

# FELADATKIÍRÁS

A feladatkiírást a **tanszék saját előírása szerint** vagy a tanszéki adminisztrációban lehet átvenni, és a tanszéki pecséttel ellátott, a tanszékvezető által aláírt lapot kell belefűzni a leadott munkába, vagy a tanszékvezető által elektronikusan jóváhagyott feladatkiírást kell a Diplomaterv Portálról letölteni és a leadott munkába belefűzni (ezen oldal HELYETT, ez az oldal csak útmutatás). Az elektronikusan feltöltött dolgozatban már nem kell megismételni a feladatkiírást.



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Sásdi András

**KÉT TENGELYŰ FORGÓASZTAL  
GYORSULÁSMÉRŐ SZENZOROK  
KARAKTERIZÁLÁSÁHOZ**

KONZULENS

**Dr. Stumpf Péter Pál**

BUDAPEST, 2025

# Tartalomjegyzék

<b>Összefoglaló .....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>1 Bevezetés .....</b>	<b>6</b>
1.1 Formázási tudnivalók.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.1.1 Címsorok.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.1.2 Képek .....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.1.3 Kód részletek .....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
1.1.4 Irodalomjegyzék .....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
<b>2 Utolsó simítások .....</b>	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
<b>Irodalomjegyzék.....</b>	<b>12</b>
<b>Függelék.....</b>	<b>13</b>

# HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott **Sásdi András**, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltetem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy hitelesített felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Kelt: Budapest, 2025. 05. 22.

.....  
Sásdi András

# Összefoglaló

# Abstract

The goal of the thesis is to design and implement a controlled two-axis rotary table that is adequate for the characterisation of MEMS accelerometers. As discussed in **chapter ...** due to their physical properties and working principles, MEMS sensors have an offset that some of these sensors can automatically cancel out (think of a digital kitchen scale that upon startup tares itself). Among others, the characterisation of the above-mentioned behaviour is one of the instances where it is necessary to change the orientation of the characterised sensor during a measurement. The current protocol is manual rotation of the sensor, which requires the presence of the engineer performing the measurement. This current method has many downsides, such as the time it takes to manually rotate the sensor, the impossibility of doing these measurements remotely or the poor reproducibility of the exact timing and speed of such rotations. The device created in this thesis aims to solve these issues thereby easing the workload of the characterisation engineers and shortening the runtime of these measurements

# 1 Bevezetés

## 1.1 A munka indoka és célja

A feladat MEMS gyorsulásszenzor karakterizálásához felhasználható vezérelhető kéttengelyes forgóasztal tervezése és megvalósítása. A MEMS szenzorok ahogy azt a ... fejezetben is említem működésükből és fizikai kialakításukból adódóan ofszettel rendelkeznek, melyet ezen eszközök egyes típusai automatikusan lenulláznak (akkorcsak egyes digitális konyhai mérlegek melyek bekapcsolás után tárázzák önmagukat). A szenzorok karakterizálása során többek közt ezen viselkedések kiméréséhez szükséges a szenzor orientációjának változtatása. Jelen eljárás szerint ilyen mérések során a mérést végző mérnök jelenléte szükséges, hogy a mért szenzort manuálisan a megfelelő orientációba forgassa. A jelenlegi eljárás nem csak meglassítja a mérési folyamatot, de ellehetetleníti a mérés távolról végzését, valamint az ismételhetőséget is korlátozza. A diplomaterv kereteiben létrehozott eszköz célja ezen problémák megoldása, ezáltal a karakterizálómérnök munkája könnyítése és a mérési idők csökkentése.

## 1.2 Specifikáció

## 1.3 Áttekintés

Minden feladat első lépése annak alfeladatokra bontása. Egy ilyen tervezési feladat alapvetően három alapvető alfeladatra bontható, melyek a hardver megtervezése és megvalósítása, a szoftver megírása, majd az elkészült eszköz ellenőrzése. A szakdolgozatom során is az itt bemutatott sorrendet követtem. Fontos megjegyezni, hogy ezek a tervezési fázisok párhuzamosan is futnak (például a teszteléskor előjövő hibák orvosolása újra tervezést igényelhet).

### 1.3.1 Első feladat hardvertervezés és megvalósítás

Ez jelen esetben magába foglalja a forgatómechanizmus és az áramkörök tervezését is. Hardvertervezés közben fontos szempont, hogy amennyiben egy igény felmerül vagy nagy eséllyel felmerülhet a jövőben az elő legyen készítve akkor is, ha a szoftver első verziója esetlegesen nem is támogatja, valamint a modularitást, bővíthetőséget is szem előtt kell tartani.

### **1.3.2 Második feladat, a szoftver megírása**

Ahogy a hardver felépül az azt működtető szoftver megírása következik az eszköz mikrovezérlőjére. Ez magába foglalja az eszköz viselkedésének specifikálását, de minden felhasznált komponens (szenzorok, külső ADC-k és DAC-k stb.) illesztőprogramjának megvalósítását, nyílt elérhetőség esetén pedig beszerzését. Mivel az eszköz számítógépről is vezérelhető kell, hogy legyen, szükséges egy illesztőprogram írása, ami segítségével absztrakt szinten kezelhető az eszköz, beilleszthető például Matlab mérőprogramba.

### **1.3.3 Harmadik feladat, az elkészült eszköz tesztelése**

## **1.4 Szakirodalmi áttekintés, elméleti összefoglaló és tervezési irányelvek**

### **1.4.1 MEMS szenzorok [1] [2] [3]**



**1. ábra BMA508 [4]**

A MEMS szenzorok a méréndő fizikai mennyiségeket valamelyen mikromechanika segítségével alakítják méréndő elektromos jelé. Ezt a jelet továbbítás előtt erősíti, esetleg digitalizálja a szenzor jeltovábbítás előtt. Az érzékel fizikai mennyiség többek közt lehet akár nyomás, gyorsulás, hőmérséklet, akár egy bizonyos gáz jelenléte. Elterjedésük okai közt áll kis méretük (mint a képen látható Bosch BMA 580 gyorsulásmérő), alacsony energiafogyasztásuk és magas pontosságuk. A MEMS gyorsulásérzékelők népszerűsége vetekszik az egykor domináns piezoelektronos gyorsulásérzékelőkkel. Felhasználási területük közt szerepelnek az okos eszközök és a gépjárművek is, megbízhatóságukat alátámasztja, hogy ez utóbbiban biztonsági rendszerek részeiként is felhasználásra kerülnek.

A MEMS gyorsulásérzékelő szenzorok felépítésükből és működési elvüköből adódóan belső mechanikai feszültség következtében (mely akár hőmérsékletváltozás, illetve beforrasztáskor is kialakulhat) DC ofszettel terhelt gyorsulás jelet adnak. Ezt nevezik 0g ofszetnek, melynek kikompenzáása a magasabb minőségű szenzorok esetén már a szenzor belső jelfeldolgozásánál megtörténik, így a kiküldött digitális jel ezt már nem tartalmazza. Ez a folyamat az offset cancellation (ofszet törlés), mely nem csak a szenzor bekapcsolásakor, de az esetleges hőmérsékletváltozások miatt a szenzor működése közben is üzemel.

#### **1.4.2 Biztonságtechnikai lépések [5] [6]**

A mérőberendezés használatánál jelen van a személyi sérülés kockázata, melyet megszüntetni vagy csökkenteni kell. A személyi sérülés forrása a forgó elemek melyek lehetséges következménye az ütés, nyírás [5] (3.2 táblázat).

Ezeknek a kockázatoknak a leg egyszerűbb minimalizálása egy védőburkolat beépítése. A védőburkolatot tervezésekor a veendő szempontokat a következőkben részletezem. Feladata a veszélyforrás emberrel való érintkezését megakadályozni. Általános szabályai, hogy legyen szilárd, ne idézzen elő további veszélyeket, ne legyen egyszerűen megkerülhető vagy hatástalanítható, tartson a veszélyes tértől kellő távolságot, a munkafolyamat megfigyelését csak a lehető legszükségebb módon korlátozza [6]. Továbbá fontos elvárás, hogy a védőburkolat ne lassítsa feleslegesen a munkát, ezáltal ne ösztönözze a felhasználót annak kiiktatására. Emiatt fontos, hogy csak annyit burkoljon, amely a munkavégzés biztonsága szempontjából feltétlenül szükséges.

A megfigyelhetőséget figyelembe véve egy víztiszta polikarbonátból kialakított védőburkolat kerül megtervezésre. A munkavégzés minimális gátlása érdekében védőburkolat csak a forgó részeket takarhatja, nem akadályozhatja a kezelőfelületek és csatlakozók hozzáférhetőségét, valamint szerszám nélkül legyen nyitható.

A veszélyes gépi funkciók csak lezárt védőburkolat esetén működhettek. Amennyiben működés közben kinyílik a védőburkolat, a veszélyes folyamatnak le kell állnia, a burkolat visszacsukása esetén nem folytatódhatnak automatikusan, azaz egy reteszélő berendezéssel lesz ellátva a védőburkolat.

További védőberendezésnek kell biztosítania az eszköz felborulása esetén a motorok leállását. Ennek kialakításakor a működési elv is kettőzve lesz, hiszen a

felborulás érzékelésére alkalmas lesz a mérőasztalon található referencia gyorsulásérzékelő is. Ezen felül beépítésre kell kerülnie egy vészleállító gombnak is.

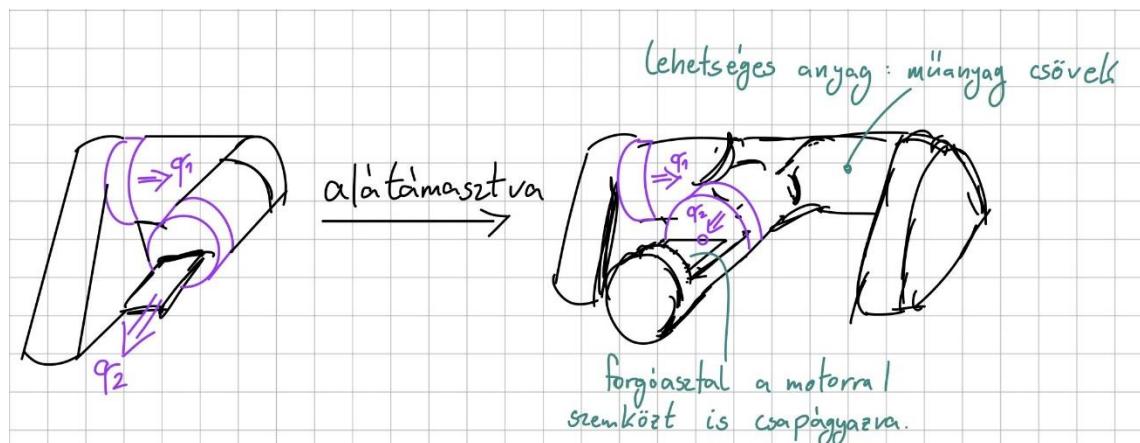
A biztonsági berendezések vizsgálhatóságát is figyelembe kell venni a tervezéskor. A berendezés által kiadott jelet, valamint a megszakítók állapotát is vizuális visszajelzéssel kell ellátni, például egy piros és egy zöld LED-del.

### 1.4.3 kéttengelyű forgatómechanizmusok

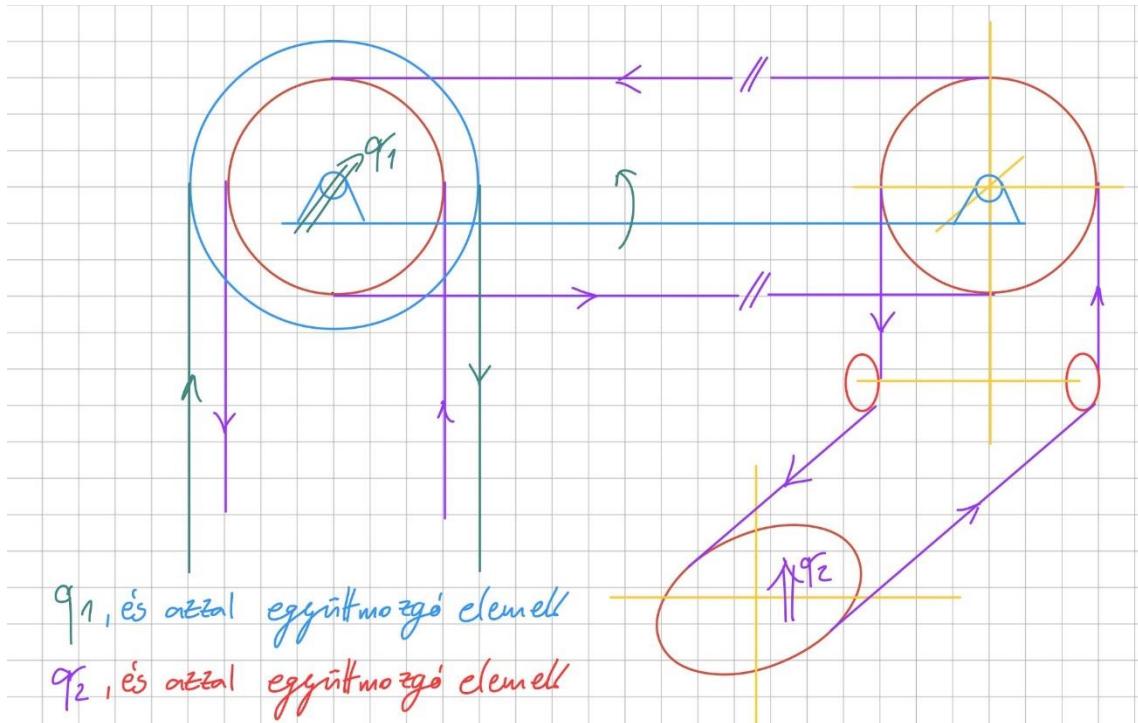
A kéttengelyű forgatómechanizmus alapvetően két egymásra merőleges forgatási tengelyből áll. Amennyiben a két tengely egymással párhuzamos lenne a gimbal lock jelenség lépne fel, ezért a forgatás csak a közös tengely mentén lehetne lehetséges.

A mechanizmusnak a háromtengelyű gyorsulásmérő szenzor bármely tengelyét a gravitációs térrrel párhuzamossá kell tudnia tenni. Ezt minél jobb ismételhetőséggel, mechanikai stabilitással kell tudnia végrehajtani, a motorok tengelyének terhelését csapágyazás felhasználásával minimalizálni kell. A mechanizmusnak lehetőleg egyszerűnek kell lennie, a meghibásodási lehetőségeket lehetőleg minimalizálni kell.

Az első elvárás teljesítésének szükséges feltétele, hogy nem lehet olyan tengely, ami a gravitációs térrrel állandóan párhuzamos, onnan ki nem fordítható. Tehát rögzített tengelynek ( $q_1$ ) a gravitációs térré merőlegesnek kell lennie.



2. ábra Kézi vázlatok az első megoldásra



**3. ábra Kézi vázlat a második megoldásra**

Alapvetően két megközelítés lehetséges, a mechanikailag leg egyszerűbb megoldás esetén egy rögzített és egy forgatott aktuátor felelős a tengelyek forgatásáért (1. ábra). Ebben az első esetben az egyik kihívás a forgatott motor jeleinek és tápvezetékeinek átvitele forgócsatlakozókon a mérőasztalra menő jeleken túl. A másik kihívás abból ered, hogy a forgatott asztalon kívül egy aktuátor tömegét és ebből adódó tehetetlenségét is gyorsítania kell az első motornak. A második kivitelezés esetén a motorok rögzítettek, így nem szükséges a második motornak sem mozgatása, sem annak jeleinek és tápvezetékeinek átvitele. Ebben az esetben viszont bonyolult fogaskerekes vagy (mint a vázlaton is látható) hajtószijs mechanizmus szükséges (3. ábra).

## Irodalomjegyzék

- [1] Levendovszky, J., Jereb, L., Elek, Zs., Vesztergombi, Gy.: *Adaptive statistical algorithms in network reliability analysis*, Performance Evaluation - Elsevier, Vol. 48, 2002, pp. 225-236
- [2] National Instruments: *LabVIEW grafikus fejlesztői környezet leírása*, <http://www.ni.com/> (2010. nov.)
- [3] Fowler, M.: *UML Distilled*, 3rd edition, ISBN 0-321-19368-7, Addison-Wesley, 2004
- [4] Wikipedia: *Evaluation strategy*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Evaluation\\_strategy](http://en.wikipedia.org/wiki/Evaluation_strategy) (revision 18:11, 31 July 2012)

## **Függelék**