek jó 2/3-os karakterisztikájuk miatt alkalmasak erősítésre, azonban rossz hatásfoka, nagy maradék feszültségesés a fűtés miatt nem a legmegfelelőbb eszköz. Tranzisztorok, mint a legelterjedtebb félvezetőelemek exponenciális karakterisztikája miatt nem a legmegfelelőbb elem a torzítási probléma miatt. MOSFET tranzisztorok négyzetes karakterisztikájuk miatt megfelelőek, de a csatorna ellenállás miatt rossz a hatásfoka. Az IGBT tranzisztorok szintén négyzetes karakterisztikája, bipoláris kimenete, magas áramterhelhetősége, csaknem veszteség nélküli erősítése, magas hatásfoka, gyors kapcsolási jellemzői miatt alkalmas

nagyteljesítményű teljesítményerősítőben való alkalmazásra. Ez alapján felhasználható ultrahangos riasztó és hangágyú tervezésénél. A tervezett eszköz hatékonyan alkalmazható egy adott hely vagy terület kiürítésére, tömegoszlatásra köszönhetően az IGBT kiváló technikai jellemzőinek.

Irodalomjegyzék

- [1] Blága Csaba, *Teljesítményelektronika*. jegyzet, Miskolci Egyetem
<http://www.uni-miskolc.hu/~elkblaga/villkesz/POWEL1n.pdf> (letöltés: 2010-01-11)
- [2][6] Badacsonyi József, *Teljesítményelektronika kapcsolóelemei II.* BMF – KVK Főiskolai jegyzet Budapest 2002
- [3][4][5] Puklus Zoltán, *Teljesítményelektronika*. Széchenyi Egyetem Győr 2007
ftp://jegyzet.sth.sze.hu/!Tais_cuccok/BSc/Szakiranyos/Automatizalasi/NGB_AU019_1_Teljesitmeny_elektronika/teljes/Teljesitmenyelektronika.pdf 58-59. o. (letöltés: 2011-03-27)
- [7][8] Bartha Tibor: *Személyek elleni akusztikus fegyverek, mint nem halálos eszközök.* ZMNE egyetemi jegyzet 2004
- [9] *Az ultrahang* <http://ultrahang.15.hu/index.php> (letöltés: 2011-03-27)
- [10] *A hallás folyamata* <http://www.starkey.hu/images/sematikus.jpg> (letöltés: 2009-11-21)
- [11] WERSÉNYI, GY. *Műszaki Akusztika*. <http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/MA1.pdf>
Egyetemi jegyzet, Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar, 2004-2009
(letöltés: 2010-11-11)
- [12] *Az ultrahang* http://iar.bmfnik.hu/2002_2003/ultrahang/ultrahang.htm
(letöltés: 2011-03-27)
- [13] *Zajok fiziológiai hatása* http://szilaster.freeweb.hu/Zaj_fiziol_hat.doc
(letöltés: 2011-03-27)
- [14][15] *Szél és hangágyú*
http://www.masodikvh.hu/index.php?option=com_content&task=view&id=356&Itemid=189 (letöltés: 2009-12-11)
- [16] *Ultramodern fegyverekkel szerelik fel legújabbán a teherhajókat.*
<http://www.nepszava.hu/articles/article.php?id=63879> Népszava online 2009. január 03., 05:30 (letöltés: 2011-03-18)
- [17] *LRAD* <http://www.securityprousa.com/loraacde.html> (letöltés: 2009-07-11)
- [18] *Hangágyúval az ellenség ellen.* <http://www.mno.hu/portal/289463> Magyar Nemzet Online 2005. június 12. 09:52 (letöltés: 2011-04-23)
- [19] Tüske Emil: *Riasztó tevékenységek a Szelíd-tavon*
<http://www.biatorbagy.org/aktualis/biatorbagy-szelid-to> (letöltés: 2011-03-27)