

## Hangfrekvenciás mérések számítógéppel

Dr. Gschwindt András HA5WH; gschwindt@mht.bme.hu

Az utóbbi időkben, különösen a használt műszereket kínáló piacokon, olcsón lehet hozzájutni egy-egy hanggenerátorhoz, oszcilloszkóphoz. De miért vegyünk, ha van egy számítógépünk és azzal az alapvető hangfrekvenciás méréseket el tudjuk végezni? Gondoljunk a különböző torzítás- és zajmérésekre! Mindegyik egy-egy célműszert jelentett. Ma már ezeket egyetlen számítógéppel kiválthatjuk.

Jelen sorok megírásához a végső lendületet Froemel Károly Gyula: Hangfrekvenciás erősítők mérése c. cikksorozata adta. Az előzményhez tartozik az a sok éves küzdelem is, melyet jelen cikk írója a számítógép-hangkártyákkal folytatott.

Igaz, hogy az utóbbi időkben, különösen a börzéken, olcsón lehet vásárolni egy-egy hanggenerátort, oszcilloszkópot. Ám miért vegyünk, ha van számítógépünk és azzal az alapvető hangfrekvenciás méréseket el tudjuk végezni? Gondoljunk csak a torzítás- és zajmérésekre! Mindegyik egy-egy célműszert jelentett. Ma ezeket egyetlen számítógéppel kiválthatjuk.

Ne essünk azért túlzásokba! A továbbiakban ismertetésre kerülő mérőműszerek pontossága, méréstechnikai flexibilitása nem vetekszik egy jól megépített, klasszikus hardverelemeket tartalmazó megoldással, de segíthet a mérés- és műszertechnikai alapok megismerésében. A felhasználandó szoftverek ingyenesek, szabadon letölthetők. Egy kis (vagy nagy?) küzdelem a telepítéssel, és máris szól a hanggenerátor és/vagy látjuk az erősítőnk alapvető specifikációját. Mindezt ingyen, külön beruházás nélkül!

### Néhány szó a hangkártyáról

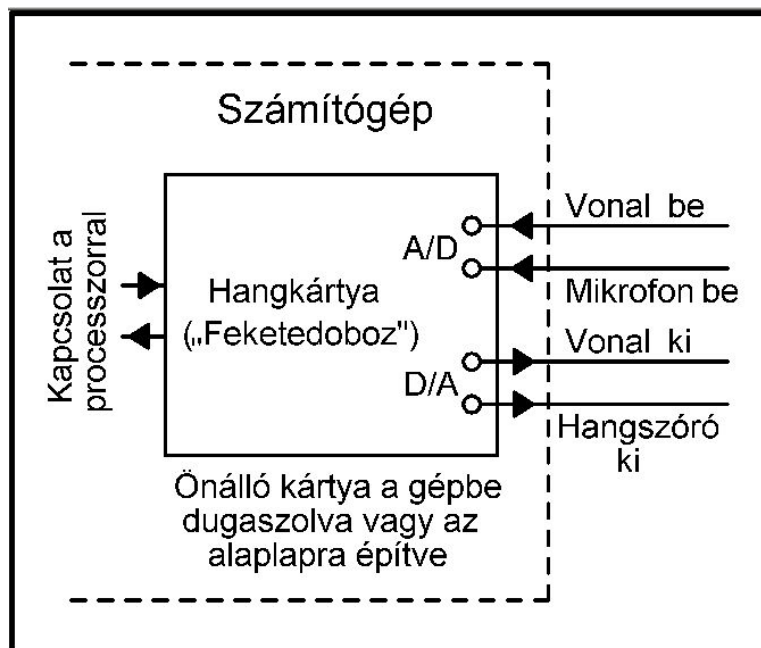
Ha szépen akarnánk fogalmazni, azt is mondhatnánk, hogy a hangkártya a számítógép egyik kapcsolata az analóg világgal. Ide lépnek be a tipikusan 20 Hz...20 kHz-es frekvenciasávban elhelyezkedő jeleink és innen kapjuk a hangszóró vezérléséhez szükséges feszültséget.

Mi van a hangkártyán? Nagyon egyszerűen válaszolva: a bemeneti oldalon egy A/D, a kimenetén egy D/A konverter. Befelé digitalizál, kifelé analóg jelet hoz létre. Mindezen műveleteket a számítógép adatforgalmába, vezérlőrendszerébe illeszkedve végzi.

A régebbiek egyszerre csak az egyik iránnyal tudtak foglalkozni, vagy jelet fogadtak, vagy jelet adtak a kimenetre. Jól ismert, sokat használt típus az SB16-os kártya, melyet a rádióamatőrök széles körben használtak, illetve használnak moduláló jel előállítására (D/A konverzió) vagy egy, a hangfrekvenciás sávban lévő jel demodulálására (A/D konverzió).

Az újabb hangkártyák mindkét jelűjüket egy időben tudják használni (duplex üzem). Nekünk a továbbiakban csak a duplex üzem felel meg, hiszen például egy erősítő vizsgálatánál hanggenerátor (jel ki) és spektrumanalizátor (jel be) funkciót egy időben kell megvalósítanunk.

Egyébként a hangkártya a valóságban is jól jellemezhető egy feketedobozzal. A komputer és a külső környezet kapcsolatát biztosítja a hangfrekvenciás (20 Hz...20 kHz) sávban. Nem ismerjük pontosan, hogy mi van a dobozban, csak arra törekszünk, hogy a ki- és bemeneti elektromos jellemzőit ismerjük (1. ábra).



1. ábra

A számítógép nem műszer, ne is keressünk a specifikációjában olyan jellemzőket, mint a hangkártya be- vagy kimenőimpedanciája, a kivehető, vagy a bemenetre kapcsolható maximális jelszint.

Marad a közvetett út, a gondolkodás és a mérés. A feketedobozunk bemenetéről annyit tudunk, hogy az esetek abszolút többségében csak váltójel fogadására alkalmas. Első alkatrész a bemeneten egy kondenzátor. A néhány száz kilohomos bemenőimpedanciát gyakran egy soros ellenállással (!) valósítják meg.

Röviden: a hangkártyán keresztül a gépbe a kb. 20 Hz...20 kHz-es sávban juttathatunk jeleket. Bemenőimpedanciája 100 k $\Omega$  nagyságrendű és ne kapcsoljunk rá  $\pm 1$  V-nál nagyobb feszültséget!

A kimenet szintén váltóáramú csatolással rendelkezik. Kiloohm nagyságú terhelést még a legtöbb kártya torzítás nélkül elfogad. Kimenőimpedanciájuk általában kicsi. Ha beépített, hangszóróvezérlésre is alkalmas erősítő-IC is van a kártyán, akkor 1-2 W-os hangteljesítményt is le tudnak adni a 4  $\Omega$ -os hangszóróra (főleg a régebbi típusok).

A kisszintű (vonal = line)kimenet száz ohm nagyságrendű (esetleg kisebb) kimeneti ellenállással rendelkezik.

A bemeneti lehetőségek között találkozunk a viszonylag nagyobb szinteket fogadni képes vonal (line-in) és a kb. 20 dB-lel érzékenyebb mikrofonbemenettel. A „vonal” csak váltójeleket tud fogadni, míg a mikrofonbemeneten egyenfeszültség is van, mely a mikrofonban lévő erősítő táplálását végzi.

Túl egyszerű lenne, ha minden kártya csak ezeket a csatlakozásokat mutatná a külvilágnak. Ahány kártya, annyi változat. A legújabbak már a sokcsatornás hangteret kialakító erősítő/hangszórórendszerek meghajtására is alkalmasak. Alig férnek a csatlakozók a hátlaphoz!

Az újabb, de gyakran a régebbi számítógépeknél is a hangkártya megszűnik önálló, cserélhető egység lenni. A teljes elektronika rákerül az alaplapra. Az ellenkező véletet a számítógépen kívüli, önálló dobozban, saját tápellátással rendelkező megoldás.

**Összefoglalva:** a hangkártyák alapvető jellemzőit csak jó közelítéssel ismerjük. Feketedoboznak tekintjük ezeket, elektromos jellemzőiket mérőszoftverrel határozzuk meg. Minden hangkártyának van bemenete (vonal és/vagy mikrofon) és kimenete (vonalak és/vagy hangszórók).

## Elektromos jellemzők

Két alapadatra támaszkodunk: a mintavételi frekvenciára és a digitalizálás során alkalmazott bitek számára.

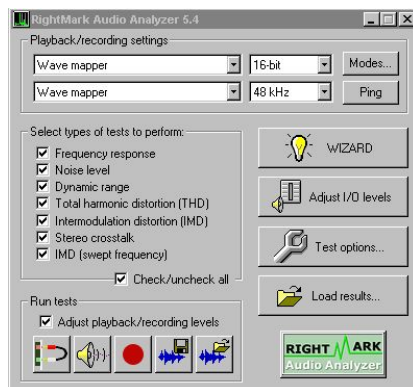
Ahhoz, hogy a 20 kHz-es frekvenciákat kezelni tudjuk, legalább 40 kHz-es mintavételi frekvenciára van szükség. A valóságban 44,1; 48; 96 és 192 kHz-es mintavételi frekvenciákkal találkozhatunk.

A digitalizálás során 8; 16 és 24 bites kártyák fordulnak elő. A bitek száma alapvetően meghatározza a kvantálási zajt, a digitalizálás elvi jel-zaj viszonyát. 8 bit esetén ez nem lehet jobb 48 , 16 bitnél 96, illetve 24 bitnél 144 dB-nél. Egy jobb erősítő méréséhez tehát legalább 16 bites kártyára van szükségünk.

A valóságban, a számítógép belsejébe zárt pl. 16 bites hangkártya rendkívül zajos környezetben működik. Ezért a legjobb gépbe tett kártya alapzaja nem jobb, mint -70...-80 dB a maximális kivezérléshez viszonyítva (az elvi határ 96 dB lenne).

100 dB-nél kisebb saját zajt 24 bites kártyákkal érhetünk el, melyeket egy önálló, jól megtervezett, árnyékolat, önálló tápfeszültségforrással rendelkező dobozba helyeznek. A külső hangkártya USB-felületen csatlakozik a számítógépünkhöz. A hangkártyát mérőeszközként használni csak akkor célszerű, ha a hangfrekvenciás jellemzői jóval jobbak, mint a vizsgálandó eszközünk.

Bármire használjuk is a hangkártyát, először nézzük meg hangfrekvenciás átvitelét! A módszer maga egyszerű. Kössük össze a hangfrekvenciás kimenetet (generátor) a bemenettel (analizátor) és futtassunk a gépen egy, a hangfrekvenciás méréseket automatikusan lebonyolító programot! A szoftver által megvalósított vizsgálójelek nagyon „tiszták”, kis torzításúak lehetnek. A mérési elrendezést gyakran visszahurkolásnak (loop-back) nevezik. A mérőszoftver neve RMAA 5.4 és könnyen letölthetjük, ha valamelyik keresőszoftverbe (pl.: [www.google.com](http://www.google.com)) beírjuk: rmaa5.4download. Letöltve, majd installálva megkezdhetjük a méréseket. Ne legyünk túlzottan optimisták! Sajnos, nem mindegyik gép „szereti” az analízáló-programot. Ha minden jól megy, a **2. ábrán** látható indító ablak jelenik meg a képernyőn (RightMark Audio Analyzer 5.4). A szerző gépén „fapados” Win98 működött, de az újabb operációs rendszerek is szerették a mérőprogramot.



2. ábra

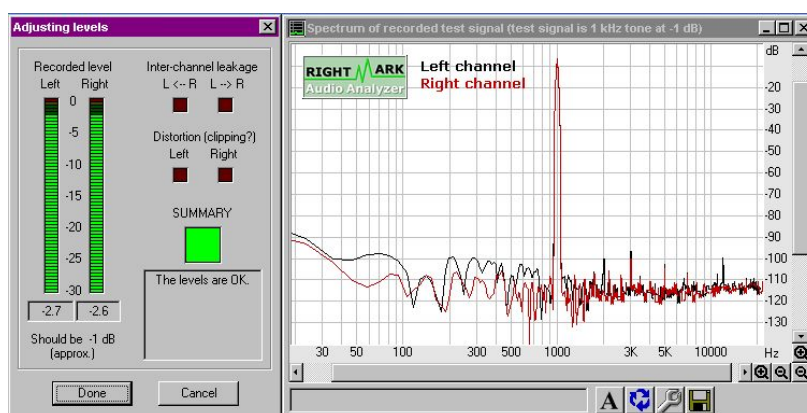
Először a hangkártyánk jellemzőit állítsuk be (Wave mapper)! Az ábrán 16 bit-es bontású, 48 kHz mintavételi frekvenciájú kártyát vizsgálunk. Maximum 7 átviteli jellemzőt mérhetünk:

- Amplitúdó–frekvencia menet (Frequency respond)
- Zajszint (Noise level)
- Dinamika-tartomány (Dynamic range)
- Teljes harmonikus torzítás (Total harmonic distortion)
- Intermodulációs torzítás (Intermodulation distortion)
- Sztereoáthallás (Stereo crosstalk)
- Intermodulációs torzítás változó frekvenciával (IMD-swept frequency)

Ne higgyük, hogy mérésünk öncélú, csak a kártya jellemzőinek megismerésére szolgáló! Ha a hangfrekvenciás erősítőnket akarjuk vizsgálni, akkor is hurokba kapcsoljuk a mérőrendszert, tehát a hangkártya ki- és bemenete mindig a mérésünk része lesz!

Mielőtt elindítanánk a programot, a hangkártyánk ki- és bemenetét elektromosan össze kell kötni. Ezt egy megfelelő, általában Ø3,5 mm-es Jack-dugókkal ellátott kéteres, árnyékolt kábellel tehetjük meg.

Szintezéshez kattintsunk a 2. ábra bal alsó sarkában lévő, visszahurkolást jelképező piros-fehér kábelre! Válaszul a 3. ábrán látható szintmérő és spektrumanalizátor kép jelenik meg a képernyőn.



3. ábra

Egy jól szintezett mérés indulási képe. Az alak bal oldali részében a két oszlop és a SUMMARY négyzet zöld képe, valamint az alatta lévő szöveg (The levels are OK) jelzi, hogy a mérést elindíthatjuk (kattintás a „Done”-ra). A jobb oldali ablakban a hangkártya kimenetén megjelenő jel spektrumának képét láthatjuk. Az 1 kHz-es mérőjel mellett jól látszanak annak harmonikusai és az alappaj. A fekete szín a bal, a vörös a jobb csatornát jelöli.

A bal oldali ábrarész (Adjusting levels) két, zöld sávot mozgató szintmezőjét a 0 dB közelébe kell emelnünk úgy, hogy a jobb oldali spektrumkép (Spectrum of recorded...) „tisztá maradjon”, az 1 kHz-es mérőjel harmonikusai kicsik maradjanak. Ha túlvezéreljük a hangkártya bemenetét, esetleg túl nagy jelet veszünk ki a generátorból, akkor az 1 kHz homonikusai nagy, a mérőjel alatt –10...–20 dB-es szinten jelentkeznek. Erre a rossz beállításra a bal oldali szintmérő ábra vörösén világító négyzetekkel figyelmeztet. Hasonló figyelmeztetést kapunk, ha a két hangcsatorna közötti áthallás túl nagy (Interchannel leakage).

Két lehetőségünk van a jó szint beállítására. A hangkártya lejátszó szintszabályozói (play-back) illetve a felvételi szabályozók (record) virtuális szintszabályozóival beállíthatjuk a torzításmentes szintet.

Akkor vagyunk bajban, ha a számítógépünknek csak mikrofon bemenete van. Ekkor előfordulhat, hogy egy ellenállásos osztót kell a hangkártya kimenete és bemenete közé helyezni. Sajnos olyan gépek is vannak, ahol a mikrofoncsatornába sávkorlátozó, alul áteresztő szűrőt, kb. 4-5 kHz-es vágási határral helyeznek el. A mérés lefuttatása után természetesen ezt meglátjuk, elég ha csak akkor leszünk bánatosak.

A legjobb beállítást akkor érjük el, ha a vonal kimenetet (line-out) hurkoljuk a vonal bemenetre (line-in). Vigyázzunk, hogy a szükségesnél több be illetve kimenet ne legyen nyitva a hangkártya kezelő szervein (jelképes potméterek). Ha jól sikerült a szintezés, akkor a 3. ábrán látható zöld fényt (SUMMARY) és a jó szintre utaló választ kapjuk (The levels are OK). Kattintsunk a „Done” virtuális gombra és várjunk! A gép elindítja a tesztet. Befejezve a mérést, az eredmények a 4. ábrán látható táblázat formájában jelennek meg. Az ábrán egy SB128PCI kártya három különböző mintavételi frekvencián végzett méréseit látjuk. A legjobb a 48 KHz-es sorozat, míg a 96 KHz-es, változó frekvenciával mért inter modulációs torzítás egészen „vad” eredményt adott.

Sajnos nagyon ritka az a kártya, amely 96 KHz-en stabilan működik. Talán a következő generáció jobb lesz. Megjelentek már a 196 KHz-es mintavételezési frekvenciával is jól működő, bár meglehetősen drága, külső hangkártyák.

A 4. ábra eredményeit nézve a legrosszabbnak az amplitúdó-frekvencia menet tűnik. A legkisebb ingadozás  $0,88+0,45=1,33$  dB (48 KHz-es mintavétel, 20 Hz...20KHz) ami összemérhető egy jó hangfrekvenciás erősítő

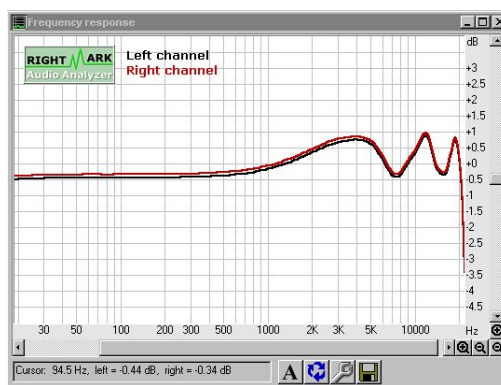
átvitelével. Az 5. ábrán részletesebben is láthatjuk az eredményt. A mérési eredményeket a frekvencia függvényében úgy jeleníthetjük meg, hogy a mérési eredmény sorában a jobb szélén lévő ikonra kattintunk az egérrel. Így megnézhetjük például a zajszint-frekvencia görbét, melyből kiderülhet a zajt okozó jel frekvenciája (pl. 50...100Hz). A 2. ábrán megjelenő nyitó kép „Test options” feliratára kattintva megismerhetjük a mérések elvét, esetleg változtathatunk mérő frekvenciákat (pl. a harmonikus torzítás mérésénél 1 KHz helyett más frekvenciát).

Test results			
Device:	Wave mapper	Wave mapper	Wave mapper
Sampling mode:	16-bit, 44 kHz	16-bit, 48 kHz	16-bit, 96 kHz
Frequency response, dB	+1.35, -1.08	+0.88, -0.45	+0.79, -1.26
Noise level, dBA	-84.1	-87.0	-87.1
Dynamic range, dBA	83.6	86.1	86.6
THD, %	0.012	0.0030	0.0031
Intermodulation, %	0.201	0.023	0.022
Stereo crosstalk, dB	-81.4	-82.4	-82.3
IMD (swept freq.), %	0.060	0.014	36.554
	<input checked="" type="checkbox"/> Select	<input checked="" type="checkbox"/> Select	<input checked="" type="checkbox"/> Select

HINT: Right-click on result boxes to view the detailed reports...

4. ábra

A mérések befejezésével egy összefoglaló ábrán táblázatban jelennek meg az eredmények. A frekvencia függvényében a grafikus megjelenítés is lehetséges, ha a jobb oldalon lévő ikonok valamelyikére kattintunk.



5. ábra

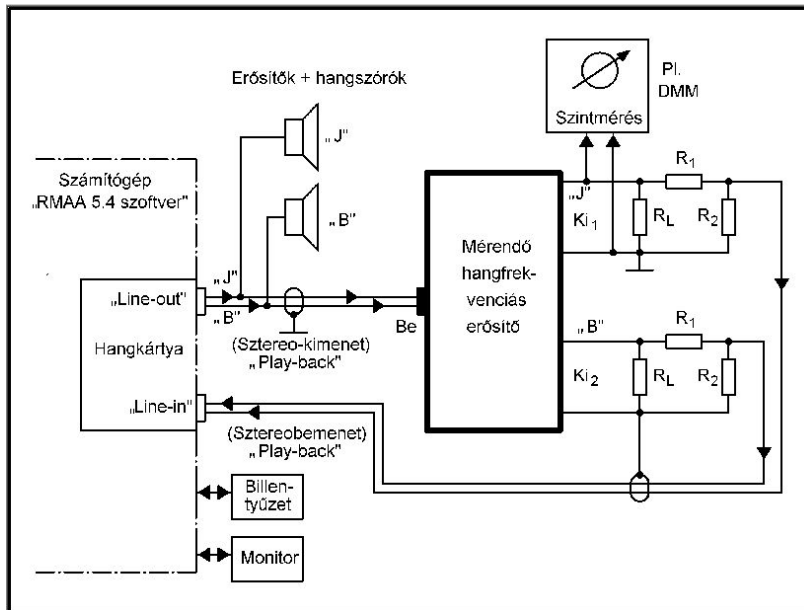
A 4. ábrából a 48 kHz-es mintavételhez tartozó amplitúdó-frekvencia menetet mutatja az ábra. Az amplitúdó-ingadozást feltehetően a D/A konverzió utáni szűrő okozza. Jellegzetes hangkártyahiba.

### Hangfrekvenciás erősítő mérése

Az előzőekben leírtak alapján könnyen összerakhatjuk a mérésünket (6. ábra). A mérőjelet (programozott hanggenerátor) a számítógép a „line-out” kimenetén, 50-300mV-os szinten biztosítja. A kimenő szintet, az erősítő bemenő jelét részben a számítógép hangkártyájának kezelőszerveivel, részben a mérendő erősítő bemeni szintszabályozójával állíthatjuk. Vigyázzunk, kerüljük el a túlzérlést. Ebben a RMAA5.4 indító, szintező ábrája segít.

Túlzérelhetjük a hanggenerátorunkat (hangkártya kimenet), az erősítőnket és a mérővevőnket (hangkártya bemenet). Egy kis gyakorlattal, odafigyeléssel a szintek beállíthatók.

Az erősítő kimenetéről származó feszültséget csak megfelelő osztás, csökkentés után kapcsolhatjuk a hangkártya bemenetére.



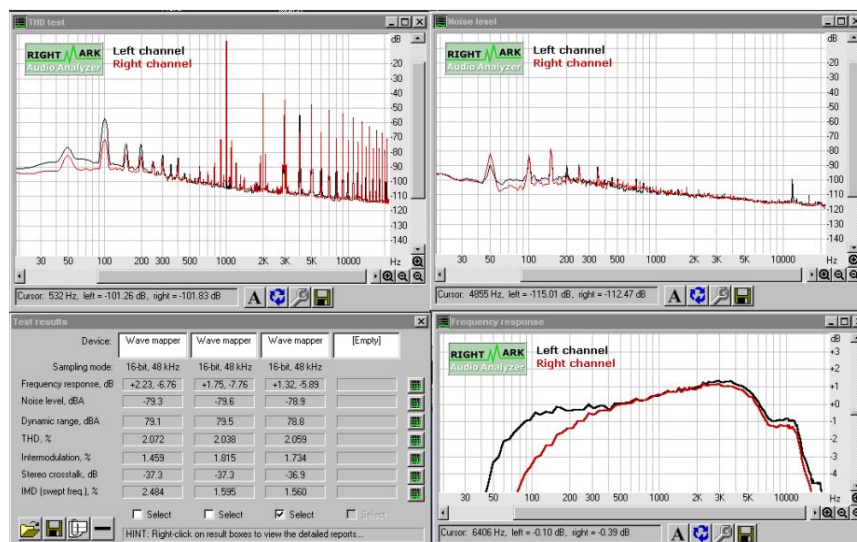
6. ábra

Egy hangfrekvenciás erősítő mérési elrendezése. Az  $R_L$  terhelő ellenállásoknak az erősítőből kivehető maximális teljesítményt el kell tudni disszipálni.

A 6. ábrán az erősítőknek az  $R_L$  ellenállás zárja le (pl. 4 ohm), melynek természetesen a teljes kimenő teljesítményt el kell tudni disszipálni. Ha az erősítőnk például maximum 20 W teljesítményt tud leadni 4 ohmra, akkor teljes kivezérlésnél körülbelül 9Veff feszültség jelenik meg a kimeneten. Ez túlvezérli, sőt tönkretreheti a hangkártyát, ezért csökkenteni kell.  $R_1$ -et például 33 Kohmra,  $R_2$ -öt 1 Kohmra választva nem tudjuk tönkretenni a hangkártyát, a bementre jutó feszültség maximuma 300mV körül lesz. Ha ismerjük az erősítőnk maximális kimenő teljesítményét ( $P$ ) és a terhelő ellenállást ( $R_L$ ) akkor ebből meghatározhatjuk a maximális feszültséget:  $U_{max} = P \times R_L$ . Ha  $U_{max}$  ismert, akkor  $U_{max}:0,3$  adja az  $R_1$  és  $R_2$  ellenállások osztási arányát.

A pontos kimenő szintméréshez külső segítséget kell igénybe vennünk. Az újabb multiméterek 10-20 KHz-ig pontosan mérnek. A régebbiek 400-500 Hz-ig használhatók. Érdemes megnézni az adatlapokat.

Az adott elrendezésben akár 100W-os erősítőt is mérhetünk, ha vigyázunk a szintezésre. A mérőszoftver írói nem vállalnak felelősséget a figyelmetlen felhasználó okozta károkért. Vigyázzunk a földelésekre, mindent kikapcsolt állapotban kábelezünk össze! Kötéseink, csatlakozóink megbízhatóak legyenek, hiszen például a földág megszakadása könnyen a hangkártya bemenet „elszállását” eredményezi.



7. ábra

Egy 10 W-os, klasszikus felépítésű, 30 éves tranzistoros erősítő 6. ábra szerinti, három különböző kivezérlési elrendezésben kapott mérési eredményei, illetve a legjobb grafikus formában megjelenítve. A leolvasható hibák: a két csatorna alacsony frekvencián eltérő átvitele, jelentős harmonikus-és intermodulációs torzítás és nem megfelelően szűrt tápegység.

A 7. ábra egy 10W-os hangfrekvenciás erősítő mérési eredményeit mutatja. A teljesen tranzisztoros, körülbelül 30 éves konstrukció bajait jól mutatják a mérési eredmények.

A bal alsó sarokban a három, különböző kivezérlési szinten készült mérés eredményét látjuk. A zaj és a dinamika tartomány kivételével valamennyi meglehetősen rossz érték.

Az 1 kHz-el mért harmonikus torzítás egy spektrum képet mutat (bal felső ábra). 20 KHz-ig láthatók a harmonikus komponensek. Figyelmesebben megnézve az 1 és 2 KHz közvetlen környékét, jól láthatók inter modulációs termékek is, melyek a hálózati frekvenciából származó (100Hz, 200Hz) vonalak és feltehetően a rossz tápfeszültség szűrésre utalnak. Az erősítő zaját bemenő jel nélkül méri a szoftver. Az 1 és 2 KHz melletti oldalsáv komponensek a terhelt tápmennyiség nem megfelelő szűrésére utalnak.

Az 50, 100, 150, 200 Hz-es brummot jól láthatjuk a 7. ábra jobb felső sarkában.

A jobb alsó sarok a frekvencia-amplitudó menetet mutatja. A jobb csatornával (piros vonal) valami alapvető baj van 50-200 Hz között. Lehet, hogy egy csatoló kondenzátor vesztette el kapacitása jelentős részét. Természetesen a 10 KHz fölötti tartomány is kívánni valót hagy maga után.

Gyors analízisünk eredményeként megállapítottuk, hogy az erősítőt meg kell javítani. A javításhoz szükséges jelkövetéshez legalább egy generátorra és egy oszcilloszkópra van szükségünk.

Ezeket is előállíthatjuk számítógépünk és megfelelő szoftver segítségével. Ráadásul ezek az egyszerű műszerek (szoftver műszerek) segítenek megérteni a mérés technika alapjait, ellentmondásait. Erre egy következő cikkben térünk vissza.