

3. MÉRÉS

LÉGCSAVAR FORDULATSZÁM MÉRÉSE

1. Bevezetés

A mérés célja

A mérés célja két különböző, kereskedelmi forgalomban kapható drón légcsavar fordulatszámának meghatározása a kibocsátott zaj frekvenciájának mérésével, gyors Fourier-transzformáció (Fast Fourier Transformation - FFT) alkalmazásával.

A mérés rövid leírása

A mérés során egy egyenáramú motorral hajtott drón propellerét vizsgáljuk. Mérjük a motor által felvett feszültséget, a járókerék fordulatszámát pedig a kibocsátott zaj frekvenciájának elemzésével számítjuk. A kibocsátott zajt mikrofonnal rögzítve, abból FFT-vel meghatározzuk a fordulatszámot.

2. Mérés során használt eszközök

A méréshez használható berendezés

A mérés során a motort a járókerékkel az 1. ábra látható berendezésben használjuk. Az egyenáramú motort az előző méréseken megismert labortápegységgel üzemeltetjük. A fordulatszám méréséhez használt mikrofon a hozzá tartozó erősítővel az 2. ábra látható. A mintavételezés az előző méréseken megismert NI típusú adatgyűjtővel történik.

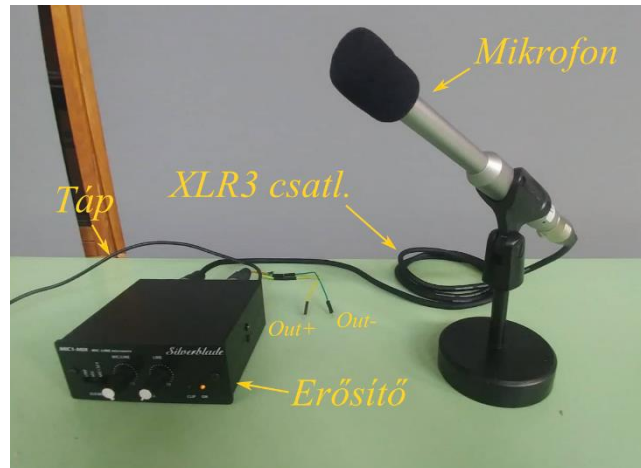


1. ábra: Berendezés

A méréshez használható szenzorok és bekötésük

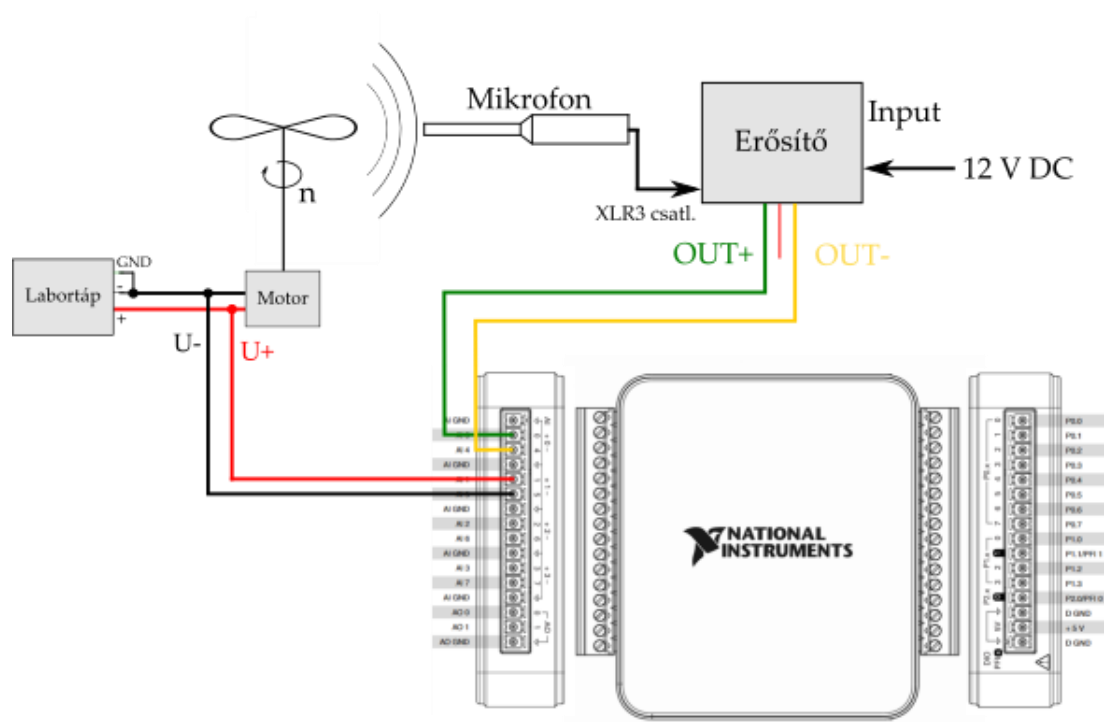
- Mikrofon (lásd 2. ábra: Mikrofon és erősítő)
 - Típus: Behringer ECM 8000

- Működési elv: kondenzátor mikrofon
- Méréshatár: 15 Hz – 20 kHz
- Tápfeszültség: 15 – 48 V
- Mikrofon erősítő
 - Típus: MIC1MIX
 - Tápfeszültség: 12 V



2. ábra: Mikrofon és erősítő

A szenzorok egy lehetséges helyes bekötését az 3. ábra mutatja.



3. ábra: Szenzorok bekötése

3. A mérés menete

3.1. Berendezés összeszerelése

A mérőberendezés összeállítása az alábbiak szerint történik. Az 1. mérésen megismert NI 6001 típusú adatgyűjtőt USB bemeneten keresztül csatlakoztatjuk a PC-hez, melyre a megfelelő szoftverek telepítve vannak (lsd. 1. mérés). Az adatgyűjtő bemeneteire a 2. fejezetben említett mikrofon kimenetén kívül a motor által felvett feszültséget kell kötni a 3. ábra hasonló módon. Utóbbit közvetlenül az adatgyűjtőre lehet kötni, azonban tartsuk észben, hogy a labortáp maximális feszültsége 30 V, viszont a kártya méréshatára ± 10 V. A mikrofon erősítőjének tápellátását annak saját, külön tápegységéről biztosítjuk. *A berendezéseket és műszereket áram alá helyezni a laborvezető oktató ellenőrzése és engedélye nélkül szigorúan tilos!*

3.2. Mérés menete

Kb. 2 és 7 V között egyenletesen növelve a tápfeszültséget felvesszünk 10-12 mérési pontot. Minden mérési pontban rögzítjük és tároljuk a 2 szenzor (mikrofon, feszültségmérő) jelét.

A mérés során kifejezetten ügyelni kell az alábbiakra:

- A tartószerkezet tálcájára kb. 500 g tömeget helyezünk el, hogy a berendezés véletlenül se emelkedjen el a talajtól.
- A forgó légcsavar több 1000 1/min fordulatszámmal foroghat, a propellert megközelíteni szigorúan tilos!
- A fordulatszám meghatározásához a mikrofon jelét fogjuk használni, ehhez a mérés közben viszonylagos csendre van szükség.

Ha az adott légcsavar mérésével végeztünk, kicseréljük a propellert, és azzal végigmérjük ugyanezt a tartományt. Figyelem: egy 2 és egy 3 lapátos propellerrel kell mérni!

4. A mérés kiértékelése

A mérés kiértékelése az alábbiak szerint történik.

4.1. Fordulatszám

A járókerék fordulatszámát a kibocsátott zaj frekvenciájának mérésével számítjuk. Forgó lapátok zajkibocsátási mechanizmusa igen bonyolult, azonban általánosságban elmondhatjuk, hogy zaj tonális komponensei legtöbbször a fordulatszámhoz köthetők. Egy adott pontból megfigyelve minden elhaladó lapát zajt bocsát ki, így az érzékelt zaj intenzitása $z \cdot n$ frekvenciával változik, ahol z a járókerék lapátszáma, n a fordulatszám (Hz-ben).

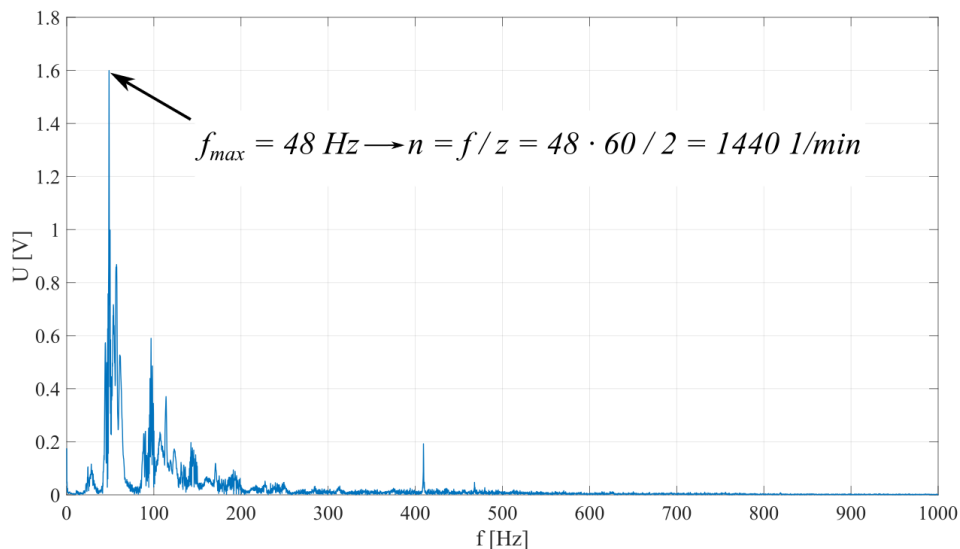
Periodikus időjelekben előforduló frekvenciakomponensek felderítésére legtöbbször a Gyors Fourier Transzformációt (FFT) használjuk. A módszerről az előadáson részletesen tanulnak, lényege, hogy az $x(t)$ jelet az időtartományból frekvenciatartományba transzformáljuk az alábbi összefüggéssel:

$$F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt, \quad (1)$$

ahol f a frekvencia, j a képzetes egység. Az így kapott $F(f)$ komplex függvény amplitúdóját ábrázolva a frekvencia függvényében kapjuk az amplitúdó-spektrumot, mely szemléletesen azt mutatja meg, hogy adott f frekvenciájú komponens milyen amplitúdóval van jelen a jelben.

Megjegyezzük, hogy a mért hangnyomás nyomásdimenziójú mennyiség, a mikrofon azonban értelemszerűen feszültséget ad le. A két mennyiség között kalibrálással lehet meghatározni az összefüggést, ennek menetéről részletesen az 5b mérésen lesz szó. Jelen mérés során a konkrét hangnyomás értékekre nincs szükségünk, csak a jel periodikus összetevőit keressük. Amennyiben a fent említett összefüggés lineáris, az eredeti (nyomás)jelben és a szenzor leadott feszültségjelében a periodikus összetevők megegyeznek. A mikrofon jelét Fourier-transzformálva az amplitúdó-spektrum maximumhelye pontosan $z \cdot n$ frekvenciánál lesz, ezt leolvastva kiszámolható az n fordulatszám. FFT-t MatLab környezetben a honlapon található `ext_real_fft.m` függvénnyel lehet számolni. A függvény két bemenetén az időt és a mért jelet kell megadni vektorként, a négy kimenet közül az első kettő a frekvencia ill. amplitúdó vektorok, a második két kimenetre jelen mérésben nincs szükség. Egy lehetséges függvényhívás FFT-hez:

```
[frek, amp, ~, ~] = ext_real_fft(time, mikrofon_signal);
plot(frek, amp) %amplitúdó spektrum ábrázolása
```



4. ábra: Mikrofon jelének spektruma egy munkapontban

A 4. ábra egy adott fordulatszámnál a mikrofon jelének spektruma látható egy kétlapátos légcsavar esetén. A spektrum maximuma 48 Hz-nél található, ebből a fordulatszám az ábrán látható módon 1440 1/min-re adódik.

5. A jegyzőkönyv tartalma

A jegyzőkönyvben szerepelnie kell:

- a mérés céljának;
- a mérés *rövid* leírásának;
- az alkalmazott szenzorok típusának, bekötésének;
- a mérés és a kiértékelés menetének;
- az eredményeknek: ábrázolni kell a **fordulatszámot** a **felvett feszültség** függvényében, a két járókerékre *közös diagramon*;
- a mérés rövid összefoglalásának.

6. Felkészülést segítő és ellenőrző kérdések

- A mérés során hogyan határozzuk meg a légcsavar fordulatszámát?
- Mi a jelentősége a lapátszámnak?
- Rajzolja fel, hogyan mérjük a motor által felvett feszültséget!
- Hogyan állítjuk a munkapontot?

Hasznos hivatkozások

https://mersz.hu/hivatkozas/m468jelfel_8#m468jelfel_8 (Fourier-transzformáció, egyetemi hálózatról ingyenesen elérhető)

<https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html>

I. Szorgalmi feladat – tolóerő mérése

A mérőberendezés alkalmas a járókerék által kifejtett tolóerő méréseire is. Az alkalmazott erőmérő jellemzői (lásd 5. ábra):

- Típus: TE – FC22
- Méréshatár: 0 – 10 lbf ($\approx 44,5$ N)
- Kimenet: 0,5 – 4,5 V
- Tápfeszültség: 5 V



5. ábra: Erőmérő szenzor

Erőmérő szenzor kalibrálása

A mérés során az első feladat az erőmérő szenzor *kalibrálása*. Ennek során az 1. ábra látható berendezésben, a tartóelemre különböző ismert tömegeket helyezünk, és adott ideig mintavételezzük a szenzor által leadott feszültséget. A feszültségjeleket átlagolva, a mérési pontokra görbét illesztve felvesszük a terhelőerő-feszültség *kalibrációs görbét*. A kalibrációs görbe a szenzorok igen nagy részében egyenes, $y = mx + b$ alakú egyenlettel írható le.

Jelen berendezésben a tartórendszer, valamint a motor tömegét nem ismerjük, így a pontos terhelő erőt nem tudjuk meghatározni. Azonban a mérés során csak a kalibrációs egyenes m meredekségére lesz szükségünk, ezt a következő módon számítjuk ki. Kezdetben terhelőtömeg nélkül, majd kb. 8-10 különböző tömeggel felvesszük a szenzor által leadott feszültséget. A terhelő tömeg nélküli esetet 0 N-nak választva, az adott pontokra kiszámolható a terhelő erő:

$$F_i = m_i g, \quad (2)$$

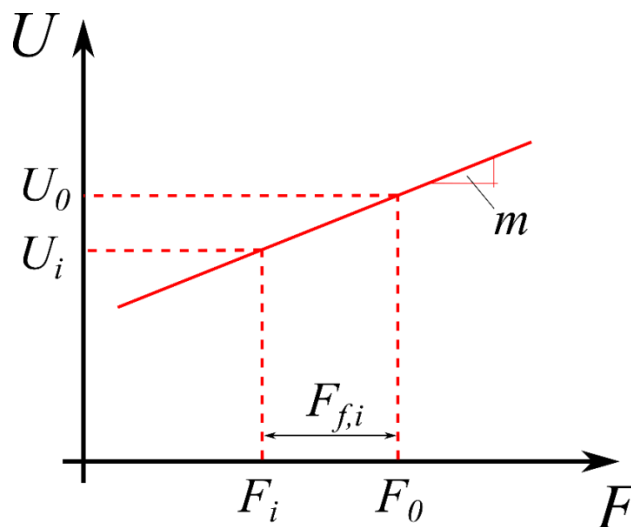
ahol m_i a terhelő tömeg. Az így kapott $(F_i - U_i)$ pontokpárokra egyenest illesztve meghatározható a kalibrációs egyenes m meredeksége (más néven *érzékenység*). Fontos, hogy a mérés során a súrlódás jelentősen befolyásolhatja a kalibrálást, így fel és leterhelés esetén is kell felvenni mérési pontokat!

Tolóerő mérése

A tolóerő mérése során a tálcán hagyott tömeggel együtt, 0 fordulatszámon felvesszük az erőmérő jelét, ez lesz a 0 tolóerőhöz tartozó mérési pont, ilyenkor a motor-járókerék, a terhelő tömeg, valamint a tartószerkezet együttes súlya terheli az erőmérőt F_0 erővel.

A tolóerőt az előzetesen kalibrált erőmérő szenzorral mérjük. A kalibrálás során meghatározott erő-feszültség függvény közelítőleg egyenes, melynek meredeksége m , mértékegysége V/N. A 0 fordulatszámhoz (F_0 erőhöz) tartozó feszültség legyen U_0 . Értelemszerűen, a mérési elrendezésből adódóan a tolóerő csökkenti a szenzort terhelő erőt, ezáltal egyre nagyobb fordulatszámokhoz egyre kisebb szenzorfeszültség tartozik. Amennyiben az i -dik mérési ponthoz tartozó (szenzor által leadott) feszültségjel átlaga U_i , az i -dik ponthoz tartozó tolóerő (lásd 6. ábra):

$$F_{f,i} = F_0 - F_i = \frac{1}{m}(U_0 - U_i). \quad (3)$$



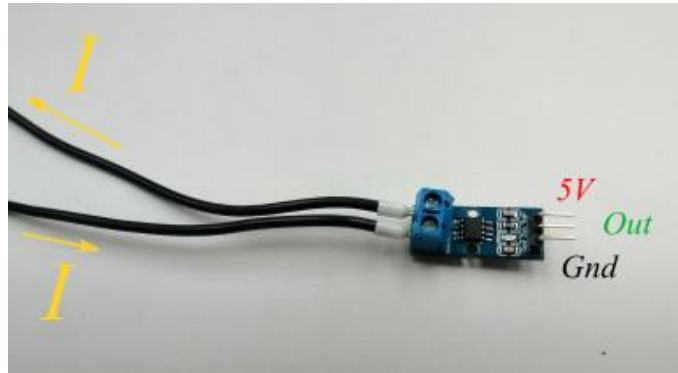
6. ábra: Kalibrációs egyenes és ebből a tolóerő számítása

A számított tolóerő-értékekből ábrázolhatjuk a fordulatszám-tolóerő kapcsolatot (mit várunk: hogyan változik a tolóerő a fordulatszám növelésével?).

II. Szorgalmi feladat – áramerősség mérése

A mérés során lehetőség van a motor által felvett áramerősség mérésére is, melyből kiszámítható a felvett villamos teljesítmény. Az áramerősséget egy számítástechnikában használatos árammérő szenzorral mérjük (lásd 7. ábra: Árammérő szenzor), melynek típusa

- Típus: ACS712-x05B
- Méréshatár: -5 – 5 A
- Tápfeszültség: 5 V



7. ábra: Árammérő szenzor

A szenzor kalibrációs összefüggése az alábbi:

$$U_{ki} [\text{V}] = 2.5 [\text{V}] + I [\text{A}] \cdot 0.185 \left[\frac{\text{V}}{\text{A}} \right], \quad (4)$$

ahol I a mért áramerősség, U_{ki} a szenzor által leadott feszültség. Így a felvett villamos teljesítmény:

$$P_{\text{fel}} = \bar{U} \cdot \bar{I}, \quad (5)$$

ahol \bar{U} a motor által felvett feszültség átlaga, \bar{I} a motor által felvett áramerősség átlaga. Hasonlóan ábrázolhatjuk a felvett teljesítményt a fordulatszám függvényében.