



## Analysis of Bearing Faults for Asynchronous Motors

---

István Bendiák

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

November 25, 2019

## Aszinkron motorok csapágyhibáinak elemzése

### Bendiák István

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Automatika Intézet, Villamos Gépek Szakcsoport,  
[bendiak.istvan@kvk.uni-obuda.hu](mailto:bendiak.istvan@kvk.uni-obuda.hu), 1034 Budapest, Szőlő utca 4. AB.fsz.10

---

A dolgozat célterülete a villamos forgógépeket vizsgáló diagnosztikai lehetőségek és módszerek bemutatása. A terület nagyon szerteágazó mivolta miatt ebben a munkában a dolgozat elsősorban a csapágy meghibásodás és tengelybeállítási hibákra koncentrálódik. Az eddigi vizsgálatokhoz képest szeretné figyelembe venni a villamos gép okozta rezgéseket, többlet csapágyterheléseket is. Ezeket a „saját hibákat” maga a tekercselés, valamint a gyártástechnológiai hibák, pontatlanságok okozzák/okozhatják. Miért az aszinkron motorokkal foglalkozik a dolgozat? Egyrészt az aszinkron motor a legelterjedtebb és éves szinten legnagyobb darabszámban gyártott és alkalmazott motortípus. A felhasználási kör széles, a háztartások és az ipar egyaránt nagy fogyasztóként alkalmazza. A gép kis légréssel rendelkezik, így a gyártástechnológiai fegyelmezetlenség okozhat 10%-nál nagyobb légrés aszimmetriát, amelynek már komoly következményei vannak a működésnél, zaj- és rezgésnövekedés következik be, és a kialakuló nagy értékű radiális húzóerő egyúttal a csapágyak megnövekedett igénybevételét is okozzák.

Kulcsszavak: Rezgés, rezgésmérés, légrés, tengelybeállítása, csapágy, csapágyfrekvencia, külső gyűrű, belső gyűrű

---

## 1. Bevezető

A pályamunka célterülete aszinkron motorok csapágyhibáinak kérdései, azok meghatározása [1-9] és diagnosztikában betöltött szerepük áttekintése. A vizsgálatok közül kiemelt szerepet kap a rezgésmérés. A forgógépeken előforduló mechanikai meghibásodások széles körűek, ezért jelen munkában elsősorban a csapágyakkal kapcsolatos hibákra helyeződik a hangsúly. Az elmúlt években elvégzett rezgésmérések tapasztalati alapján készült el a munka, amely bemutatja, milyen hibákat kell megoldani a villamos hajtások területén, a minél optimálisabb gépkapcsolatok kialakítására, működtetésére.

## 2. Háromfázisú aszinkron motor általános rezgésmérése

A forgógépek rezgésvizsgálata bevált módszer a roncsolásmentes [5-16] eljárások terén. A rezgésmérés három irányból kell elvégezni. Ezek az alábbiak: radiális, tangenciális és axiális. A legcélszerűbb, ha olyan műszerrel mérünk, amellyel mindhárom irány egyszerre egyidőben lehet megvalósítani, a mérési eredmények összevetése miatt. Ha ez nem áll rendelkezésre, akkor két irány egyidejű használata célszerű. A gyakorlatban [27] előfordul olyan eset, amikor csak egy irányból tudunk mérni. Ekkor mindhárom mérést külön kell elvégezni, a rezgésmérő szenzort el kell helyezni a motorház felületén mindegyik irányból külön-külön [5-13].

### A villamos gép, mint termék minősítése rezgésjóság szempontjából.

A gép rezgésminősítése a mértékadó rezgése erősség alapján történik. A rezgése erősségi fokozatot nemzetközi megegyezés alapján rögzítik a szabványok [13]. Különböző méretű és fajtájú forgógépek rezgésminőségi fokozatait úgy állapítják meg, hogy 2.1. és 2.2. táblázatok megfelelő értékeinél vonják meg a határt [13], [27].

Rezgése erősségi fokozatok		
Jele	alsó	felső
	határa, mm/s	
0,11		0,112
0,18	0,112	0,18
0,28	0,18	0,28
0,45	0,28	0,45
0,71	0,45	0,71
1,12	0,71	1,12
1,8	1,12	1,8
2,8	1,8	2,8
4,5	2,8	4,5
7,1	4,5	7,1
11,2	7,1	11,2
18	11,2	18
28	18	28
45	28	45
71	45	71

2.1.táblázat. Rezgése erősségi fokozatok ([13] szakirodalom alapján).

Rezgésminőségi fokozat	Névleges fordulatszám [1/min]		Tengelymagasságok (h) [mm-ben] és v rezgéssebességek mm/s-os egységben		
	felett	-ig	56≤h≤132	132<h≤225	225<h≤400
N	600	3600	v=1,8	v=2,8	v=4,5
	3600	6000	v=2,8	v=4,5	v=7,1
R	600	1800	v=0,71	v=1,12	v=1,8
	1800	3600	v=1,12	v=1,8	v=2,8
	3600	6000	v=1,8	v=2,8	-
S	600	1800	v=0,45	v=0,71	v=1,12
	1800	3600	v=0,71	v=1,12	v=1,8
	3600	6000	v=1,12	-	-

2.2.táblázat. Kis és közepes teljesítményű villamos forgógépek rezgésminőségi osztályai ([13] szakirodalom alapján).

A táblázatba foglalt értékek segítséget nyújtanak a minősítése folyamán. Az ipari gyakorlat számára jól ismert mennyiségekről van szó.

## 2.1. Érintkezéssel rezgésmérés

Az érintkezéssel rezgésméréssel a gép felületén [5-13] abszolút rezgését mérik kontakt érzékelővel. (Az általam használt eszköz: B&K Vibro, acceleration sensor, típus: AS-065.) Piezoelektromos gyorsulás érzékelőt alkalmaznak és a rezgés gyorsulással arányos kimenő jelet integrálva jutnak a rezgéssebességgel arányos jelhez [13]. Először az egyes harmonikus rezgésösszetevők effektív értékét képezzük:

$$v_{ie} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v_i^2(t) dt}$$

Ahol az  $v_{ie}$  az  $i$ -edik harmonikus rezgésösszetevő értéke;  $v_i(t)$  az  $i$ -edik harmonikus rezgésösszetevő pillanatértéke;  $t$  az idő;  $T$  az effektívérték-képzés időtartalma; másfelől a 10-1000 Hz frekvenciatartományba eső harmonikus-összetevők eredő értékével számolva:

$$v_e = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2}$$

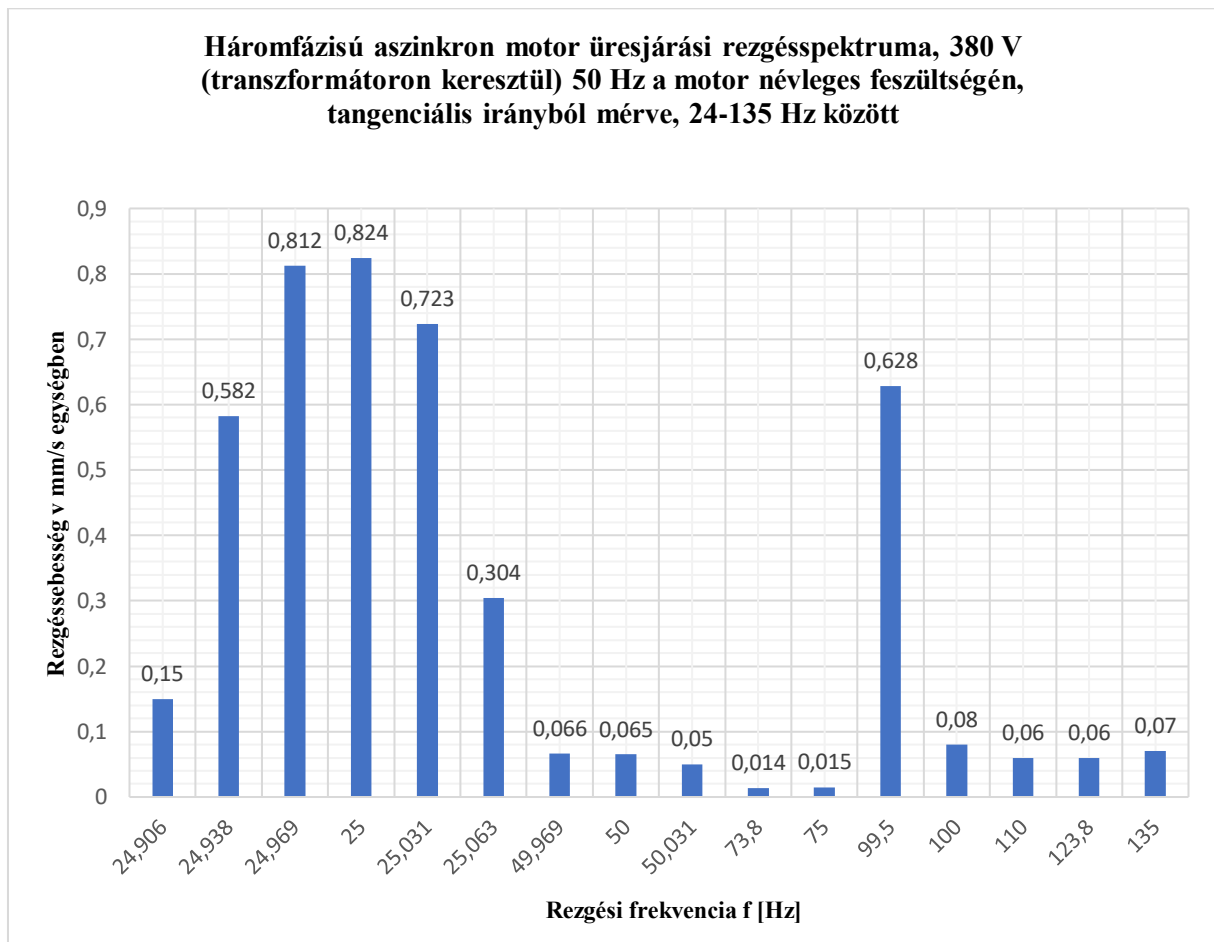
Ahol  $v_e$  az eredő effektív rezgéssebesség;  $i$  a 10-1000 Hz frekvenciatartományba eső harmonikus rezgésösszetevő sorszáma;  $n$  a rezgésösszetevők száma.

Ha van lehetőség a gép üresjárású rezgésmérésre, akkor ki kell zárni minden zavaró tényezőt, amely valamilyen mértékű rezgésátadást eredményez. Ilyes eset pl.: a terhelőgép hűtését biztosító segédventilátor, ami lehet kétpólusú, ilyenkor megjelennek a rezgésspektrumban a ventilátor által keltett gerjesztő frekvenciák.

A forgógépen mérendő frekvencia tartományt természetesen a motor fordulatszám viszonyai is nagy mértékben meghatározzák. A rezgésmérés területén kifejlesztett módszerek alapvető használata után mérlegetjük az eredményeket majd továbbiakban más mérési eljárást alkalmazunk ugyanarra motorra.

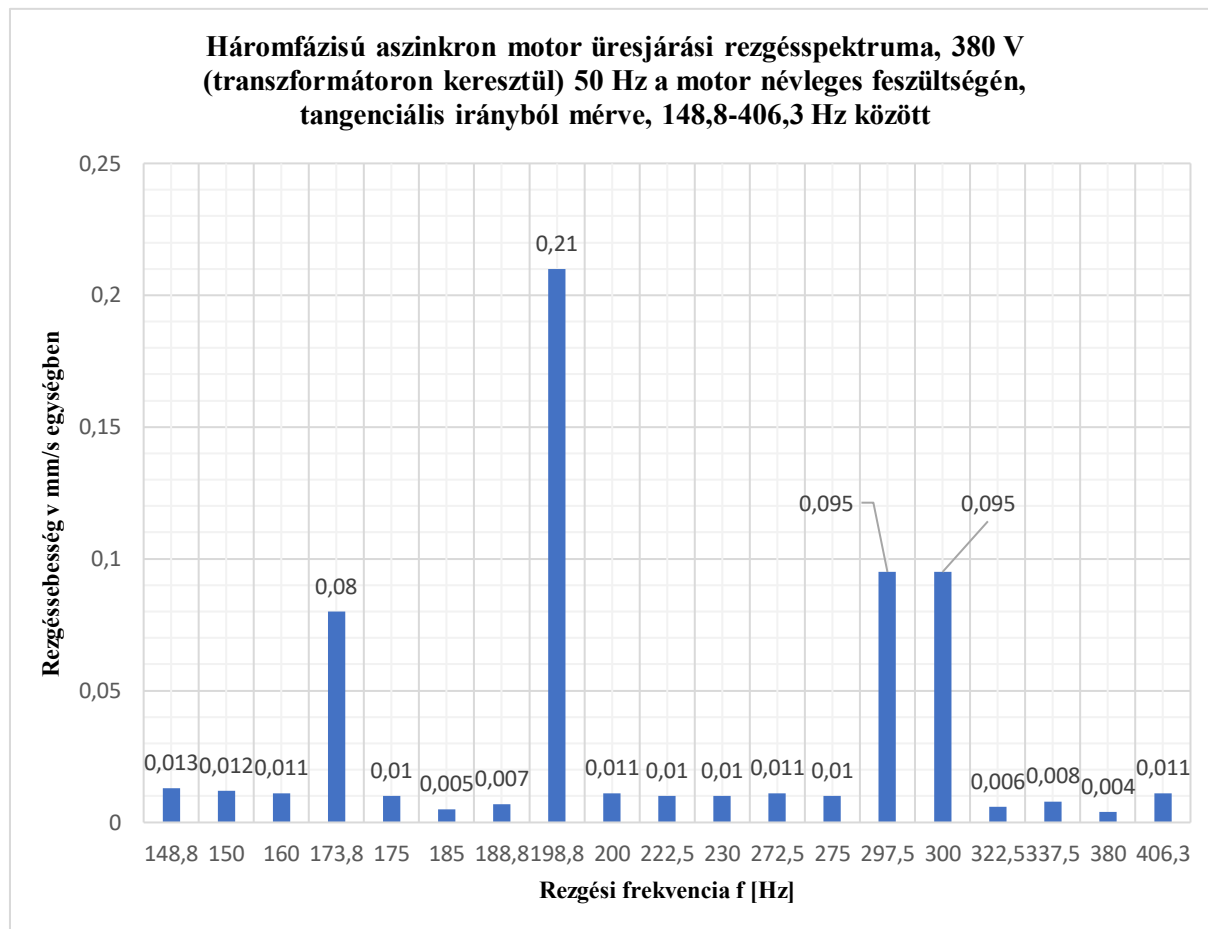
## 2.2. Háromfázisú aszinkron motor üresjárású rezgésmérése

A következő egyszerű példával megvizsgáltam egy hagyományos felépítésű négypólusú 3 kW-os négypólusú aszinkron motor ( $h=100$  mm) rezgésspektrumát [5-13] tangenciális irányból mérve, a rezgésvizsgálat 406,3 Hz-ig történt. Az ábrázolás két diagramban történt az adatok olvashatósága miatt. Az első spektrum 24,906 Hz és 135 Hz között mutatja a motoron kialakult rezgésebbesség effektív értékét. Vízszintes tengely a rezgési frekvenciát a függőleges tengelyen a rezgésebbességet mutatja mértékegységgel feltüntetve.



2.1. ábra. Háromfázisú aszinkron motor rezgésspektruma 24-135 Hz.

A második diagramm 148,8 Hz és 406,3 Hz között mutatja a motoron kialakult rezgésértékeket.



2.2. ábra. Háromfázisú aszinkron motor rezgésspektruma 148,8-406,3 Hz.

A mérés alapvető célja: Kialakul-e üresjárásban olyan rezgés komponens a motoron, amely hibára utal? A motor 50 Hz-es hálózatról üzemel. Ennek eredményeképpen látni a spektrumban a forgási frekvenciát 24,96 Hz és az 50 Hz környezetében kialakult összetevőket. A szabványos értékkel egyik érték sem kirívóan magas érték, benne van a 'normál' értékben (lásd. 2.2.táblázat). Ennek ellenére milyen értéket célszerű keresni a spektrumban? Ilyen pl.: a csapágyhiba frekvenciaértékek számítása.

Milyen csapágyat alkalmazott a gyártó?

A csapágytípus keresésre az SKF katalógusait [56-58] használtam. Ennek alapján: a keresett csapágy: 6306 Z

Milyen adatokkal rendelkezik ez a csapágy?

Milyen számításokat kell elvégezni a geometriai adataiból?

A csapágyra alapvető jellemzők: külső gyűrűs, belső gyűrű, gördülő elemek száma stb.

Elemezzük a csapágyat kiindulási feltételként:

Belső gyűrű furatátmérő:  $d = 30$  mm

Külső átmérő:  $D = 72$  mm

Szélesség:  $B = 19$  mm

Csapágy hibafrekvenciák angol és magyar megfelelői (SKF) [56-58]:

$f_{ip}$ : Over-rolling frequency of one point on the inner ring/ A csapágy belső gyűrűre vonatkozó hibafrekvencia [Hz].

$f_{ep}$ : Over-rolling frequency of one point on the outer ring/A csapágy külső gyűrűre vonatkozó hibafrekvencia [Hz].

$f_{rp}$ : Over-rolling frequency of one point on a rolling element/ A csapágy gördülő elemeire vonatkozó hibafrekvencia [Hz].

$f_i$ : Rotational frequency of the inner ring./ Belső gyűrű forgási frekvencia [Hz].

Számított csapágy adatai: Csapágy adatok származása: SKF online csapágykatalógus 6306 Z csapágy sorozatra való keresés alapján [56-58].

Ebben a számítási esetben a külső gyűrű áll a belső forog.

A csapágy típusa: Egysoros mélyhornyú golyós.

Sorozatszám: 6306 Z

Kiindulási adatok számítása:

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$D = 72 \text{ mm}$$

$$B = 19 \text{ mm}$$

Hibafrekvenciák számítása:

$f_{ep}$ : Over-rolling frequency of one point on the outer ring/A csapágy külső gyűrűre vonatkozó hibafrekvencia [Hz].

Z = 8 darab egy sorba futó golyók száma, fordulatszám az üresjárási értékre:  $n = 1498 \frac{1}{\text{min}}$  -re számolva:

$$f_{ep} = 77,05 \text{ Hz}$$

$f_{ip}$ : Over-rolling frequency of one point on the inner ring/ A csapágy belső gyűrűre vonatkozó hibafrekvencia [Hz].

$$f_{ip} = 121,87 \text{ Hz}$$

$f_i$ : Rotational frequency of the inner ring./Belső gyűrű forgási frekvencia [Hz].

$$f_i = \frac{n}{60} = \frac{1498 \frac{1}{\text{min}}}{60} = 24,96 \text{ Hz}$$

(Üresjárási forgási frekvencia értéke a rezgésspektrumban jól megfigyelhető.)

$f_{rp}$ : Over-rolling frequency of one point on a rolling element/ A csapágy gördülő elemeire vonatkozó hibafrekvencia [Hz].

$$f_{rp} = 104,705 \text{ Hz}$$

Összefoglalva:

Üresjárási üzemállapotban keresendő frekvenciaértékek a rezgésspektrumban.

$$f_{ep} = 77,05 \text{ Hz}$$

$$f_{ip} = 121,87 \text{ Hz}$$

$$f_i = 24,96 \text{ Hz}$$

$$f_{rp} = 104,705 \text{ Hz}$$

Kiértékelő táblázat (vizsgált motor  $h=100$  mm-es tengelymagasságú).

Rezgéssebesség keresés csapágyfrekvencia függvényében	
Csapágyfrekvenciák [Hz]	$v_{\text{tangenciális}}$ irány [mm/s]
$f_{ep}=77,05$ Hz	~közel eső érték (75 Hz) 0,015 mm/s
$f_{ip}=121,87$ Hz	~közel eső érték (123,8 Hz) ,06 mm/s
$f_i=24,96$ Hz	~egyező érték (24,96 Hz) 0,812 mm/s
$f_{rp}=104,705$ Hz	~közel eső érték (100 Hz) 0,08 mm/s

2.3. táblázat. Rezgéssebesség keresés csapágyfrekvencia függvényében.

A kiértékelő táblázat alapján látható, hogy a motornak nincs jelentős csapágyhibája. A legnagyobb rezgésérték a forgási frekvenciánál található, amiért nem okolható a csapágy egyértelműen. A szabványos értékkel összevetve a teljes rezgésspektrumot, nem ad komoly hibára utalást. A mérés elvégzésének a célja az volt, hogy a más géppel való összekapcsolás után megjelenő gerjesztő frekvenciák jobban összehasonlíthatóak legyenek.

### 2.3. Háromfázisú aszinkron motor terhelési állapot alatti rezgésmérése

#### Mérési feltételek és elképzelések:

A mérés megkezdése [5-31] előtt áttekinttem a motortípusra jellemző csapágyat. A gépcsoport elindítása előtt a SKF katalógus [56-58] segítségével megkerestem a csapágyra vonatkozó alapvető geometriai adatokat, ahogy az üresjárási mérésnél bemutatásra került és ezen adatokkal kiszámítottam a csapágyra jellemző hibafrekvencia értékeket. A terhelési állapotra kapott frekvencia értékek (fordulatszám  $n=1425$  1/min,  $M=20$  Nm) esetén.

$$f_{ep} = 75,5 \text{ Hz}$$

$$f_{ip} = 117,5 \text{ Hz}$$

$$f_i = 23,8 \text{ Hz}$$

$$f_{rp} = 94,8 \text{ Hz}$$

A következő lépésben terhelés alatt vizsgáljuk az aszinkron motor rezgésspektrumát. A motor terhelése egyenáramú mérlegdinamó segítségével történt. A mérési feltételek névleges nyomaték 20 Nm beállítása és termikus egyensúly megvárása, ehhez tartozó fordulatszám  $n=1425$  1/min. A termikus állapothoz tartozó állórész tekerceselés hőmérséklete  $90,78^\circ\text{C}$ , forgórész hőmérséklet  $107,41^\circ\text{C}$ . A gép rezgésállapotának vizsgálata két irányból történt, mert ezen a két irány volt a legjelentősebb rezgésérték. A két irány összehasonlítása, axiális és radiális irányok. Mindkét mérési eljárás egyező feltételek mellett történt. Nem volt gép leállítás, terhelésváltozás, ugyanazt a szenzor volt használva, hálózati feszültségstabilitás ellenőrizve volt. A rezgésmérési irányváltás közben nem volt másik gép elindítva, ami a rezgésátadás miatt hamisíthatja az értékeket. Természetesen egyszerűnek tűnő feltétel is még magában rejti a mérleggép szellőző ventilátorának gerjesztő frekvenciáit, ennek figyelemmel kísérése is fontos szempont. A motor üzeme hálózati táplálás, jelenleg frekvenciaváltó alkalmazása nélkül.

A gépállapot elemzés a rezgésspektrumok [5-31] alapján történt. A rezgésmérési [27-42] tapasztalatok megmutatták, hogy számolni kell hibafrekvenciák egymásra hatásával is (csapágy- és tengelybeállítási hiba).

Mindkét irány rezgésspektrumát két részben rajzoltam meg az áttekinthetőség és adatok olvashatósága miatt. A 380 V feszültség azért szerepel külön feltüntetve, mert toroid transzformátor segítségével a motor névleges feszültsége lett beállítva.



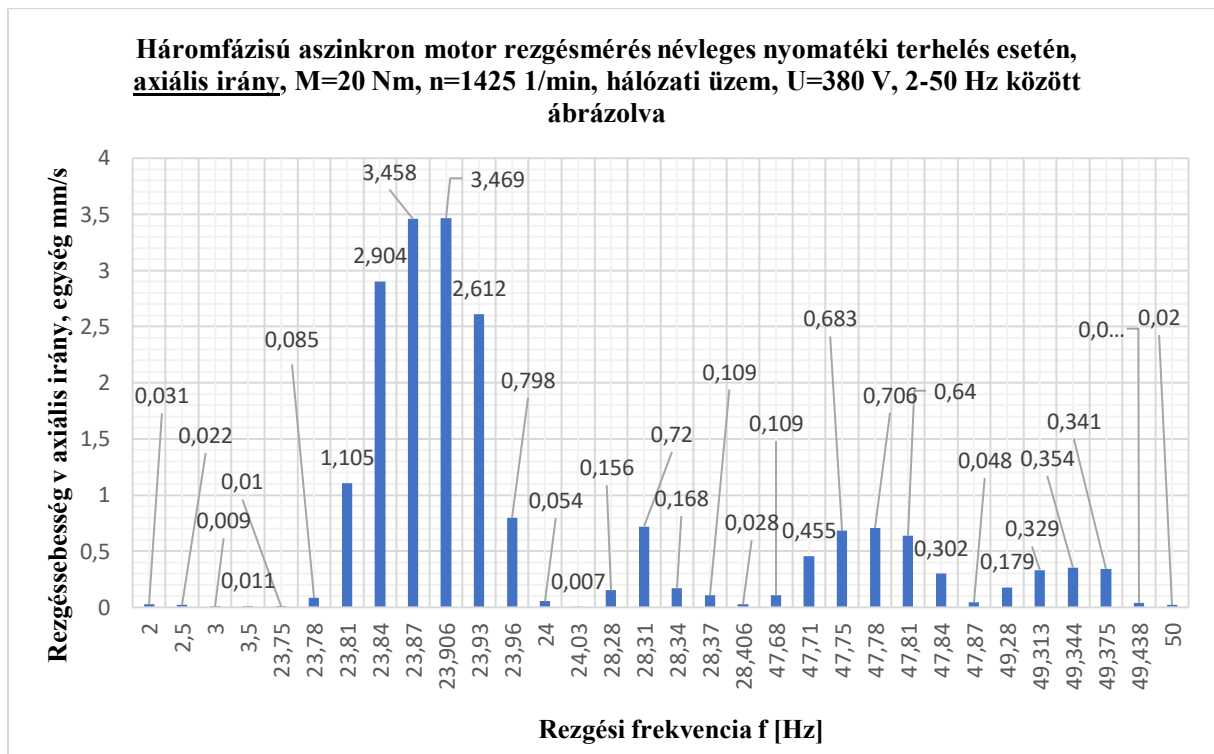
Ábrázolási lépések:

1. Regzésspektrum első szakaszban 2-50 Hz között axiális irányból.
2. Regzésspektrum második szakaszban 71-862,5 Hz között axiális irányból.
3. Regzésspektrum első szakaszban 1,75-50 Hz között radiális irányból.
4. Regzésspektrum második szakaszban 71-962,5 Hz között radiális irányból.

Hibák keresése és azok megállapítása.

A következőkben tekintsük át a diagrammokat.

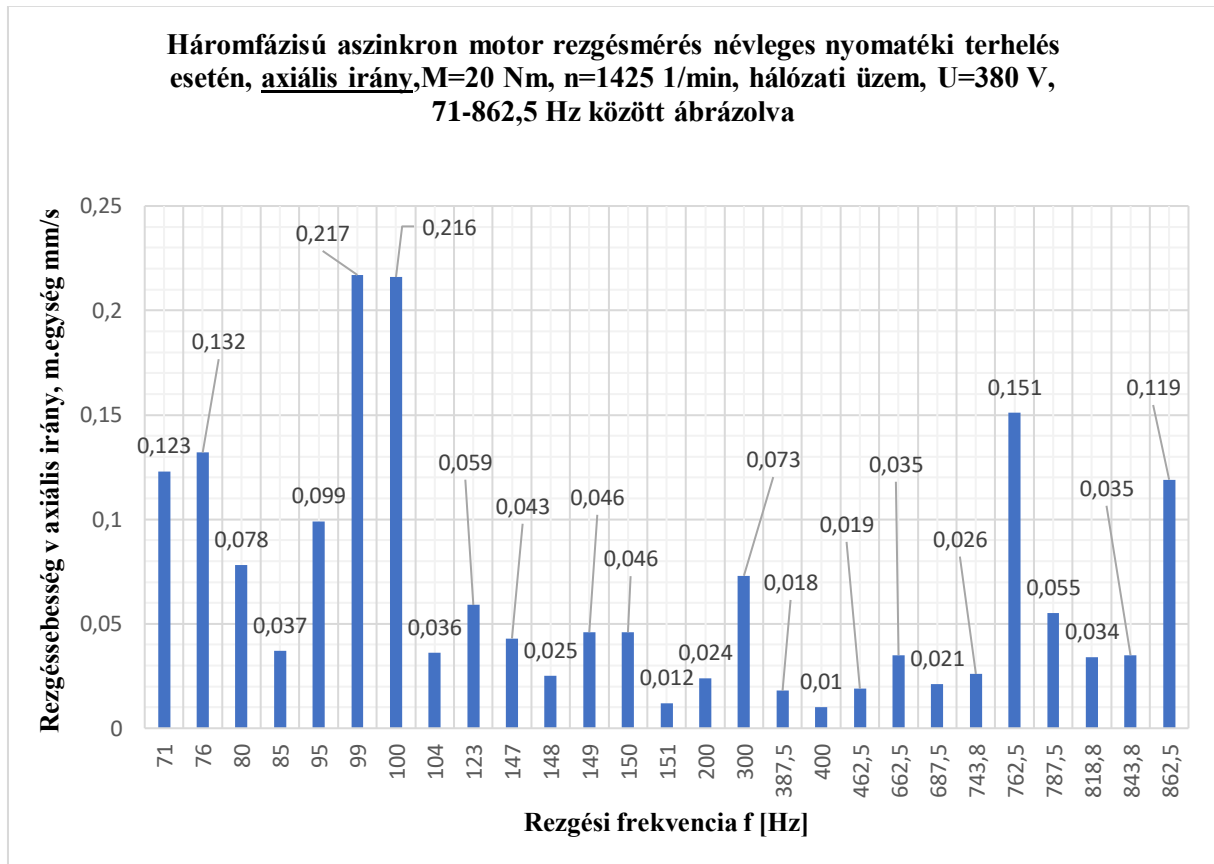
1. Regzésspektrum első szakaszban 2-50 Hz között axiális irányból.



2.3.ábra. Háromfázisú aszinkron motor rezgésspektruma első 2-50 Hz között axiális irányból.

Legjelentősebb rezgésértékek:  $f=23,84$  Hz  $v_{\text{axiális}}=2,904$  mm/s,  $f=23,87$  Hz  $v_{\text{axiális}}=3,458$  mm/s,  $f=23,906$  Hz  $v_{\text{axiális}}=3,469$  mm/s,  $f=23,93$  Hz  $v_{\text{axiális}}=2,612$  mm/s, ezek az értékek az előző fejezetben bemutatott rezgésérősségi [13] fokozatok alapján hibára utalnak. A hiba elemzés eredményeképpen meg kell vizsgálni a következő spektrumot is.

## 2. Regzésspektrum második szakaszban 71-862,5 Hz között axiális irányból.



2.4. ábra. Háromfázisú aszinkron motor rezgésspektruma 71-862,5 Hz, között axiális irányból.

Ebben a diagramban 71 Hz és 862,5 Hz között történt rezgésvizsgálat, látható még 0,5 mm/s-os értéket sem érik ezek a frekvencia komponensek. Ebben a tartományban túl nagy hiba komponens nem tapasztalható.

Viszont honnan ered az előző diagramban bemutatott 50 Hz alatti magas rezgésérték? Mi okozza ezeket a komponenseket?

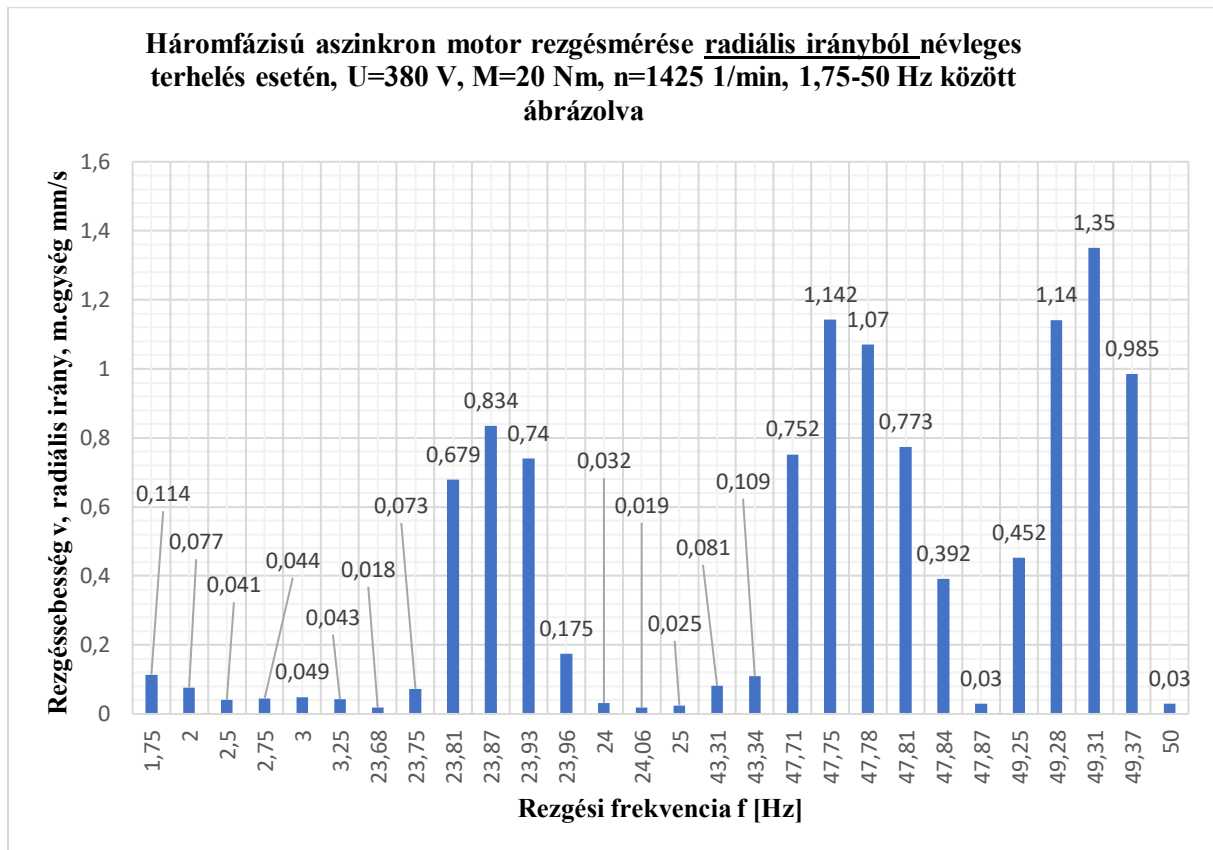
A forgógépek rezgésvizsgálata során minden lehetséges hiba jelenséget ismerni szükséges a valós elemzésekhez [7-13], ennek alapján számolni kell a tengelybeállítási hibával is, ami eddig nem volt tárgyalva.

Lehetséges csapágyhiba, de korántsem jelenthető ki még ennyi vizsgálati eredménnyel.

Elemzés folytatásaképpen tovább folytatva a radiális irányú vizsgálattal.

A radiális irányú spektrumban látni lehet, hogy ugyanebben a tartományokban axiális irányból jelentősebb rezgéssebesség értékek jelentek meg.

Rezgésspektrum első szakaszban 1,75-50 Hz között radiális irányból.



2.5. ábra. Háromfázisú aszinkron motor rezgésspektruma 1,75-50 Hz között radiális irányból.

Melyik értékek szerepelnek nagyobb értékkel?

$f=23,81\text{ Hz}$   $v_{\text{radiális}}=0,679\text{ mm/s}$

$f=23,87\text{ Hz}$   $v_{\text{radiális}}=0,824\text{ mm/s}$

$f=23,93\text{ Hz}$   $v_{\text{radiális}}=0,74\text{ mm/s}$

$f=47,71\text{ Hz}$   $v_{\text{radiális}}=0,752\text{ mm/s}$

$f=47,75\text{ Hz}$   $v_{\text{radiális}}=1,142\text{ mm/s}$

$f=47,81\text{ Hz}$   $v_{\text{radiális}}=0,773\text{ mm/s}$

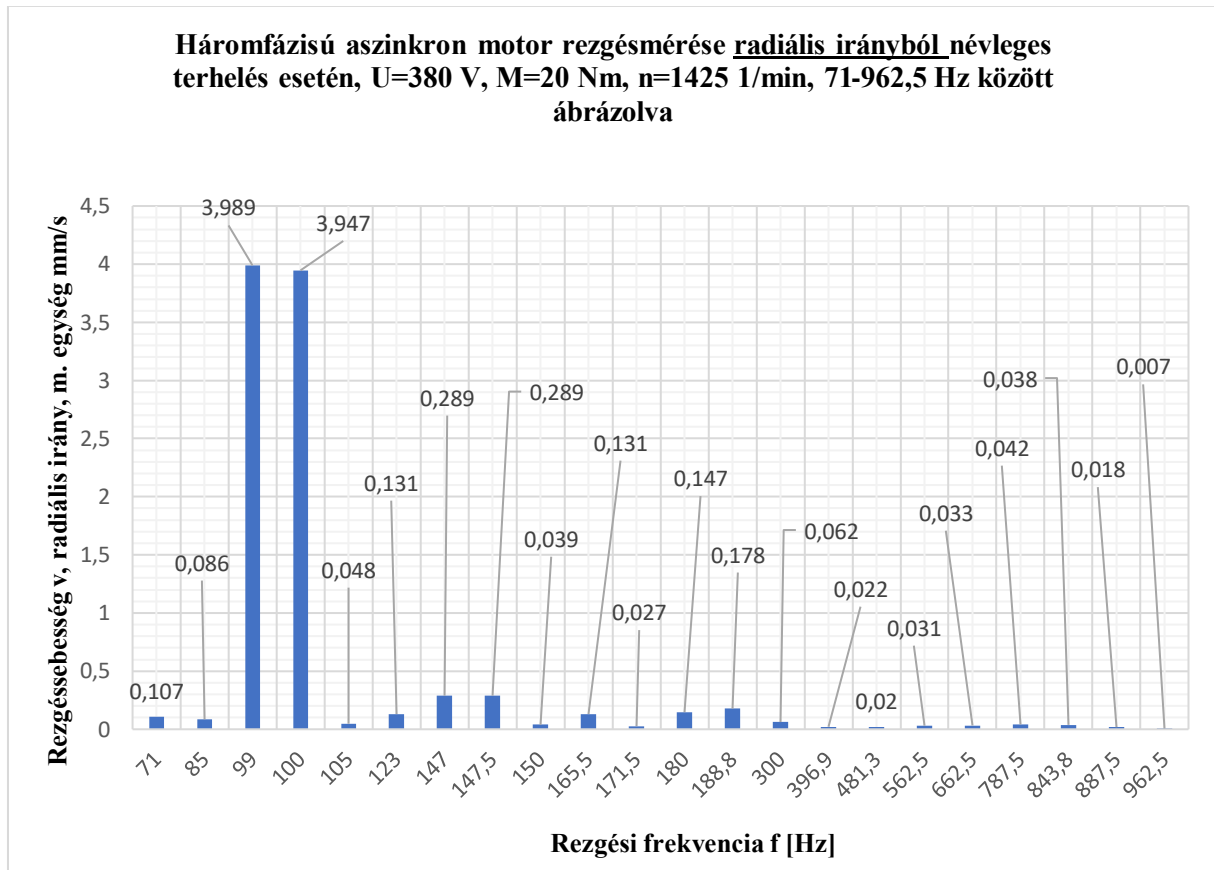
$f=49,28\text{ Hz}$   $v_{\text{radiális}}=1,14\text{ mm/s}$

$f=49,31\text{ Hz}$   $v_{\text{radiális}}=1,35\text{ mm/s}$

$f=49,37\text{ Hz}$   $v_{\text{radiális}}=0,985\text{ mm/s}$

Elemzést folytatva az 50 Hz feletti komponensekkel.

Rezgésspektrum második szakaszban 71-962,5 Hz között radiális irányból.



2.6. ábra. Háromfázisú aszinkron motor rezgésspektruma 71-962,5 Hz között radiális irányból.

A spektrumban 71 Hz és 962,5 Hz között történt rezgéssébség vizsgálat, itt látható két darab kiemelkedően nagy érték, ezek:

$$f=99 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=3,989 \text{ mm/s}$$

$$f=100 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=3,947 \text{ mm/s}$$

Milyen hibajelenséget lehet diagnosztizálni a bemutatott négy darab rezgésspektrummal?

Csapágyfrekvenciák újbóli felírása (1425 1/min):

$$f_{\text{ep}} = 75,5 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{ip}} = 117,5 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{i}} = 23,8 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{rp}} = 94,8 \text{ Hz}$$

Melyik összetevő szerepel jelentősebb rezgésértékkel a spektrumban?

A csapágy frekvenciák keresése és mérlegelése az alábbiak szerint [56-58]:

$$f_i = 23,8 \text{ Hz}$$

( $f_i$ : Rotational frequency of the inner ring./ Belső gyűrű forgási frekvencia).

A belső gyűrű is jelentős terhelést kap ezen a fordulatszámon.

Milyen irányok terhelik a belső gyűrűt?

Kiválasztottam az axiális és radiális irányokból a jelentősebb komponenseket, a következők lépések szerint:

$$f=23,84 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=2,904 \text{ mm/s}$$

$$f=23,87 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=3,458 \text{ mm/s}$$

$$f=23,906 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=3,469 \text{ mm/s}$$

$$f=23,93 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=2,612 \text{ mm/s}$$

$$f=23,81 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=0,679 \text{ mm/s}$$

$$f=23,87 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=0,824 \text{ mm/s}$$

$$f=23,93 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=0,74 \text{ mm/s}$$

Az összehasonlítás eredménye forgási frekvencia környezetében látható, hogy axiális irányból tapasztalható jelentősebb rezgésesség.

$f_{rp} = 94,8 \text{ Hz}$  érték beleesik a 100 Hz-es tartományba.

( $f_{rp}$ : Over-rolling frequency of one point on a rolling element/ A csapágy gördülő elemeire vonatkozó hibafrekvencia.)

A csapágyhiba még nem egyértelműen azonosítható, viszont azt látni lehet, hogy a gördülő elemek csavarónyomaték (kőrmös tengelykapcsoló) miatt jelentős terhelést kapnak.

A 100 Hz környezetében tapasztalható rezgésértékek:

$$f=99 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}= 0,217 \text{ mm/s}$$

$$f=100 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}= 0,216 \text{ mm/s}$$

$$f=99 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=3,989 \text{ mm/s}$$

$$f=100 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=3,947 \text{ mm/s}$$

Amiből az következik, hogy radiális irányból jelentős terhelés érkezik a gördülő elemekre.

Milyen hibákat lehet megállapítani a gépcsoporton a mért rezgésspektrumok alapján?

Mérési eredmények elemzése és hibák keresése:

A villamos forgógépek meghibásodása [7] lehet tengelybeállítási hiba, csapágy meghibásodás, kiegyensúlyozatlanság és ezek kombinációi, [51-60], illetve a sort folytatni lehet a szakirodalmakban fellelhető egyéb rezgéskeltő jelenségekkel.

A rezgésspektrumok elemzése következtében az alábbi fogalmak kell elsősorban koncentrálni.

### **Tengelybeállítási hiba és csapágyhiba.**

#### **Tengelybeállítási hiba:**

Egytengelyűségi hibáról [7] akkor lehet beszélni, ha [13] tengelykapcsolatnál tapasztalható középvonalbeli eltérés. Jobb irányban, bal irányban, lefelé vagy felfelé irányban és ezek valamilyen kombinációja. Ezek párhuzamossági, merőlegességi és szöghibák. A csapágy frekvenciák már említésre kerültek.

#### **Párhuzamossági hiba keresése:**

A párhuzamossági hiba esetén tengelykapcsolatra nézve a forgási [7] frekvencia 1-szeres és 2-szeres komponensei jelennek meg, amely tapasztalható volt a spektrumok alapján.

$$f=23,84 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=2,904 \text{ mm/s}$$

$$f=23,87 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=3,458 \text{ mm/s}$$

$$f=23,906 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=3,469 \text{ mm/s}$$

$$f=47,71 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=0,752 \text{ mm/s}$$

$$f=47,75 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=1,142 \text{ mm/s}$$

$$f=47,81 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=0,773 \text{ mm/s}$$

$$f=49,28 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=1,14 \text{ mm/s}$$

$$f=49,31 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=1,35 \text{ mm/s}$$

$$f=49,37 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=0,985 \text{ mm/s}$$

Amelyekből látni, hogy az axiális részek kiemelkednek a radiálishoz viszonyítva.

Ezek a komponensek nyíró és hajlító erőket is egyaránt létrehozhatnak tengelykapcsolóban, egyszeres és kétszeres ütések tapasztalhatók.

#### **Szögbeli tengelybeállítási hiba keresése:**

A tengelykapcsolatban, ha létezik szöghiba, akkor a forgási frekvencia 1-szeresénél axiális, 2-szeres forgási [7] frekvenciánál is szintén tapasztalhatni rezgésösszetevőket. Elemzés az 1-szeres és 2-szeres forgási frekvenciák esetén megtörtént. Viszont axiális irányban jelentős a rezgés. A következtetés az alábbi:

A gépkapcsolat jelentős tengelybeállítási hibával rendelkezik, mégpedig axiális irányból nézve. Ugyanis axiális tengelybeállítási hiba esetén megjelenik a forgási frekvencia 1-szeres, 2-szeres és 4-szeres frekvencia komponense.

A mérési eredmények alapján a következők szerint.

#### **1-szeres komponensek:**

$$f=23,84 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=2,904 \text{ mm/s}$$

$$f=23,87 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=3,458 \text{ mm/s}$$

$$f=23,906 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=3,469 \text{ mm/s}$$

$$f=23,93 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=2,612 \text{ mm/s}$$

$$f=23,81 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=0,679 \text{ mm/s}$$

$$f=23,87 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=0,824 \text{ mm/s}$$

$$f=23,93 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=0,74 \text{ mm/s}$$

#### **2-szeres komponensek:**

$$f=47,71 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=0,752 \text{ mm/s}$$

$$f=47,75 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=1,142 \text{ mm/s}$$

$$f=47,81 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=0,773 \text{ mm/s}$$

$$f=49,28 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=1,14 \text{ mm/s}$$

$$f=49,31 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=1,35 \text{ mm/s}$$

$$f=49,37 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=0,985 \text{ mm/s}$$

#### **4-szeres komponensek:**

$$f=99 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=0,217 \text{ mm/s}$$

$$f=100 \text{ Hz } v_{\text{axiális}}=0,216 \text{ mm/s}$$

$$f=99 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=3,989 \text{ mm/s}$$

$$f=100 \text{ Hz } v_{\text{radiális}}=3,947 \text{ mm/s}$$

Ennek alapján látható, hogy a gépcsoport tengelybeállítási hibával rendelkezik. A csapágy hibafrekvenciákkal is egybeesnek ezek a komponensek:

$$f_i = 23,8 \text{ Hz}$$

$$f_{rp} = 94,8 \text{ Hz}$$

Az üresjárási rezgésmérés alapján a motornak nem volt jelentős rezgésértéke a csapágyra jellemző frekvenciáknál, viszont abban az üzemállapotban a gép terhelést sem kap. Az üresjárási rezgésmérésre ezért is volt szükség. A tengelybeállítási hiba viszont terheli a csapágyat, tehát a hibajelenségek együtt jelennek meg a rezgésspektrumban. A bemutatott rezgésmérésnek és elemzésnek az volt célja, hogy végig lehessen tekinteni egy alapvetően bevált ipari gyakorlati módszert.

### 3.Összefoglalás

A dolgozat témája aszinkron motorok csapágydiagnosztikája bevezető mérési eredményekkel. Megismerkedni a rezgésmérés módszereivel, valamint az erre vonatkozó szakirodalommal és szabványos előírásokkal. A csapágydiagnosztikának sokoldalú lehetőségének egyikére akartam egy nézőpontot kialakítani az eddigi tapasztalatok segítségével. A mérést az elmúlt év (2018) eredményei adják döntő többségében, mert ebben az időszakban kezdtem el irányt venni a mechanikai eredetű meghibásodások okainak feltárása felé. A méréseket a rendelkezésemre álló eszközökkel a legoptimálisan igyekeztem végrehajtani és kiértékelni. A munkák eredménye adja a jövőbeli módszerek kifejlesztését. A dolgozat születésének előzménye volt „megawatt” nagyságrendjébe eső gépek mérése az iparban. Természetesen egy szintet lépnünk kellene a siklócsapágyak területére is, ami jelenleg nem volt célja a dolgozatnak. A tématerület vizsgálatával a diagnosztika, mechanika és villamos gépek területének összhangjára akartam kitérni. A dolgozat megírásával megismerkedtem egy rendkívül széles szakterülettel, ami magában hordozza a villamos gépek, jelfeldolgozás, mérés technika és mechanika egymásra ható ágait. A felsorolt eredmények és hiányosságok arra vezetnek, hogy helyesnek ítélt adatokat tovább gondoljam, a felsorolt hiányokat pedig pótoljam és fejlesszem.

## 4. Irodalomjegyzék

- [1] Peresztegi Sándor, Villamos gépek konstrukciós változatai, Budapest 2012
- [2] Peresztegi Sándor, Gyártmánydokumentáció (Aszinkron motor), Budapest, 2016
- [3] Barabás Miklós, Villamos gépek II. Műszaki Könyvkiadó 1972
- [4] Dr. Asztalos Péter, Villamos gépek II. példatár, Műszaki Könyvkiadó 1989
- [5] Jafar Zarei, Javad Poshtan, An advanced Park's vectors approach for bearing fault detection, Tribology International 42 (2009) 213-219
- [6] Jean-Claude Trigeassou, Electrical Machines Diagnosis, First published, 2011, Great Britain and the United States by ISTE Ltd and John & Sons, Inc.
- [7] Dr. Nagy István, Állapotfüggő Karbantartás, Műszaki Diagnosztika I. Rezgésdiagnosztika, Delta-3N Kft. Paks, 2006
- [8] Glenn D. White, Introduction to Machine Vibration, Part Number 8569, Version 2.3, DLI Engineering Corp. 1998
- [9] James I. Taylor, The Vibration Analysis Handbook, A Practical Guide for Solving Rotating Machinery Problems, Second Edition, 2003 USA, ISBN: 0-9640517-2-9
- [10] Dr. Dömötör Ferenc, A rezgésdiagnosztika elemei, SKF Svéd Golyóscsapágy Rt. Budaörs, 1996.
- [11] Dr. Kégl Tibor, Szabó József, Műszaki diagnosztika, Kézirat, Budapest, 1993
- [12] Jafar Zarei, Javad Poshtan, Bearing fault detection using wavelet packet transform of induction motor stator current, Department of Electrical Engineering, Iran University of Science and Technology, Narmak 16846, Tehran, Iran, Received 27 November 2005; received in revised form 10 April 2006; accepted 19 July 2006 Available online 20 September 2006
- [13] Dr. Timár Peregrin László-Fazekas Albert-Kiss József-Miklós András-Dr. S. J. Yang, Villamos gépek zaja és rezgése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986
- [14] Lukács Ottó, Matematikai Statisztika, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 2002
- [15] Zombori Béla, Elektronika (5.kiadás), Nemzeti Tankönyvkiadó-Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 2004
- [16] Ctirad Smetana, Zaj-és rezgésmérés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975
- [17] EVIG gyártmánydokumentációs adatlap, Budapest
- [18] VZ Zárt Motorok Rövidrezárt Forgórészrel 0,55...30 kW 3 fázis, Gyártmányismertető, Kiadványszám: R-1646, Egyesült Villamosgépgyár, Budapest, X., Gyömrői út 128., 1971. szeptember
- [19] RZ, CK, CZK 225...355 Típusú Zárt, Kisfeszültségű Aszinkron Motorok 30...250 kW, Gyártmányismertető, Kiadványszám: EP-14, Egyesült Villamosgépgyár, Budapest, X., Gyömrői út 128., 1973. június
- [20] CZD Típusú Csúszógyűrűs Forgórészű Darumotorok, Gyártmányismertető, Kiadványszám: R-7816, Egyesült Villamosgépgyár, Budapest, X., Gyömrői út 128., 1981.
- [21] Я.С.Гурин, Б.И. Кузнецов (Ya.S.Gurin, B.I. Kuznecov), Проектирование Серий Электрических Машин (Villamos Gépek Sorozatának Tervezése), Москва, 1978
- [22] SKF Svéd Golyóscsapágy Részvénytársaság, H-1091 Budapest IX., Üllői út 55., 4000 H. sz. katalógus, Felelős kiadó: Kállay István igazgató, 89.0373 Kossuth Nyomda, Budapest, 1989
- [23] V. Fernao Pires, J. F. Martins, A. J. Pires, Eigenvector/eigenvalue analysis of a 3D current referential fault detection and diagnosis of an induction motor, Energy Conversion and Management 51 (2010) 901-907
- [24] R.R. Obaid, Sch. of Electr. & Comput. Eng., Georgia Inst. of Technol., Atlanta, GA, USA



T.G. Habetler, Sch. of Electr. & Comput. Eng., Georgia Inst. of Technol., Atlanta, GA, USA

J.R. Stack, Sch. of Electr. & Comput. Eng., Georgia Inst. of Technol., Atlanta, GA, USA

Stator current analysis for bearing damage detection in induction motors, Print ISBN: 0-7803-7838-5, Date of Conference: 24-26 Aug. 2003

[25] A. Roque, J. M. F. Calado and J. M. Ruiz, Vibration Analysis versus Current Signature Analysis, Supervision and Safety of Technical Processes, August 29-31, 2012. Mexico City, Mexico

[26] Sukhjeet Singh, Amit Kumar, Navin Kumar, Motor Current Signature Analysis for Bearing Fault Detection in Mechanical Systems, Science Direct, Procedia Materials Science 6 (2014) 171-177

[27] Bendiák István, Aszinkron motorok csapágydiagnosztikája, TDK dolgozat, Budapest 2019

[28] Izzet Önel, Mohamed Benbouzid, Induction Motors Bearing Failures Detection and Diagnosis: Park and Concordia Transform Approaches Comparative Study, Izzet Önel, Mohamed Benbouzid. Induction Motors Bearing Failures Detection and Diagnosis: Park and Concordia Transform Approaches Comparative Study. IEEE IEMDC'07, May 2007, Antalya, Turkey. 2, pp.1073-1078, 2007. <hal-00531271, HAL Id: hal-00531271 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00531271> Submitted on 2 Nov 2010

[29] Mariana IORGULESCU, Robert BELOIU University of Pitesti, Electrical Engineering Departament, Pitesti, ROMANIA, Vibration and Current Monitoring for Fault's Diagnosis of Induction Motors, Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series, No. 32, 2008; ISSN 1842-4805

[30] William H. Yeadon, PE. Editor and Chief, Alan W. Yeadon, PE. Associate Editor, Handbook of Small Electric Motors, McGraw Hill, New York, Chicago, San Francisco, Lisbon, London, Madrid, Toronto, Mexico City, New Delhi, Sydney, Toronto. 2003.

[31] Szabó József Zoltán, Rezgésdiagnosztikai vizsgálatok és haditechnikai alkalmazhatóságuk kutatása, PhD értekezés, 2010, Budapest

[32] Ahmed Alwodai, Tie Wang, Zhi Chen, Fendshou Gu, Robert Cattley, Andrew Ball, A Study of Motor Bearing Fault Diagnosis Using Modulation Signal Bispectrum Analysis of Motor Current Signals, Journal of Signal and Information Processing, 2013, 4, 72-79

[33] Neelam Mehala #1, Ratna Dahiya \*2, Detection of Bearing Faults of Induction Motor Using Park's Vector Approach, 1# Department of Electronics and Communication Engineering YMCA University of Science and Technology, Faridabad-121006(Haryana) INDIA, 2\* Department of Electrical Engineering National Institute of Technology Kurukshetra-136119 (Haryana) INDIA, Neelam Mehala et al. /International Journal of Engineering and Technology Vol.2(4), 2010, 263-266

[34] M.S. Othman<sup>1\*</sup>, M.Z. Nuawi<sup>1</sup> and R. Mohamed<sup>2</sup>, Induction Motor Bearing Fault Diagnostics Using i-kaz™ and Decision Tree Classification, <sup>1</sup>Department of Mechanical and Material Engineering, <sup>2</sup>Department of Electrical, Electronic and Systems Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia, Jalan Bangi 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia. \*Email: [sufian@jkr.gov.my](mailto:sufian@jkr.gov.my), International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME) ISSN: 2229-8649 (Print); ISSN: 2180-1606 (Online); Volume 13, Issue 2 pp. 3361 - 3372, September 2016 ©Universiti Malaysia Pahang Publishing

[35] Partha Sarathee Bhowmik<sup>1</sup>, Sourav Pradhan<sup>2</sup> and Mangal Prakash<sup>3</sup>, Fault Diagnostic and Monitoring Methods of Induction Motor: A Review, <sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology, Durgapur, India, <sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology, Durgapur, India,

- <sup>3</sup>Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology, Durgapur, India, International Journal of Applied Control, Electrical and Electronics Engineering (IJACEEE) Volume 1, Number 1, May 2013
- [36] WEIDONG LI Pinchin Environmental Ltd, 5749 Coopers Avenue, Mississauga, Ontario, L4Z 1R9, Canada, CHRIS K. MECHEFSKE Department of Mechanical and Materials Engineering, Queen's University, Kingston, Ontario, K7L 3N6, Canada ([chrism@me.queensu.ca](mailto:chrism@me.queensu.ca)), Detection of Induction Motor Faults: A Comparison of Stator Current, Vibration and Acoustic Methods, (Received 10 August 2004 accepted 24 October 2005)
- [37] Muhammad Aman Sheikh, Nursyarizal Mohd Nor, Taib Ibrahim, Sheikh Tahir Bakhsh, M.Irfan, Nordin B Saad, An Intelligent Automated Method to Diagnose and Segregate Induction Motor Faults, J. Electrical Systems 13-2 (2017): 241-254
- [38] Akshat Singhal, Meera A. Khandekar, Bearing Fault Detection in Induction Motor Using Motor Current Signature Analysis, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering Vol. 2, Issue 7, July 2013
- [39] Martin Blödt, Pierre Granjon, Bertrand Raison, Jérémie Regnier, Mechanical Fault Detection in Induction Motor Drives Through Stator Current Monitoring - Theory and Application Examples, HAL Id: hal-00485734 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00485734> Submitted on 21 May 2010,
- [40] Sukhjeet Singh, Amit Kumar, Navin Kumar, Motor Current Signature Analysis for Bearing Fault Detection in Mechanical Systems, 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014), ScienceDirect
- [41] A Dissertation by Lin Wang, Induction Motor Bearing Fault Detection Using a Sensorless Approach, Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, May 2007
- [42] Mounir Djeddi, Member IEEE, Pierre Granjon, and Benoit Leprettre, Bearing Fault Diagnosis in Induction Machine Based on Current Analysis Using High-Resolution Technique, Date Added to IEEE Xplore: 04 December 2007
- [43] Retter Gyula: Egységes villamos gép elmélet, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976
- [44] SILEX IPARI AUTOMATIZÁLÁSI KFT. TMI-02 Villamos forgatónyomatékmérő műszer, Használati útmutató, Azonosítószám: 300-01-01-090-2.1, 2000 november
- [45] Norbert Hesselmann, Digitális jelfeldolgozás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985
- [46] Farkas András-Gemeter Jenő-Nagy Lóránt: Villamos gépek, ÓE-KVK 2043, Budapest, 2010
- [47] Kovács K. Pál: Villamos gépek tranziens folyamatai, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970
- [48] Halász Sándor: Villamos hajtások, Havas&Társ, Budapest, 1987
- [49] Halász Sándor: Automatizált villamos hajtások I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1989
- [50] Halász Sándor-Hunyár Mátyás-Schmidt István: Automatizált villamos hajtások II., Műegyetem Kiadó, Budapest, 1998
- [51] Lipovszky György, Sólyomvári Károly, Varga Gábor, Gépek rezgésvizsgálata és a karbantartás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981
- [52] Molnár László, dr. Varga László, Gördülőcsapágyazások tervezése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977
- [53] By Brian P. Graney and Ken Starry, Rolling Element Bearing Analysis, From Materials Evaluation, Vol. 70, No. 1, pp: 78-85, Copyright 2011 The American Society for Nondestructive Testing, Inc. Materials Evaluation-January 2012

[54] AS 2625 Part 1 –'Rotating and Reciprocating Machinery'- Mechanical Vibration: Part 1- Basis for Specifying Evaluating Standards; AS 2625 Part 1 Severity Guidelines; AS 2625 Part 4 – 1986 „Measurement and Evaluation of Vibration Severity of Small Rotating Machines”. For machines with power ratings less than 300 kW; AS 1359 Part 114-1997 „Rotating Electrical Machines-General Requirements. Part 114: Vibration Measurements and Limits” ;ISO 10816-1:1995 (E). Part 1: General Guidelines.

[55] Mariana IORGULESCU, Robert BELOIU University of Pitesti, Electrical Engineering Department, Pitesti, ROMANIA, Vibration and Current Monitoring for Fault's Diagnosis of Induction Motors, Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series, No. 32, 2008; ISSN 1842-4805

[56] SKF Bearing Calculator program: Csapágy típusára ellenőrzött számítás és a csapágyfrekvenciák értékeinek, elnevezéseinek a származási helye: Oldal cím:

<http://webtools.skf.com/BearingCalc/submitCalculation.action?null&ni=1425&ne=0>

[57] SKF online csapágy katalógus: Oldalcím:

<https://www.skf.com/us/knowledge-centre/engineering-tools/skfbearingcalculator.html>

[58] SKF online katalógus csapágy geometriai adatainak megismerése céljából: Oldalcím

<https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=6306>

[59] O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, The Finite Element Method, McGraw-Hill 1989.

[60] P.P. Silvester, R.L. Ferrari, Finite Elements for Electrical Engineers, Third Edition, Cambridge University Press, 1996.