

Az AE műszerezés evolúciója Magyarországon

The evolution of AE instrumentation in Hungary

Geréb János

Geréb és Társa Kft., villamosmérnök, ügyvezető, info@sensophone.hu



1. Az első lépések

1976-ban az ERBE (Erőmű Beruházási Vállalat) kezdeményezésére a KFKI-ban (MTA Központi Fizikai Kutatóintézet) megkezdődött az akusztikus-emissziós (AE) technika tanulmányozása, kezdetben a nemzetközi műszaki publikációk irodalmi áttekintésével. A cél az volt, hogy megismerkedjenek ezzel az új roncsolásmentes vizsgálati eljárással, az AE technológia világhelyzetével, a vezető fejlesztőcégekkel/gyártókkal, és ezen irodalmi ismeretek alapján javaslatot tegyenek az AE technológia magyarországi bevezetésére. Az atomenergia hazai felhasználása aktuálissá tette a feladatot: ígéretes cél volt a primerkör nagyfeszültségű, veszélyes elemeinek AE általi tesztelése az akkor még épülő Paksi Atomerőműben [1].

Néhány szenzor és erősítő vásárlása után a KFKI/AEKI (KFKI Atomenergia Kutató Intézet) 1977-ben PÉTER Attila vezetésével megkezdte a saját mérőeszközök fejlesztését. Az OMFB (Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság) támogatásával először egy egycsatornás (1980), majd egy négycsatornás (NEZ-210, 1981) kísérleti műszer készült el [2]. Ezzel párhuzamosan megkezdődött egy nagyméretű, mobil, 32 csatornás AE rendszer fejlesztése is [3]. A négycsatornás műszerbe bekerült például a mobil rendszerből származó, logaritmikus erősítési funkcióval rendelkező, négycsatornás főerősítő egység is. A készülék beépített teszimpulzus-generátorral is rendelkezett, valamint egy analóg X-Y plotter és egy keskeny nyomtató csatlakozott hozzá. A beállítási paraméterek minimálisak voltak: az AE csatornák közös küszöbértéke és „margója”, az eseményen belüli impulzusok érkezési ideje különbségeinek

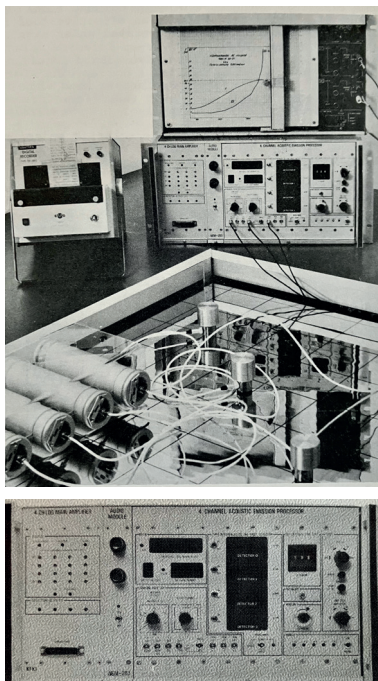
korlátja, a teszimpulzusok amplitúdója, a csatlakoztatott plotter konfigurációja. Lehetőség volt az egyes AE csatornák egyedi küszöbértékének automatikus beállítására. Mért paraméterek: a terhelés mértéke, az eseményen belüli impulzusok érkezési ideje, csúcsméret és oszcilláció szám, ezek kumulatív értéke, eseményen szám. Ezek a mért paraméterek az előlapon lévő hétszegmenses kijelzőkön, valamint a nyomtatón és a plotteren jelentek meg. Az AE események forrásának helyét manuálisan kellett kiszámítani egy programozható számológép segítségével.

2. A Defectophone

1984 lett az áttörés éve: ez év végére elkészült az első hazai sorozatgyártású AE berendezés, a DEFECTOPHONE NEZ-220 [4]. A rákövetkező év elején mutattuk be Brünnben (Csehszlovákia), a roncsolásmentes vizsgálatokkal foglalkozó nemzetközi kiállításon.

A Defectophone kezdeti verziója az alábbi jellemző tulajdonságokkal rendelkezett:

- 4 AE csatorna;
- Mikroprocesszoros (Z80) vezérlés;
- Soros interfész (RS232) a külső számítógéppel való kapcsolódáshoz;
- A külső számítógép: Commodore-64 tévékészülékkel és két floppy diszk meghajtóval;
- Cserélhető 18kB memória modul a mérési adatok tárolására;
- Külső (transzisztor array-eken felépített) főerősítők logaritmikus erősítési karakterisztikával és cserélhető LC-szűrővel a bemeneten;
- Beépített teszimpulzus generátor;
- Különleges, mátrix elrendezésű



NEZ-210 kísérleti
műszer-összeállítás, és a
készülék előlapja

előlap a beállítások megadására, ami a számítógép képernyőjén is megjelenik;

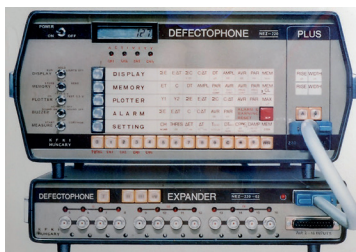
- Lehetőség az AE csatornák optimális egyéni küszöb-szintje automatikus beállítására;
- Az AE események valamennyi fontos paraméterének mérése;
- A külső terhelés paraméterének mérése;
- Analóg X-Y plotter csatlakoztatásának lehetősége;
- Kompakt, könnyen hordozható mechanikai konstrukció;
- Csekély energiaigény, lehetőség 12 V-os akkumulátor-ról történő működtetés.



a.



b.



c.

a) A brünni kiállítás Metrimplex-standján;

b) Egy kései alapkészülék;

c) Egy kicsit korábbi, de 16-csatornásra bővített összeállítás

ciós rendszerre való átállással;

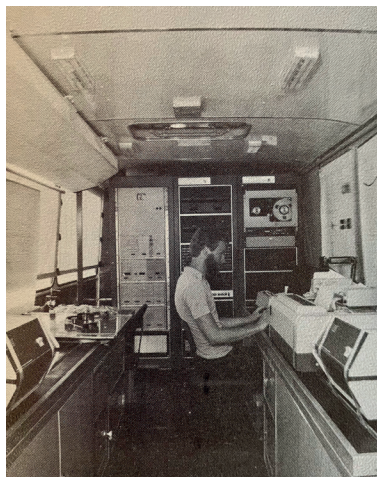
- A műszer memória moduljának kapacitását megnöveltük először 32 kB-ra, majd 128 kB-ra;
- Bevezettük két további eseményparaméter mérését (felutási idő és impulzus hossz);
- Az előlapi panel folyadékkristályos hétszegmentes kijelzőjét LED-es kijelzőre cseréltük;
- A csatornaszám növelése: kifejlesztettük az EXPANDER-t, egy 12 AE-csatornás csatornabővítő egységet. Ezzel együtt a forráslokalizálásra szolgáló csatorna-négyesek rögzítettek maradtak;
- Lehetővé tettük két ilyen 16-csatornás berendezés összekapcsolását egy közös, szinkronizált 32 AE-csatornás rendszerrel.

A hordozható DEFECTOPHONE készülék fejlesztésével párhuzamosan egy speciális, autóbuszba épített akusztikus emissziós laboratórium [5] létrehozását is befejeztük. A mobil laboratórium a következő jellemző tulajdonságokkal rendelkezett:

- 32 AE csatorna és 16 technológiai paraméter csatorna.
- Külső előerősítők, a bemeneten cserélhető LC-szűrővel,
- Négyes főerősítő modulok logaritmikus erősítési karakterisztikával,
- Rögzített forráslokalizáló érzékelő négyesek,
- Az AE események legfontosabb paramétereinek mérése,
- Programból vezérelt elektronikus öntesztelő üzemmód, beépített tesztpulzus generátor,
- Az eredeti analóg AE jelek rögzítése és visszajátszása többcsatornás, nagyfrekvenciás ipari magnetofonnal,
- Vezérlő számítógép: KFKI gyártmányú TPA1140, perifériákkal (mágneses diszk, monitor, printer, plotter),
- Interaktív szoftverrendszer,
- Táplálás 220 V hálózatról vagy dízel generátorról,
- Autóbusz: Ikarus 260.90, külön szekciók a mérések végrehajtásához, pihenéshez és utazáshoz.

A DEFECTOPHONE AE berendezést a KFKI-ban gyártották és körülbelül 15 éven keresztül értékesítették. Természetesen ez idő alatt számos bővítés és továbbfejlesztés történt:

- A vezérlő számítógépet már 1985-ben lecseréltük DOS operációs rendszerű IBM PC-re;
- A szoftvert minden évben frissítettük, néhány évvel később a Windows operá-



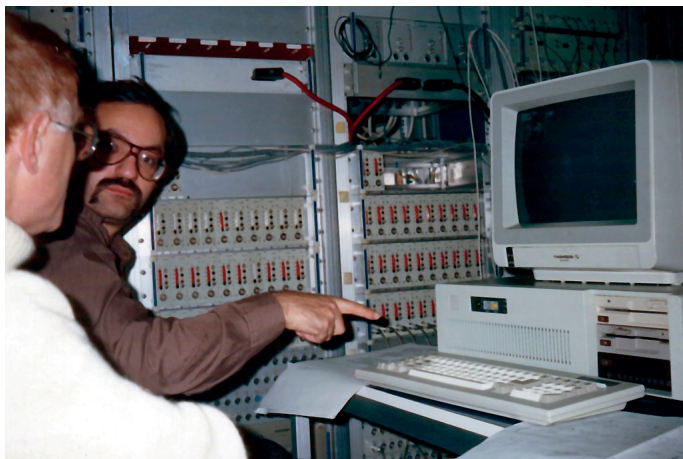
Balra: Az autóbusz belsejében Lafranco Gábor; Jobbra: A 32-csatornás mozgó laboratórium

3. A KFKI-ban kifejlesztett AE berendezések alkalmazása

Már 1981-től, az OMFB-vel és az ipar legkülönbözőbb ágazataihoz tartozó partnerekkel kötött szerződések alapján, megkezdtek a 4-csatornás NEZ-210 kísérleti műszer és a mozgó laboratórium felhasználását AE vizsgálatok végrehajtására [6]. Az első mérések között volt: a nyomásérték meghatározása a kiemelt fúrómag eredeti mélységi pozíciójában, kompozit helikopterlapátból vett minták vizsgálata [6], kísérletek különböző minőségű acél-mintákkal, forráslokalizáló algoritmusok kidolgozása, cső-vezeték szakaszok ellenőrzése, hengeres és gömb alakú nyomástartó edények vizsgálata. Az első napoktól kezdve az AE technológia alkalmazásán a VASKUT-tal (Vasipari Kutató Intézet) közösen dolgoztunk RITTINGER János és FEHÉRVÁRI Attila vezetésével.

A DEFECTOPHONE megjelenésével ezek a munkák új lendülettel folytatódtak, sőt kiterjedtek: vizsgálatokat végeztünk fa anyagú és vasbeton objektumokon is. Fontos vizsgálat volt Pozsonyban, Fehérvári Attila szervezésében, egy 1000 mm átmérőjű gömbtartály alacsony hőmérsékleten végrehajtott nyomáspróbája, melyet az edény felnyílásáig folytattunk. A legfontosabb persze a kiinduló feladat elvégzése volt: az AE berendezések részvétele 1985-től kezdve mind a 4 atomerőművi reaktortartály időszakos nyomáspróbáján. A PAV-méréseket, megfelelő szerződések alapján, először az ERŐKAR (Erőmű Javító és Karbantartó Vállalat), majd az AÁEL (Siemens Erőműtechnika Kft. Anyagvizsgáló és Állapotellenőrző Laboratórium) [8], Vincotte (AIB-VINCOTTE Hungary Biztonsági, Minőségi és Környezeti Szolgáltató Kft.) és mások részvételével, közösen végeztük. A legelső ilyen vizsgálatot egyetlen négycsatornás Defectophone-nal, később – az EXPANDER bővítő egység megjelenésével – két párhuzamos rendszerrel (32 + 16 AE csatornán) hajtottuk végre. Természetesen az eltelt több mint 30 év alatt óriási, rendkívül értékes és pótolhatatlan tapasztalat gyűlt össze az atomerőművi környezetben végzett mérésekről.

1990-ben a KFKI-ban kifejlesztettek egy SYGNALYSER elnevezésű, az AE impulzusok eredeti jeleinek rögzítésére szolgáló, kétcsatornás, gyors tranzienst rögzítő is.



Péter Attilával a PAV-nál

Az asztali PC-be helyezett vezérlő kártyához, mely csatornánként egy-egy 10 MHz mintavételi frekvenciájú, 8-bites ADC-t és 32 kB memóriát tartalmazott, saját szoftvercsomag is járt.

A sorozatgyártású DEFECTOPHONE berendezést a KFKI kereskedelmi termékként is kínálta. Magyarországon és külföldön is értékesítették, számos ország cégei, egyetemei vásárolták meg. Sok példánya került közülük a KGST együttműködés keretében a Szovjetunióba.

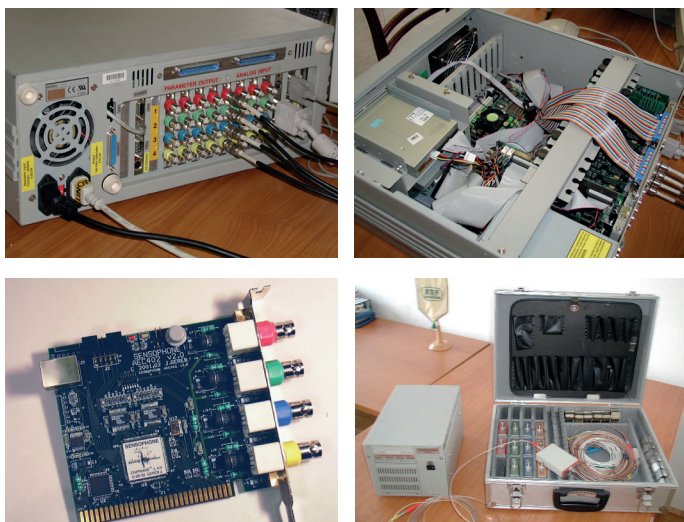
4. A magyar AE berendezések nemzedékei

Amennyiben a kísérleti eszközök (az egycsatornás készülék, a 4 csatornás NEZ-210 készülék és a mobil laboratórium) a magyar AE berendezések **első generációjához** köthetők, akkor a DEFECTOPHONE NEZ-220, annak összes változata és az EXPANDER NEZ-220-02 bővítő egység képviselik a **második generációt**. A DEFECTOPHONE-ról a maga idejében nagyon jó vélemények voltak, eredetinek, megbízhatónak és könnyen használhatónak tartották. Másrészt az alkalmazása során szerzett sokéves tapasztalat alapján a fejlesztők számára világossá vált, hogy milyen irányba kell tovább lépni, ahol már nem elegendő egy egyszerű továbbfejlesztés, bővítés, finomítás. Eljött az idő egy új készülék kifejlesztésére.

1991 végén a fejlesztők egy csoportja elhagyta a KFKI-t, és élve az Energotechno Magyar-Szovjet Energiaipari Kft. ajánlatával, hozzáálltak a magyar AE berendezések új, **harmadik nemzedékének** kifejlesztéséhez. A DEFECTOPHONE és a teljesen új kialakítású **SENSOPHONE AED-40** berendezés közötti alapvető különbségek:

- Modulrendszerű konstrukció: a négycsatornás AE kártyák egy asztali személyi számítógép ISA-csatlakozóiba illesztve.
- A lassú soros interfész helyett Ethernet interfész a vezérlő számítógéppel való kapcsolathoz.
- A kizárólag „Esemény” paraméterek mérése helyett minden detektált „Beütés” paramétereinek mérése.
- A kizárólag „Logaritmus” erősítési mód mellé a „Lineáris” erősítési mód is választható.
- A forráshely meghatározó érzékelőcsoportok szabad programszintű konfigurálása.
- Teljesen digitális AE jelfeldolgozás, programozható logikai mátrix chip (FPGA) és nagy sebességű analóg-digitális átalakító (ADC) alkalmazása.
- Az előlapi kezelőszervek elvetése: minden beállítás a szoftver GUI képernyőjén történik.

Két év intenzív munka és a SENSOPHONE AED-40 berendezés két prototípusának elkészítése után a cég pénzügyi problémái miatt a fejlesztők kénytelenek voltak elhagyni az Energotechno Kft.-t. A munkát saját forrásból folytatták, csupán a jövőbeni siker reményében. Az első megrendelés (32 csatornás változat) végre 1995-ben érkezett meg. Ennek, és az ezt követő megrendeléseknek a teljesítése néhány éven keresztül az ÁEF Laboratórium Kft.-n keresztül történt.



Fent: Az 1995. évi 32-csatornás műszer hátulról, és annak belső elrendezése;

Alul balra: 4 csatornás AE vezérlő kártya;

Alul jobbra: Egy 12-csatornás műszer, és tartozékai a hordobozban

A SENSOPHONE AED-40 berendezés kezdeti változata a következő jellemző tulajdonságokkal rendelkezett:

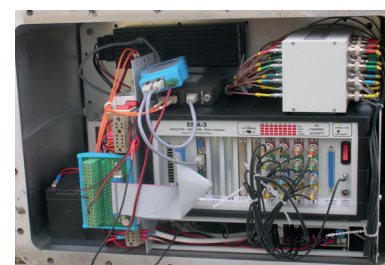
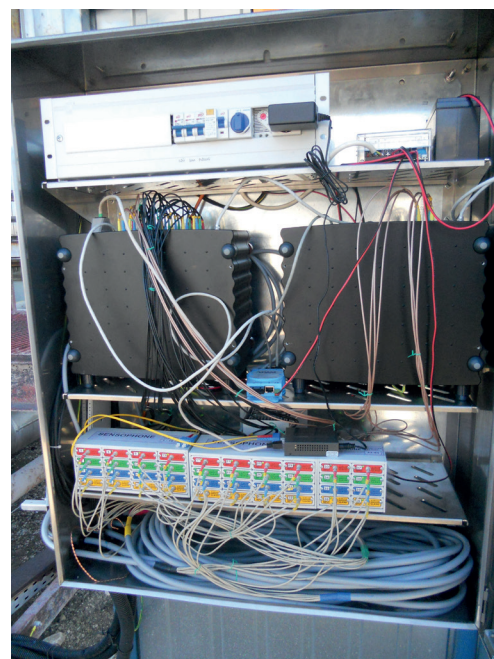
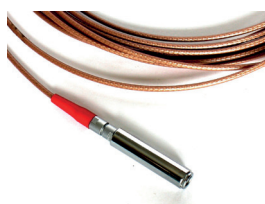
- 1-8 db, egyenként 4 csatornás AE vezérlő kártya (4-32 AE csatorna), és egy db, a környezeti paraméterek mérésére szolgáló mérőkártya, mind egy IBM osztályú asztali személyi számítógép ISA buszára telepítve.
- 16 csatorna a környezeti paraméterek méréséhez.
- AE előerősítők az érzékelők jelkábélébe építve.
- Külső programozható (lineáris erősítő IC-ken felépített) főerősítők választható lineáris és logaritmus erősítési karakterisztikával és cserélhető LC-szűrővel a bemeneten.
- A főerősítőkbe épített testimpulzus generátor. Bármelyik AE csatorna lehet tesztadó. Automatikus elektronikus öntesztelő üzemmódok.
- Az előerősítők tápellátása, a testimpulzusok kiadása, a főerősítők tápellátása és azok üzemmódjainak beállítása – mind az elsősorban az AE jelek továbbítására szolgáló koaxiális jelkábelen át történik.
- Nagysebességű 8-bites quad (négyes) ADC IC használata.
- Négy AE csatorna teljesen digitális AE jelfeldolgozása egyetlen programozható logikai mátrix chip (FPGA) alkalmazásával.
- Az AE impulzusok észleléséhez szükséges optimális küszöbértékek automatikus meghatározása (minden csatornához külön-külön).
- Valamennyi detektált AE impulzus összes elsődleges paraméterének mérése.
- A forráshely meghatározó érzékelőcsoportok szabad, programszintű konfigurálása.

- Interaktív, felhasználóbarát szoftvercsomag.
- Az egyes AE csatornák szinkódolt jelölése.
- 110-240 V-os hálózati tápellátás.

Az évek alatt, amíg a SENSOPHONE AED-40 berendezés gyártásban volt, a szoftvereken, valamint a berendezések elektronikus és mechanikai tervezésén is folyamatosan dolgoztunk. A kezdeti időkben a műszereket különféle vásárolt ipari tokozatokba építettük be, majd kialakult a végleges műszerház is.

A SENSOPHONE AED-40 főbb hardver és szoftver fejlesztései a gyártási évek során:

- Egykártyás, ipari kivitelű számítógép (DOS operációs rendszerrel) alkalmazása az eszköz vezérlésére a készülékházban.
- Az AE csatornák maximális száma 64-re emelkedett két eszköz összekapcsolásával egy közös szinkron rendszerbe.
- A programozható főerősítők bemenetén a cserélhető LC szűrők helyett négy beépített LC szűrőalkalmazása, melyek közül a szoftverben lehet választani.



*Balra fent: Külső programozható főerősítők, lejjebb a jelkábélbe épített előerősítő;
Jobbra fent: 40 AE csatornás, folyamatos monitoring rendszer műszerszekrénye;
Alul balra: Teljes kiépítésű, 32-csatornás készülék;
Alul jobbra: 16 AE csatornás, folyamatos monitoring rendszer műszerszekrénye*

- Új, kényelmesen használható algoritmusok és szolgáltatások kidolgozása a mérési eredmények feldolgozásához: forráslokalizálás vonal és gyűrű mentén, síkon, hengeres- és gömbfelületen; paraméteres adatszűrés; riasztási jelek generálása; a mért paraméterek táblázatos és grafikus megjelenítése; a vizsgált objektum tulajdonságainak vizsgálata, önteszt módok.
- A teljes beállítás mentése egy speciális fájlba és újbóli visszatöltése.
- Objektumok folyamatos megfigyelésének (monitoring) lehetősége.
- A mérések távvezérlése, a mérési eredmények távoli feldolgozása az Interneten keresztül.
- Az "EMA-3" nevű párhuzamos szoftverrendszer kifejlesztése, amely képes prognosztizálni a vizsgált objektum állapotát is.

Az AED-40 típusú berendezésekből 1994 és 2014 között összesen 50 db rendszert értékesítettünk több, mint 800 AE csatornával. Az egyes rendszerek csatornaszáma 4 és 56 AE csatorna közé esett, a nagyobb rendszerek természetesen folyamatos monitoring üzemmódban dolgoznak. A műszerek túlnyomó többsége Ukrajnában és Magyarországon került a felhasználókhoz, de került belőlük még a távoli Malajziába is. Ma már ilyen készüléket nem gyártunk, de meglévő partnereink számára a szoftver- és hardver támogatást – ha némi korlátokkal is – a mai napig fenntartjuk.

A negyedik nemzedék: a **SENSOPHONE AED4xx család**

A műszaki fejlesztésekben nem szabad megállni: aki a fejlesztésekkel késlekedik, az lemarad. Több, mint huszonöt év akusztikus-emissziós berendezésfejlesztési és mérési tapasztalattal a hátunk mögött, 2007-ben újra nekiveselkedtünk egy megint gyökeresen megújított műszercsalád kifejlesztésének. A fejlesztési célok az alábbiak voltak:

- a berendezések méretének, súlyának és energiaigényének drasztikus csökkentése;
- a kábelezési igény minimális mértékűre redukálása;
- a legkülönbözőbb csatornaszámú rendszerek végletesen egyszerű létrehozása;
- új, korszerű szolgáltatások és funkciók bevezetése;
- az eltérő felhasználói igényeknek megfelelő, opcionálisan választható szolgáltatások kínálata;
- az üzembehelyezés, kezelés, beállítás legyenek maximálisan felhasználóbarátok;
- a gyártási költség és az eladási ár leszorítása.

A fejlesztési munka az AED-40 készülékek gyártásával, szállítással párhuzamosan, zavar nélkül folyt. A legelső, új rendszerű, értékesített készülék egy négycsatornás AED404-USB rendszer volt, és 2011-ben a Pretoriai Egyetemre (Dél-Afrikai Köztársaság) került. Azóta már összesen 35 készüléket, összesen mintegy 300 AE csatornával értékesítettünk. A fő piacunk továbbra is

Ukrajna és Magyarország, de készülékeink Romániában, Olaszországban és Ausztriában is megjelentek. Néhány készüléket ezeken felül ingyenesen is átadtunk legközelebbi partnereinknek tesztelés és alkalmazásfejlesztés céljából.

Az AED4xx család két alapkészülékből – egy négycsatornás (AED404) és egy 16-csatornás (AED416) műszerből áll. Mindkettő számos opcionális szolgáltatással rendelkezik, melyekből kialakítható az igényeknek leginkább megfelelő akusztikus-emissziós vizsgáló rendszer.

Valamennyi alapkészülékben meglévő, közös jellemzők:

- Minimális méret, súly és energiaigény;
- Öt irányban IP65-os védettség;
- 4/16 AE csatorna, 1/5 környezeti paraméter csatorna az alapkészüléktől függően;
- A környezeti paraméter csatornák feszültség- vagy áramhurok jelet is fogadnak;
- Az AE főerősítők (melyek funkcionálisan megegyeznek az AED-40 család külső főerősítőivel) mind a tokozáson belül helyezkednek el, így a kábelezési igény feleződött;
- A 4/16 AE csatorna teljesen digitális AE jelfeldolgozása egyetlen programozható logikai mátrix chip (FPGA) alkalmazásával, mely egyben a készülék belső vezérlését, és a vezérlő számítógéppel való kapcsolattartás feladatát is ellátja;
- Nagysebességű, 10-bites quad/2x oktális ADC IC alkalmazása;
- Digitális sávszűrő programból megadható sávhatárokkal az AE csatornához;
- Minden, az AED-40 rendszerben már bevezetett, és hasznosnak bizonyult hardveres és szoftveres tulajdonság megőrzése.

Választható opcionális tulajdonságok, funkciók és tartozékok:

- USB vagy Ethernet port a vezérlő számítógéppel való kapcsolattartáshoz.
- DC tápfeszültség bemenet (AED404 és USB port esetén opcionális csak, az összes többi készüléknél kötelező).
- 1/3 Ethernet bővítő port hasonló készülékek összekapcsolására sokcsatornás/sokkészülékes rendszer kialakításához, összesen legfeljebb 128 AE-csatornáig.
- GPS szinkronizáló modul WIFI útján megvalósított rendszerbővítés esetére.
- Folyamatos jelalak rögzítés (streaming), csak AED404-hez, USB 2.0 HS porton át.
- Jelalak pillanatfelvétel készítés, egyszerre akár a készülék összes csatornáján.
- Folyamatos monitoring üzemmód.
- Defectophone-jellegű működési mód, régi Defectophone mérések importálása és újbóli kiértékelése.
- VNC (a számítógéppel folyó kommunikáció követése).
- Párhuzamos szoftverrendszer (EMA-4), a vizsgált objektum állapotának prognosztizálásával.

- Automatikus hardver rendszertesztesztelés.
- Hálózati AC/DC tápmodul.
- Saját gyártású, beépített előerősítővel és beépített rögzítő mágnessel rendelkező érzékelők vagy vásárolt, harmadik féltől származó aktív vagy passzív AE detektorok.
- Kiegészítő mágneses rögzítő.
- Kábelek megadható hosszokkal, akár kábelbe épített előerősítővel, igény szerint kábeldobbal.
- Hsu-Nielsen kézi tesztelő ceruza.
- Horddobozok.

Hagyományainknak megfelelően, az értékesített berendezések támogatását fenntartjuk, a szoftverrendszert és a szoftver felhasználói leírást folyamatosan frissítjük. Igény vagy szükség esetén a hardvert is tovább fejlesztjük, csiszolgatjuk, új funkciókat és szolgáltatásokat implementálunk. Nagyon várjuk felhasználóink visszajelzését, kéréseit, javaslatait, mert ezek nélkülözhetetlenek termékeink műszaki színvonalának fenntartásához és további emeléséhez.

Irodalomjegyzék

- [1] Péter Attila: Az akusztikus emisszió rövid hazai története, ERBE szimpózium, 1996 november 12.
- [2] NEZ-210 Four Channel Acoustic Emission Analyser, KFKI brosúra, 1981
- [3] Akusztikus emissziós vizsgálólabor, KFKI brosúra, 1981
- [4] DEFECTOPHONE NEZ-220 – A microprocessor based, state-of-the-art device for testing materials and structures under mechanical stress, KFKI brosúra, 1985-1990 (magyar, angol és orosz nyelven)
- [5] Acoustic Emission Testing, Instrumentation and Development for Request, KFKI brosúra, 1984 (angol nyelven)
- [6] Péter Attila, Pellionisz Péter, Geréb János: Akusztikus emissziós kutatások az MTA Központi Fizikai Kutató Intézetben. Mérés és Automatika, XXIX., 1981. No. 10. pp. 392-395.
- [7] Geréb János, Lafranco Gábor, Pellionisz Péter, Péter Attila: Akusztikus emisszió alkalmazása a repülés biztonságának növelésére. Hajtómű diagnosztikai konferencia, Budapest, 1982. január 19-20.
- [8] Gémes György, Péter Attila, Csajbók Róbert: Beszámoló jelentés VVER-440/213 típusú reaktortartályok akusztikus emissziós vizsgálatáról. Siemens Erőműtechnika Kft, 2005

