

# OPTIKAI ELVEN MŰKÖDŐ REZGÉSMÉRŐ BERENDEZÉS FEJLESZTÉSE

## DEVELOPMENT OF OPTICAL VIBRATION MEASUREMENT DEVICE

LÉNÁRT József

### ABSTRACT

*This article discusses about designing a novel equipment for non-contact vibration measurement and analysis. The goal of the project is to create a device that is small and smart, and can do the job without auxiliary equipment, like PC or notebook. The designed device is not a standard vibration analyzer, but a device to measure a group of vibrations that is difficult to measure because of the high acceleration.*

### 1. BEVEZETÉS

A rezgésmérés és –analízis az iparban a gépek mérésének és vizsgálatának egy nagyon fontos területe. A vibrációk mérésével és elemzésével nem csak a rezgés paramétereit határozhatjuk meg, hanem következtetéseket vonhatunk le a gép állapotáról és a lehetséges meghibásodásokról is. A berendezése tervezésekor figyelembe kell venni a kialakuló rezgéseket is a megfelelő konstrukció megválasztásakor [1], azonban a gépek működésük során kopnak, az alkatrészek alakváltoznak, az illesztések lazulnak, ezért is fontos a berendezések karbantartása során annak rezgéseinek vizsgálata is. A legtöbb rezgésmérési módszer gyorsulásmérésen alapul, mivel a gyorsulás viszonylag könnyen mérhető piezoelektromos, vagy MEMS (Microelectromechanical Systems) típusú szenzorokkal. A rezgés sebessége a gyorsulás idő szerinti integrálásával meghatározható, kétszer integrálva pedig megkapjuk az elmozdulást. Van azonban két eset, amelyekben a hagyományos módszerek nem alkalmazhatók. Ha az amplitúdó és a frekvencia is viszonylag nagy, akkor a hagyományos módszerek – amelyeknél a szenzort a rezgő tárgyra kell rögzíteni – nem alkalmazhatók, mivel a gyorsulás és a dinamikus erőhatások tönkreteszik az érzékelőt, illetve esetleg annak rögzítését. Másik problémás eset, amikor a mérendő alkatrész tömege kicsi, így a rászerezelt szenzor tömege megváltoztatná a rendszer dinamikai viselkedését és hibás eredményre vezetne.

Ez a cikk egy egyedi rezgésmérésre és rezgésvizsgálatra alkalmas berendezés fejlesztéséről szól. A fejlesztés célja egy olyan eszköz elkészítése, ami kisméretű és alkalmazásához nem szükséges semmilyen kiegészítő berendezés, mint például számítógép, mérőerősítő, vagy mérésadatgyűjtő. Bemutatásra kerülnek az érintkezésmentes mérés módszerei, valamint a tervezett mérési módszer. A fejlesztés még korai stádiumban van, így mérési eredmények nem születtek, jelenleg a tervezés és az első kísérletek fázisánál tartok. A rezgésmérés a gépészetben egy rendkívül fontos vizsgálati lehetőség, egy olyan tudomány, amelynek segítségével nem csak magának a rezgésnek a paramétereit mérhetők, hanem ezekből következtetni lehet a gépek állapotára, esetleges meghibásodásaira is. A rezgésmérés során kapott mérési eredmények analizálásával megállapíthatók pl. kiegyensúlyozatlansági hibák (amiket okozhatnak akár alkatrésztörések is), csapágyhibák (jellemzően csapágykopás), illetve egyéb, a működést befolyásoló zavarok. A rezgések mérésére többféle módszert fejlesztettek ki, minden mérési feladathoz megtalálható a leginkább megfelelő mérési elv. Ezek a mérési elvek jellemzően indirekt mérések, leggyakrabban a gyorsulás mérésén alapulnak. A gyorsulás viszonylag könnyen mérhető (piezo, MEMS, stb.), integrálással meghatározható a próba sebessége, kétszer integrálva pedig a pozíciója (elmozdulása). [2] Vannak azonban olyan feladatok, ahol ezek a hagyományos, gyorsulásmérésen alapuló mérési elvek nem alkalmazhatók. Ilyen feladat lehet például, ha a rezgés amplitúdója nagy, akár milliméteres nagyságrendű, a frekvencia pedig relatíve magas. Egy ipari feladat kapcsán szembesültünk egy ilyen esettel, amely során egy vibrációs műanyaghegesztő berendezés állapotfelmérő vizsgálata során meg kellett vizsgálni a rezgetőfej működését. A berendezést PLC vezérli, kezelőfelületén beállítható többek között a rezgés amplitúdója, frekvenciája, időtartama, amely paraméterek döntően befolyásolják a hegesztés minőségét. Az előírt paraméterektől való eltérés jelentős minőségromlást okoz, az alkatrészek a minőségvizsgálaton megbuknak, így jelentős

veszteséget okoz. Mivel az illető cég autóiipari beszállító, a hegesztés minőségére magas követelmények vannak előírva. A feladat megoldása során először a hagyományos módszerrel próbáltuk elvégezni a mérést egy piezoelektromos rezgésmérő fejjel, mágneses rögzítéssel. A folyamat elindulásakor a mérőfej szinte azonnal leesett a rezgetőfejről. Ezért merült fel egy érintkezésmentes mérési módszer kialakításának szükségessége.

## 2. ÉRINTKEZÉSMENTES MÉRÉS

A hagyományos rezgésmérési módszerekkel kapcsolatban két probléma merül fel ilyen speciális körülmények között: a tehetetlenségi erők miatt a mérőfej rögzítése nehéz, vagy lehetetlen, illetve egyes esetekben a mérőfej tömege – mivel együtt mozog a mérendő tárggyal – befolyásolhatja a mérést. Ezekben az esetekben más mérési módszert kell keresni a feladat elvégzéséhez. Az érintkezésmentes rezgésmérési módszerek általában elmozdulás mérésen alapulnak és valamilyen optikai szenzort alkalmaznak, általában háromszögelées lézeres távolságmérő szenzort, vagy lézer interferométert. A háromszögelées (triangularizációs) lézeres mérőeszköz egy félvezető lézer fényforrásból és egy fényérzékelő szenzorból áll. Ez a mérési mód megfelel céljainknak, azonban kiegészítő berendezéseket igényel (mérőerősítő, mérésadatgyűjtő, számítógép, vagy laptop a kiértékeléshez). A tökéletes megoldás egy kis doboz lenne, amelyhez nincs szükség sok kábelre és nincs szükség érzékeny eszközökre, amit betehetünk a gép munkaterébe, ahol mér, gyűjti és kiértékeli az adatokat.

### 2.1. Háromszögelées lézeres távolságmérő

A lézeres háromszögelées szenzorok a kibocsátott, majd a céltárgyról visszavert fény – általában lézersugár – segítségével mérnek távolságot. Az „adó” – általában félvezető lézerdióda – egy fénypöttyöt vetít a céltárgy felületére, a visszavert fény sugarat pedig egy fényérzékes szenzorra – a „vevőre” – fókuszálja megfelelő lencsékkel. Mivel a lézersugár kis szöveget zár be a célfelület normálisával, ha a távolság változik az eszköz és a céltárgy között, a fényfolt pozíciója is megváltozik a vevő szenzoron. Az eszközbe integrált jelfeldolgozó elektronika érzékeli a fényfolt pozícióját és – linearizáció és jelkondicionálás után – kimenőjelet állít elő, amely arányos a céltárgy távolságával. A legfontosabb eleme az eszköznek a fényérzékelő, amely kétféle lehet: PSD (Position Sensitive Device) vagy CCD (Charge Coupled Device). Ideális körülmények között a PSD szenzor megfelelően teljesít, bár megbízhatóságát és pontosságát nagyban befolyásolja a céltárgy felülete, színe, mintázata és a fényerősség. A CCD szenzorok újabb, fejlettebb eszközök, sok tekintetben felülmúlják a PSD

szenzorokat, de a mozgásra és a felület változására való reagálásának sebességét korlátozza az alkalmazott mikrovezérlő, vagy mikroprocesszor

### 2.2. Lézer interferométer

A lézer interferométer egy nagy pontosságú berendezés nanométer nagyságrendű felbontással és több méteres mérési tartománnyal. Az eszköz működése az ún. Michelson interferométer elvén alapul: egy fénysugarat két egyenlő félre osztanak egy fénysugár-osztó féligáteresztő tükör segítségével. Az egyik sugarat egy fixen rögzített tükörré vetítik, majd onnan az érzékelőbe. Ez a referencia sugár. A másik sugarat egy másik tükörré vetítik, amely a céltárgyhoz van rögzítve. A második sugár extra távolságot tesz meg a referencia sugárhoz képest, így fáziskülönbség lesz a két sugár között. Amikor a két fénysugár találkozik a szenzoron, interferencia jön létre. Ez lehet konstruktív (a sugarak összeadódnak), vagy destruktív (kioltják egymást). A jelprocesszor számolja az interferenciákat és átszámolja elmozdulásra. Ebből adódóan az eszköz csak elmozdulás mérésére alkalmas, abszolút távolságmérésre nem. Rezgésmérésre elég az amplitúdót mérni, így ez megfelel céljainknak, azonban a lézer interferométer nagyon drága eszköz.

### 2.3. Vonalkamera (Line scan camera)

A vonalkamerák képrögzítő eszközök, amelyek olyan CCD, vagy CMOS szenzorokat tartalmaznak, amelyek egyetlen vonalból álló fényérzékes elemet foglalnak magukban. Ebből adódóan a hagyományos kameráktól eltérően a kép egyetlen vonalból áll. Gyakorlatilag ugyanolyanok, mint a hagyományos képérzékelők, amelyek sok képpont-oszlopot – általában 1024-2048 – de egyetlen képpontsort tartalmaznak. A vonalkamera egyetlen képsora megfelel a megfigyelt vonal minden egyes pontjában a fényerő értékének egydimenziós leképezésének. A szürkeárnyalat (vagy szín) minden hirtelen változása megfelel a célobjektum egy élén levő pontnak. Ezen változás érzékelésével precíz mérést végezhetünk, köszönhetően a szenzor magas felbontásának, ami általában nagyobb a hagyományos (terület) szenzorok felbontásánál. Másik kiemelkedő tulajdonsága a vonalkamerának a nagy sebesség. A hagyományos kétdimenziós képszenzorok általában csak néhány száz képet tudnak készíteni másodpercenként, különösen nagy felbontás esetén, míg a vonalszenzorok több ezer „kép” készítésére képesek ezen idő alatt. A nagy érzékelési sebesség alkalmassá teszi ezeket az eszközöket rezgésmérésre, ha a frekvencia 1 kHz alatt van és az amplitúdó elég nagy – a szenzor felbontásának megfelelően – a tizedmilliméteres tartománytól néhány milliméterig. A vonalkamerás méréshez szükség van kiegészítő eszközökre, egy megfelelő teljesítményű számítógépre, megfelelő szoftverekre és a kamera típusától függően

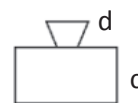
esetleg illesztőkártyára (frame grabber) is. Hátránya, hogy ipari környezetben nem túl praktikus egy számítógépet és kábeleket elhelyezni egy termelő gép munkaterében. [3]

## 2.4. Speciális eszközök

A vonalkamerás mérési módszer továbbfejlesztéseként egy egyedi mérőeszköz fejlesztésébe kezdtem, amely képes elmozdulás- és rezgésmérésre néhány milliméteres amplitúdó esetén, 0,01 mm felbontással és kb. 5 kHz maximális frekvencia mellett. Az eszköz alapja egy Xilinx Spartan 3E FPGA, egy CCD jelprocesszor és egy Toshiba 2048 képpontos vonal-CCD szenzor. A rezgésmérés eredményei egy LCD kijelzőn kerülnek megjelenítésre és a későbbi feldolgozás és tárolás céljára microSD memóriakártyára menthetők. Az FPGA (Field Programmable Gate Array) egy speciális integrált áramkör, amely egy adott feladatnak megfelelően szabadon programozható. A programozás (konfiguráció) speciális, ún. hardver leíró nyelven (HDL, Hardware Description Language) történik. Az FPGA programozható logikai komponenseket tartalmaz, melyek programozható (átkonfigurálható) kapcsolat hierarchiával köthetők össze. Minden ún. logikai blokk komplex kombinatorikai függvények elvégzésére képes, vagy egyszerű logikai kapuként működik. A legtöbb FPGA-ban a logikai blokkok között megtalálhatók memória egységek, flip-flopok, illetve komplett memória blokkok.

## 3. A TERVEZETT ESZKÖZ

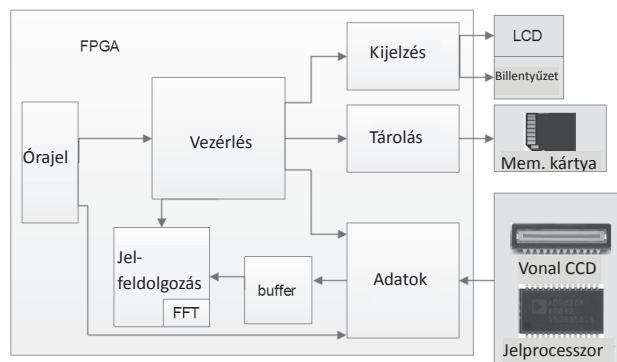
A tervezett eszköz alapvető feladata egy jelzés érzékelése a rezgő felületen. Az elrendezés az 1. ábrán látható. A célfelületen elhelyezett jelzés képe – egy vékony vonal – egy megfelelő optikán keresztül a vonalszenzorra kerül. A szenzor analóg kimenőjelét egy 16 bites adattá konvertálja a CCD jelprocesszor, amely ebben az esetben gyakorlatilag analóg-digitális átalakítóként (ADC) üzemel. Ezt a digitális jelet dolgozza fel az FPGA-ba programozott egyik modul. Megkeresi a jelzést a képen és meghatározza annak pozícióját. Mivel az optika paraméterei ismertek, a képpont pozíciók átszámíthatók pontos pozíciókká. Megfelelő számú kép elemzése alapján a rezgés paraméterei megállapíthatók, ezek az eredmények megjeleníthetők és tárolhatók. Mivel az eszköz nem tárol minden képpont-adatot, csak képenként – azaz adott időközönként – egyetlen pozícióadatot, a kapott adatmennyiség könnyen tárolható és továbbítható, nem igényel nagy sávszélességet.



1. ábra

A tervezett mérési elrendezés (a: céltárgy, b: jelzés, c: mérőeszköz, d: optika)

A munka első lépése a CCD szenzorhoz szükséges órajelek és szinkronjelek előállítás. A következő lépés az adat kiolvasása a CCD jelprocesszorból, amely a szenzor analóg jelét digitalizálja nagy sebességgel. Ez után a lépés után előáll a képpontokat reprezentáló tömb. Eddig a lépésig az eszköz nagyjából egy hétköznapi vonalkamerának felel meg. A vonalkamerák a képszennorről leolvasott adatokat egy átmeneti tárolóban tárolják, majd továbbítják valamilyen illesztőfelületen a számítógéphez, mely az adatokat feldolgozza. Az összes képpont adatának továbbítása rendkívül nagy adatátviteli sebességet és nagy adattároló kapacitást követel meg. A tervezett eszköz legfontosabb tulajdonsága, hogy okos, vagyis a szenzorról kapott adatokat feldolgozza, elemzi és a mérés eredményét adja vissza kijelzőjén, vagy a memóriakártyán. A tervezett eszköz blokkdiagramja a 2. ábrán látható.

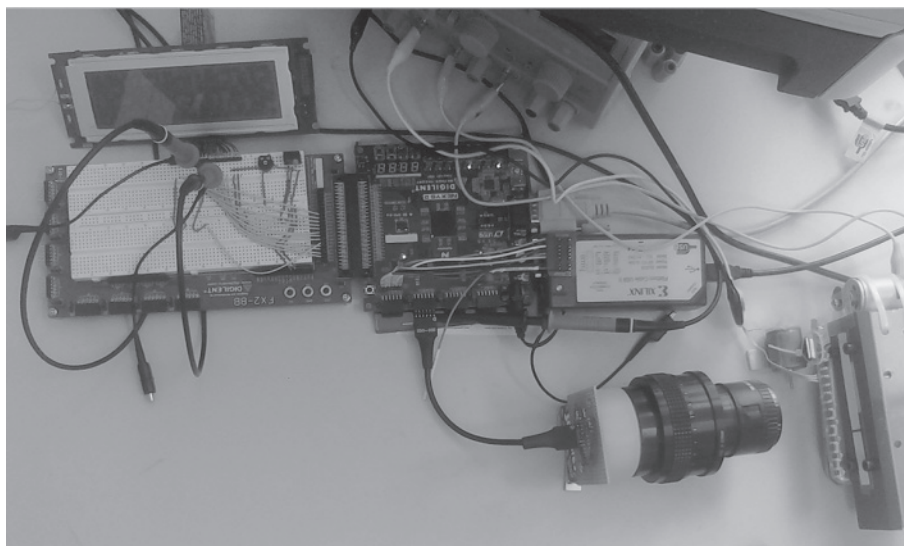


2. ábra

Az eszköz blokkdiagramja

Az eszköz néhány modulját az alábbiakban ismertetem. Az egyik legfontosabb modul az órajel-generátor egység. Ez állítja elő a CCD képszenzor számára szükséges órajeleket, valamint a jelprocesszor működéséhez és szinkronizálásához szükséges szinkronjeleket. A második fontos egység a „Vezérlés” jelzésű, amely összefogja, összehangolja a többi modul működését és elosztja a feladatokat. Az adatok mintavételezéséért az „Adatok” egység a felelős, ez veszi az adatokat a jelprocesszortól, ellenőrzi, illetve szükség esetén átmeneti tárolóba helyezi azokat. Az átmeneti tárolót a „buffer” nevű modul szolgáltatja, mely nagy sebességű, ún. Block RAM-ból kialakított memória egység. Az adatok kijelzését a „Kijelzés” modul végzi, ez kezeli az LCD kijelzőt és néhány – a kezeléshez szükséges – nyomógombot. A mérés során gyűjtött és feldolgozott adatok, azaz a mérés eredménye

memóriakártyára menthető, ennek kezelését végzi a „Tárolás” modul. Az eszköz fizikailag két nyomtatott áramkörtől áll, az egyik tartalmazza az FPGA-t és a hozzá szükséges órajel- és tápáramköröket, a másik pedig a vonal-CCD szenzort, a jelprocesszort és néhány jelszint-illesztő áramkört. Az alkalmazott Toshiba TCD1209D vonal-CCD képszenzor egy nagysebességű, 2048 képpontot tartalmazó, nagy érzékenységgű áramkör, képpont elemei  $14 \times 14 \mu\text{m}$  méretűek [3]. A jelprocesszor egy Analog Devices AD9826 integrált áramkör, amely képes szürkeárnyalatos, vagy színes CCD képérzékelők analóg jelének fogadására és digitalizálására [4]. Az elkészült prototípus látható próbamérés közben a 3. ábrán. A próbamérés során 5-150 Hz frekvenciájú, 5 mm amplitúdójú szinuszos rezgést sikeresen mért az eszköz kielégítő pontossággal.



3. ábra  
A prototípus mérés közben

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében valósult meg.

## IRODALOMJEGYZÉK

[1] Takács György, Patkó Gyula, Jakab Endre, Tajnaőfi József, „Mechatronikai berendezések konstrukciós tervezésének egyes kérdései”, Mechatronika, Anyagtudomány, 2003, p. 173-180.

[2] Kovács Attila, „Roncsolásmentes vizsgálatok, azok megbízhatósága és következményei, rezgésmérések és rezgésvizsgálatok” Miskolci Egyetem, Hungary, 1999.

[3] „Basler Runner user’s manual for GigE Vision cameras”, Basler Vision Technologies, Inc, 2011.

[4] Toshiba TCD1209D CCD Linear Image Sensor datasheet, Toshiba Corporation, Japan, 2001.

[5] AD9826 Imaging Signal Processor datasheet, Analog Devices, Inc, Norwood, MA, USA, 2001.