

Az érzékelők és a szenzorelektronika kapcsolata

Kondenzátor-mérőmikrofonok és piezo-gyorsulásérzékelők jelfeldolgozása

Dr. Szuhay Péter – B & K Components Kft.

A zaj- és rezgéselemzés érzékelői a hozzájuk kapcsolódó jelfeldolgozó elektronikában sajátos megoldásokat igényelnek. Ezen igények rövid áttekintése kevés ahhoz, hogy a megfelelő áramkört megtervezzük, de segít eligazodni az ilyen elektronikák értékelésében és kiválasztásában. Sok egyszerű számpélda illusztrálja a nagyságrendeket és a gondokat. Az illusztrációként használt mérési eredmények egyszerű, de valós feladatokból származnak.

Ez a két jelátalakító – bár működési elvükben különbségek vannak – a hozzájuk kapcsolódó elektronika és a jelfeldolgozás terén sok hasonlóságot mutat. Történetileg is sokszor ugyanahhoz a céghez kapcsolódik a két „rokon” érzékelő fejlesztése és gyártása.

A legfontosabb közös vonások

- Hasonló frekvenciatartomány,
- Hasonló, rendkívül nagy dinamikatartomány,
- Hatásos impedanciaillesztés szükségessége,
- A kiértékelésben logaritmikus skála, FFT-elemzés.

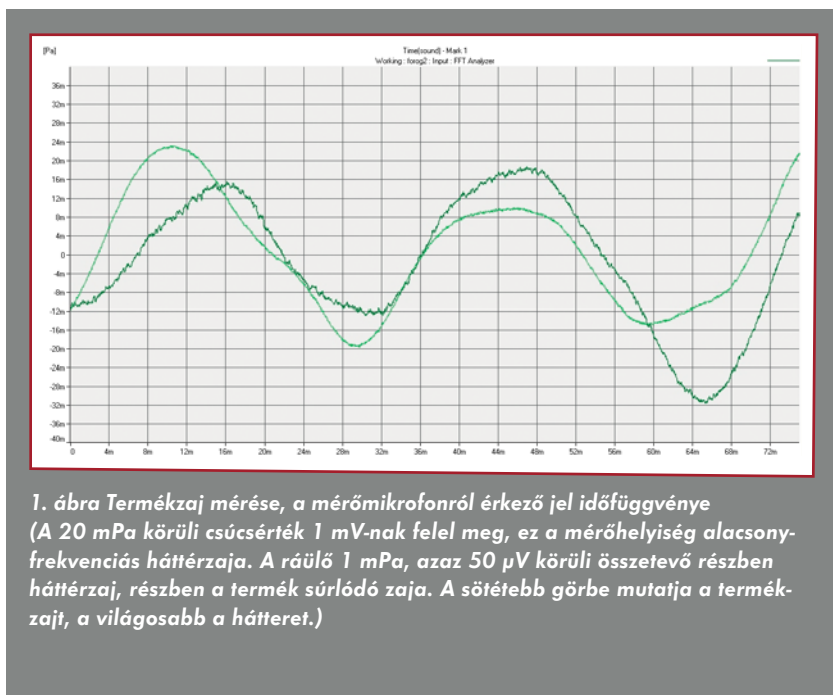
Mindkét jelátalakító kapacitív belső impedanciájú jelforrás, amihez igényes előerősítőt kell illeszteni. A speciális követelmények miatt általában az előerősítőt is az érzékelő gyártója állítja elő.

Mérőmikrofonok

A mérőmikrofonok esetében az előerősítő vagy kábel nélküli, vagy utánhúzott, belső árnyékolású toldattal csatlakozik a mikrofonhoz, sokszor szétszedhetetlenül egybeépítve. A mikrofon saját kapacitása 20 pF körüli, tehát ahhoz, hogy néhány Hz alsó határfrekvenciát elérjünk, GΩ feletti bemenő ellenállásra van szükség. Ha a kondenzátormikrofonnak polarizáló feszültséget (jellemzően 200 V-t) kell adni, ezt az előerősítőbe épített 10 GΩ körüli ellenálláson kapja meg. A hagyományos előerősítőnek ezért polarizáló és működtető feszültségbemenete és jelkimenete is van, feszültségérősítése 1 alatti (közel egységnyi). Ha a mérőmikrofon prepolarizált, vagyis „befagyasztott” villamos töltést tartalmaz az elektretretegben, akkor az előerősítőnek a jelfeldolgozó elektronika felé való csatlakozása egyszerűsíthető, vagyis egy vezetéken távtáplálható.

A piezo-gyorsulásérzékelő kétféleképpen is használható

- Ha az érzékelő anyaga kerámia, akkor rövidzárral érdemes lezárni, és a pillanatnyi gyorsulással a leadott töltés lesz ará-



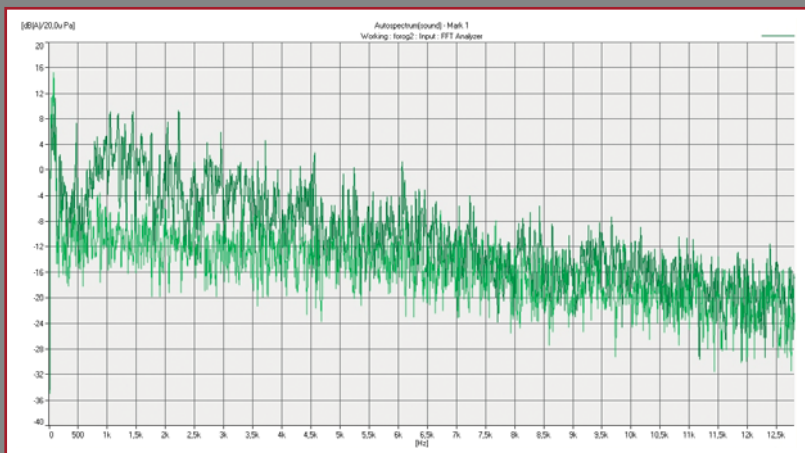
1. ábra Termékzaj mérése, a mérőmikrofonról érkező jel időfüggvénye (A 20 mPa körüli csúcserték 1 mV-nak felel meg, ez a mérőhelyiség alacsonyfrekvenciás háttérzaja. A ráülő 1 mPa, azaz 50 μ V körüli összetevő részben háttérzaj, részben a termék súrlódó zaja. A sötétebb görbe mutatja a termékzajt, a világosabb a háttérrel.)

nyos. Ekkor az esetlegesen közbeiktatott kábel kapacitása nem osztja le a jelet. A töltésérősítő visszacsatoló kapacitását át szokás hidalni egy ellenállással, ami meghatározza az alsó határfrekvenciát. Bár a töltésérősítőt a legtöbb érzékelőbe beépítik, ma is elérhető külön eszközként.

- Ha az érzékelő anyaga kvarc, akkor azt szakadással, vagyis egy nagyon nagy bemenő impedanciájú feszültségkövetővel szokás lezárni. Ha kábel is közbe van iktatva, az kapacitív osztóként működik, ezért ezt a megoldást inkább csak az érzékelő házába beépített előerősítőknél találjuk meg.

Az előerősítő kimeneti jele

Amint az eddigiekből is látszik, az érzékelőt alkalmazó szakember legtöbbször már csak az előerősítő kimenetével találkozhat, és nem kell magát az előerősítőt is létrehoznia. Az utóbbi két évtizedben az egyszerű, távtáplált előerősítők nagyon elterjedtek. Számos rövidítés mögött megegyező vagy hasonló



2. ábra FFT-spektrumok az 1. ábrán látható időjelekből (Az 1600 vonalas, 12,8 kHz tartományú spektrumon jól látszik, hogy 1 kHz környékén emelkedik ki a mérendő zaj a háttérből. A szélessávú, „A”-szűrős értékek 21, ill. 26 dB nagyságúak, vagyis ezzel a mérőhelyiséggel, mikrofonnal és analizátorral a jó mérés határán voltunk. A sötétebb görbe a termék zajspektruma, a halványabb görbe a háttérzaj. Kényesebb akusztikus termékmérések esetén „versenyben van” a mérőhelyiség háttérzaja, a mérőmikrofon termikus zaja és a jelfeldolgozó elektronika villamos zaja.)

villamos felület található. Az ICP-, DeltaTron- vagy IEPE-érzékelő 2...20 mA áramtáplálásra 12 V körüli munkapontba áll be, és erre ültetik rá a kimeneti váltakozó feszültséget. Cégen-

kondenzátormikrofon jeltartománya kb. 120 dB, vagyis néhány μV és több V között lehet. Számpéldával illusztrálva: az érzékeny mikrofon névlegesen 50 mV/Pa érzékenységgel. 1 Pa

ként kissé eltérő a munkapont értéke és tűrése, valamint a kimenő váltakozó feszültség csúcsértéke. Ilyen villamos felülettel gyártanak előerősítő mérőmikrofonokat is. A távtáplált érzékelők egy részét egy igen hasznos kiegészítéssel is lehet kapni: a TEDS a beépített elektronikus kalibrációs lapot jelenti. A komolyabb analizátorok (pl. a Brüel & Kjaer PULSE-rendszere) indításkor minden érzékelőből megpróbálják kiolvasni ezt a kalibrációs lapot. Amelyikből sikerül, annál azt a továbbiakban figyelembe veszik. A TEDS olvasásához a távtáplálás polaritását megfordítják, ekkor az előerősítő helyett a TEDS-memória fog működni.

A távtáplált érzékelő általában hosszú és olcsó, árnyékolt kábelt is elvisel. Csak kifejezetten nagy kábelkapacitás és nagy amplitúdójú, nagyobb frekvenciájú jeltartalom esetén lép be korlátozó tényezőként a tápáram mint a jel korlátja. Számpéldával: 16 nF kábelkapacitásba 10 kHz és 1 V esetén folyik be 1 mA_{eff} értékű jeláram.

A váltakozó feszültségű jel feldolgozása

Az előerősítőből érkező, váltakozó feszültségű jel feldolgozása sem egyszerű. A jó minőségű

Villámgyors, kompakt és önálló

Hőmérsékleti sok tesztchamrák



www.bruel.hu

A lift hasznos térfogata:

60 liter és 300 liter között

- Hőmérséklet-tartomány: -80 °C-tól – 220 °C-ig
- Két- és háromzónás típusok
- 12 coll-os színes érintőképernyős vezérlő
- Mozgatható kivétel

További készülékek:

labor-kamrák, vibrációs kamrák, sósköd-kamrák, szárító kemencék

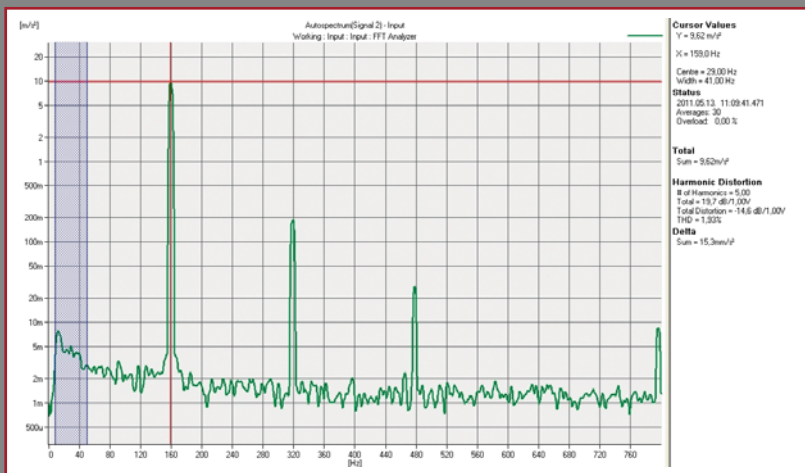


Forgalmazó:

B & K Components Kft. 1096 Budapest, Telegy u. 2/F

Tel.: 061-215 8305, Fax: 061-215 8202 Email: bruel@t-online.hu

Vötsch
Industrietechnik



Cursor Values
 Y = 9.62 mV/g
 X = 159.0 Hz
 Center = 20.00 Hz
 Width = 41.00 Hz
Stats
 2011.05.13, 11:00:41.471
 Averages: 30
 Overload: 0.00 %
Total
 Sum = 9.62 mV/g
Harmonic Distortion
 # of Harmonics = 5.00
 Total = 19.7 dB/1.00V
 Total Distortion = 14.6 dB/1.00V
 THD = 1.32 %
Delta
 Sum = 15.3 mV/g

3. ábra Szokásos gyorsulásérzékelő kalibrálása

(A Brüel & Kjaer 4294-típusú rezgéskalibrátorának és 4517-típusú, miniatűr, 10 mV/g érzékenységgű, előerősítés érzékelőjének a PULSE-mérőrendszerrel felvehető spektruma. A 800 vonalas FFT 159 Hz-en mutatja a kalibrálás 10 m/s² értékét, a többi vonal adja ki a kalibrátor megengedett, 2% alatti harmonikus torzítását. Az árnyékolt sáv a kalibrálás valószínű rezgésháttérét jelöli, ehhez tartozik a „delta”-leolvasás. Még egy ilyen egyszerű mérési szituáció esetén is fontos, hogy a rendszernek elég dinamikatarományja maradjon, hiszen a hasznos jel most is csak 10 mV.)



Brüel & Kjaer 4294-típusú rezgéskalibrátor

hangnyomás 94 dB-nek felel meg. Háttérzaj mérésénél a hangnyomás 34 dB, a hasznos jel mindössze 50 μ V. Ugyanez a mikrofon egy hangosított koncerten mérhet 114 dB hangnyomást is, ami 0,5 V jelet jelent. Csak az utóbbi néhány évben terjedtek el azok a műszerek, amelyek 24 bites A/D-átalakítóval az érzékelő teljes jeltartományát mérés-határváltás nélkül képesek feldolgozni. Ilyen készülék például a Brüel & Kjaer 2250-típusú kézi zajelemzője. Ha kisebb felbontású A/D-átalakítóval kell dolgozni, feszültségosztóval vagy átkapcsolható erősítéssel kell alkalmazkodni az éppen mért jelhez. Ellenkező esetben a kvantálás nagyon durvává válhat. Ha pl. a 16 bites A/D-átalakító jeltartománya ± 5 V, és a hasznos jel csak 3 mV_{eff} akkor a 16 bitből csak 6 bit fog működni.

Gyorsulásérzékelők esetében a helyzet teljesen hasonló. Talán csak a különböző típusok névleges érzékenysége fed le szélesebb tartományt a megcélzott alkalmazásnak megfelelően. Ejtőgépes vizsgálatokban a 10 mV/g névleges érzékenységgű érzékelő mintegy 500 g jeltartományának nagy részét kihasználjuk. Épületrezgés mérésére 10 V/g névleges érzékenységgű, fizikailag is nagyobb típusok kaphatók, messze a g ezredrésze alatti zajküszöbvel. Általában igaz, hogy a piezo-gyorsulásérzékelő mintegy 8 nagyságrendet (!) átfogó dinamikatarományát a ráépített elektronika legalább két nagyságrenddel szűkíti.

A csúcsmínőséget jelentő akusztikus és rezgéselemző elektronikákra ma a következő két megoldás jellemző:

- a) Nagy felbontású, jellemzően 24 bites A/D-átalakító, és előtte mérés-határváltással rendelkező erősítő,
- b) Csatornánként több A/D-átalakító beépítése és jeleik „összszევarrása” jelprocesszorral.

a) Nagy felbontású A/D-átalakító alkalmazása

Az a) megoldás jellemző példája a Photon+ márkanévű, USB-táplálású analízátor. Ebben a műszerben a 24 bites A/D előtt 10 mV...10 V jeltartományt dekadonként váltó előfokozat van.

b) Csatornánként több A/D-átalakító beépítése

A b) megoldás a Brüel & Kjaer PULSE márkanévű analízátorának két újabb hardvergenerációjában jelenik meg Dyn-X márkanéven (csatornánként 2 db 24 bites A/D). A 10 mV „full scale”-érték nem számít nagyon kicsinek, átlagos mérőmikrofon esetén ez 80 dB hangnyomásnak felel meg. A b) megoldással keskeny sávban 160 dB dinamikatarományt sikerült elérni.

Anti-aliasing szűrő

A rezgésjelet feldolgozó elektronikának szükséges része az ún. **anti-aliasing szűrő**. Ez tartja távol a mintavételtől a mintavételi frekvencia felénél nagyobb frekvenciájú jeltartalmat. Még a korszerű, igényes készülékekben is LC-szűrőket alkalmaznak. Egyszerű számpéldával illusztrálva: a gépészeti mérésekben ma használt érzékelő hasznos frekvenciatartománya kb. 10 kHz-ig terjed. Van értelme tehát pl. a 12,8 kHz felső határú FFT-elemzésnek, amihez kis rátartással 32 kHz mintavételi frekvencia tartozik. Az érzékelő mechanikus rezonanciája jellemzően 25 kHz. Ha ezt valami ütés vagy súrlódás gerjeszti, és anti-aliasing-szűrő híján ez az összetevő bekerül a mintavételezésbe, 32-25=7 kHz-es hamis összetevő jelentkezik az eredményben.

További információ:

B & K Components Kft.
 1096 Budapest
 Telepy u. 2/f
 Tel.: +36 1 215-8305
 Fax: +36 1 215-8202
 E-mail: bruel@t-online.hu
 www.bruel.hu