



Elektromotoros hajtásrendszer minősítése rezgésdiagnosztikával

OTDK 2013

Készítette: Gárdonyi Gábor, Manhertz Gábor
Mechatronikai mérnöki mesterszakos hallgatók, II. évf.

Konzulens: Dr. Lipovszki György
Tanszékvezető helyettes – BME Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

A dolgozat bemutatását a TÁMOP - 4.2.2.B-10/1--2010-0009 "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" című program támogatta.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
2012.10.28.

Tartalomjegyzék

1. Összefoglaló	6
2. Summary	9
3. A feladat megfogalmazása	11
4. Megelőző tanulmányok.....	14
4.1. Minősítő rendszerek.....	14
4.2. A rezgésdiagnosztikáról általában	15
4.3. A rezgésdiagnosztika elméleti háttere	17
5. Előzetes vizsgálatok.....	20
5.1. Mérési elrendezés	20
5.2. Előzetes mérőprogram	25
5.3. Szűrő tervezés.....	27
5.4. Előzetes analizáló program.....	28
5.5. Megfigyelések összegzése	30
6. A teljeskörű vizsgálati szoftver megvalósítása	33
6.1. Programterv.....	33
6.2. A mért jel beolvasása.....	38
6.2.1. Egyedi beolvasás	38
6.2.2. Páros beolvasás	39
6.2.3. Sorozat beolvasás.....	39
6.3. A mért jel kondicionálása, előkészítése.....	40
6.3.1. Normalizálás	40
6.3.2. Vágás	41
6.4. Diagnosztikai módszerek	42
6.4.1. Időjel alapú számítások	43

6.4.2.	Autospektrum alapú számítások	51
6.4.3.	Hajtási irányok összevetése	61
6.5.	Minősítés	62
6.6.	Diagnosztikai eredmények reprezentálása	64
6.6.1.	A vizsgált jelek mentése	64
6.6.2.	A kondicionált jelek lejátszása	65
6.6.3.	Paraméterek beolvasása, mentése	66
6.6.4.	Diagnosztikai és minősítési eredmények mentése	69
6.6.5.	Grafikonok mentése	71
6.7.	Az elkészült diagnosztikai és minősítő program grafikus felhasználói felülete	72
6.8.	Paraméter meghatározást támogató segédprogram	82
7.	Diagnosztikai eredmények, tapasztalatok összefoglalása	84
7.1.	Mérőrendszer értékelése	84
7.1.1.	Szenzor rögzítése	84
7.1.2.	Mérendő eszköz rögzítése	87
7.2.	Tipikus deviációk	88
7.2.1.	Egy jó motor analízisének eredményei	88
7.2.2.	Nyikorgás	92
7.2.3.	Periodikus kattogás	95
7.2.4.	Alacsony alapfrekvencia	99
7.3.	Paraméter-beállítás	102
7.4.	Vizsgálati eredmények	102
8.	Összegzés és továbbfejlesztési lehetőségek	104
9.	Irodalomjegyzék	107
10.	Ábra, táblázat és egyenletjegyzék	108

10.1.	Ábrajegyzék.....	108
10.2.	Táblázatjegyzék.....	111
10.3.	Egyenletjegyzék.....	111
11.	Melléklet.....	112
11.1.	Elkészített programok.....	112
11.1.1.	Grafikon beolvasó.VI	112
11.1.2.	Mintavétel és wav mentés.VI	113
11.1.3.	Szűrő-tervezés.VI	115
11.1.4.	D.Ö.M.P.E.R..VI	116
11.1.5.	Normalizációs korrekció.VI	117
11.1.6.	Időjel vágása.VI	118
11.1.7.	Idő-AS.VI	119
11.1.8.	Alapfrekvencia.VI	120
11.1.9.	Időjel tüskék átlag.VI	122
11.1.10.	Időjel tüskék szórás.VI	123
11.1.11.	SubVI_Kurtosis_v1.1.VI.....	124
11.1.12.	RMS-arány.VI	125
11.1.13.	RMS.VI	126
11.1.14.	AR-modell_sub.VI	127
11.1.15.	AR-szűrő_sub.VI.....	128
11.1.16.	NACF_sub.VI	129
11.1.17.	SPRT_sub.VI	130
11.1.18.	SPRT.VI.....	131
11.1.19.	RMS(t).VI.....	132
11.1.20.	AS-maszk.VI	134

11.1.21.	CFG-ből XY pontsor.VI.....	135
11.1.22.	Koordkiir.VI	136
11.1.23.	Maszk-szerkesztő.VI	137
11.1.24.	Arány_különbség.VI.....	138
11.1.25.	Listbox.VI	139
11.1.26.	Mappa-lista.VI.....	140

1. Összefoglaló

Számos iparágban elengedhetetlen egy adott termék összeállításához szükséges építőelemek megfelelő minősége és a gyártáshibás termékek kiszűrése még beszerelés előtt. Ezzel jelentős mennyiségű idő, energia és pénz takarítható meg. A beszerelendő műszaki elem típusától és felépítésétől függően különböző ellenőrző és minősítő módszerek állhatnak rendelkezésünkre.

Feladatunk egy elektromotoros hajtásrendszer minősítése volt abból a célból, hogy azok beszerelése előtt kiszűrjünk a gyártáshibás, vagy rendellenes működésű hajtóműveket. Előzetes vizsgálatok alapján a defektusok kiszűrésére rezgésdiagnosztikai mérések elvégzését láttuk a legmegfelelőbbnek. A hajtásláncból kiszűrődő rendellenes zajokat a termék felületi rezgésének mérésével tudjuk vizsgálni.

Ahhoz, hogy egy ilyen minősítési rendszert szoftveresen meg lehessen valósítani, megfelelő mérésadatgyűjtő és feldolgozó keretrendszerre van szükségünk. Választásunk a LabVIEW-programcsomagra esett, mivel ez a fejlesztői környezet alkalmas a feladatok teljes körű elvégzésre, valamint egyetemi tanulmányaink során már megismerhettük a LabVIEW-programot alkalmazó mérőeszközöket. A mérőeszközöket a dunaújvárosi MAIDLab¹ biztosította.

A mérések elvégzéséhez a termék házára piezoelektromos gyorsulásmérő szenzort rögzítettünk, majd adott mérési paraméterek alkalmazásával méréseket végeztünk a hajtómű mindkét irányban történő forgatásával. A berendezés felületi rezgéseinek gyorsulásértékeit normalizálást követően egy „.wav” kiterjesztésű hangfájlba tároltuk le.

A mérést követi az időjel vágása, majd a minősítési eljárás. Ehhez olyan matematikai, rezgéselemzési módszereket kellett felkutatnunk, melyek együttes működése mellett, megfelelő biztonsággal garantálható a termékek helyes minősítése. A minősítéshez vizsgáltuk a tárolt időjelet, annak frekvencia-spektrumát, valamint egyéb vizsgáló algoritmusokat is alkalmaztunk. A módszerek működési elve dolgozatunkban részletesebben szerepel, itt most felsorolás szintjén említenénk meg őket.

¹ Magyar Ipari Diagnosztikai Laboratórium

Az időtartománybeli analízist a gyorsulásértékek figyeltetésével, csúcsok számlálásával valamint az autoregressziós modell felhasználásával, a szűrt jel vizsgálatát *Szekvenciális Valószínűségi Hányados Teszt*² végeztük, valamint számítottunk Kurtosis értéket is. Frekvenciatartományban magát a spektrumképet vizsgáltuk maszk-illesztéses módszerrel, ezen túl lényeges volt a hajtómotor alapfrekvenciájának meghatározása is a spektrum alapján. Elterjedt módszer a *Négyzetes Középérték*³ vizsgálat is. Felhasználásával többféle RMS típusú értéket generáltunk a mért jelsorozatból. Számítottunk részspektrumokból RMS értéket, alsó és felső frekvencia tartományra képeztünk RMS hányadost, valamint ablakolós eljárással vizsgáltuk a jel RMS értékének időbeni változását.

Minden kidolgozott módszerünk egy, a vizsgált szempontra jellemző számszerű, vagy Boolean típusú (igaz/hamis) értéket szolgáltat. A Boolean típusú eredmények alkalmasak a közvetlen minősítésre, a numerikus eredmények pedig tolerancia határok megállapításával válhatnak minősítésre alkalmas eredményekké. A minősítéshez paraméter szettek szükségesek, amelyek meghatározása előzetes meggondolások, gyakorlati tapasztalatok, az adott módszerhez létrehozott segédprogramok, valamint optimalizációs eljárások segítségével valósíthatók meg.

A hibás alkatrészek szinte mindegyike más és más defektussal rendelkezik, illetve, a minősítést előre nem meghatározott értékek alapján kell elvégezni úgy, hogy az a lehető legjobban reprodukálja a felhasználók szubjektív véleményét. A kidolgozott eljárások mind más elven működnek, különböző hibalehetőségek kiszűrésére lettek kidolgozva. Az említett nehézségek miatt nem bízhatunk meg bennük maximálisan, ezért a végső eredmény lehet „Jó” is amellet, hogy adott számú részminősítés „Rossz” eredményt adott, valamint nem kell minden módszernek „Rossz” eredményt adnia a termék selejtté nyilvánításához.

Az általunk fejlesztett szoftver a tesztek során közel 95%-os megbízhatósági szintet ért el, alkalmazza a fent említett módszereket, képes egy adott termék különböző irányban való hajtásakor végzett mérések összevetésére is, valamint a paraméter szett létrehozásához szükséges algoritmusokat is magában foglalja. A minősítési rendszer teljes körű dokumentálást biztosít a mérési és a diagnosztikai eredményekről. Emellett utat nyit számos

² Későbbiekben SPRT (Sequential Probability Ratio Test)

³ Későbbiekben RMS (Root Mean Square)

fejlesztési lehetőség irányába, mint például öntanuló algoritmusok alkalmazása, a felhasználandó paraméterek meghatározása céljából.

2. Summary

In many sectors of industry it is indispensable to guarantee a certain quality of components required for the assembly of a given product, and to filter out products with manufacturing defect before installation. This can save significant amount of time, energy and money. Depending on the type and structure of the component, there are different control and qualification systems at our disposal. Qualification means that after a given product undergoes measurements and dataprocessing, the product can be placed into a predefined tolerance range. If the quantified results falls outside this range, the component is to be marked as faulty.

For the realization of a software off such a qualification system a suitable frame system for data collection and processing is required. We chose the LabVIEW software package for this purpose, because this development environment is able to fully handle all the tasks mentioned above. It is also important to note that LabVIEW compatible devices were used throughout our university studies.

Throughout our work we dealt with electromotive drive train system for the purpose of filtering out products with manufacturing defect or dysfunctional drive trains before installation. Based on preliminary studies we found vibration analysis methods to be the most suitable for finding defects in products. Abnormal noises caused by the drive train can be analysed by measuring the surface vibrations of the product.

To execute the measurements, we installed piezo-electric accelerometers on the casing of the product, then we carried out measurements with the drive train rotating in both directions using given measurement parameters. The acceleration values of the surface vibrations of the system were stored in a „.wav” file after normalization.

The measurement is followed by the conditioning of the time signal, then the qualification process. For this we had to search mathematical vibration analysis methods, the parallel operation of which allows for guaranteeing appropriate qualification of products with given certainty. For qualification we studied the stored time signal, its frequency spectrum, and other analysis algorithms were applied as well. The principle of operation of the methods used are given in detail in our paper, they are only briefly mentioned here. The

analysis of the time signal was carried out first by observation of the acceleration values, counting of the peaks. Also *Sequential Probability Ratio Test*⁴ was carried out for the signal which was previously filtered using an autoregressive model. Moreover we also calculated Kurtosis values. In frequency domain we analysed the spectrum itself with mask-matching methods. The determination of the base frequency of the drive motor was important as well. The *Root Mean Square*⁵ based analysis is also a common method. We generated several types of RMS based values from the measured signal sequence. We calculated RMS values from partial spectra, we calculated RMS ratios for lower and upper frequency ranges, and we analysed the time progression of the RMS values by a windowed method.

All our developed methods produce a numeric or Boolean type result typical for the given aspect. The Boolean type results are usable for direct qualification; the numerical results can be used for qualification defining tolerance ranges. Qualification requires parameter sets determination of which are based on preliminary considerations, hands-on experiences, utilities created for the given methods and optimization processes.

Every method produces separate qualification result. For the qualification of the equipment all results produced by the analysis processes must be taken into consideration. Almost every faulty component has a different defect; the qualification must be carried out with previously unspecified values so that it would reproduce mostly the subjective opinion of the users. The different processes have different principles of operation, they were developed for different defects. Because of the mentioned difficulties we can't fully rely on them; the final result can be "Good" while some of the partial results are "Bad". Also, not all methods must give "Bad" as a result for the product to be deemed waste.

The software we developed reached a reliability level of 95% during the tests. It uses the above mentioned methods, and is capable of comparing measurements carried out for different rotational directions for a given product. It also includes the algorithms required to create parameter sets. Furthermore, it provides possibility for complete documentation of the registration of measurement results for the purpose of traceability. Furthermore it opens the way for several development possibilities, for example for self-learning algorithms creating the applied parameters.

⁴ Henceforth SPRT

⁵ Henceforth RMS

3. A feladat megfogalmazása

Az iparban számtalan helyen és alkalmazásban találhatók villanymotorok, melyek mechanikai elemek mozgására szolgálnak. A felhasználásokban rendszerint nem közvetlenül használjuk fel a motor tengelyének forgását, hanem a mozgást átalakítjuk. A mechanikai áttételek megvalósításához számos eszköz áll a tervezők rendelkezésére, pl. fogaskerekek, dörzskerekek, vezetékek, csigakerekek, excenteres hajtások, bolygómű, vagy hasonló, komplex berendezések is kerülhetnek egy-egy alkalmazásba.

A mechanikai hajtásban szereplő fogaskerekek, csigaorsók irányt válthatnak mozgás közben, és ilyenkor előfordulhatnak nagy terhelésváltozások. Ekkor a hajtómű összes eleme más jellegű, nagyságú és/vagy irányú terhelésnek van kitéve. Más felületen csúsznak a szánok, gördülnek a fogaskerekek, módosul a tengelyek, csapágyak terhelése is. Az eltérő igénybevételek miatt az elemek felületei (pl. a fogaskerék fogának két oldala) nem egyforma mértékben van kitéve a terhelésnek. Az adott mozgatási irány használatának gyakoriságától és módjától függően az élettartam alatt a két irány viselkedése megváltozhat, így a berendezés akusztikai emissziója is el fog térni a működési irányok tekintetében. Emellett még a sok alkatrészes hajtóműrendszereknél könnyen előfordulhat, hogy egyik-másik elem gyártáshiba, vagy a szerkezet előszerelése helytelen. Ilyen hiba lehet a csúszófelületen keletkezett karcolás, görbült tengely, elégtelen mennyiségű vagy minőségű kenőanyaggal ellátott csapágy, rosszul illeszkedő mechanikai elem, törés, vagy kisebb anyaghiba, de akár a szerkezetbe kerülhet idegen tárgy is. Ezek vizuálisan gyakran hozzá nem férhető helyen vannak, ezért diagnosztikájukra, illetve minőségellenőrzésükre szóba kerülhetnek az akusztikus (zajdiagnosztikai) módszerek. Ilyenekkel foglalkozik a Dunaújvárosi Főiskolán 2009-ben létesült MAIDLab.

Hajtásrendszeri zajokat a berendezés üzemszerű, tökéletes működése esetén is detektálhatunk, azonban a már fentebb említett problémák rendellenes vibrációs, illetve hanghatásokkal járhatnak. A nem megfelelő minőségű termékek felhasználása, vagy beszerelése előtt történő kiszűrése elsődleges követelmény a gyártási folyamatok szempontjából. Jelentős költség megtakarítását teszi lehetővé, ha egy termék

minőségbiztosítási rendszerét úgy alakítják ki, hogy az maximálisan megbízható, gyors és hatékony legyen. A rendszer olcsó üzemeltethetőségén túli követelmény, hogy használatának a lehető legegyszerűbbnek kell lennie, hogy az operátor tévesztési lehetőségét kizárhassuk.

A dunaújvárosi MAIDLab kapott megbízást egy olyan iparban alkalmazandó szoftveres minősítési rendszer létrehozására, amely képes mérni, rögzíteni és a mérést követően elemezni az egymás után két irányban hajtott szerkezet vibrációját. A kapott eredmények statisztikus elemzése alapján megállapítható a termékek elfogadhatósága.

Egy ilyen összetett feladatot csak számítógéppel vezérelt módon tudunk megvalósítani, ahol az operátori beavatkozást, a megjelenítést, a mérés vezérlését, az adatok fogadását, tárolását, illetve feldolgozását a számítógép biztosítja. Ezeknek a feladatoknak a megvalósítása egy kiterjedt szoftvercsomagra van szükség.

A programcsomag egyik része egy felhasználói szoftver, amely képes alapszintű kezelői beavatkozásra, tud mérést indítani, valamint automatikusan elvégezni annak elemzését, minősítését. Ahhoz, hogy egy munkadarabot minősíteni lehessen különböző diagnosztikai háttéralgoritmusokat kell lefuttatni, amelyek előre meghatározott paraméterek alapján működnek.

A paraméterek meghatározása felé vezető úton az első mérföldkő egy elsődleges mérőrendszer összeállítása. Vizsgálati célú mérések alapján meg kell határozni a helyes elrendezést. A zajforrás detektálása alapján kijelölhető a szenzor rögzítésének helye és módja (figyelembe kell venni a termék külső geometriai kialakítását is). A mért jelek elemzése segít a célszerűen alkalmazható vizsgálati módszerek összegyűjtésében, beprogramozásában.

A vizsgálati algoritmusok fejlesztésével párhuzamosan szükséges létrehozni egy (programozói) tesztkörnyezetet, amely segítségével a módszerek működésének vizsgálata is lehetséges. Ezen kívül az operátori program számára szükséges vizsgálati paraméter-összeállítás létrehozása is, amelyet ugyanebbe a környezetbe célszerű integrálni.

Kikötés, hogy új típusú termék esetén a minősítési beállítások könnyen változtathatók legyenek. Ezért a paraméter-összeállításokat külön-külön konfigurációs fájlokba kell tárolni. A fejlesztői program szabadon paraméterezhető. Elsősorban villanymotorok keltette rezgések vizsgálatára fejlesztettük ki, de gyakorlatilag bármilyen mechanikai szerkezet

vibrációjának elemzésére alkalmazható. A vizsgálati eredmények Excel táblázatba exportálhatók, a grafikonok megjelenített képei különálló fájlkként elmenthetők.

Minthogy a végső feladat egy minősítő program megalkotása, szükség van a minősítési algoritmus megtervezésére, érdemes ezt is beépíteni a szabadon paramétereztető tesztkörnyezetbe. Így állítható minősítési határokkal dolgozhatunk, és több mérés eredményei alapján határozhatunk meg új paramétereket. Ez mind a vizsgálat áttekinthetőségét, nyomon követhetőségét, és a paraméter meghatározás egyszerűsítését szolgálja.

Összességében egy olyan programcsomag létrehozása volt a feladatunk, amely képes rezgésdiagnosztikai mérések végzésére, a mérési folyamat automatikus indítására, az eredményként kapott időjel kondicionálására, feldolgozására és tárolására. A rendelkezésre álló időjeleket a minél megbízhatóbb minősítési eredmények érdekében számos diagnosztikára alkalmas algoritmussal dolgoztuk fel, mind idő-, mind frekvencia tartományban.

A szoftverfejlesztés során szem előtt kellett tartani azt a szempontot, hogy később, a gyártáson alkalmazandó felhasználói szoftverrel a lehető legnagyobb fokú kompatibilitást tartsunk, akár az alprogramok tekintetében teljes mértékű integrálhatóságot is biztosítva. Ez elsősorban a vizsgálati algoritmusok szubrutinjai, és a beállítási értékeket magába foglaló konfigurációs fájlok esetében volt nagyon lényeges. Ezért a konfigurációs összeállítást, valamint az alprogramokat is verziószámokkal láttuk el, ezzel is segítve a vizsgálati, valamint felhasználói programok párhuzamos, problémamentes fejlesztését.

A továbbiakban számos továbbfejlesztési lehetőség van kilátás, mint például automatikus optimalizáció alapú paraméter meghatározás, vagy öntanuló algoritmusok alkalmazása a pontos beállítások érdekében. Ez nem képezte a feladat részét, így ez a dolgozat a fejlesztői szoftver kialakításának módját, munkafolyamait – néhol az ipari szoftverrel párhuzamba állítva –, valamint a kapott eredményeket interpretálja.

4. Megelőző tanulmányok

4.1. Minősítő rendszerek

Napjainkban a világban megtalálható gyárak működéséhez elengedhetetlen a megfelelő beszállítói háttér. Ez a szállítói háttér azonban több veszélyt is hordoz magában. Egyrésről a gyáraknak a sokrétű beszállított alkatrész miatt nagyon bonyolult a beszállítók gyártási és minőségirányítási (minőségbiztosítási) folyamatainak hatékony ellenőrzése és felügyelete. Emellett a beszállítók sokszínűsége (termékek, földrajzi elhelyezkedés stb.) és nagy volumene is jelentősen kihat a részegységek és a végtermék minőségére. A szállítók kezelhetőségére és a gyárak által megkövetelt minőségi szint tartása érdekében, a gyártók a következő két fő lépést valósították meg:

- Több lépcsőben alkalmaztak beszállítókat. A gyár „megszámlálható” beszállítóval (komplett részegység beszállítóval) áll kapcsolatban.
- Megkövetelték a szállítóktól (a gyárak által megkövetelt minőségi szint tartása érdekében) egy minőségbiztosítási-, minőségügyi-, minőségirányítási rendszer alkalmazását.

A különböző, de ugyanazon iparágba tartozó gyárak a beszállítók által alkalmazandó minőségbiztosítási rendszereket önállóan kezdték el kidolgozni, amely azt a problémát eredményezte, hogy azok a beszállítók, akik több azonos profilú gyárral álltak kapcsolatban kénytelenek voltak ezeket a különböző követelményeket (követelményrendszereket) együttesen alkalmazni. Ezen követelményrendszerek hatékony alkalmazását a vevő időszakonként ellenőrizte, auditálta. Ennek eredményeképpen a gyárak auditorai a beszállítóknál egymás után követték egymást, hogy meggyőződjenek a rendszer működéséről, amely igen nagy feladatot jelentett a beszállító részéről annak érdekében, hogy kielégítse mind az előírásoknak, mind pedig a vevőknek való megfelelést. [7]

A törekvés, hogy a kibocsátott termék megfeleljen napjaink fogyasztói igényeinek azt eredményezte, hogy a beszállítóknak már nem csak a szabványban előírt követelményeknek

kell megfelelniük. Egyre inkább figyelembe kell venniük a fogyasztók visszajelzéseit és minőségbiztosító rendszerüket az újabb igényeknek megfelelően szükséges át- ill kialakítaniuk. Ez az új követelmény magával vonzotta azt, hogy a gyártóknak időről időre felül kell vizsgálniuk az általuk alkalmazott minősítési eljárásokat. A felülvizsgálattal párhuzamosan a legtöbb gyártó igyekszik újabb kiegészítő és/vagy helyettesítő alternatívákat felkutatni és alkalmazni.

A megbízás keretein belül egy olyan validációs rendszer kidolgozására került sor, amelynek fő feladata az, hogy a vevői igények és a visszajelzések szubjektivitása is valamilyen szinten belekalkulálhatóak legyenek a minősítésbe.

A minősítő rendszerek eszközeit a vizsgált berendezés alkalmazási területeinek megfelelően kell kialakítani. Olyan műszaki eszközöknél, amelyek a felhasználó közvetlen közelében helyezkednek el, elsődleges követelmények a kibocsátott akusztikai és vibrációs hatásainak mérés alapján történő ellenőrzése és minőségbiztosítása a gyártást követően. A megbízás fő pontját ez a követelmény képezte, és ezen hatások rendszerint a berendezés rezgésdiagnosztikai vizsgálatával voltak mérhetők. Így az általunk létrehozott rendszer alapjául is ez szolgál.

4.2. A rezgésdiagnosztikáról általában

A rezgésdiagnosztika alapján a gép, vagy gépelem állapotára lehet következtetni. Minden szerkezeti elem, vagy teljes szerkezet működését rezgésjelenségek, zajok fellépése jellemzi. Függvénye a pillanatnyi állapotnak, működésmódnak és információtartalma (kellő ismeretek birtokában) meghatározó a működési rendellenességek megítélése során. A rezgésvizsgálat vagy rezgésdiagnosztika az egyik legkorszerűbb karbantartási és minőségellenőrző rendszer. Alkalmazásával a szerkezet leállítása és megbontása nélkül megállapítható a kérdéses egység vagy szerkezet minősége, károsodásának mértéke, várható élettartama. Ezek alapján a még kipróbálatlan, beszerelésre váró szerkezeti elemek működése is felülvizsgálható.

A műszaki szakirodalom számos szerkezeti elem rezgésdiagnosztikai vizsgálatáról ír. Mivel feladatunk középpontjában egy elektromotoros hajtásrendszer áll, így a következőkben az ezt alkotó építőelemekkel foglalkozunk röviden.

Forgó vagy alternáló mozgást végző elemek esetében kiegyensúlyozatlansági problémák jelentkezhetnek. Ez egyaránt lehet hibás méretezés, gyártás vagy szerelés következménye. Az ebből fakadó rezgések frekvenciája megegyezik a kérdéses elem fordulatszámának megfelelő frekvenciával. Intenzitása, erőssége rendszerint jelentős. A szerelési hiba és a görbült (deformálódott) tengely hatása szintén működési rendellenességre utalhat, gyakran a forgási frekvencia többszöröseként jelentkezik. [6]]

Emellett elképzelhető, hogy a szerkezeti elemek működésük során impulzusszerű erőhatásnak vannak kitéve. Ekkor jellemző a felharmonikusok megjelenése is. [6]]

A fogaskerek keltette hatások többnyire könnyen azonosíthatók, mert ezek a fordulatszám és a fogszám függvényében alakulnak. A jellegzetes frekvenciák a fogkapcsolódási frekvencia és az együttjárási frekvencia. Emellett impulzuszerű erőhatásokat is okozhat egy-egy hibás fog, amely fordulatonként fejt ki rendellenes hatását a szerkezet további elemeire.

Villamos forgógépek rezgései mágneses és aerodinamikus hatások következményei, amelyek még kifogástalan állapotban lévő gépeknél is megjelennek. Jellegzetes a hajtási frekvencia, a hálózati frekvencia, illetve ez utóbbi kétszerese. Gyakran megtévesztőek, mert kiegyensúlyozatlanság vagy lazulás látszatát keltik. A mágneses eredetű rezgés alaphfrekvenciája mindig a hálózati frekvencia kétszerese (Magyarországon és Európában 100 Hz). [6]]

Összességében tehát a rezgésdiagnosztika képes kimutatni a meghibásodott gépalkatrészek problémáit és azok eredetét. Felderíti a rossz beállítást, meghatározhatja a rosszul beállított elemet, ill. a megfelelő üzemi paramétereket.

4.3. A rezgésdiagnosztika elméleti háttere

Ezen mérési eljárás számos fajtája különböző szempontok szerint csoportosítható. Most az eltérő eljárások közül csak azokat tekintjük, amelyek feladatunkhoz szorosan kapcsolódnak [5]):

- Időbeliség szerint
- Frekvenciatartomány szerint
- Mérendő változó szerint
- Mért adatok feldolgozása szerint

Csoportosítás időbeliség szerint

Ezen szempont alapján a diagnosztika módszereket három nagy csoportba lehet sorolni:

- Folyamatos megfigyelés: Lényege, hogy mind az érzékelők, mind pedig az elemző műszerek állandó telepítésűek, működésük folyamatos. Általában csak rezgés és hőmérséklet diagnosztika esetén alkalmazzák.
- Időszakos megfigyelés: Rendszerint kevésbé fontos, vagy csak időszakosan üzemelő gépek esetén alkalmazzák. A jel feldolgozása azonnal megtörténik, de az elemzés és az esetleges beavatkozás már időben elválik a méréstől. Bármilyen diagnosztikai módszer esetén alkalmazható.
- Egyszeri megfigyelés: Rendszerint minősítési vagy speciális vizsgálati céllal alkalmazhatják. Az elemzés a méréstől időben elválik.

A feladatunkra vonatkozóan az egyszeri megfigyelést alkalmazó diagnosztika célja nem az alkatrész üzemelése közbeni minőségbiztosítás vagy a berendezés meghibásodásának megjósolása, hanem a gyártási folyamat végén, a beszerelés előtt a gyártáshibás munkadarabok kiszűrése.

Mérendő változó szerinti csoportosítás

Hogy a rezgés mely változóját mérhetjük, tulajdonképpen a rendelkezésünkre álló mérőfejek határozzák meg. Ezek a következők lehetnek:

- Rezgéskitérés
- Rezgéssebesség
- Rezgésgyorsulás

Mivel a kitérés, sebesség és gyorsulás közül bármelyiket a többiből integrálás vagy deriválás útján megkaphatjuk, így egy mérőfejjel akár mindhárom jellemző mérését is el tudjuk végezni.

Esetünkben rezgésgyorsulást mérünk, melynek mérése azon gépeknél kerül előtérbe, amelyek közvetlen kapcsolatban állnak emberekkel.

Frekvenciatartomány szerinti csoportosítás

Frekvenciatartomány szerint a következő csoportokat különböztethetjük meg:

- Alacsony frekvenciatartomány: Az a tartomány, amelyben a hibák által keltett rezgések normál érzékelőkkel kimutathatók. Az ilyen típusú mérések általában 10Hz-1kHz közötti effektív értékeket szolgáltatnak. A rezgésmérő készülékek közös jellemzői, hogy nem képesek analizálni a rezgésjeleket, hanem csak effektív (esetleg csúcstól-csúcsig) értéket tudnak mérni.
- Magas frekvencia tartomány: A szerkezeti rezonanciára jellemző szakasz. Itt érzékelhetők a működésből származó lökésimpulzus jelek.
- Akusztikus emisszió tartomány: Akusztikus emisszióknak a szilárd testek belsejében tárolt energia felszabadulásakor keletkező rugalmas anyaghullámokat nevezzük. Ezek az anyag belsejében gömbhullámok formájában terjednek, majd a test felületére érve felületi hullámokká alakulnak át. Ezeket a felületi hullámokat piezoelektromos-érzékelők segítségével felfogják, és elektromos jelekké

alakítják át. Az akusztikus emissziós hullámok leggyakoribb forrásai a különféle repedések és törések, így fő alkalmazási területük ezek kimutatása.

Feladatunk megvalósítása során főleg az emberi füllel hallható frekvenciatartományon végezzük a méréseket, amely egy kb. 20 Hz-től 10 kHz-ig terjedő frekvencia intervallumot öleltünk fel.

A mért adatok feldolgozása szerinti csoportosítás

Ez arra vonatkozik, hogy ha az előző pontban tárgyalt rezgésjellemzők közül valamelyiket megmértük és rögzítettük, akkor hogyan dolgozhatjuk fel a további elemzés céljából. Ezen szempontból a következő csoportok között tehetünk különbséget:

- Nem analizálják: Ez azt jelenti, hogy a rezgésmérés során rögzített adatokból közvetlenül állapítják meg a diagnózist.
- Korreláció analízis: Azt mutatja meg, hogy van-e valamilyen kapcsolat a jel egy adott időpontbeli és egy későbbi időpontban felvett értéke között. Ezzel a jelben lévő periodicitás kimutatható. Két fajtája használt, a kereszt- és az autokorreláció.
- Spektrum analízis: A determinisztikus jelek közül a periodikus jelek a frekvencia tartományban amplitúdó- és fázisspektrummal jellemezhetők. A spektrum előállítása a Fourier-transzformációval történik, amely az időjelet frekvencia-összetevőkre bontja. Célja, hogy a különböző frekvenciákhoz tartozó amplitúdók nagysága alapján a hibás elem behatárolható legyen.
- Kepstrum analízis: A spektrumban létező periodikus összetevők kimutatására szolgál.

5. Előzetes vizsgálatok

5.1. Mérési elrendezés

Ahhoz, hogy egy minősítő szoftver teljes körűen elkészülhessen, szükséges annak működését egy létrehozott fizikai mérőrendszer segítségével tesztelni. Elsődleges feladat tehát, egy kísérleti mérőrendszer kiépítése.

A mérőrendszerhez szükség van érzékelő elemre, jelfeldolgozó/mintavételező (esetleg jelkondicionáló) egységre, valamint egy számítógépre, amelyen az analízáló és minősítő program fut. A számítógép segítségével tároljuk a mért jeleket, ezek feldolgozása, majd a kapott eredmények kijelzése és mentése is itt történik. Az általunk elképzelt, majd összeállított mérési elrendezést mutatja be az alábbi ábra.



1. ábra: A tervezett mérőrendszer

(balról jobbra: piezoelektromos gyorsulásmérő, mintavételező kártya, adatkártya dokkoló, felhasználói számítógép)

A vizsgálatok során piezoelektromos elven működő gyorsulásmérő szenzort alkalmaztunk. Ez egy B&K Delta Tron Typ: 4397 típusú érzékelő, melynek specifikációját az alábbi táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A szenzor specifikációja

Frekvenciatartomány	1 - 25000 Hz
Érzékenység	10 mV/g
Hőmérséklet tartomány	-50 - 125 °C
Maradó zajszint a specifikált frek. tartományra (rms) ±	2.5 mg
Maximális folyamatos terhelhetőség	765 g
Maximális sokk terhelés (± csúcs)	10200 g
Súly	2.4 gramm
Elektronikus csatlakozó	M3
Rögzítés	Csavar
Kimenet	CCLD
Triaxiális	Nem
Rezonancia frekvencia	53 kHz

Fontos kérdés, hogy a szenzor a berendezés melyik pontján kerül rögzítésre. Ennek meghatározásához szükséges előzetes vizsgálatokat végeznünk, melyek során a lehető legjobban próbáljuk behatárolni a zajforrás helyét. Ezzel a következő pontban részletesebben is foglalkozunk.

Ahhoz, hogy a gyorsulásmérő szenzor kivezetésein megjelenő feszültségjelek feldolgozhatók legyenek, az eszközt egy megfelelő mintavételező berendezéshez kell csatlakoztatni. A mérőeszköz kivezetéseit egy BNC csatlakozóval ellátott koaxiális vezetékkel egy National Instruments által gyártott NI9234-es mintavételező adatkártyához csatlakoztattuk. A mérőkártya szintén a National Instruments által gyártott, NI cDAQ-9172-es adatkártya dokkolóhoz kapcsolódott. Ez a dokkoló USB kapcsolat segítségével kommunikál a személyi számítógéppel és továbbítja számára az érzékelő által mért gyorsulás értékek alapján előállított mintavételezett jelet.

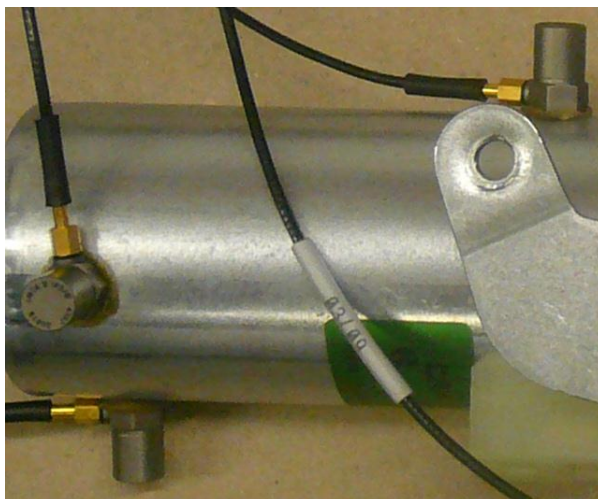
A mérőeszközökön kívül szükség van a hajtásrendszer tápellátását biztosító eszközökre is, ha a berendezést üzemi körülmények között szeretnénk vizsgálni. A gyártó rendelkezésünkre bocsátott egy egyenáramú labor-tápegységet polaritás változtató kapcsolóval együtt. Ez utóbbi a hajtómotor forgásirányának változtatásáért felel.

A mérési metódus következő meghatározandó részlete, hogy a szenzort a hajtásrendszer mely pontjára kell felhelyezni és milyen rögzítési móddal. Ennek következetes megállapításához már szükség van egy előzetes szoftveres mérő és analízáló háttérre, melyről a későbbiekben olvasható részletesebb bemutatás.

Több megfontolandó lehetőség adott az érzékelő felhelyezését tekintve, mivel a hiba forrása ebben a helyzetben ismeretlen. Első körben 4 különböző ponton helyeztünk fel szenzorokat. A vizsgált berendezés működéséről a legtöbb információt úgy kaphatjuk, ha egy időben, eltérő pontokon, egymástól eltérő szögben is meg tudjuk figyelni a keletkezett vibrációt.

Az első vizsgálatok során az elektromotor 3 eltérő pontján, valamint a hajtómű kivezetésénél rögzítettük a mérőeszközöket (2. ábra). A rendellenes jelenségek megfigyelésének szempontjából legmegfelelőbbnek az a mérési pont bizonyult, melyet a hajtómű házának felületén határoztunk meg (3. ábra).

Az általunk vizsgált termékek esetében a hajtómű kihajtási tengelyéhez csatlakozó csigakerék még egy excenteres hajtású bolygó fogaskereket is meghajt a szükséges nagy áttételezés biztosításának érdekében. Az eszközt felépítő elemek gyártási technológiájából fakadóan sok a hibalehetőség. Tapasztalataink is azt mutatják, hogy hibás termékek esetén a rendellenes zörejek többnyire a hajtóműből származhatnak.



2. ábra: Szenzor rögzítési pontok az előzetes mérések során



3. ábra: A véglegesített rögzítési pont

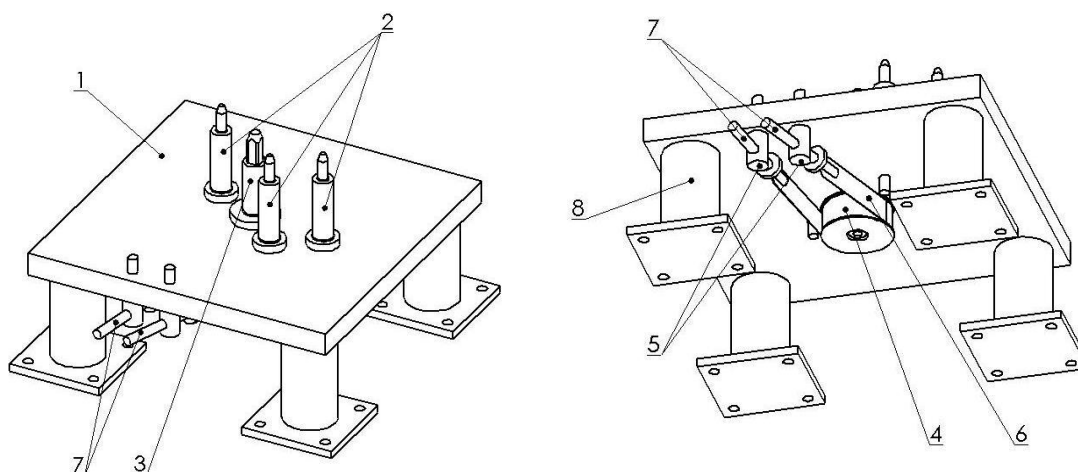
A mérési eredményeket befolyásolhatja a piezoelektromos szenzor rögzítésének módja. A felhelyezés szempontjából a legfontosabb feladat az, hogy a szenzor pontosan tudja követni a vizsgálandó felület gyorsulását. A pontos mérés érdekében a lehető legkisebb tömegű gyorsulásérzékelőt kell használnunk, hogy az ne befolyásolja a rezgéseket. A mérés szempontjából alaposan megfontolandó a gyorsulásérzékelő rögzítésének eszköze.

A legcélszerűbb, ha a gyorsulásérzékelőt síkra munkált felületre szereljük, minél kisebb hézaggal, és még azt is kitöltjük valami sűrű, folyadékszerű anyaggal (zsír, méz, méhviasz, esetleg megszilárduló műgyanta). Az így szerelt érzékelő jól átveszi a felületre merőleges rezgéseket. A párhuzamos komponensekről azonban ez nem mondható el. Ennek leginkább a háromtengelyű érzékelők szerelésénél van jelentősége.

Az érzékelők felszerelésére számos módszer áll rendelkezésünkre, így pl. egyszerű odahelyezés, méhviaszos vagy öntapadó fóliás ragasztás, mágnessalp alkalmazása, menetes csavarkötés. Ezek némelyike magas frekvenciás mérések esetén nem javasolható. Alacsony frekvencián viszont, 100 Hz alatt, (ha nem túl nagy az amplitúdó), szinte minden megoldás megfelelhet. Esetünkben viszonylag széles frekvencia tartományt kell a méréssel lefednünk, az egészen alacsony frekvenciáktól kezdve a megközelítőleg 10 KHz-es felső határig. A 10 kHz-es limitet az indokolja, hogy a vizsgált eszközök esetén fontos minőségbiztosítási szempont a rezgések hallható tartománybeli vizsgálata, mert a visszajelzések alapján a felhasználót ezek a hangok zavarják leginkább. Az elsődleges mérések során méhviaszt

alkalmaztunk, amellyel a hajtómű házára rögzítettük a szenzorokat. A szóban forgó termékek esetén műanyag és fém burkolatokkal is találkoztunk, fém házak esetén megfontolandó a mágnes talpas rögzítés. Későbbiekben a gyártósori alkalmazásban lehetőség nyílik majd a mágneses rögzítésre is, de nem a ház felületén, hanem a házat összetartó csavarok fején.

Felmerült az a szempont is, hogy a rendszert nem csak terheletlen, hanem terhelt állapotban is szükséges analizálni. Ehhez egy olyan mechanikai rendszert kellett megvalósítani, amely biztosítja a motort megfelelő mértékben fékező, állítható terhelést. A hajtásrendszer csak úgy fékezhető, ha az megfelelően van rögzítve, azaz a létrejövő nyomtérk hatására nem csavarodik el, vagy mozdul ki, a helyéről. A terméken már gyárilag kialakított furatokat használjuk fel ahhoz, hogy ez a stabil rögzítés megvalósuljon. A befogást 3 csappal oldottuk meg, amelyek ezekhez a furatokhoz csatlakoznak. A megfelelő mértékű terhelés ráadásának érdekében egy szíjas fékező mechanizmust állítottunk össze (a szerkezetet tervezte és legyártatta Doszpod László). Működésének lényege, hogy a hajtásrendszer kivezetését közvetetten csatlakoztatjuk egy fékező hengerhez, mely segítségével a hajtóművet fékező nyomtérk ráadása mellett tudjuk vizsgálni. A fékező nyomtérkot, annak nagyságát a szíj feszességének állítása útján tudjuk kontrollálni. A feszesség állítására a szíj két végéhez rögzített csavarok segítségével nyílik lehetőség. A befogóeszköz axonometrikus összeállítási rajzát az alábbi ábrák mutatják be:

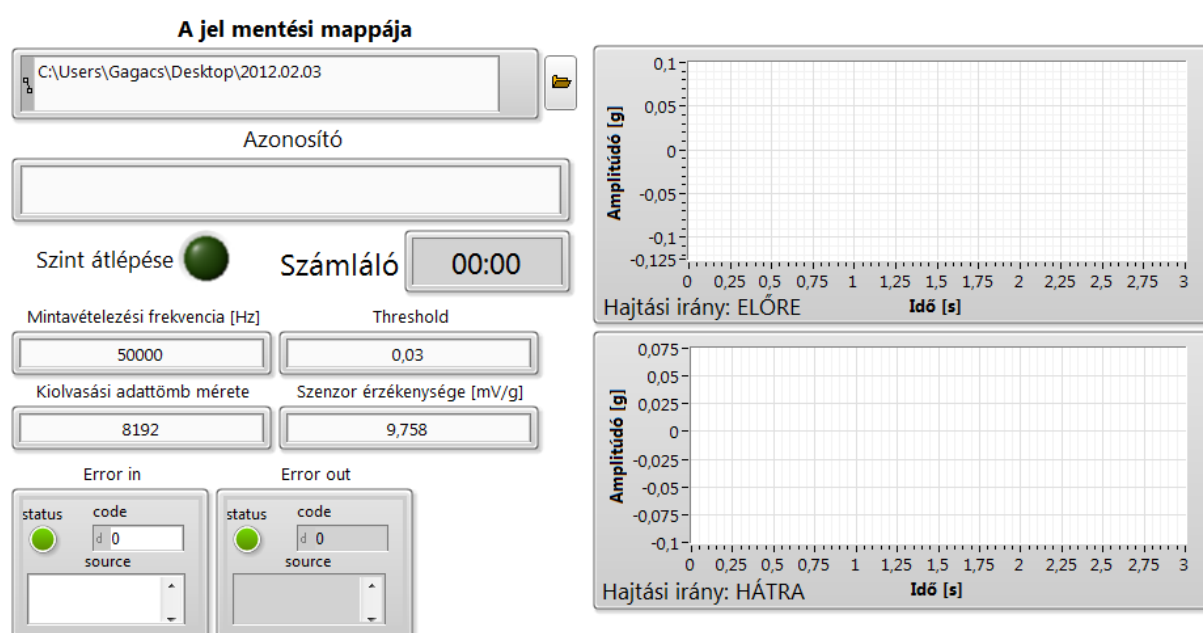


4. ábra: Mérés közbeni terhelést biztosító befogóeszköz

(1 – alaplemez, 2 – rögzítő tüskék, 3 – csatlakozási pont a hajtásrendszer kivezetéséhez, 4 – fékező henger, 5 – fékszíj rögzítő és távtartó elem, 6 – fékező szíj, 7 – szíjfeszesség állító csavarok, 8 – talpazat)

5.2. Előzetes mérőprogram

Az előző pontban már említésre került, hogy az érzékelőt a hajtásrendszer mely részén kell rögzíteni. Ennek alátámasztásához mérések szükségesek, melyek elvégzésére pedig egy előzetes mérőprogram kidolgozását követően van lehetőség. Ilyen célból hoztuk létre az alábbi ábrán látható szoftvert:



5. ábra: Az előzetes mérőprogram kezelőfelülete

Mivel a LabVIEW kifejezetten mérésadat-gyűjtés specifikus, a gyártó a szoftveres háttér mellett fizikai eszközöket is fejleszt, és kínál programcsomagjához. Ezekhez a mérőberendezésekhez a programozási környezetben belül külön palettán speciális szubrutinokat találunk. Ezeket felhasználva tudjuk inicializálni a mintavételezési folyamatot. Érdeemes néhány fontosabb paramétert a szoftver felhasználói felületről állíthatóvá tenni. Az állítható paraméterek a következők:

- Mintavételezési frekvencia [Hz]: megadja, hogy a mintavételező kártyába épített A/D átalakító hány mintát vegyen a jelből másodpercenként (egyenlő időközönként).
- Kioldási adattömb mérete: A mintavételező eszközből egyszerre kiolvasott adattömb mérete.

- Szenzor érzékenysége [mV/g]: Az érzékelő specifikációjában található érték. Azt fejezi ki, hogy egységnyi gyorsulásra a szenzor mekkora feszültségváltozással reagál. A mintavételező berendezés az aktuális feszültség szinteket tudja regisztrálni. A mért feszültségből tudjuk az érzékenység alapján a szenzor gyorsulásállapotát számítani.
- Threshold [g]: A mérőprogram automatikusan detektálja, ha a mérendő eszköz üzemel. A threshold szint az az amplitúdó érték, amelyet meg kell haladnia a gyorsulásjelnek, hogy az rögzítésre kerüljön.

A program akkor kezdi el regisztrálni az első irányhoz tartozó jelet, amikor egymás után három mintavételezett tömbben is van thresholdot meghaladó érték. Ezt az átlépést egy indikáló elemmel is jelezzük, valamint egy számláló is segítségünkre van abban, hogy lássuk milyen hosszú is az aktuális mérés. Azt, hogy milyen hosszúságú eseményeket ne kezdjen el rögzíteni, a mintavételezett tömb hosszával lehet befolyásolni (51,2 kHz és 4096-os tömbök esetén kb. 0,16 s hosszúságú eseményt még nem rögzít).

Az adott minta rögzítése akkor áll le, amikor olyan adattömböt olvasott be a program, amelyben a jelszint nem haladja meg a threshold határt, viszont az ezt megelőző kettőben még igen. Erre a kilépő feltételre azért van szükség, mert különben az irányváltás közti szünetben nem lenne képes átváltani a másik irány jelének rögzítésére, a második tömb mindig üres lenne. Így csak akkor hagyja abba a minták rögzítését, ha volt előtte rögzített jel.

A folyamatos mintavételezés alatt a program figyelemmel kíséri azt is, hogy az adott minta éppen rögzítésre kerül-e, és az előző rögzítve volt-e. Amennyiben az előző nem volt rögzítve, de az aktuális már rögzítésre kerül, úgy az aktuális minta az eltárolt jel elejét fogja képezni. Ebben az esetben tehát elhelyezi egy shift regiszterben az adott kezdeti időpontot, amit aztán már nem módosít a következő irány rögzítéséig. Így meghatározott a két irány rögzítésének kezdő időpontja, amit felhasználunk a waveform adattípus összeállításakor. A waveform dt paraméterét a mintavételezési frekvencia reciprokaként állítjuk elő. A létrehozott waveform fájl a megadott azonosítóval látja el, majd a megadott mentési mappába menti el a program. Az időjel mentése előtt még sor kerül egy paramétereázható jelvágásra, illetve az offset hiba eliminálására a vágott jel átlagértékének felhasználásával.

A végleges időjelek a felhasználói felület grafikonjain is láthatóvá válnak a forgásiránynak megfelelő megjelenítő elemen.

5.3. Szűrő tervezés

Az előzetes vizsgálatok során egyik feladatunk az volt, hogy a rendellenes zörejek forrásait megkeressük. A további vizsgálatok elvégzéséhez olyan mérési pontot és módszert kell választanunk, amely alkalmazása a lehető legjobban elősegíti a gyártáshibás termékek kiszűrését. A mért jeleket az imént bemutatott mérőszoftver „.wav” formátumban tárolja le, ez praktikus olyan szempontból, hogy gyakorlatilag bármilyen audio lejátszó programmal le lehet játszani a hajtómű „hangját”, illetve a szoftveres feldolgozást is nagymértékben segíti.

Adott mérést tekintve minden mérési ponthoz tartozó jelet meghallgattunk, és egymással összevetettünk. A rendellenességek többféle jelleget mutattak a tapasztaltak alapján (kattogó, daráló, recsegő, nyikorgó, bűgő hangok, vagy éppen erősen ingadozó amplitúdó). Ezek a hangtípusok rendszerint behatárolható elváltozással járnak a spektrumban és/vagy az időjelben. A recsegésektől, kattanásoktól, vagy a nyikorgástól általában magasabb frekvenciáknál „szűrösödik be” a spektrumkép, míg a bűgő hangok rendszerint alacsonyabb frekvenciájú összetevőkből állnak össze.

A jelek digitális feldolgozása során nem jelent nagy kihívást adott frekvenciájú komponensek kiszűrése. Ha ehhez van egy megfelelő szoftveres háttérünk, adott karakterisztikájú digitális szűrők segítségével elnyomhatunk, vagy kiemelhetünk számunkra fontos részleteket a jelben. Egy erre a célra korábban már kifejlesztett szűrőtervező programot alkalmaztunk, amely felhasználói felületét a 6. ábra mutatja be.

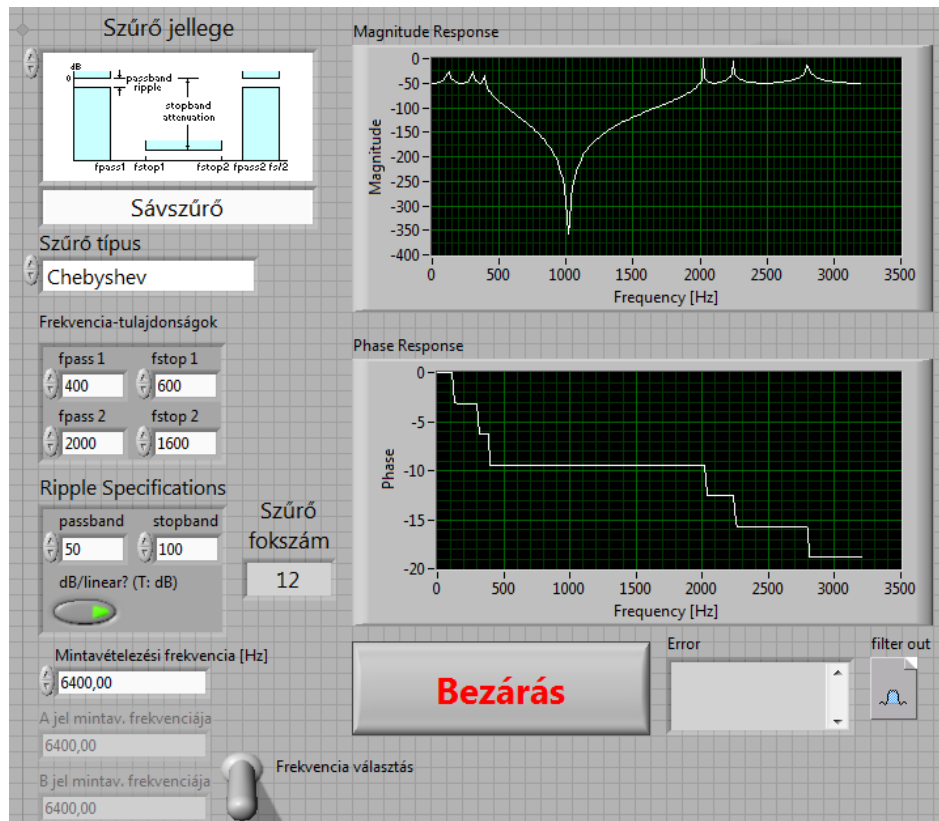
A kezelőfelület lényegesebb kezelő elemei:

- Szűrő jelleg választás (aluláteresztő, feluláteresztő, sávvágó, sáváteresztő)
- Szűrő típus választás (Butterworth, Chebyshev, inverz Chebyshev, elliptikus, Kaiser ablak, Dolph-Chebyshev ablak)
- Vágási és áteresztési frekvenciák megadása
- A vágási és áteresztési frekvenciák melletti erősítés/elnyomás mértéke
- A jel mintavételezési frekvenciája, amelyhez a szűrőt illesztjük

A megadott paraméterek alapján a megépített algoritmus legenerálja a digitális szűrő amplitúdó és fázismenetét, melyeket külön diagramon meg is jelenít. A szűrő fokszámát a

szoftver automatikusan úgy állítja, hogy a karakterisztika még teljesítse a paraméterek formájában meghatározott elvárásokat.

Megfelelő szűrő alkalmazását követően, a módosított „.wav” fájlok meghallgatásakor sokkal jobban kihallatszódtak a nem oda illő összetevők. A végleges mérési módszer meghatározásához ez a jelmódosítás nagy segítségünkre volt.



6. ábra: A szűrőtervező program kezelőfelülete

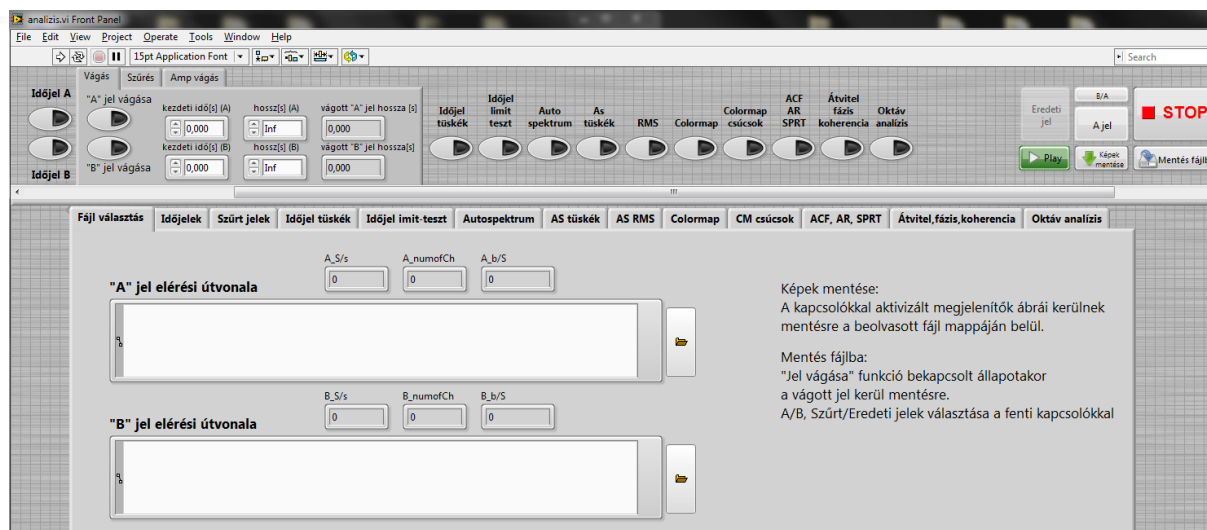
5.4. Előzetes analizáló program

A mért jelek vizsgálatának céljából elkészült egy, alapfunkciókkal ellátott, elsődleges feldolgozó program. Már ez több opciót kínált waveform-analízis végrehajtására, melyek felsorolás szintjén, a lényegesebbeket pár gondolattal bemutatva, a következők:

- Időjel hosszának, amplitúdójának vágása, időjel szűrése, ezek eredményeinek megjelenítése

- Időjel tüskék keresése (adott threshold szintet számítva szórás, átlag, vagy szórás és átlag kombinációja alapján, a határ felett található, paraméterezhető szélességű időjel tüskék megjelenítése, és a hozzájuk tartozó adatok listázása)
- Időjel limit teszt (Az időjel adatainak legnagyobb abszolút gyorsulásértéke)
- Autospektrum kirajzolása
- Autospektrum tüskék keresése (táblázatos megjelenítés lehetővé tétele, valamint megadható több frekvenciatartomány, amelyen belül lekérdezhető a maximális érték és annak helye)
- Autospektrum RMS (teljes tartomány RMS értékének megjelenítése mellett, frekvenciatartományok RMS arányának számítása/megjelenítése)
- „Colormap” megjelenítés, csúcsok ábrázolása (spektrum idő szerinti lefolyásának megjelenítése 3 dimenziós megjelenítőn, valamint ennek threshold szint megadása alapján binarizált változatának megjelenítése)
- SPRT (ACF, NACF számítása, AR modell, autoregressziós szűréssel időjel előállítása, SPRT grafikon megjelenítése, lambda függvény maximumának keresése)
- Oktáv analízis
- Jelek lejátszása

Az analízis módszerek részletes bemutatására itt nem kerítünk sort, mivel a későbbi, a dolgozat lényegi részét képező szoftver az itt említett funkciók közül többet is magába foglal.



7. ábra: Az előzetes analízáló program

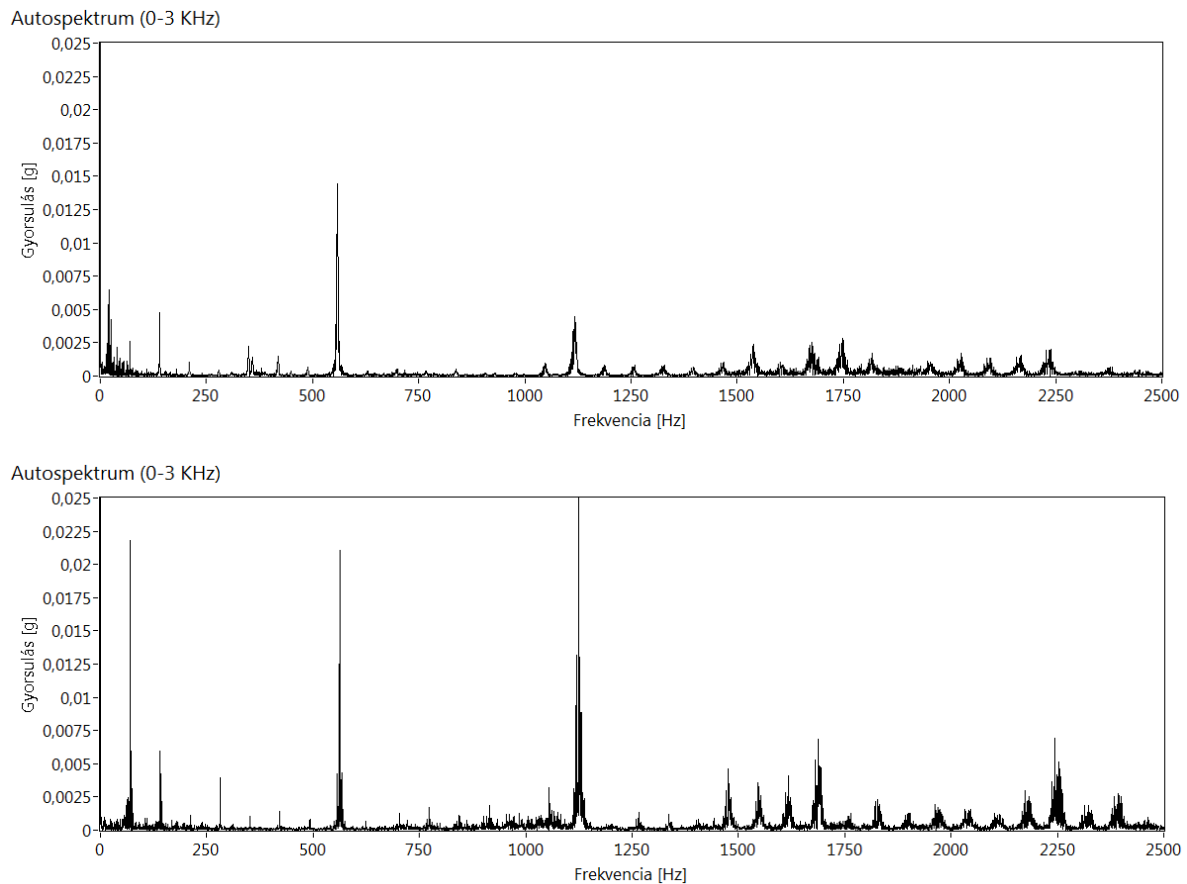
A program által elvégzett vizsgálatok segítségével jól behatárolhatók a jó és a rossz hajtásrendszerek közötti különbségek, valamint a rossz motorok esetében a hibaforrás helye. Ezen konklúziók diagnosztikai megfigyeléseken nyugvó indoklásával foglalkozik a következő pont.

5.5. Megfigyelések összegzése

Az előző pontban ismertetett program lehetővé teszi, hogy a mérési eredményeket egy összesített Excel táblázatba mentjük. Soronként egy-egy termék adott irányú hajtásához tartozó összes számított érték jelenik meg. A számítási metódust és annak paramétereit az oszlop fejlécében jelezzük. A táblázat módosításaként lehetővé tettük, hogy megadhatóak empirikus határértékek, melyekhez képest a táblázat a számértékek celláit zöld, ill. piros minősítéssel látja el (zöld - határérték alatti, piros - határérték feletti). A vizsgálati módszerek több paraméterrel kapott eredményeinek egymás melletti megjelenítése által kiválaszthatóak a motorok minőségi osztályozására alkalmas eljárások és ezek megfelelő kombinációjaként növelhető az osztályozás pontossága és megbízhatósága.

Észrevehető, hogy a rossz hajtóművek többségénél az autospektrumból kb. 550 és 1100 Hz-nél nagy amplitúdójú csúcsok jelentkeznek. Felmerült a lehetőség, hogy esetleg ezek kiszűrésével is meg lehet állapítani a motorok megfelelőségét. A későbbiek folyamán

ezt a módszert elvetettük, mert a vizsgált termék esetén effektívnek tűnt, azonban más típusú termékek esetén már ezekkel az amplitúdó különbségekkel nem lehet élesen elkülöníteni egymástól a jó és a rossz motorokat.



8. ábra: Spektrumösszetevők amplitúdójának összehasonlítása jó (fent), ill. rossz (lent) hajtómű esetén

Az előbb említett módszer mellett több olyan eljárást sikerült letesztelnünk, amelyek eredményei azt vetítették előre, hogy továbbfejlesztésükkel, illetve az alkalmazott paraméterek finomításával a hajtóművek osztályozása pontosabbá, és még megbízhatóbbá válhat. Ezek a módszerek:

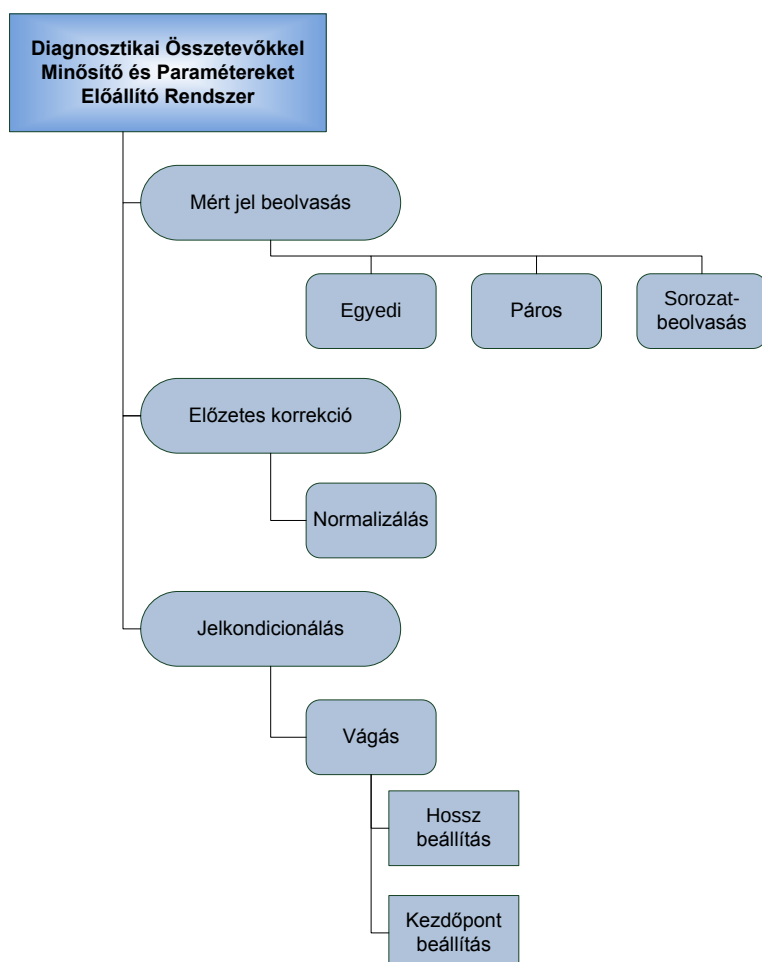
- Időjel tüskék figyelése átlag és szórás alapján
- RMS, és RMS-arány vizsgálat
- SPRT

Későbbiek folyamán ezek működését felülvizsgáltuk, illetve belőlük további eljárásokat is kifejlesztettünk. Alkalmazásukra csak a későbbi szoftververzióban került sor, mellyel a további fejezetekben foglalkozunk.

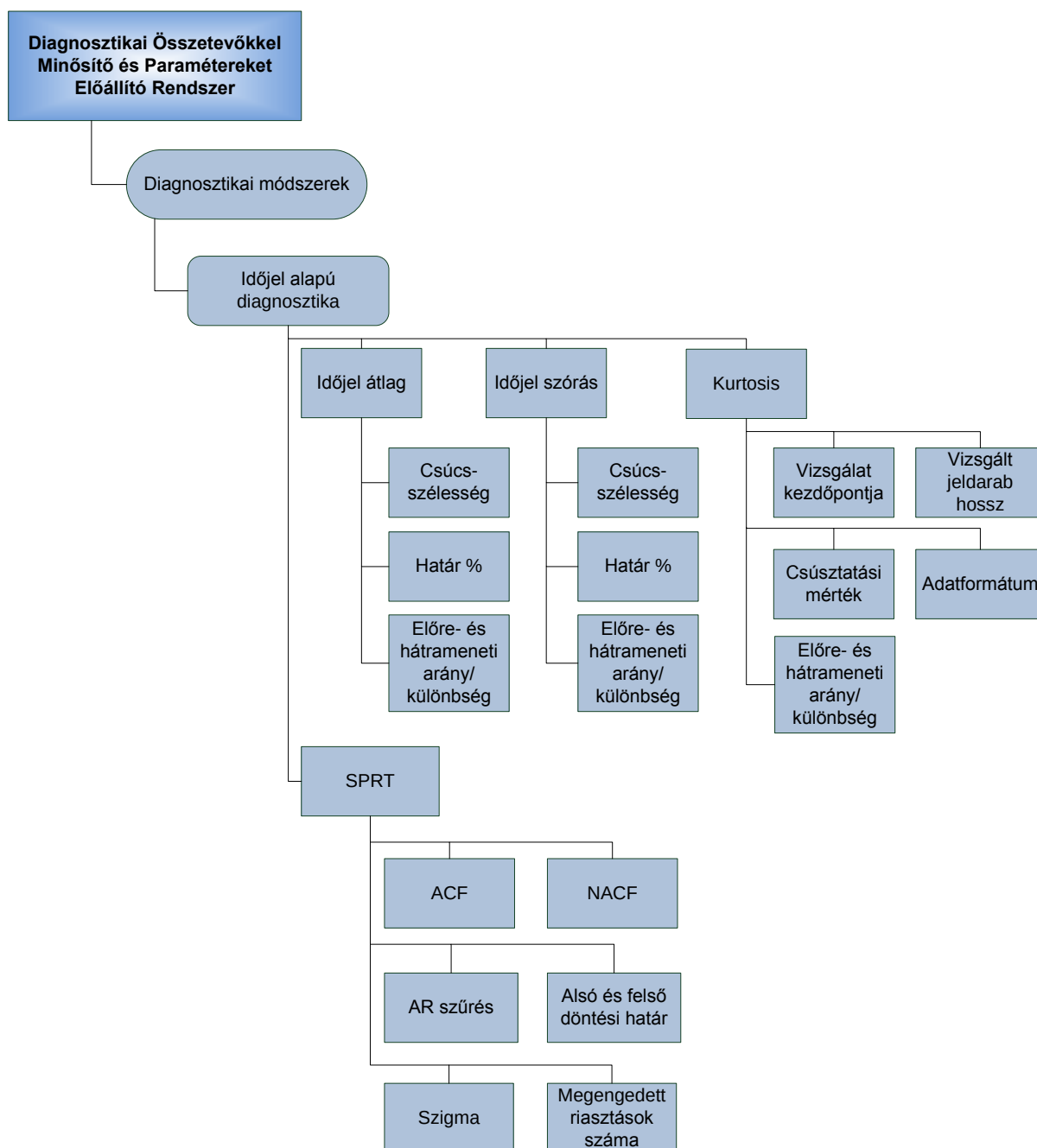
6. A teljeskörű vizsgálati szoftver megvalósítása

6.1. Programterv

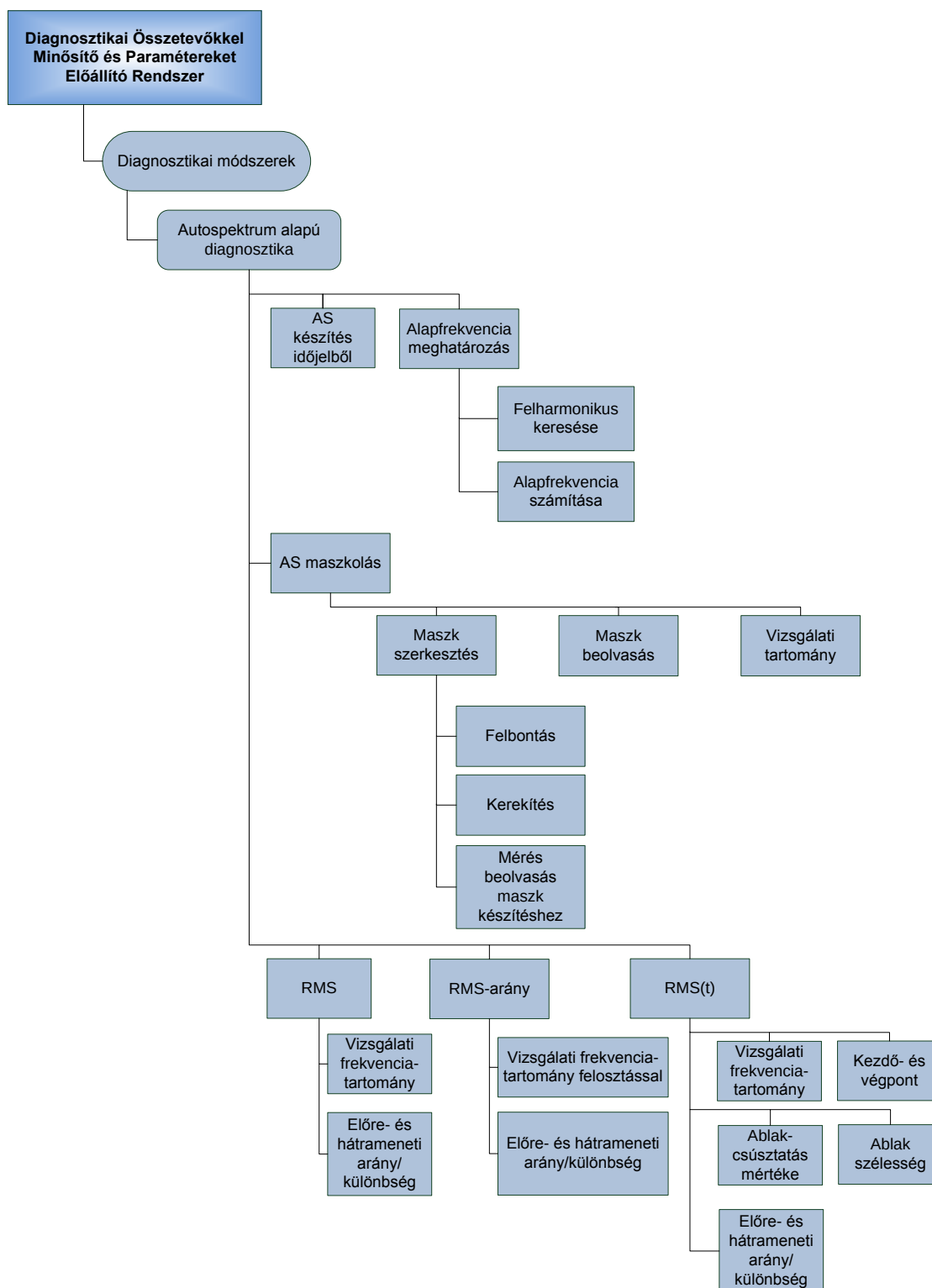
Az előzetes vizsgálatok lezárását követően sor kerülhet a tényleges, bevezetőben már említett fejlesztői, analízáló program kifejlesztésére. A szoftver leprogramozása előtt szükséges egy struktúra felvázolása, amely tartalmazza a legtöbb megvalósítandó feladatot, funkciót és illusztrálja a rendszer hierarchiáját, felépítésének logikáját. A program bonyolult felépítése, és a több lépcsős rutinhívások miatt alábbiakban látható blokkdiagram nem jelzi az összes alprogram jelenlétét, vagy ha több művelethez hívjuk meg ugyan azt a szubrutint.



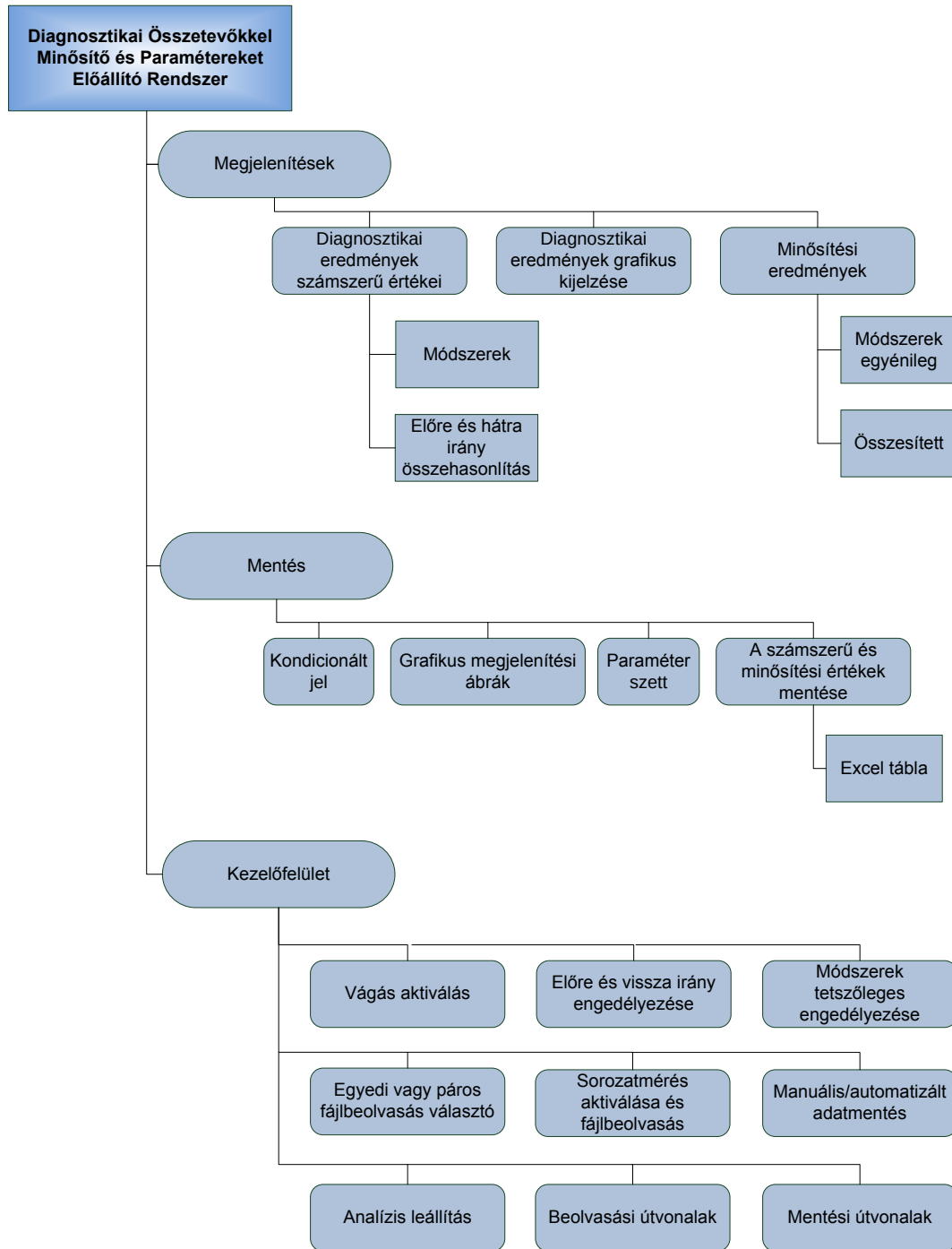
9. ábra: A programterv első része



10. ábra: A programterv második része



11. ábra: A programterv harmadik része



12. ábra: A programterv negyedik része

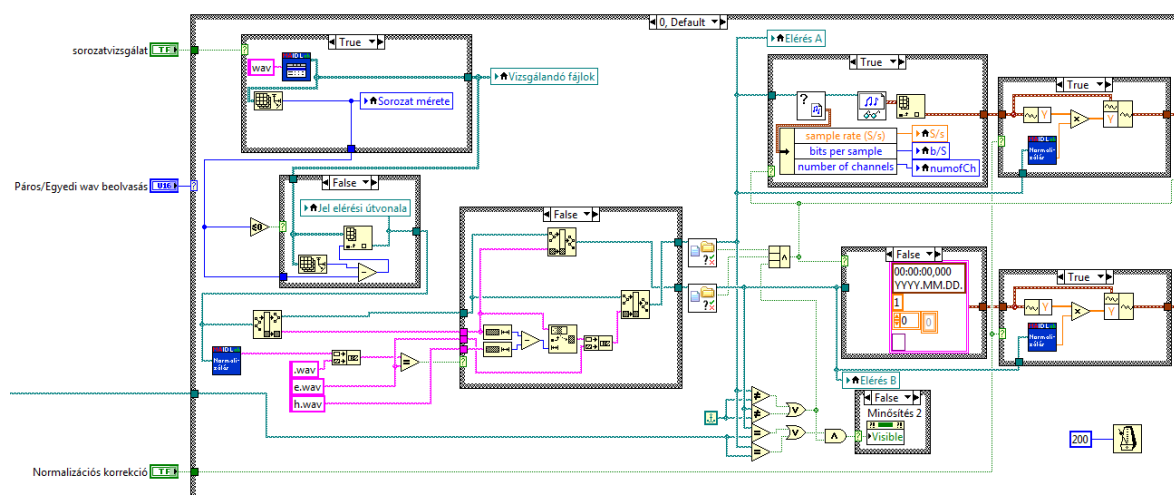
Elsődleges funkció, hogy a programnak a már eltárolt mérési fájlokat meg kell tudnia nyitni. Az előkészítési szakaszban a beolvasott jel először egy vágási, valamint normalizálási algoritmuson fut keresztül, előállítva ezzel az analizálandó waveform adattömböt. Ez az adatsor kerül be minden egyes rezgésdiagnosztikai elemzőmodulba. A modulok gyakran több szinten működnek együtt, illetve valamelyik ciklikusan felhasználja egy-egy másik módszer szubrutinját, hogy ez által összetettebb vizsgálatokat hajtson végre. Ilyen esetre példa, hogy az időjelből az egyik algoritmus spektrumot számít, amely eredményt felhasználja az alaphfrekvenciát meghatározó alprogram. Az autospektrum maszkolásnál felhasználjuk a spektrumot, valamint a számított alaphfrekvencia értékét is. A ciklikus hívásra jó példa, hogy az $RMS(t)$ függvény előállításakor a jelkondicionáláskor használt vágási algoritmust hívjuk meg, majd a kivágott jeldarabra számítunk RMS értéket egy másik vizsgálati módszer felhasználásával. A kívánt, idő szerinti függvényértékeket ciklusonként számítjuk, más-más vágási paraméterek felhasználása által. Az ilyen módon fokozatosan eltolt kezdőpontú kivágott jeldarabokkal végzett elemzési műveleteket a továbbiakban ablakolási technikának nevezzük.

Több módszerre azért van szükség, mert a módszerek kiegészítik egymást, együttes működésük biztosítja a legnagyobb megbízhatósági faktort a minősítést illetően. Alapkoncepció, hogy minden módszer egy számszerű értéket ad, melyet összevetve egy tolerancia értékkel létrejön egy logikai állítás (túllépte-e az adott limitet az érték vagy sem). A minősítési részeredmények összesítését követően alakul ki az eszközre vonatkozó döntés, hogy az „Jó”, vagy „Rossz”.

Eredmények tárolására csak a vizsgálati és minősítő szakasz lefutását követően kerülhet sor. Szükség lehet a vizsgált időjel külön fájlba írására, a módszerek által szolgáltatott eredmények, megjelenített grafikus információk, illetve a minősítési szakaszt követően kapott döntések mentésére is. A felhasznált paraméterek, beállítások tárolása is megoldandó feladat, melynek kidolgozásakor már gondolni kell arra is, hogy ezeket a beállításokat vissza is tudjuk tölteni egy másik programfuttatás alkalmával. A gyártási folyamatban alkalmazott felhasználói szoftverváltozat ezt a fájlba írt beállítási konfigurációt használja közvetlenül, ezért a fejlesztés során fokozottan kellett ügyelni a teljes mértékű kompatibilitás fenntartására a két program között. Ezt segítik a beállításokkal együtt mentett konfigurációs verziószámok.

6.2. A mért jel beolvasása

A felhasználó négy különböző beolvasási mód közül választhat, melyet a következő három pontban ismertetünk. A felhasználónak két beállítást kell végiggondolnia, mielőtt neki kezdene a jelanalízisnek, hogy egyedi/páros, illetve, hogy manuális/automatikus beolvasást szeretne alkalmazni. A megfelelő beolvasási mód kiválasztása által sok időt és számítást spórolhatunk meg. Azt, hogy melyik opciót érdemes választanunk, a felhasználás célja határozza meg.



13. ábra: A program beolvasási algoritmus, denormalizálással (utóbbi lásd később)

6.2.1. Egyedi beolvasás

Felhasználó által kijelölt „.wav” megnyitása, majd analízise. Ilyenkor érdemes az egyik irány analízisét letiltani a kezelőfelületen található „A”, vagy „B” gombokkal, mert egy fájlban csak az egyik irányban felvett jeleket tároljuk. Ha mind a két irány engedélyező gombja aktív állapotban van, akkor a szoftver mind a két irányt elemző résznek ugyan azt a jelet biztosítja. Egyazon jel eredményeinek duplikált megjelenítésére abban az esetben lehet szükség, ha például egyes grafikonok skáláját átállítjuk, így lehetőségünk nyílik részletek külön megfigyelésére, miközben közvetlenül elérhető az eredeti megjelenítés is. Ebben az esetben az irány-összehasonlítás alapú módszerek nem használhatók. Ezt a beolvasási algoritmust elsősorban általános célú vizsgálódás esetén alkalmazzuk.

6.2.2. Páros beolvasás

Ennél a módnál is egy „.wav” fájl megadása szükséges. A program megkeresi, majd automatikusan megnyitja a kijelölt fájl „párját”. A mérési fájlok nevében a rá vonatkozó irány jelölve van egy „_e” (előre) vagy egy „_h” (hátra) tag által. Egy algoritmus a beadott fájl alapján legenerálja a két elérési útvonalat, és ellenőrzi az elérési útvonal által meghatározott fájlok létezését. Amennyiben a megadott „.wav” párja nem található, azt azzal jelzi, hogy gyakorlatilag üresnek tekinti az elérési útvonal megadására szolgáló szövegdobozt, ezzel egyúttal letiltva a minősítési algoritmusok futtatását (a program üresjáraton fut, az eredményeket kijelző elemek alapértelmezett értékeket mutatnak). A nem létező fájl hibáját a felhasználó onnan veheti észre legkönnyebben, hogy a fő minősítő indikátor (az elérési útvonal szövegdozoza körüli zöld/piros keretezés) láthatósága megszűnik. A méréshez tartozó előre, illetve hátra irányokat ennél a módszernél együttesen vizsgálja a program. Az eredmények kijelzésekor az „A jel” az „_e” jelzéssel ellátott, a „B jel” pedig a „_h” jelzéssel ellátott fájlokra vonatkozik. Ilyenkor már értékelhető eredményt adnak az irányokat összehasonlító módszerek is, valamint egyszerre menthetők ki a két irányra vonatkozó diagnosztikai eredmények, grafikonok is.

Az „_e” ill. a „_h” jelzést a Normalizáció korrekció.VI olvassa ki.

6.2.3. Sorozat beolvasás

Ezt a funkciót az „Aut. beolv.” gomb megnyomásával érhetjük el. Automatikus, sorozatos beolvasás esetén egy beolvasási mappát kér a program, melyből az összes mérési fájlt egymás után olvassa be. Egyedi, illetve páros beolvasást egyaránt lehet így végezni. Páros beolvasási mód esetén, ha egy, a megadott mappában található mérési fájlunk nem található a párja, a fenti pontban ismertetett módon alapértelmezett értékeket fog kiadni a diagnosztika összes módszere. A felhasználó által engedélyezett vizsgálatokat követően a kiválasztott mentési műveleteket a szoftver automatikusan végzi el minden beolvasott jel esetén. Ha páros beolvasás esetén nem található a mappában az egyik jelhez tartozó második irány, a mentési művelet során alapértelmezett értékek (nullák, feltöltetlen

adattömbök, üres grafikonok, „Rossz” minősítés) kerülnek tárolásra. Ezzel a módszerrel mérési sorozat vizsgálata esetén rengeteg időt spórolhatunk meg. Alkalmazása elsősorban a gyártósori programváltozat által igényelt beállítási paraméterszett előállítását megelőzően szükséges (az értékeket akár több száz, vagy ezer mért jel alapján is beállíthatjuk).

A sorozat beolvasás VI-ai: Listbox.VI, mappa-lista.VI

6.3. A mért jel kondicionálása, előkészítése

A nyers mérési eredmények közvetlen nem feldolgozhatók, ezért szüksége van az analízis elvégzése előtt a jelek előkészítésére. Ez magába foglalja a tárolás céljából módosított adatok helyreállítását (denormalizáció), valamint az elemzés igényelte jelfrészlet biztosítását.

6.3.1. Normalizálás

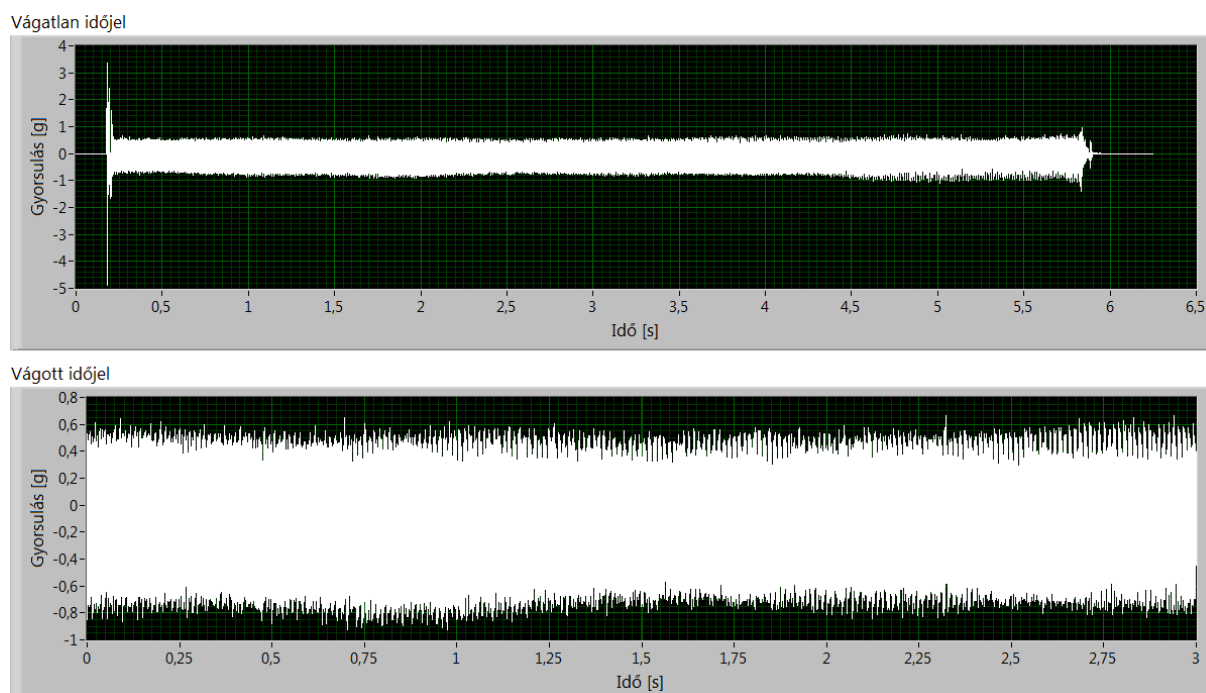
A mérés eredmények tárolása során „.wav” kiterjesztéseket használunk, mely tulajdonságából fakad, hogy 1-nél nagyobb értékeket nem rögzít. A mintavételezést követően, a jelek mentése előtt, az összes értéket leosztjuk a mért jel legnagyobb abszolútértékű elemével. A későbbi visszaállítás céljából ezt a számot a mentési fájlnevbe rögzítjük.

Az analízis beolvasási szakaszát követően szükséges egy rekonstrukciós művelet. A fájlnevből kinyert denormalizációs együtthatóval a waveform minden egyes elemét beszorozzuk (13. ábra). A kapott „új” jel adatsora megegyezik a mérés adatsorával, így a feldolgozás már hiteles adatokat fog szolgáltatni.

A normalizálást megvalósító alprogram: Normalizációs korrekció.VI

6.3.2. Vágás

A mérés során a hajtómű teljes működése alatt regisztrált jeleket tároljuk le. Ez magába foglalja a villanymotor indítását és leállítását is. A villanymotoron és a hajtóművön, a fokozatmentesen rákapcsolt feszültség hatására, nagy gyorsulásamplitúdók jelentkeznek („beránt” - 14. ábra felső diagram). Mivel az analízis szempontjából az üzemi állapot információtartalma a lényeges, ezért a jel kezdeti és végső szakasza is elvethető.



14. ábra: A vágatlan és a vágott időjel

Tapasztalataink alapján a mérésindítást követő egy másodpercen belül beáll az üzemi állapot, így a vágás során ezt a szakaszt választjuk le.

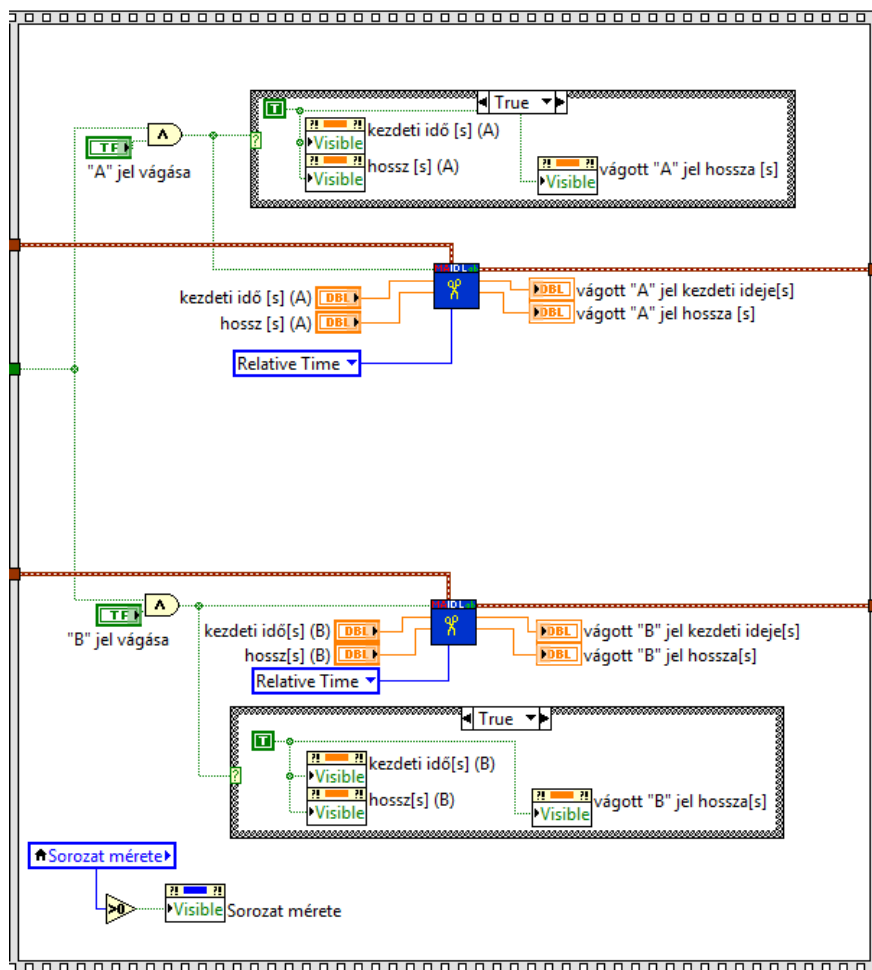
A módszerek tesztelése során megállapítottuk, hogy egy 3 másodperces üzemi működésű szakasz vizsgálata elegendő a megbízható minősítés eléréséhez. A hajtóműbeli defektusok rendszerint periodikusan jelentkeznek. Egy ilyen hosszúságú jelrészlet már elegendő ezek észleléséhez, kimutatásához.

A vágáshoz készült alprogram működéséhez szükséges a kezdeti idő, a kivágandó jelrészlet hossza, ill. az adattípus megadása. Utóbbival azt határozzuk meg, hogy a minták

darabszáma vagy az időjel másodpercben értelmezett hossza alapján definiáljuk az előbbi paramétereket.

Páros beolvasás esetén az oda- és vissza-irányú jeleket külön paraméterek alapján is vághatjuk. Lehetőség nyílik egyedi beolvasás esetén az időjel eltérő paraméterekkel kivágott jeldarabjainak vizsgálatára is.

A vágást megvalósító VI: Időjel_vágása.VI



15. ábra: A jel vágása

6.4. Diagnosztikai módszerek

A diagnosztikai eljárásokat tartalmazó szubrutinok bemeneteire a már vágott jel, vagy az abból számított adatok érkeznek. A módszerek a bemenő adatsoron a megadott paraméterek alapján vizsgálatokat folytatnak, és a lényegesebb információkat a felhasználó

felé továbbítják. Ezek típusukat tekintve lehetnek numerikus, grafikus vagy logikai (igaz/hamis) információk. Minden módszer egymástól függetlenül, a jel elemzését követően egy önálló minősítési eredményt reprezentál. A diagnosztikai alprogramok belső felépítéséről a melléklet tartalmaz minden részletre kiterjedő illusztrációkat.

6.4.1. Időjel alapú számítások

Időjel tüskék figyelése

Az időjel tüskék figyelésére kettő, közös alapokon nyugvó, de némileg eltérő számítási módszerrel rendelkező minősítési eljárást készítettünk. Közös bennük, hogy az időjelet először nullaközepűvé alakítják, mégpedig úgy, hogy a beérkező adattömb átlagát kivonják minden egyes elemből. Ezek után egy számított küszöbszinten (thresholdon) túlnyúló, megfelelő „vastagságú” tüskék számát adják eredményül, mely a minősítés alapjául szolgál. A két subVI közötti különbség, hogy a küszöbszintet eltérő módon határozzák meg. Az egyik, a jel értékeinek szórását számítja ki, majd képi ennek bemeneti paraméterként, százalékban megadott többszörösét. A másik hasonló elven működik, csak ott az adatsor értékeinek nullától való távolságának átlaga adja a számítási alapot. A jelsorozat tüskéit a LabVIEW beépített csúskereső VI-ával valósítottuk meg. A szubrutin a beadott paramétereknek megfelelő csúcsok számát, maximális értékeit és helyeit adja eredményül. A minősítéshez a detektált csúcsok számosságát használjuk fel, a többi információ csak illusztratív célokat szolgál.

Az említett átlagolási és szórási számításokat a LabVIEW beépített VI-aival végeztük el, melyek a következő matematikai összefüggéseken alapszanak:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_i$$

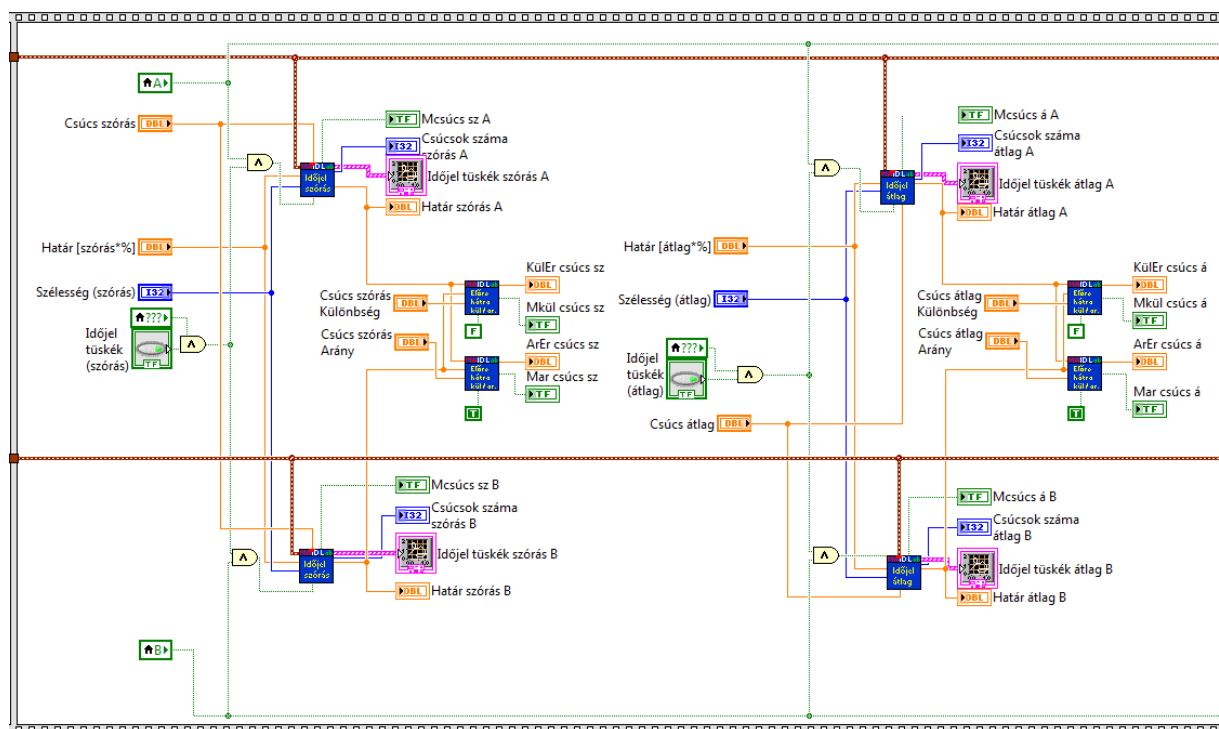
1. egyenlet: Az átlag számítási képlete⁶

⁶ (LabVIEW User Manual)

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(x_i - \mu)^2}{w}$$

2. egyenlet: A szórás számítási képlete⁷

Paraméterként adható meg a „tüskeszélesség”. Az alprogram csak olyan jelrészleteket tekint tüskének, melyekben az ezzel a paraméterrel meghatározott számú, egymást követő mintavételi értékek meghaladják a küszöbszintet. Az alprogram a jelet a tiltott tartományba belenyúló tüskék száma alapján minősíti. Paraméterként megadható, mennyi nem megengedett csúcsot tolerálunk „Jó” kvalifikációs eredmény mellett.

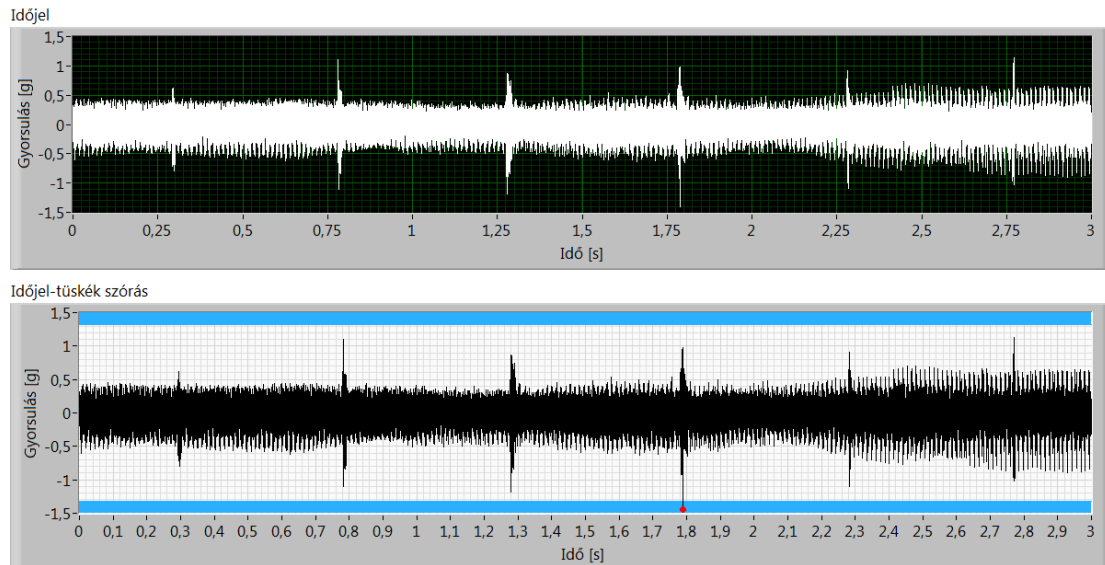


16. ábra: Az időjel felhasználó szórás- és átlagalapú minősítési, valamint irány-összehasonlítási programrészlet

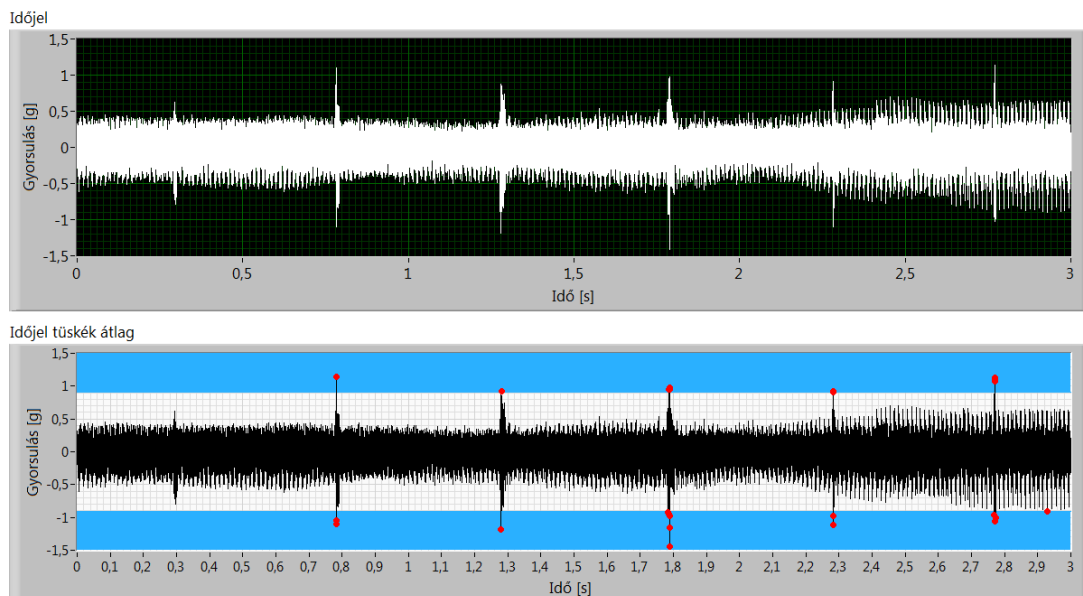
A módszerek grafikus megjelenítése az alábbi ábrákon látható. Az eredmények kijelzésénél a tiltott tartományt kék terület jelöli. Ha az időjelben szerepel olyan nagyságú tüske, mely csúcserőértéke ebbe a tartományba esik, akkor ott egy piros pont jelenik meg.

A módszer VI-ai: Időjel tüskék átlag.VI, Időjel tüskék szórás.VI, Arány_különbség.VI

⁷ (LabVIEW User Manual)



17. ábra: Az időjel szórás módszer VI-ának megjelenítési része



18. ábra: Az időjel átlag módszer VI-ának megjelenítési része

SPRT (Szekvenciális Valószínűségi Hányados Teszt)

Az SPRT vizsgálat egy eseménydetektálásra kiválóan alkalmazható módszer. Elvégzése igényli az időjel előkészítését, így a módszer több lépésre bontható.

A bemenetként megadott időjel adatsorából számítjuk az autokorrelációs függvényt (ACF), melyet az FFT transzformáció eredménye, valamint annak konjugáltja alapján inverz FFT-vel kapjuk meg. Az ACF-ből hozzuk létre annak normalizált változatát (NACF), majd definiálni kell az autoregressziós (AR) együtthatókat, ugyanis csak az AR-szűrés elvégzése

után következhet az SPRT vizsgálat. Az AR-szűrés során eltávolítjuk a háttérben fellelhető determinisztikus összetevőket, zéróközepűvé tesszük és kifehérítjük a jelet. Ehhez szükség van a már említett NACF-re és a modellrend alapján az autoregressziós együtthatókra. Az AR-szűrt jelből kiválasztja azokat a részeket, amelynek a statisztikája különbözik a háttértől (ezeket eseményként detektálja). Nem szintekkel dolgozik, hanem a mintavételezett jelek statisztikáját számítja ki, és arról állapítja meg, hogy az egyértelműen a háttér statisztikáját követi, vagy attól eltérőt. Akármilyen deviáció a kimutatásban jelzést generál, amelyet mi eseménynek értékelünk.

Egy jelből a bemenő paraméterek alapján (alsó és felső döntési határok) előállítjuk a Lambda függvényt. Az SPRT lambda függvénye egyértelműen mutatja, hol kezdődik az esemény és hol ér véget. Kisebb amplitúdó különbséget is képes észrevenni, ha az esemény statisztikája különbözik a háttér valószínűségi sűrűség függvényétől. A Lambda függvény értéke csökken, ha a jelet vizsgálva, az a vártaknak megfelelően változik. Azonban növekedni fog, ha váratlan esemény következik be. Amennyiben az alsó határt a Lambda-függvény eléri, az éppen vizsgált szakaszt megfelelőnek ítéli, és a nulla értéket felvéve folytatja a vizsgálatot. A felső határ elérése esetén szintén nulla értékre ugorva folytatódik a vizsgálat, azonban ekkor az előre nem várható esemény detektálása mellett a program egy esemény-riasztással reagál, ami nagy valószínűséggel a vizsgált eszköz hibás működésére utal. Ezt a riasztást használjuk fel a beolvasott jel minősítésére [1]

Ez a módszer nagy hatékonysággal mutat ki koppanást, kattanást, reccsenést vagy egyéb sztochasztikusnak tekinthető (nem periodikus vagy ritkán ismétlődő) jelenségeket.

Ennél a módszernél is több bemeneti paraméterre van szükségünk a minősítéshez. Biztosítani kell, hogy a lehető legnagyobb mértékben eltávolítsuk a determinisztikus összetevőket. Kivonjuk a mintavételezett értékből az AR modellel becsült lineáris kombináció részt, és ami marad az a jelnek a fehér, véletlenszerű része. A szükséges AR-modellrendet a rendszer összetettségének függvényében becsülhetjük meg.

Az SPRT-vel egy eseménysort figyeltetünk, melyről tudjuk, hogy valamilyen eloszlással leírható. Feladatunk egy olyan ismeretlen időben megjelenő másik esemény detektálása, amely egy eltérő eloszlásfüggvénnyel rendelkezik. Az eloszlásokat az AR-szűrt jel szórása alapján vesszük figyelembe, az ismeretlen esemény felismeréséhez szükség van egy szigma1 értékre, amely a szűrt jel szórásától is függ (szigma0). Ezt az állandót esetünkben 4-es

értékként rögzítettük, mint bemenő paraméter. A lambda növekményét a következő egyenlet fejezi ki:

$$\Delta\lambda_i = \frac{\sigma_1^2 - \sigma_0^2}{2\sigma_1^2\sigma_0^2} x_i^2 - \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_0}$$

3. egyenlet: Lambda-függvény növekménye⁸

A lambda függvényt az alábbi két egyenlet írja le:

$$\lambda_0 = 0$$

$$\lambda_i = \lambda_{i-1} + \Delta\lambda_i$$

4. egyenlet: Lambda-függvény leírása⁹

Szükséges még egy alsó és egy felső döntési határ megadása. Amennyiben a vizsgált időpontban váratlan eseményt detektálunk a lambda függvény növekménye pozitív értéket vesz fel, ellenkező esetben a lambda függvény csökkenő értéket mutat.

Végezetül mérési hibákból eredő "téves" riasztások maximumát a megengedett riasztások bemenet inicializálja.

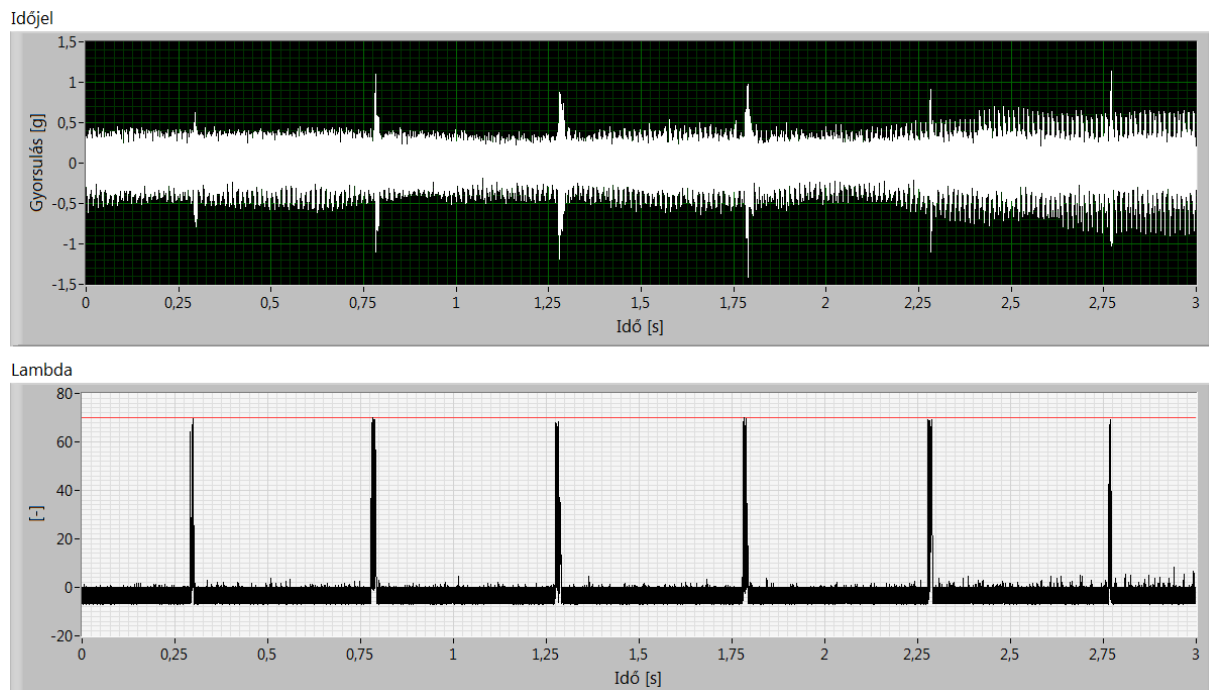
A következő ábrán egy rossz motor SPRT analízise látható, amelyen jól kivehető, hogy az időjelben megjelenő, nagy amplitúdójú rendellenes, periodikus zaj megjelenésének pillanatában a lambda függvény növekvő trenddel rendelkezik. A felső döntési határt elérve riasztást generál, majd visszaáll a kiindulási függvényértékre.

Bár az illusztrált esetben az időjelben szemmel jól kivehető, nagymértékű zajok vannak, az SPRT alkalmas az időjelben szemmel nem látható, kis amplitúdójú események érzékelésére is.

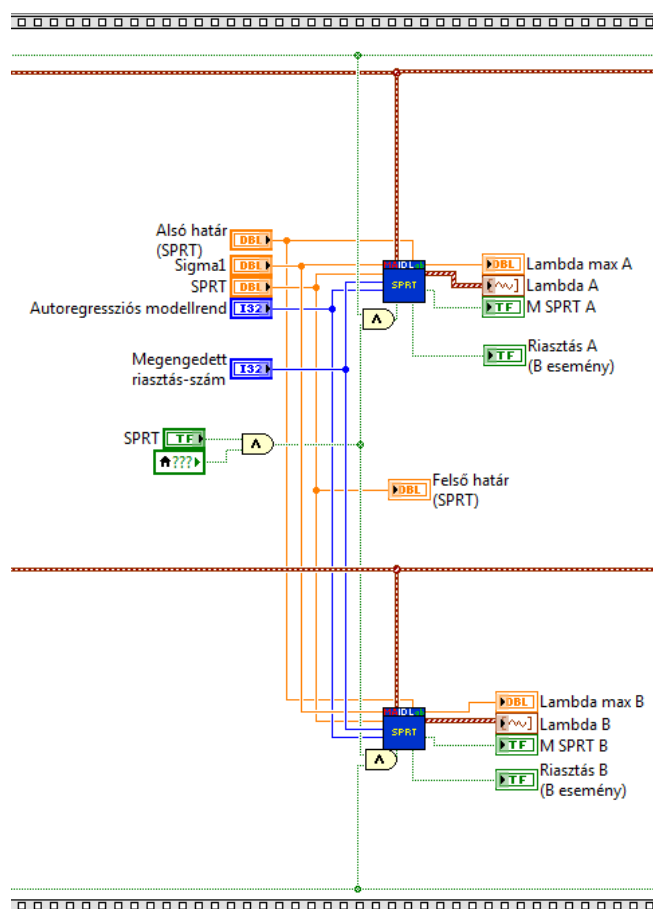
A módszer VI-ai: SPRT.VI, SPRT_sub.VI, NACF_sub.VI, AR-modell_sub.VI, AR-Szűrő_sub.VI

⁸ (Deák, T. (2009). *SPRT algoritmus alkalmazása valós időben*. Dunaújváros)

⁹ (Deák, T. (2009). *SPRT algoritmus alkalmazása valós időben*. Dunaújváros)



19. ábra: SPRT elemzés megjelenített eredménye



20. ábra: Az SPRT módszer alapú minősítés

Kurtosis

Azt jelzi, hogy a beolvasott jel eloszlása az azonos középértékű és szórású normális eloszláshoz képest jobban vagy kevésbé „tömörül”.

A Kurtosis módszer nem más, mint a negyedik momentum módszere, amelyet az alábbi egyenlet ír le:

$$\alpha_4 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^2}$$

5. egyenlet: Negyedik momentum¹⁰

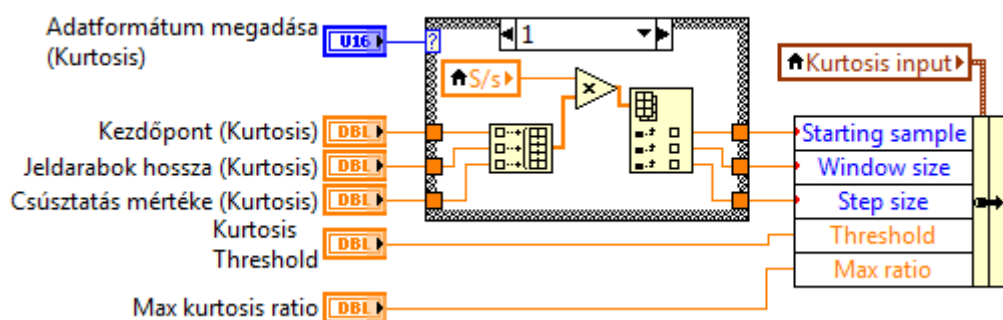
A mutatónak az a lényege, hogy a számlálóban megjelenő negyedik centrális momentum erősen kiemeli a várható értéktől nagyban eltérő elemeket, így amennyiben viszonylag sok kis, illetve nagy érték jelenik meg az eloszlásban a mutató értéke megnő. A nevezőben megjelenő variancia négyzete a különböző varianciájú eloszlások összevetését segíti, illetőleg a számláló nagyságrendjéhez igazítja a mutatót [10]).

A módszerben ablakolással számítjuk ki az imént bemutatott negyedik momentum numerikus értékét, majd ábrázoljuk grafikusan az idő függvényében. Ebből láthatóvá válik, hogy az időjelben az adott szakaszok a jel normáloszlásához képest mennyire térnek el (23. ábra).

A minősítést esetünkben az jelenti, hogy a számított Kurtosis értékek közül mekkora hányad lépi át a megadott threshold szintet. Ha ez az arányszám nagyobb, mint a bemenetként megadott tolerálható érték akkor a módszerünk „Rossz” minősítést fog eredményezni.

Az alprogram egy speciális paramétertömböt igényel, így a programozás során a blokkdiagramban jóval kevesebb bemenetet kell biztosítani. Az alábbi ábrán látható programrészlettel állítjuk elő ezt a tömböt, amelyben a minősítési paraméterek mellett az ablakolási eljárás beállításai is szerepelnek.

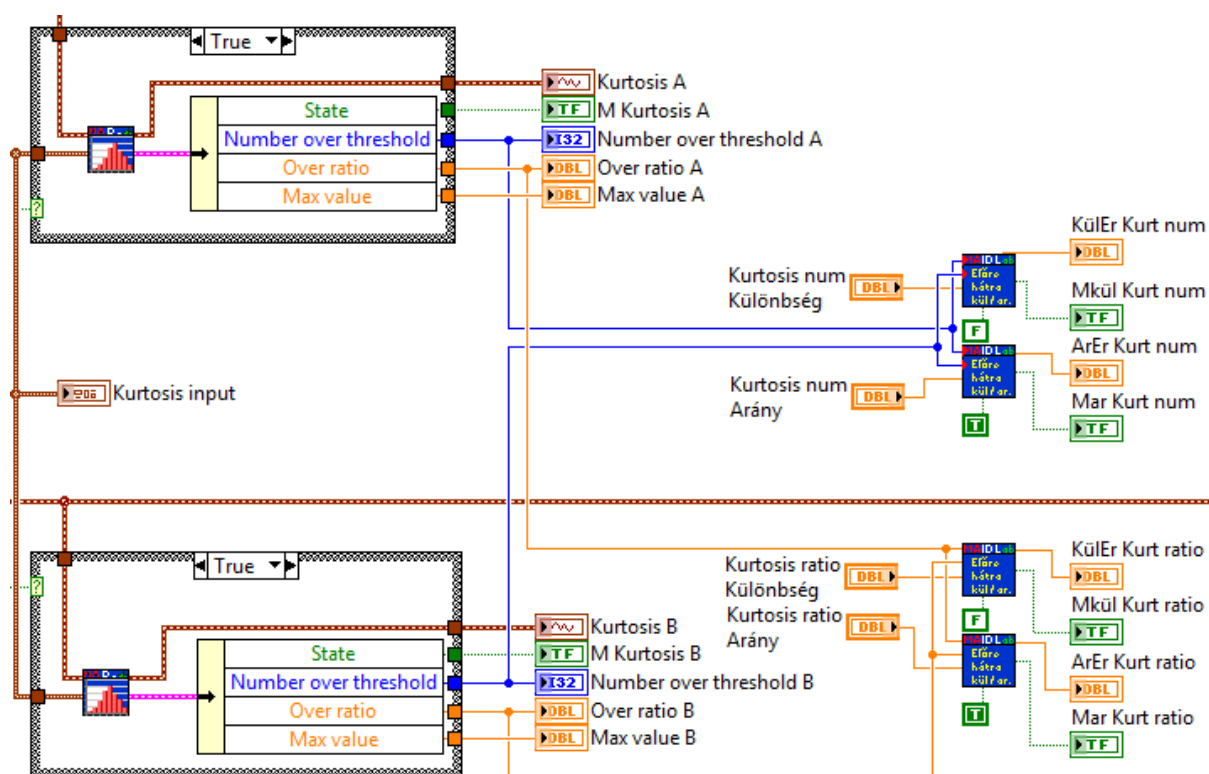
¹⁰ (Hunyadi, L. (87. évfolyam, 3. szám). A negyedik mutatóról. Statisztikai Szemle.)



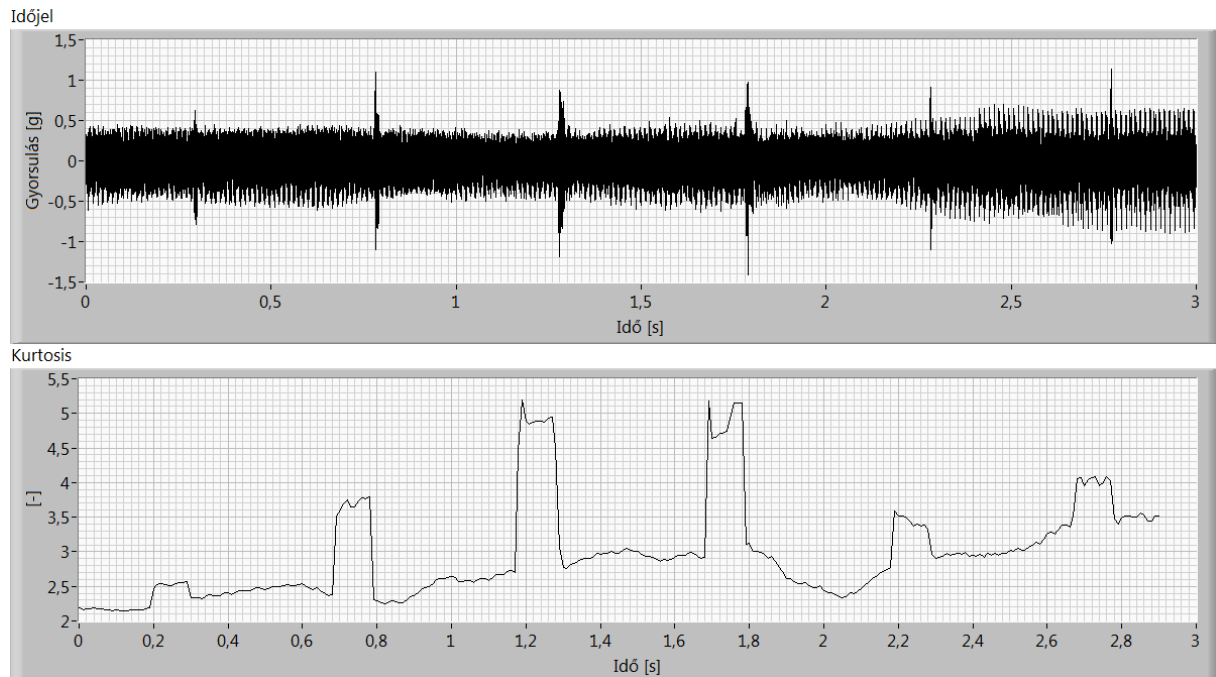
21. ábra: A Kurtosis módszer alprogramja által kért paramétertömb összeállítása

A módszer az analízist követően megadja, hogy egy adott határértéket túllépte-e a generált függvény.

A módszer VI-a: SubVI_Kurtosis_v1.1.VI



22. ábra: A Kurtosis alapú minősítés, valamint a kapott eredmények irányonkénti összevetése



23. ábra: A Kurtosis módszer grafikus eredménye

6.4.2. Autospektrum alapú számítások

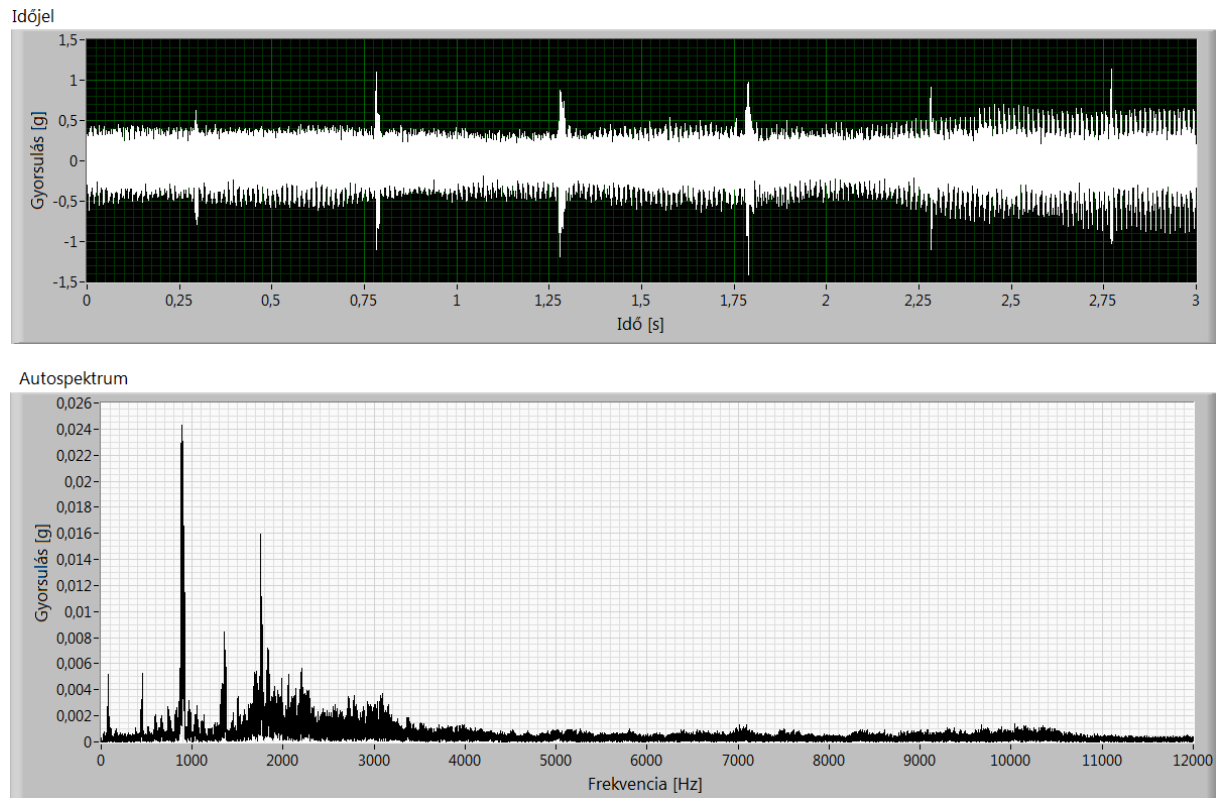
Egy jel autospektrumán valójában a teljesítmény frekvenciák szerinti eloszlását értjük. Az időjel sorba fejthető a szinuszok és koszinuszok lineáris kombinációjaként. Előállításához a komponensek négyzetösszegét kell vennünk, majd gyököt vonva belőle gyakorlatilag abszolútérték számítást végzünk. Az autospektrumot az alábbi módon számíthatjuk:

$$APSD(\omega) = |F(i\omega)|^2 = F^*(i\omega)F(i\omega)$$

6. egyenlet: Autospektrum számítási mód¹¹

Ezt az Idő-AS.VI végzi el, amelyben egy LabVIEW express VI található és egy beadott időjelre vonatkozóan előállítja annak frekvenciafüggvényét. Erre egy szemléltető példa az alábbi ábra:

¹¹ (Dr. Pór, G. (2005). *Modern műszaki diagnosztika*. Főiskolai és egyetemi jegyzetanyag.)



24. ábra: Az időjelből autospektrumot létrehozó program megjelenítési része

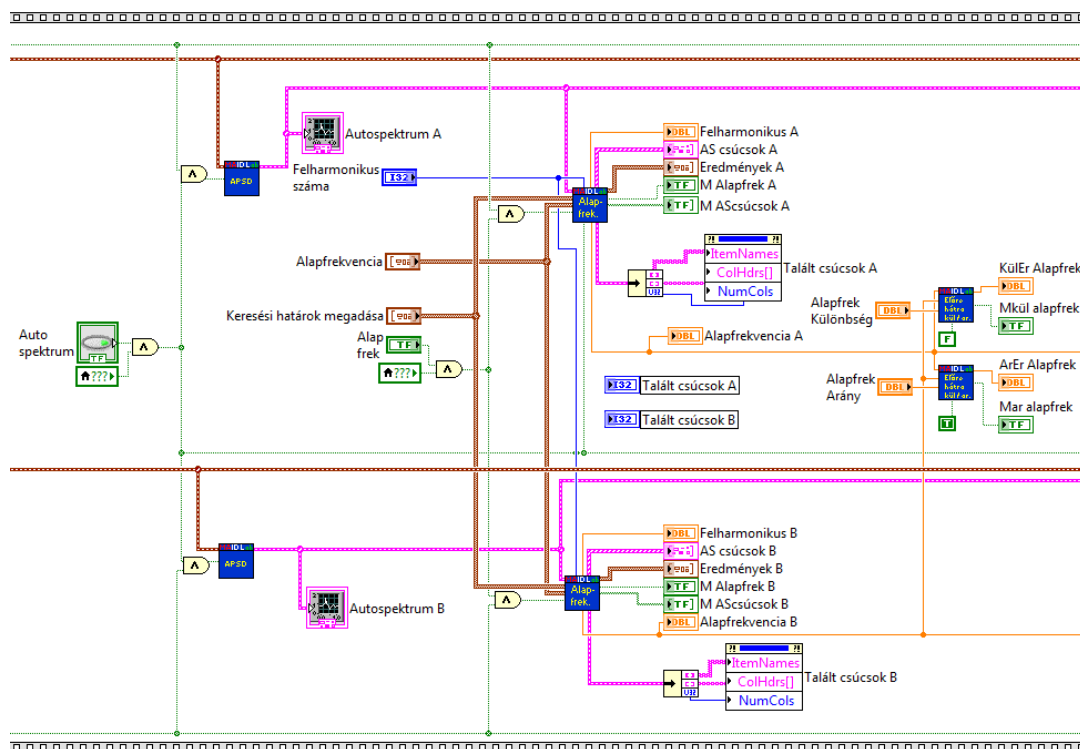
Az autospektrum létrehozására felhasznált VI: Idő-AS.VI

Alapfrekvencia

Ennél a módszernél megadott intervallumon kerestethetjük meg a vizsgált berendezés működési frekvenciáját. Az alapfrekvencia elsődleges meghatározása úgy zajlik, hogy egy bemenetként megadott keresési frekvenciatartományban határozzuk meg a legnagyobb amplitúdójú összetevő helyét. A tapasztalatok alapján az autospektrum korlátos felbontásából eredően a később bemutatásra kerülő AS-maszk illesztése bizonytalaná válhat, ezért szükséges a módszer pontosságának növelésére kiegészítő eljárást beiktatnunk. A megoldást magasabb frekvenciás felharmonikusok kerestetése jelentette. A kibővített eljárás lényege, hogy a keresési tartományon belül az elsődlegesen számított alapfrekvenciát határozzuk meg. A kapott értékből konstans szorzással, majd a frekvencia kétirányú kiterjesztésével „lőjük be” azt a frekvenciatartományt, amelyben a felharmonikus helyére

szintén maximális amplitúdó módszerével keresünk rá. A pontosított alapfrekvenciát a kapott frekvenciaérték előbbiekben említett konstanssal való leosztásával kaphatjuk meg.

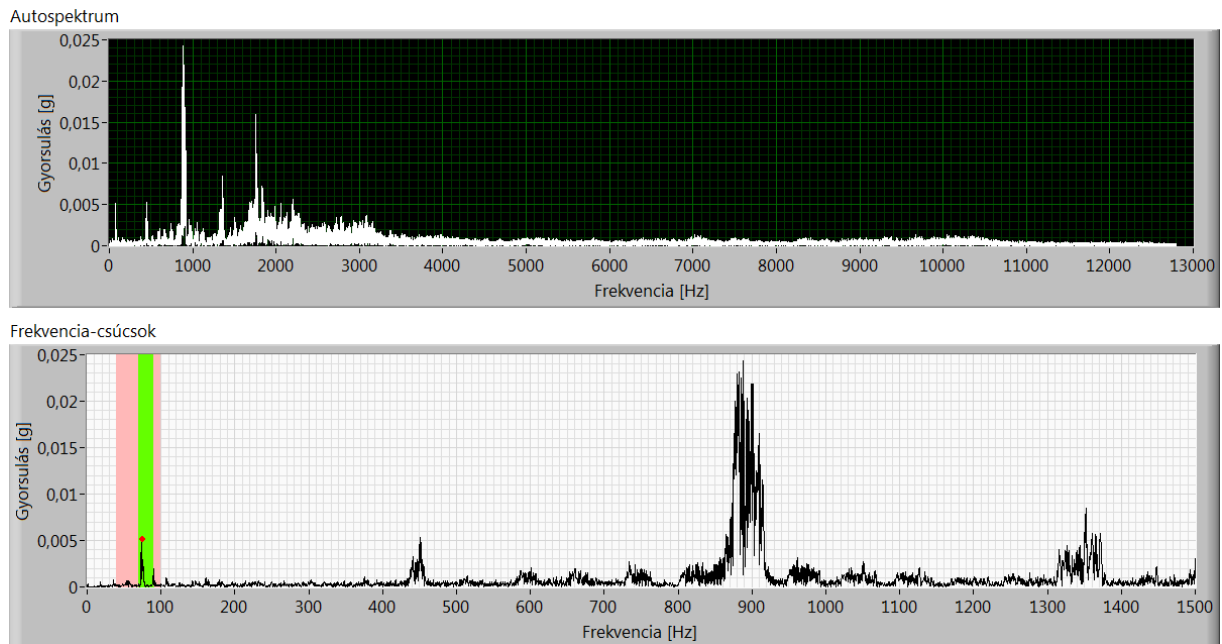
Bemeneti paraméterként megadható, hogy hányadik felharmonikusra keressünk rá. Ehhez érdemes az előzetes vizsgálatok során egy domináns, kiemelkedő frekvenciatűskét választani. A módszer igényli még a különböző keresési intervallum megadását, valamint az alapfrekvencia minősítésének elvégzésére annak határértékét is.



25. ábra: Autospektrum számítása, megjelenítése, alapfrekvencia keresése, irányok összehasonlítása

Az alapfrekvencia keresési módszer a jel elemzését követően megjeleníti a beadott keresési intervallumot, valamint az abban található, legnagyobb amplitúdójú tűskét, amely az hajtásrendszer alapfrekvenciájának felel meg. Ha az alapfrekvencia értéke az ábrán jelölt zöld tartományban helyezkedik el, akkor elegendő tesz a minősítési kritériumnak.

A módszer VI-a: Alapfrekvencia.VI



26. ábra: Alapfrekvencia keresés

AS maszkolás

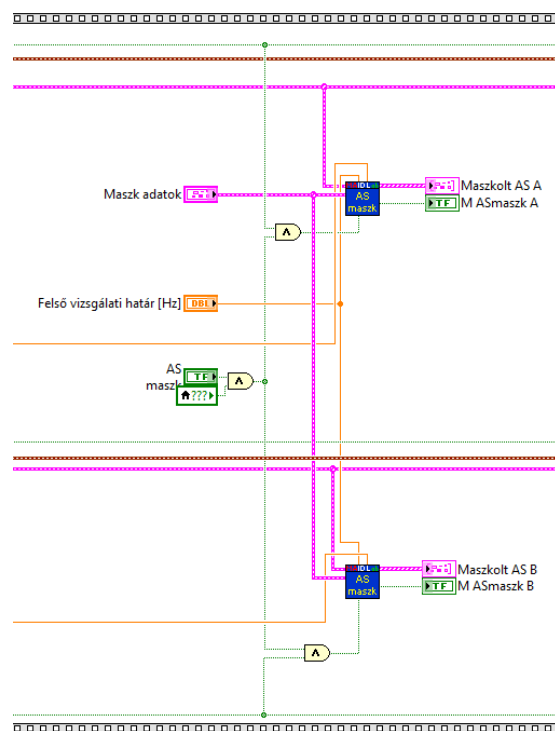
A módszer a készített autospektrum függvényre egy bemenetként megadott maszkot illeszt, amelynek segítségével megállapítható, hogy a spektrum mely pontjai tartózkodnak ezen maszkon kívül. Ezt a maszkot egy másik alprogram felhasználásával hozhatjuk létre.

Ebben lehetőség van a burkoló maszk automatikus generálására, valamint manuális, táblázatos koordináta-megadásra és a pontok grafikonon való megjelölésére is. A grafikonos megjelenítés képes megjeleníteni a szerkesztett maszk hátterében több autospektrum görbét is, melyeket úgy torzít, hogy alapfrekvenciájuk a megadott helyre kerüljön. Egy mappa összes „.wav” fájlját is be lehet tölteni egyszerre. Ekkor egy kapcsolóval választható, hogy az autospektrumokat külön-külön akarjuk-e kirajzoltatni, vagy szeretnénk egy olyan görbét létrehozni, amely pontjainak értékét mindig az az időjel határozza meg, mely autospektrumának adott helyen vett értéke maximális.

A maszk pontsorát a program automatikusan az autospektrumból megállapítható alapfrekvenciához illeszti a dinamikusabb kiértékelhetőség céljából. A minősítő kimeneten "true" értéket ad, ha az autospektrum minden pontja a megadott maszk alatt található.

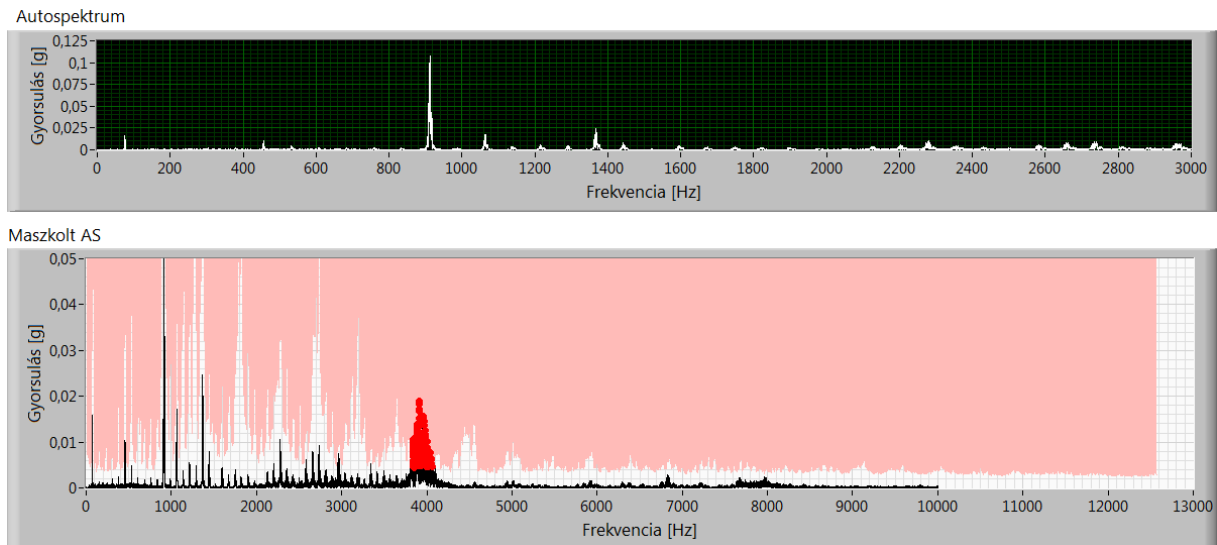
Amennyiben a minősítés során maszkoljuk a spektrumot, az alapfrekvencia pontos megállapítása a maszk illesztése szempontjából rendkívül fontos. Az alapfrekvencia megállapítását, ha csak kisfrekvenciás tartomány alapján végezzük, az ott keletkező kis értékű hiba a maszk illesztése esetén, magas frekvenciákon önmaga sokszorosát fogja eredményezni, ami hibás minősítést produkál.

A módszer VI-a: AS-maszk.VI, Maszk-szerkesztő.VI (utóbbin belül Alapfrekvencia.VI, Idő-AS.VI, Időjel vágása.VI, Listbox.VI, mappa-lista.VI, Normalizációs korrekció.VI)



27. ábra: Autospektrum maszkolás alapján történő minősítés

Az alábbi grafikonon láthatjuk, hogy a vizsgált jel nem illeszkedik teljesen az autospektrum maszkba, vannak azon túllépő frekvenciátüskéi, melyek piros jelzést kaptak.



28. ábra: AS maszkolási eljárás

RMS, RMS-arány, RMS(t) függvények

Az RMS függvény nem más, mint az autospektrum függvény frekvencia szerinti integrált értéke. Így egy integrálási folyamatot valósítottunk meg LabVIEW környezetben, ami nem más, mint az adatsor értékeinek (tömbből kiolvasva) „df” frekvenciával való szorzása, majd összeadása. Az RMS értékeket megadott frekvenciaintervallumra vonatkozóan számíthatjuk az alábbi egyenlet segítségével

$$RMS = \int_0^{Inf} APSD(\omega) d(\omega) = \int_{-Inf}^{Inf} f^2(t) dt$$

7. egyenlet: RMS számítása¹²

Mint az az egyenletből is látszik, elméletben az RMS a frekvenciafüggvény teljes (végtelenben vett) integrálja. Tekintve, hogy bennünket elsősorban a hallható tartományokon belüli vizsgálat érint, az integrálási felső frekvenciahatárt (nem végtelen „érték”) paraméteresen adhatjuk meg.

Ezzel hasonló elvű az RMS-arány képzés, amely annyiban tér el az előbbi módszertől, hogy a frekvenciaintervallumot egy osztási frekvenciaértékkel alsó és felső

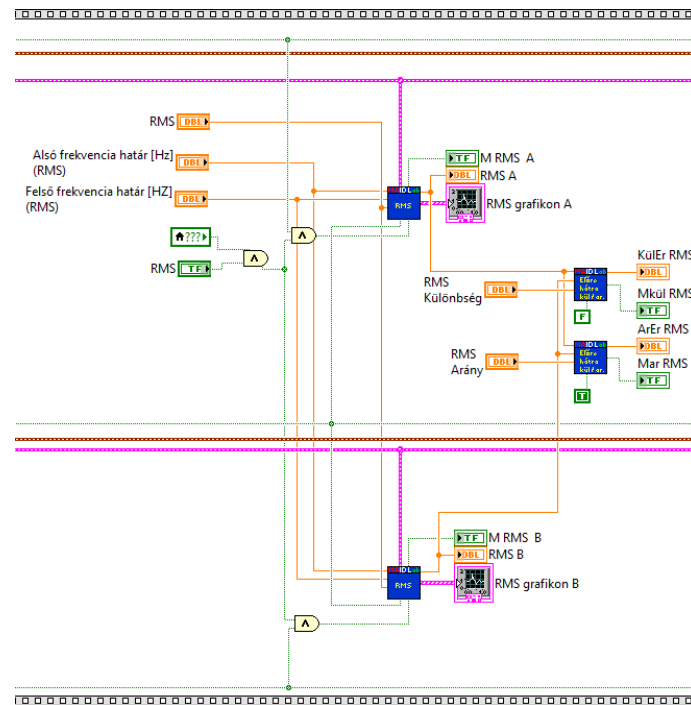
¹² (Dr. Pór, G. (2005). *Modern műszaki diagnosztika*. Főiskolai és egyetemi jegyzetanyag.)

részintervallumokra bontjuk, majd képzünk egy viszonyszámot a felső frekvencia tartomány RMS-ét elosztva az alsó tartományával.

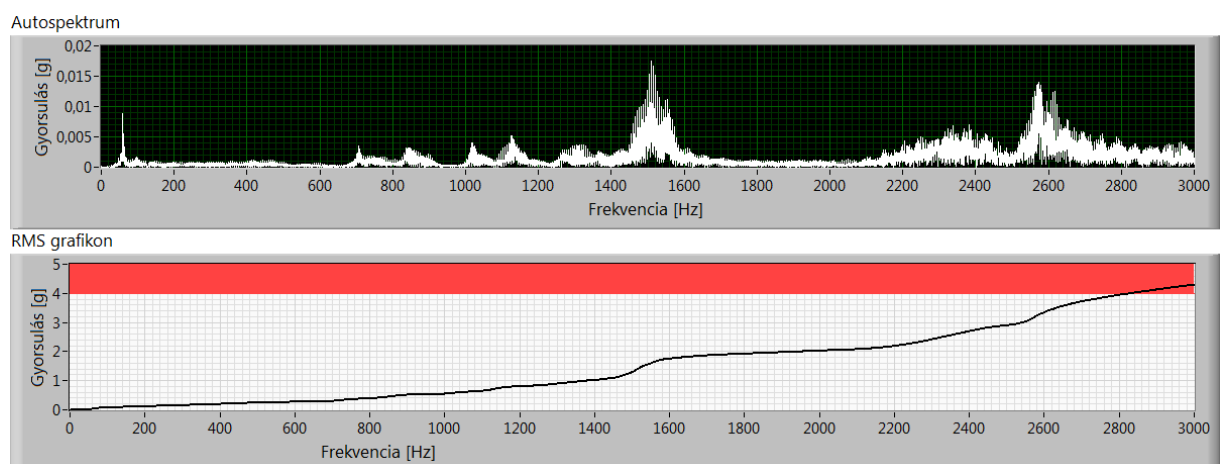
A harmadik RMS módszer egy ablakolós módszer. Itt az időjelet beadva egy integrált vágási, Autospektrum képzési és RMS képzési művelet hajtódik végre, minden egyes ciklusban. A subVI belső ciklusának lefutási száma attól függ, hogy az adott időjelből milyen hosszú részeket vágunk ki, valamint attól, hogy a vizsgálandó jel ablakát ciklusonként mennyivel csúsztatjuk arrébb. Lehetőség nyílik a bemenő paraméterek (pl. vizsgálat kezdőpontja, vizsgálat pontja, egyszerre vizsgált jeldarab hossza, ablakozás csúsztatásának mértéke) az adatok száma, valamint idő szerinti (sec) definiálására is. Az időjelből kivágott jel-részletekhez egyesével hozzárendeljük a lekérdezett autospektrum alapján számított RMS értékeiket. A hozzárendelés opcionálisan választható, hogy egy adott ablakolt jeldarab alapján számított értéket a kimenő függvény időtengelyén az alkalmazott ablak kezdeti, középső, vagy végső pontjához rendeljük. Ezt is bemeneti információként tudjuk megválasztani. Amennyiben az ablak csúsztatása során az időjelből a végén maradna vizsgálaton nem átesett rész, akkor az utolsó lefutási ciklusban egy, a jel végső pontjához illesztett ablakkal is lefut a ciklus. Az $RMS(t)$ függvény meghatározását követően lekérdezésre kerül annak maximális értéke, melyet a bemenetként megadott minősítési határhoz hasonlítva kapjuk a jel minősítését. A tiltott tartományok az arányszámítás kivételével mindegyik esetben piros tartománnyal jelentkezik majd a megjelenítés folyamán. $RMS(t)$ -nél az átlag (sárga), valamint a maximális értékeknek (piros) külön minősítési határértéke van.

A 3 RMS számító módszer belső struktúrája, valamint grafikus eredménykijelzése a következő oldalakon találhatóak. Ezek olyan szempontból érdekesek, hogy a műszaki irodalom hasonló ábrázolási módokat nem reprezentál. Az RMS számítások során használt integrálási algoritmus részeredményeit jelenítettük meg a frekvencia függvényében. A kapott görbékre jellemző az autospektrum abszolút értékeiből és az integrálásból adódóan, hogy csak növekedő jelleget mutathatnak. Vizsgálati szempontból elsősorban a görbék végértéke bír jelentős információtartalommal. Továbbá jellemzi őket, hogy ugrás jellegű növekményeket idéz elő a nagy energiatartalmú frekvencia-összetevők mellett. A függvényről leolvasható ezen kívül a teljesítmény-eloszlást jellemző alacsonyabb vagy a magasabb frekvenciatartományok dominanciája.

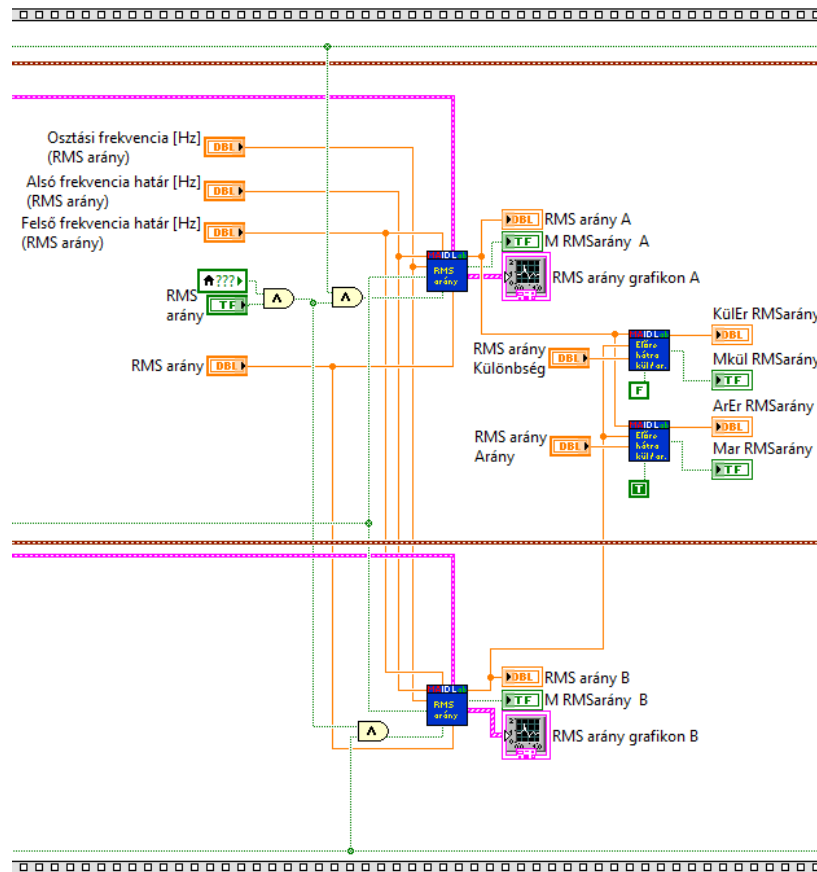
A módszer VI-ai: RMS.VI, RMS-arány.VI, RMS_csúsztatott.VI (utóbbin belül, Időjel vágás.VI, Idő-AS.VI, RMS.VI)



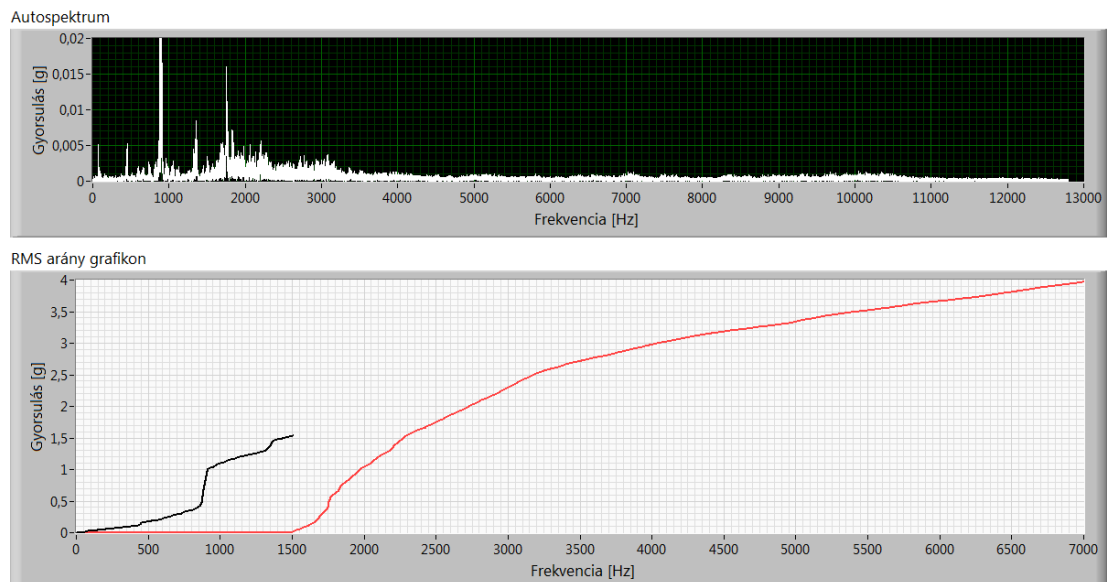
29. ábra: RMS érték számítása irány-összehasonlítással



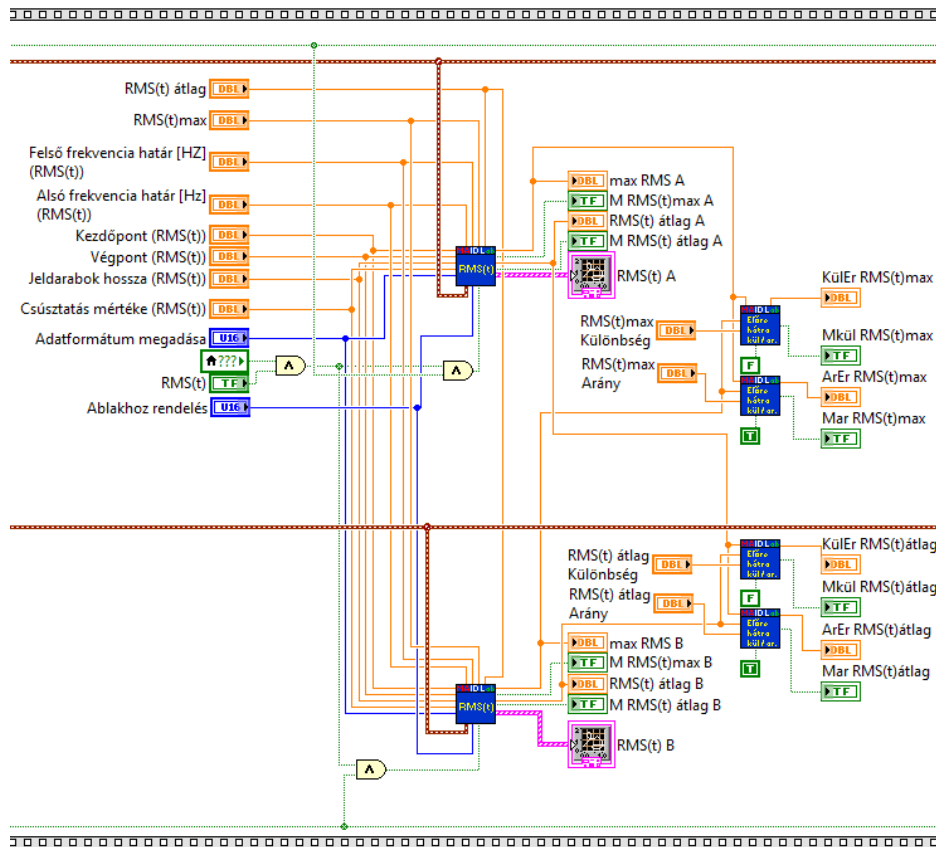
30. ábra: Az RMS-t kiszámító VI megjelenítői



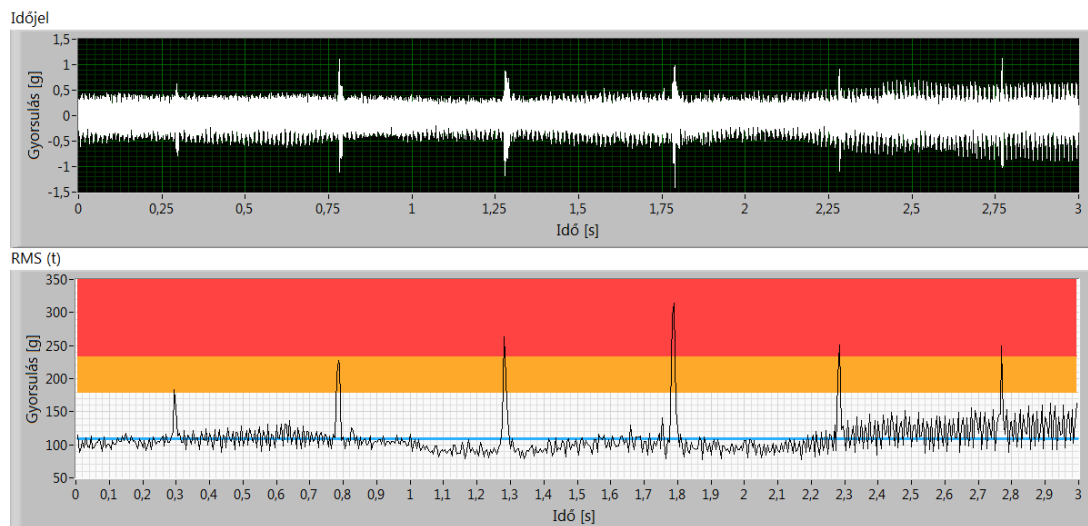
31. ábra: RMS arány számítású és irányok összehasonlítása általi minősítés



32. ábra: Az RMS-arány számító eljárás eredménye



33. ábra: RMS(t) függvény előállítása, minősítése, valamint a különböző irányokra vonatkozó eredmények egymással való összevetése



34. ábra: Az RMS(t) alapú analízis subVI eredménykijelzése

6.4.3. Hajtási irányok összevetése

A motorok és hajtóművek kialakításából kifolyólag a különböző irányú meghajtás következtében eltérő akusztikus és vibrációs jelenségek léphetnek fel. Ezt elsősorban a hajtóműben található mechanikai alkatrészek felület-megmunkálási procedúrája indokolja. Ez elkerülhető lehetne precíziós alkatrészek felhasználásával, azonban ezzel a gyártási költségek nagyságrenddel növekednének.

A minősítési eljárások kialakításában és a paraméterek meghatározásában a szubjektív emberi tapasztalatok figyelembe vételére is nagy hangsúlyt fektettünk. A megrendelő által ismertett negatív felhasználói visszajelzések alapját jórészt az oda- és vissza-irányú mozgatás közben fellépő akusztikai és vibrációs hatások eltérése képi. Ez a jelenség gyártási hibával nem rendelkező termékek esetén is fennállhat, oka a megmunkálásból fakad. A felhasználó ezzel nincs tisztában, így az eltérés számára rendellenes működésre utal.

Az előző pontokban ismertett diagnosztikai eljárások túlnyomó többsége numerikus eredményeket is szolgáltat, melyek egymással való összevetése az imént felvázolt problémára célszerű megoldást szolgáltat.

Az összehasonlítás során a módszereknél praktikus a két irányra vonatkozó eredmények arányának és/vagy különbségének képzése. Különbségképzés esetén mindig a nagyobb értékből vonjuk ki a kisebbet, arányszámításnál szintén a nagyobbat osztjuk le a kisebb értékkel. Az így kapott adatokból egy felső toleranciahatárral való összevetés vonunk le logikai jellegű minősítési konklúziót.

Az irányok összevetésből származó numerikus, valamint a minősítési eredményeket a program egy-egy külön lapon jeleníti meg (59. ábra).

A módszer VI-a: Arány_különbség.VI

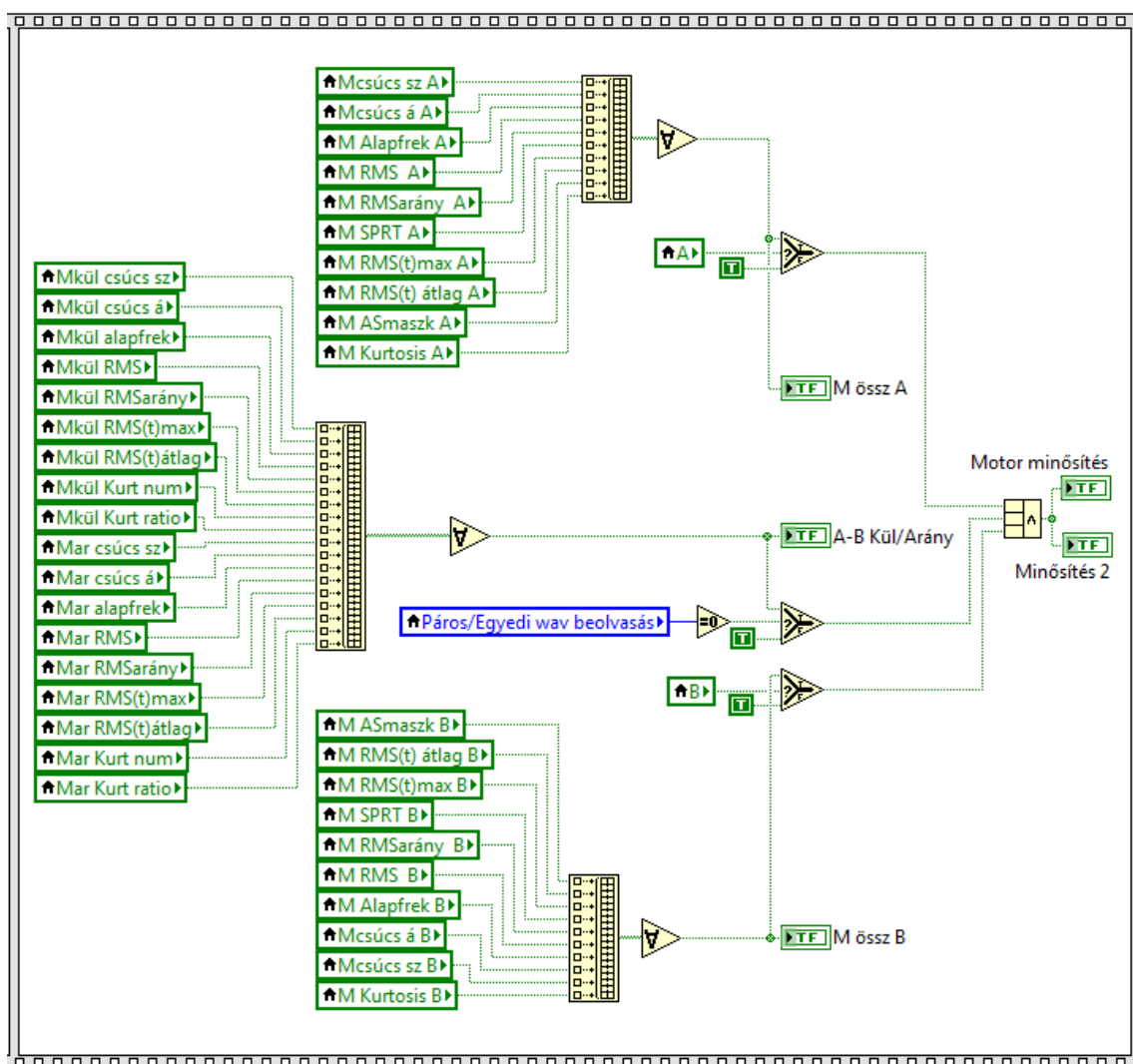
6.5. Minősítés

A bemutatott diagnosztikai eredmények alprogramjai már egy vagy több minősítési részeredményt szolgáltatnak. Ahhoz, hogy teljeskörű és megbízható minősítést tudjunk elvégezni, szükség van ezen eredmények összesítésére.

Az összesítés logikája a fejlesztői és az ipari programváltozatban eltérő:

- Fejlesztői program (35. ábra):
 - Diagnosztikai eljárások önálló minősítése
 - A minősítési paraméter „Inf” értéke esetén az adott részminősítés inaktív.
 - Három minősítési részeredmény (A irány, B irány, A és B irány összehasonlítása – arány, különbség).
 - Egyik irány inaktiválás esetén a különbség és a szóban forgó irány minősítésének figyelmen kívül hagyása.
 - Kétlépcsős minősítés:
 - „Jó” (zöld): Minden minősítési kimenet „Jó” eredményt ad.
 - „Rossz” (piros):
 - Egy diagnosztikai eljárás „Rossz” minősítése esetén az irányra vagy irány-összehasonlításra vonatkozó részeredmény is „Rossz” lesz.
 - A összesített motorminősítési eredmény bármely minősítési kimenet „Rossz” jelzése esetén szintén „Rossz” lesz.
- Ipari (felhasználói) program:
 - Diagnosztikai eljárások önálló minősítése
 - A minősítési paraméter „Inf” értéke esetén az adott részminősítés inaktív (konfigurációs fájlban megadható)
 - Három minősítési részeredmény (A irány, B irány, A és B irány összehasonlítása – arány, különbség).
 - A részminősítések nem inaktiválhatók

- Háromlépcsős minősítési eljárás:
 - „Jó” (zöld): A „Rossz” minősítések száma egy megadott „A” értéket nem halad meg.
 - „Újra” (sárga): A „Rossz” minősítések száma „A” értéket eléri, de egy másik paraméterezhető „F” korlátot nem halad meg. Operátori felülbírálatot vagy új mérést igényel.
 - „Rossz” (piros): A „Rossz” minősítések száma meghaladja „F”-et
 - Az irányok és a termék minősítése eltérő „A” („Ai” ill. „At”) és „F” („Fi” ill. „Ft”) paraméterekkel történik. Így előfordulhat, hogy „Rossz” irányminősítés esetén a termék még „Jó” minősítést kap. Ennek célja az operátor figyelmének felkeltése.



35. ábra: Az összesített minősítési logika

6.6. Diagnosztikai eredmények reprezentálása

Annak érdekében, hogy a szoftveres elemzést követően a kapott eredmények nyomon követhetők, rendszerezhetők és akár további analízisek végrehajtására is alkalmasak legyenek, szükséges az adatok tárolása.

Több fájlformátum is alkalmas lehet mérési adatok, numerikus, vagy logikai jellegű eredmények, esetleg képi információk tárolására. A LabVIEW programozói háttér kínál kész részmodulokat, melyekkel ezen adatok mindegyikét a kívánt formában kimenthetjük

A következő pontok ezeket a mentési metódusokat mutatják be attól függően, hogy az exportálni kívánt adat milyen jellegű.

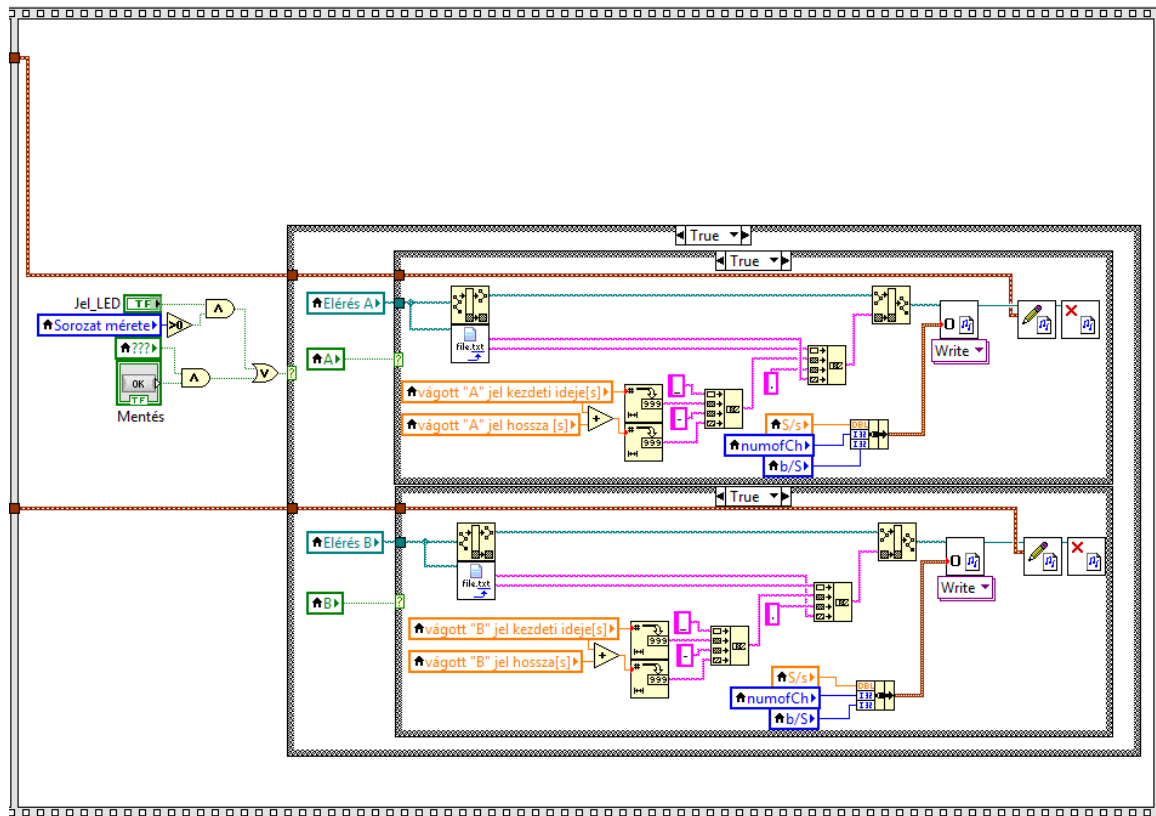
6.6.1. A vizsgált jelek mentése

A mérési fájlból kiolvasott és denormalizált időjelből a diagnosztikai eljárások futtatása előtt kivágjuk a vizsgálat szempontjából lényeges jelrészletet. A vizsgálatot követően szükséges lehet, ennek a módosított jeldarabnak a tárolására. A fejlesztői program erre biztosít lehetőséget, és igény szerint „.wav” formátumban menti egy normalizációs folyamatot követően az aktuálisan vizsgált jelet. Ez később újra megnyitható az elemzőszoftveren keresztül, újabb elemzéseknek vethetjük alá, de bármilyen audio-lejátszó programmal is megnyitható, valamint meghallgatható.

A mentési műveletért felelős programrészletet mutatja be a 36. ábra.

A mentésnek manuális, illetve automatikus beolvasás esetén külön-külön aktiváló kapcsolója van. Sorozatbeolvasás esetén a „Jelek mentése” mellett található kapcsoló „ON”-ra (zöld) állításával van lehetőség az összes beolvasott, vágott jel mentésére. Egyedi/páros beolvasás alkalmával a „Jelek mentése” gombra kell kattintatni (45. ábra).

A program először normalizálja a jeleket, majd „.wav” kiterjesztéssel a létrehozott fájlokat ugyanabban az elérési mappában helyezi el, ahonnan az eredeti jelet beolvasta. A megkülönböztethetőség végett az újonnan mentésre került fájl azonosítója kiegészül a felhasznált vágási paraméterekkel.

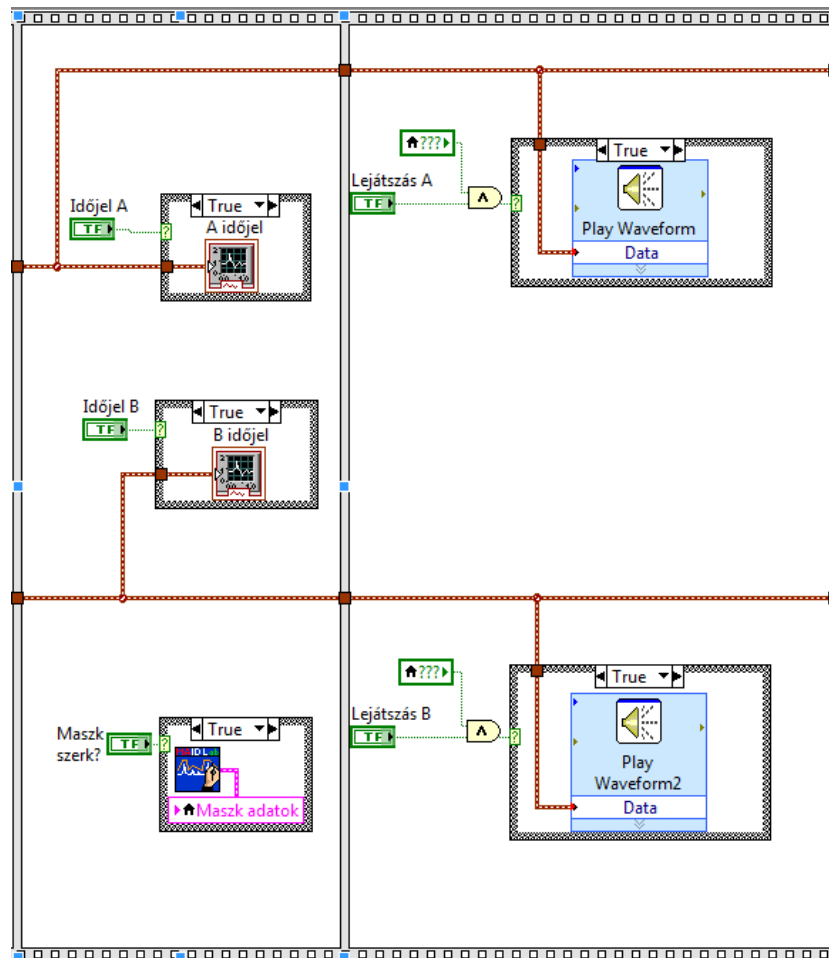


36. ábra: Vizsgált időjelek mentése külön „.wav” fájlba

6.6.2. A kondicionált jelek lejátszása

Az analízis során nagy segítséget nyújthat, ha a beolvasott jelet le is lehet játszani. Így lehetővé válik, hogy a minősítési módszerek által detektált rendellenességek jelenlétéről megbizonyosodjunk, vagy azokat beazonosítsuk. Továbbá a szoftveres analízis és a hallás utáni párhuzamos megfigyelések által lehet különböző rendszerezéseket elvégezni. Pl. a „.wav” fájlban hallható nyikorgás az autospektrumban 3-4 kHz körüli „szőrösödéssel jár”, kerregő hangok pedig a kiváltó alkatrész forgási frekvenciájának bizonyos számú többszörösén (pl. fogaskerék fogszáma) jelentkeznek a spektrumban, illetve rendszerint nagymértékű szőrösödést produkálnak magasabb, akár a nem hallható tartományban is.

A hanglejátszást egy beépített express VI-al oldottuk meg (37. ábra), aktiválni a „Play A” vagy a „Play B” gombokkal (45. ábra) lehet a program főoldalán.



37. ábra: Időjel megjelenítésének, lejátszásának programrésze, illetve a maszkszerkesztő alprogram igény szerinti meghívása

6.6.3. Paraméterek beolvasása, mentése

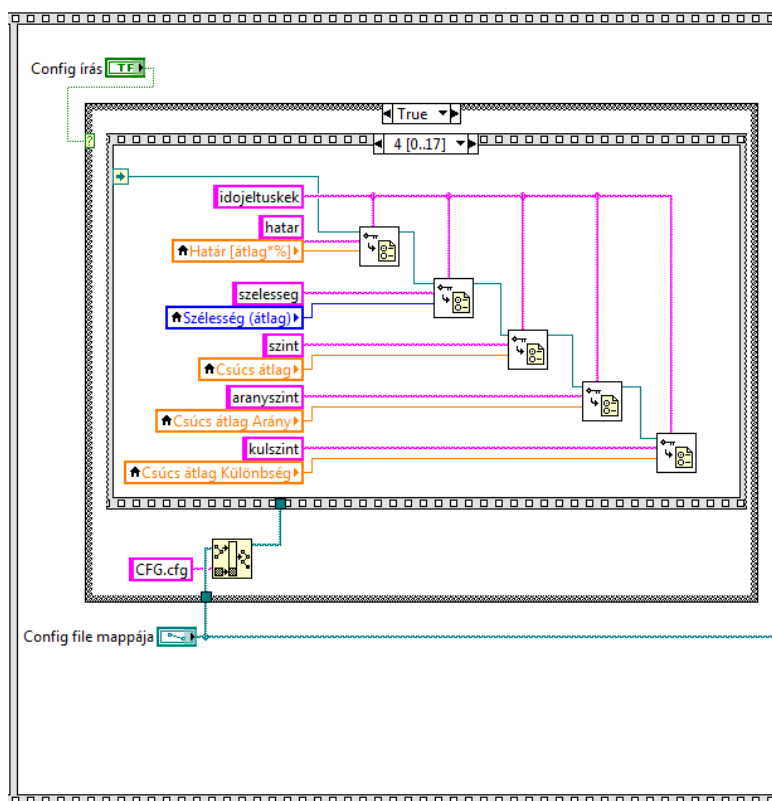
Egy egyszerűen áttekinthető fájlformátumot választottunk a paraméterek tárolási céljára. A LabVIEW egy külön subVI csomaggal rendelkezik az ún. config fájlokkal való műveletek végrehajtásához. A config fájl nem más, mint egy „.cfg” kiterjesztésű szöveges dokumentum, ám abba a VI-ok segítségével strukturáltan lehet adatokat beírni, illetve azokat kiolvasni, módosítani, vagy törölni.

A config fájl felépítése hierarchikus, ún. „section”-ökre osztható (továbbiakban szekció). Ezen szekciókon belül „key”-nek nevezett adatok helyezkednek el (továbbiakban kulcs). A fájl szekciókra osztásának a lényege, hogy ez által rendszerezni lehet a beírt kulcsokat funkciójuk, vagy típusuk szerint.

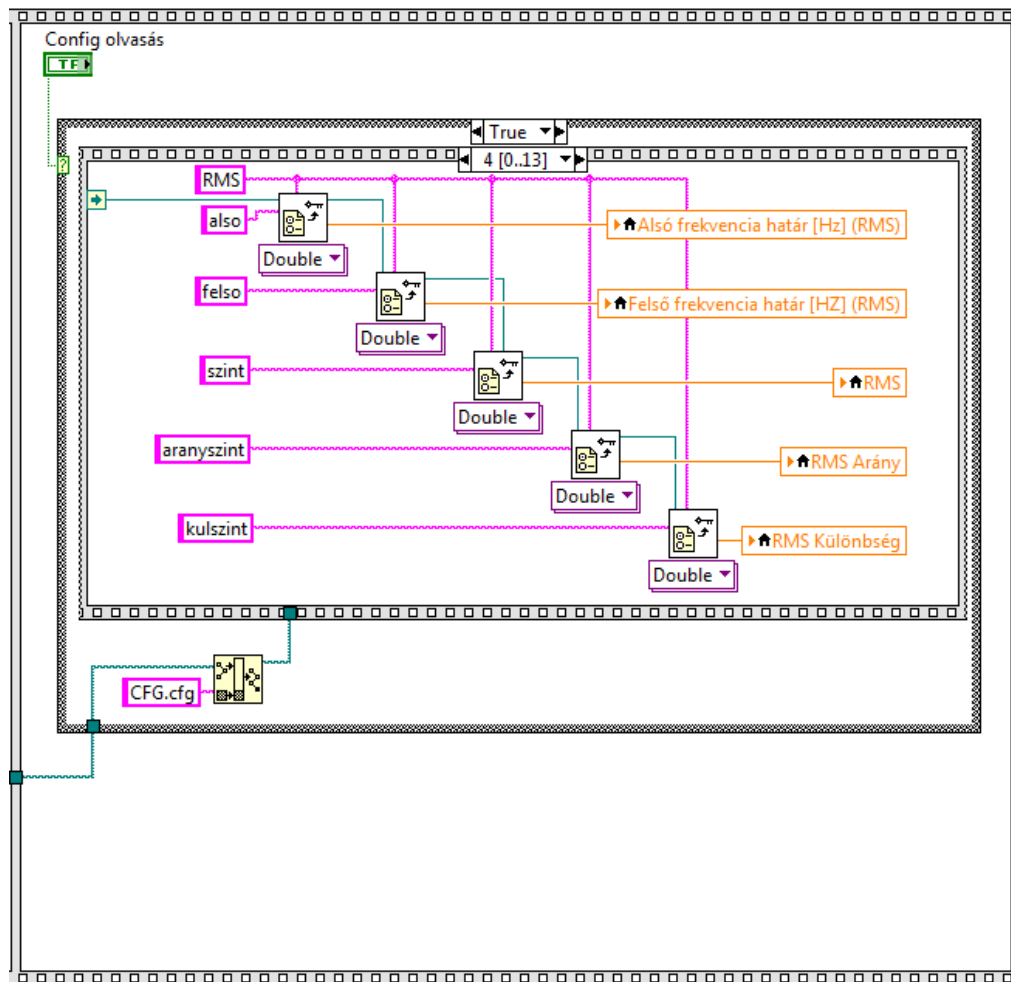
A config fájlban belül az adatokat szabványos struktúrában tároljuk, az adatok hierarchiáját jelző karakterek közbeiktatásával. A fájlban belüli fő szekciók nevei kapcsos zárójelben szerepelnek ([...]), míg a hozzá tartozó kulcsok a szekciónév alatt, soronként. Minden kulcshoz tartozik egy paraméter, amely lehet numerikus (DBL, I32, U32 típusok), szöveges, logikai igaz/hamis, vagy fájllelési útvonal. Minden kulcs új sorba íródik, a kulcsnév után egy „=”-t követően írjuk be az adatot. A szöveges adatok aposztrófok között („...”) kerülnek rögzítésre. Egy adott, lezárt szekciót egy üres sor követ, majd a következő szekció.

A config fájlba mentés az tárolási műveletek közül az egyik legfontosabb, ugyanis a kimentett fájlba írt paramétereket tudja a gyártósori (felhasználói) minősítő szoftver felhasználni. Fontos, hogy a két program (felhasználó és fejlesztői) konfigurációs fájl kezelése azonos legyen. A konfigurációs fájlokat verziószámmal látjuk el. A fejlesztés során ezzel biztosítottuk, hogy a kompatibilitás hiányában a szoftver a felhasználót értesíti, a vizsgálatot pedig nem végzi el.

A kiírási funkció (38. ábra) mellett létrehoztuk a beolvasási algoritmust is (39. ábra), amely az ipari szoftver is alkalmaz.



38. ábra: Paraméterek mentése config fájlba



39. ábra: Config fájl beolvasás

A létrehozott „.cfg” fájl tartalmazza a módszerek minden olyan beállítását, amely szükséges egy minősítés elvégzéséhez. A konfiguráción külön-külön szekciók tartoznak a verzióinformációkhoz, a mérési paraméterekhez, a minősítési információkhoz, valamint az egyes diagnosztikai eljárásokhoz.

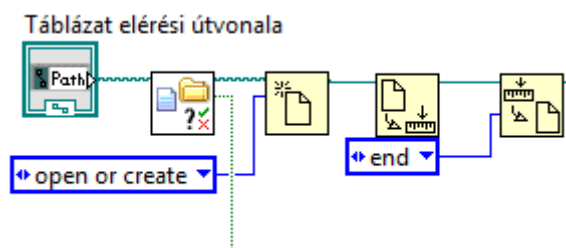
Az autospektrum maszkolási módszer számára előállított maszk pontjai egy külön, [profil] szekcióban kaptak helyet. A pontsor fájlba írásához egy külön szubrutint hoztunk létre. A profilt X (frekvencia) és Y (amplitúdó) koordináták írják le. Az elkészített ciklus a maszk pontjait sorra veszi, és azok X és Y koordinátáit rögzíti a szekció következő két kulcsában. A kulcsok nevei „X”, illetve „Y”, az aktuális pont sorszámaival kiegészítve. A beolvasási programrészletnél is hasonló eljárást végzünk. Egy ciklus fut le, mely sorról sorra halad a szekcióban, és ellenőrzi, hogy X, vagy Y koordinátát olvas-e be. A beolvasott számszerű értékeket adott ponthoz tartozó X-Y párokként továbbítjuk, a ciklus lefutása

végére egy tömb épül fel, tartalmazva a teljes maszk pontsorának adatait. Megjegyzendő, hogy a maszk létrehozásánál ügyelni kell arra, hogy ne legyen túl nagy felbontású, azaz mellőzni kell a sok pontból összeállított maszk alkalmazását (max. kb. 1000 pont). Ez a beolvasási, kiírási és a minősítési folyamat végrehajtási idejére is negatív hatással van.

A konfigurációs fájlműveletek a főoldalon található „Config-ból olvasás INAKTÍV”, valamint a „Config-ba írás INAKTÍV” gombokkal kezdeményezhetők. A folyamat elindítása után a gombok zölddé változnak és felirattal jelzik az éppen zajló folyamatot. A művelet befejeztével a gombok visszaállnak alapállapotukba.

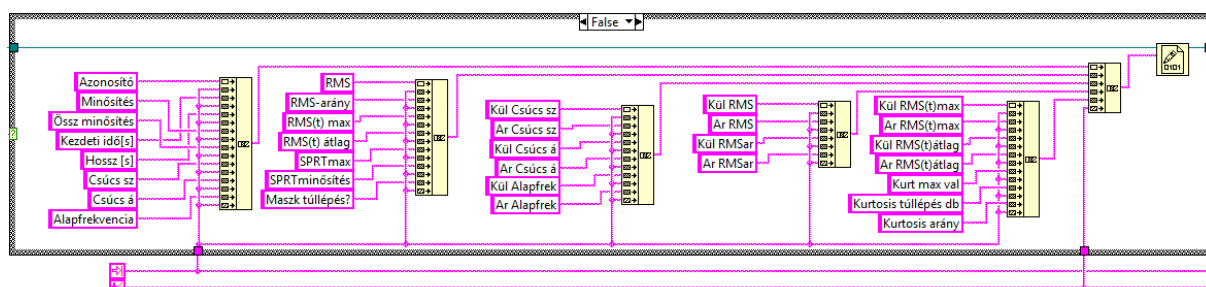
6.6.4. Diagnosztikai és minősítési eredmények mentése

Egy kiterjedt mérési sorozat nagyszámú eleme esetén szükség van egy olyan tárolási módra, mely lehetővé teszi az összes eredmény rendszerezett, átlátható tárolását. Ez a mentést követően segítséget nyújt a paraméterek finomhangolásában, valamint az elvégzett vizsgálatok nyomon követhetőségét is elősegíti. A LabVIEW számos megoldást kínál táblázatos formába történő mentésre. Ehhez az eredményexportáláshoz úgy döntöttünk, hogy megfelelő alternatíva egy „TSV” (Tab-Separated Values) formátumú adatsor létrehozása és feltöltése (40. ábra). A fájl mentési mappáját a felhasználó adhatja meg, kiterjesztését „.xls”-nek deklaráljuk. A TSV formátum egyik nagy előnye, hogy Excel-lel kompatibilis, a „.xls” kiterjesztéssel pedig elérjük, hogy megnyitásakor alapértelmezettként egy Excel táblázatban nyíljon meg.

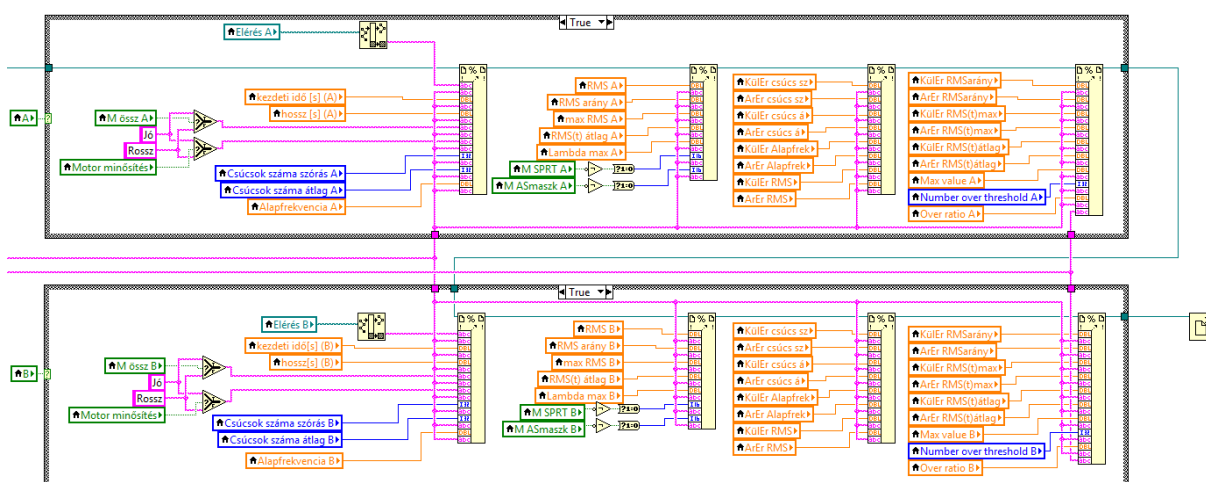


40. ábra: Táblázat létrehozása

A táblázat felső sorában, egy fejléctet hozunk létre (41. ábra), elemei pl. a motorazonosító, vágási paraméterek, minősítési eredmények, diagnosztikai eljárások numerikus eredményei. Az alsóbb sorokban a fejlécnek megfelelő információk kerülnek rögzítésre egy-egy vizsgált termék esetén (42. ábra).



41. ábra: A táblázat fejlécének címzése



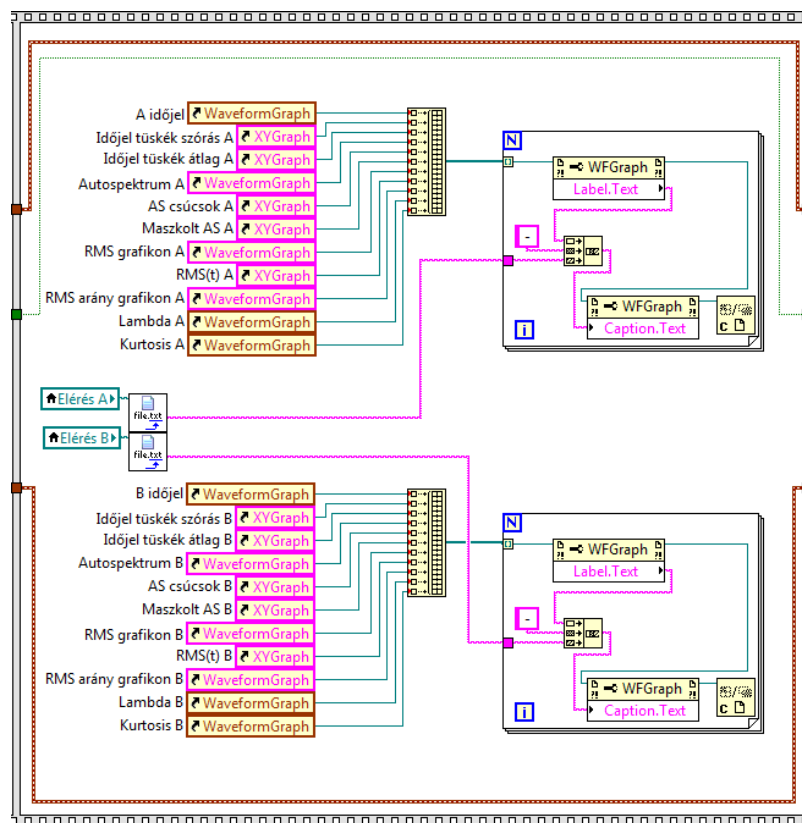
42. ábra: Egy motorhoz tartozó adatok táblázatba írása, majd referencia bezárása

A táblázat létrehozására egyedi beolvasás esetén az „Adatok mentése” gombbal, sorozatbeolvasásnál az iménti gomb mellett található kapcsoló aktív (zöld) állapotába való állításával van lehetőség (45. ábra). A program minden egyes beolvasott jel diagnosztikai adatait a táblázat egy újabb sorába menti.

6.6.5. Grafikonok mentése

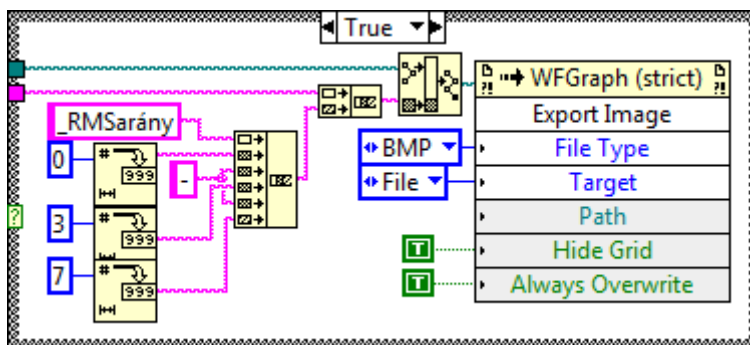
Az elemző módszerek által létrehozott grafikus ábrák és függvények mentésére is lehet szükségünk, ha sorozatanalízist végzünk, vagy például, ha egy-egy grafikont szeretnénk dokumentálás céljából eltárolni. A LabVIEW kész megoldásokat kínál képi információk mentésére is, többek között „.jpeg”, „.png”, vagy „.bmp” formátummal.

A grafikonokat a program beolvasási szakasza után feliratozzuk, diagramcímeknek a diagram megnevezését adjuk a beolvasott fájl megnevezésével összefűzve (43. ábra).



43. ábra: A megjelenítő grafikonok címzése

A mentési fájlnevet úgy alakítjuk ki, hogy az eredeti, beolvasott „.wav” nevét egészítjük ki a grafikonhoz tartozó diagnosztikai módszer megnevezésével, fő paramétereivel (44. ábra).



44. ábra: Kép kimentése a járulékos információk fájlnevbe írásával

A kimentett képeknek nagy hasznát vesszük dokumentációs, vagy archiválási célokra kívül a hajtóművek előzetes vizsgálatok is, amikor a rossz termékek autospektrumaiban keressünk deviációkat, és a jókkal szeretnénk összehasonlítani.

Az ábrák mentését, a táblázatba mentéshez hasonlóan lehet a kezelői felületen elvégezni. Egyedi beolvasás esetén a „Képek mentése” gombra kattintva, sorozatbeolvasásnál a mellette található kapcsoló bekapcsolt állapotba való állításával (45. ábra).

6.7. Az elkészült diagnosztikai és minősítő program grafikus felhasználói felülete

A minősítő szoftver felhasználói felülete két fő részre bontható. A felső szekció (45. ábra) tartalmazza (balról-jobbra):

- Az irányokhoz tartozó vágási algoritmust engedélyező gombokat (kikapcsolt állapotában a teljes időjelet analizáljuk, ilyenkor a vágási paramétereket mutató elemek nem jelennek meg a felületen).
- A vágási paraméterek kontroll és indikátor elemei (amennyiben a vágási paraméterek alapján a művelet elvégezhető az indikátor elemen a vágott hossz jelenik meg).
- Az időjelek megjelenítését aktiváló kapcsolók.

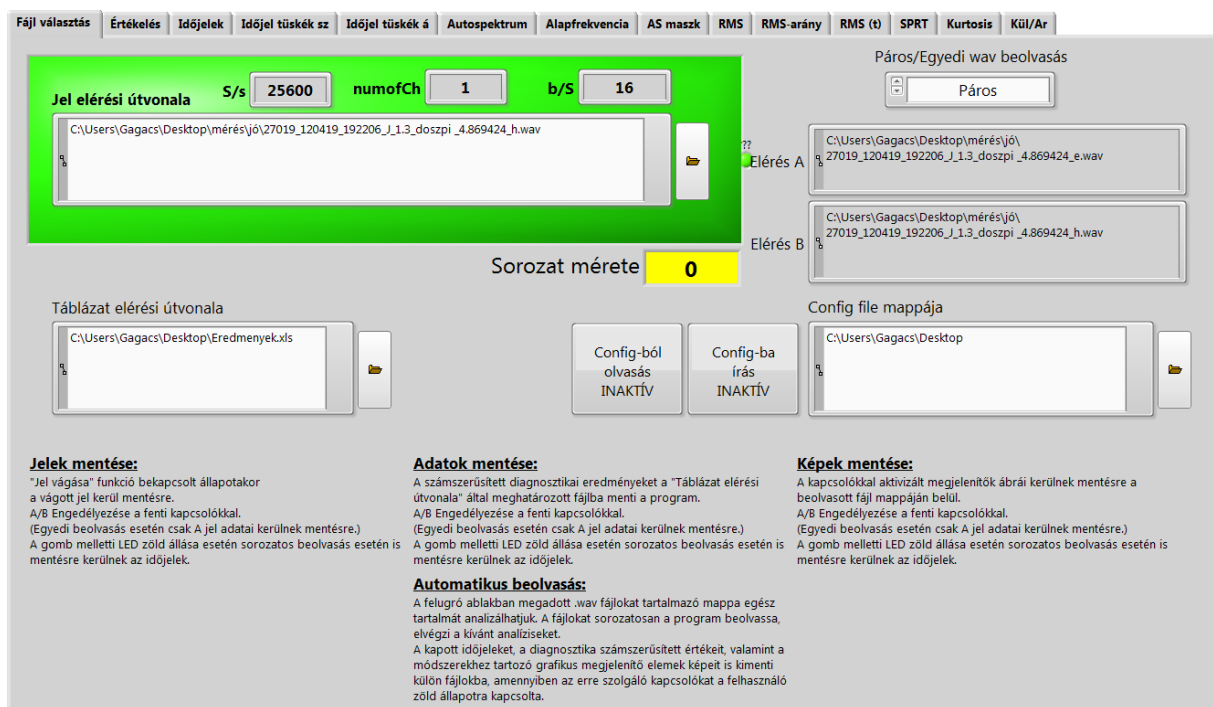
- A minősítési eljárásokat aktiváló kapcsolók (az autospektrum alapú minősítések az „Autospektrum” gomb aktív állapotát igénylik, hiszen inaktív állapotban ezek a módszerek nem szolgáltatnak eredményt).
- A jelek lejátszását elindító kapcsolók.
- Az irányokhoz tartozó minősítést engedélyező kapcsolót (ennek kikapcsolt állapota a jel adott irányához tartozó minősítési szubrutinok működését is letiltja, az indikátor elemek alapállapotba állnak).
- A sorozat beolvasás mappaválasztó ablakának előhívó gombja (a megjelenő ablakban a mappa kiválasztását követően kilistázódnak a „.wav” fájlok, majd a „Bevitel” gombra kattintva indítható el a folyamat). Sorozatbeolvasás közben a főoldalon megjelenik a hátralévő minősítendő fájlok száma.
- A sorozatbeolvasás során végrehajtandó adatmentési opciókat aktiváló kezelőelemek.
- Manuális beolvasás során elvégezhető mentési műveleteket aktiváló gombok.
- A normalizációs korrekciót engedélyező gomb.
- A vizsgálat leállításának gombja.

A második (alsó) részen kaptak helyet külön füleken a beolvasási, konfigurációs fájl kezelési, minősítési és a paraméterezési elemek (46., ... ,59. ábra):

- Fájl választása: Fájl elérési útvonalak, Páros/Egyedi beolvasás választó, Konfigurációs műveletek gombjai, a beolvasott fájl néhány alapvető információját megjelenítő elem, teljesség igénye nélküli használati utasítás.
- Értékelések: A minősítési határértékek és eredmények.
- Diagnosztikai módszerek lapjai: A eljárások beállítási paramétereit, valamint az analízis eredményeinek grafikus és numerikus megjelenítései.
- Az AS-maszk fölön, a „Maszk szerk.?” gombra kattintva hívható meg a profil előállító szubrutin.
- Irány-összehasonlítási eredmények a számított, valamint arányok elszeparált indikálásával.



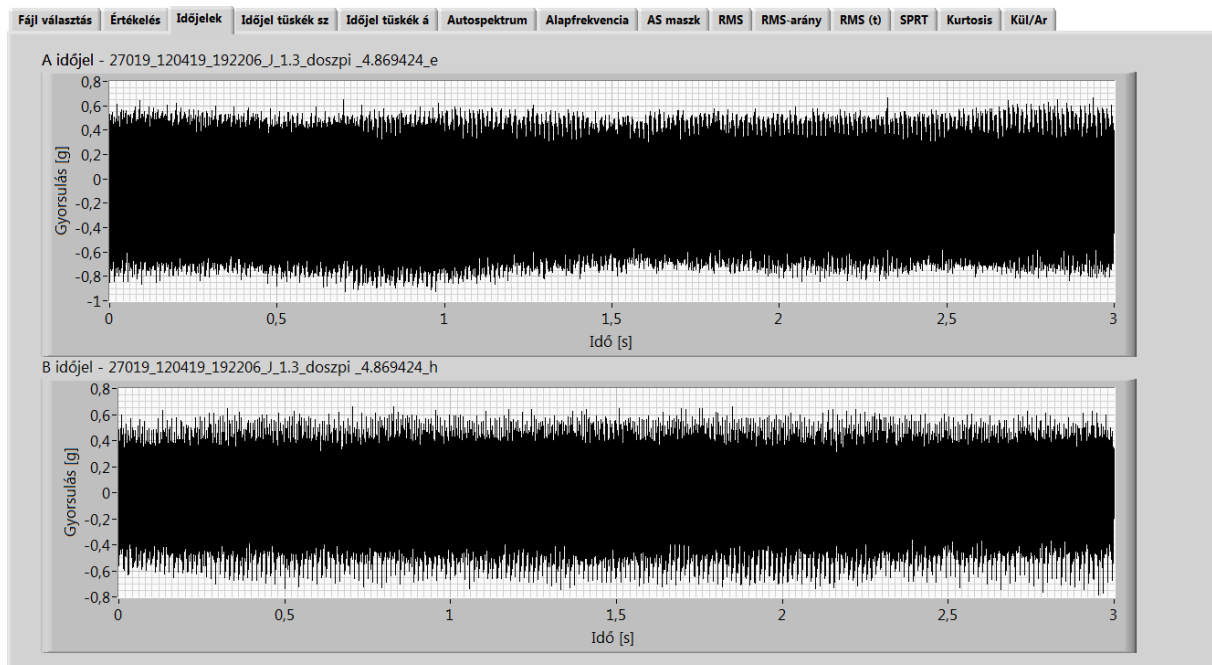
45. ábra: A program jelaktíváló, jelkondicionáló, módszerkiválasztó és mentéskonfiguráló felülete



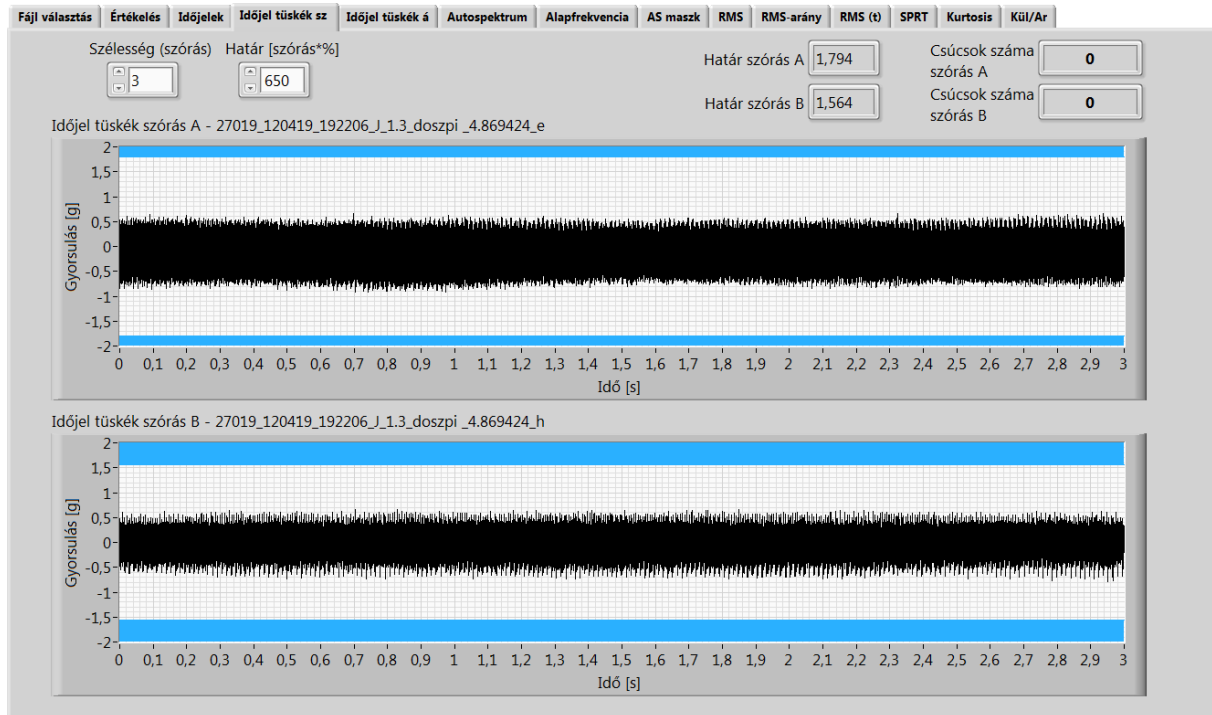
46. ábra: A program nyitóablaka az alapbeállításokkal



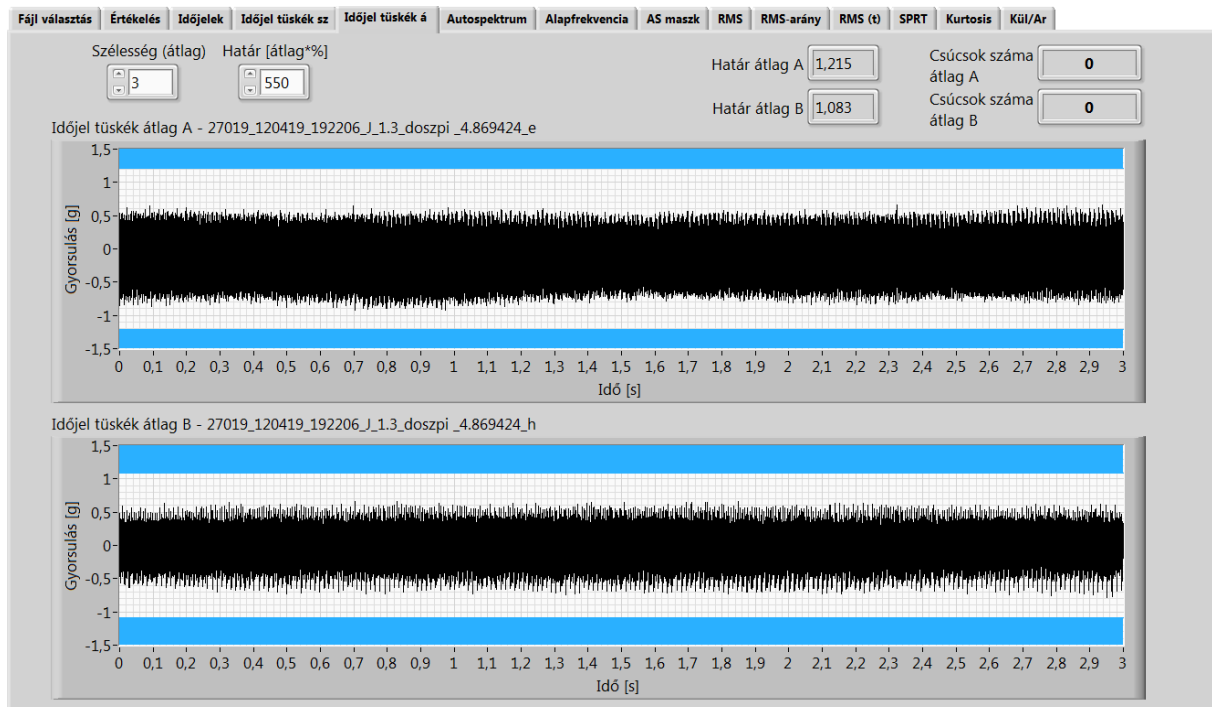
47. ábra: Minősítési eredmény(ek) megjelenítése



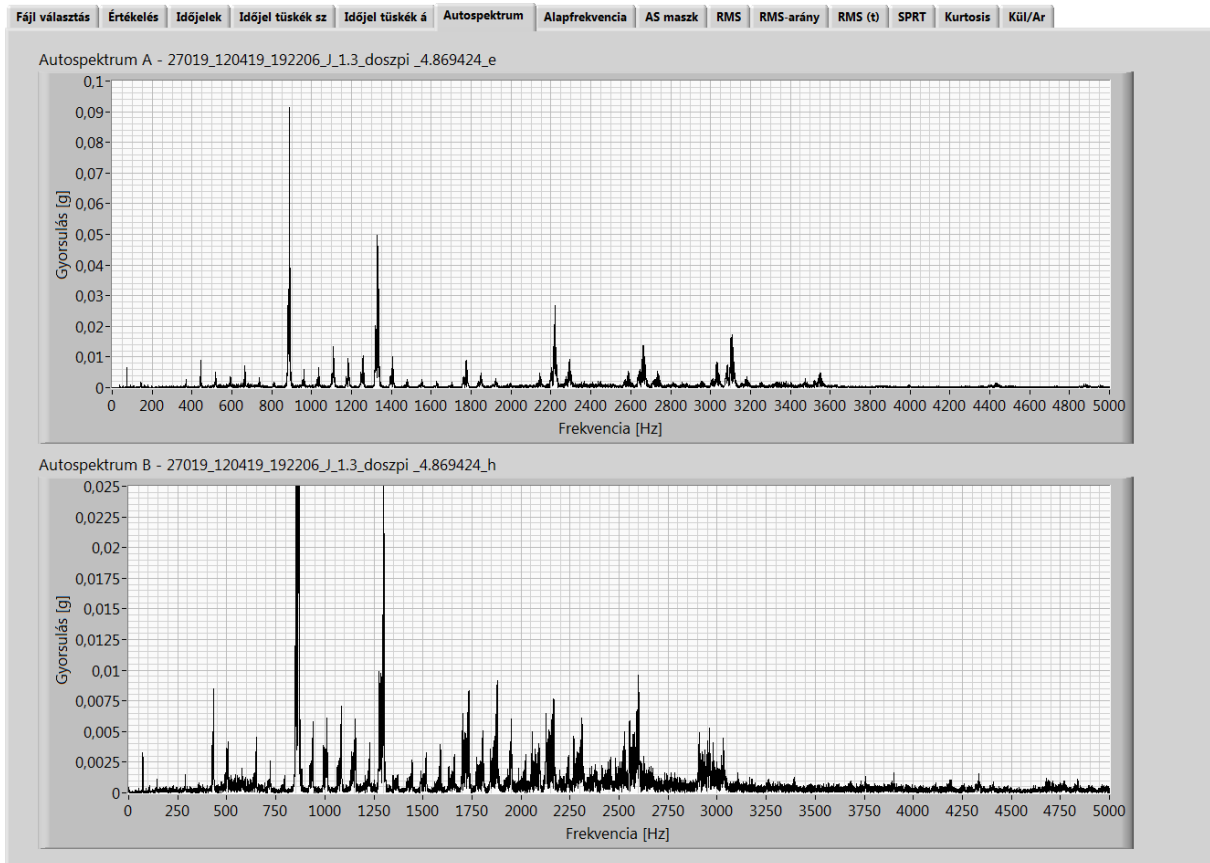
48. ábra: Az időjelek megjelenítése



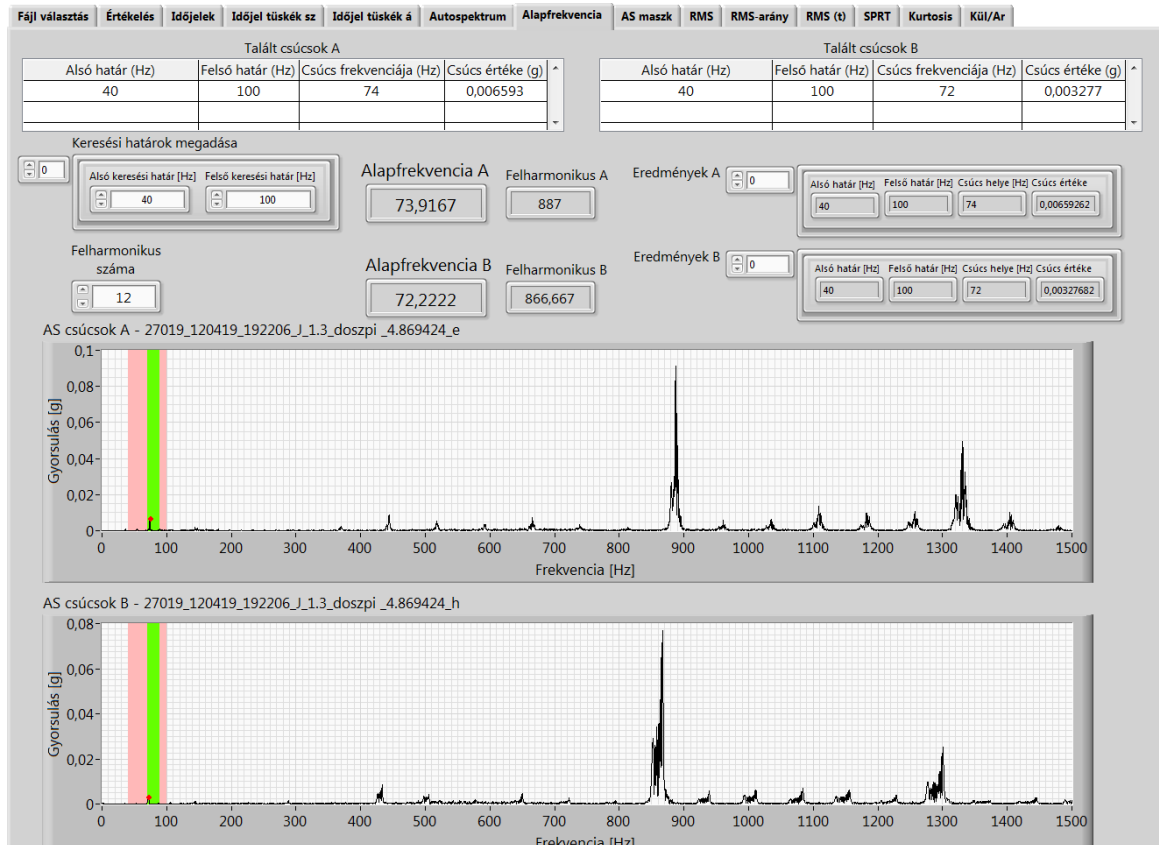
49. ábra: Időjel szórás alapú elemzés



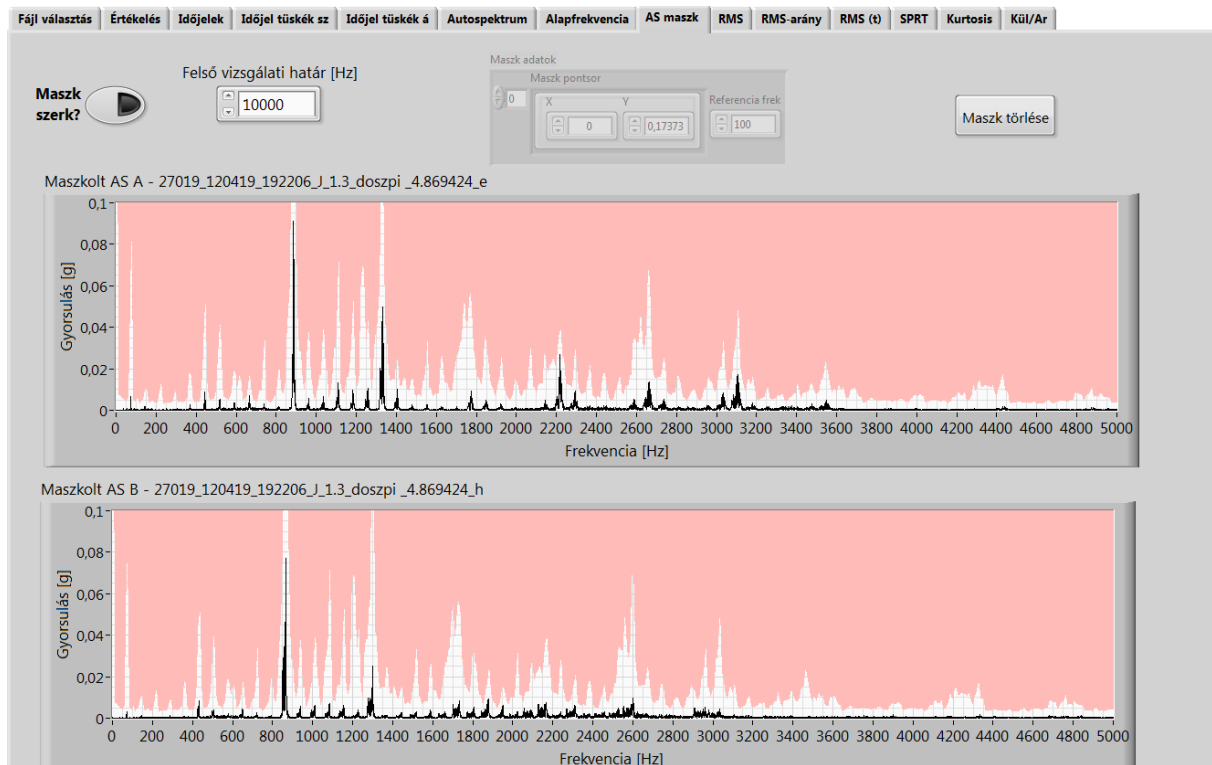
50. ábra: Időjel átlag alapú elemzés



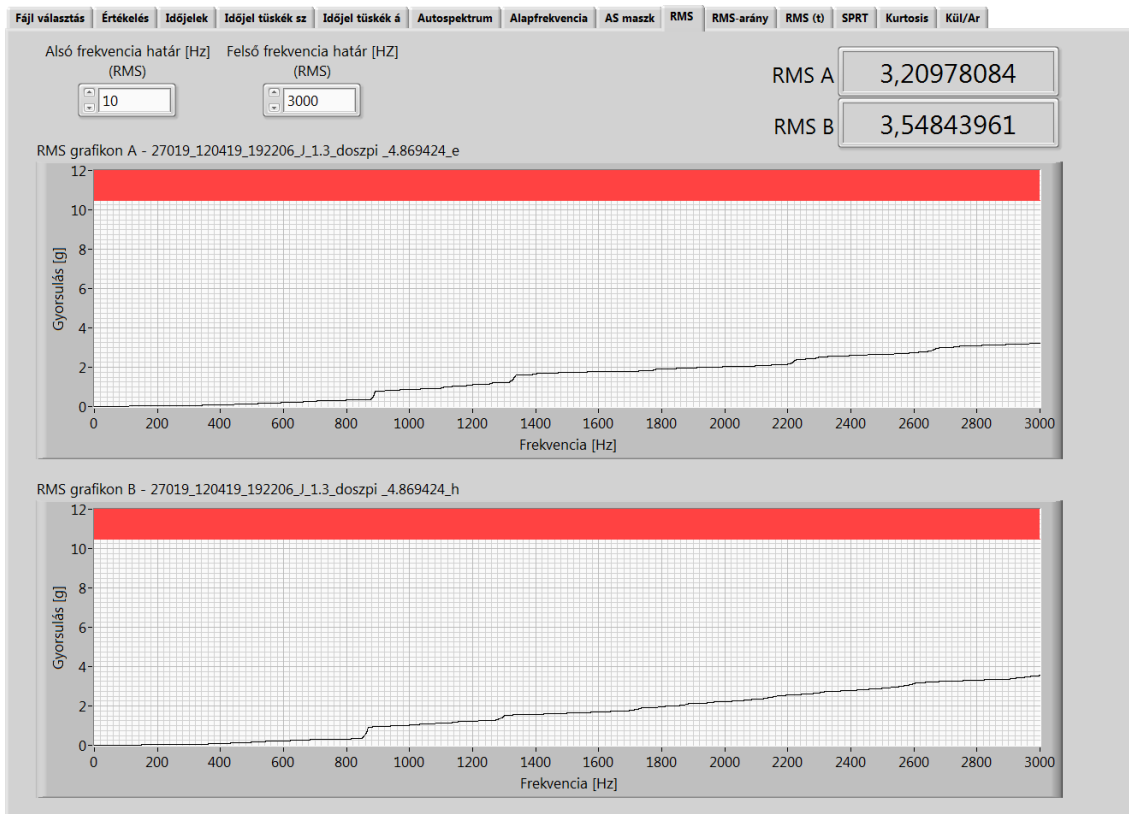
51. ábra: A mért jelek frekvenciafüggvénye



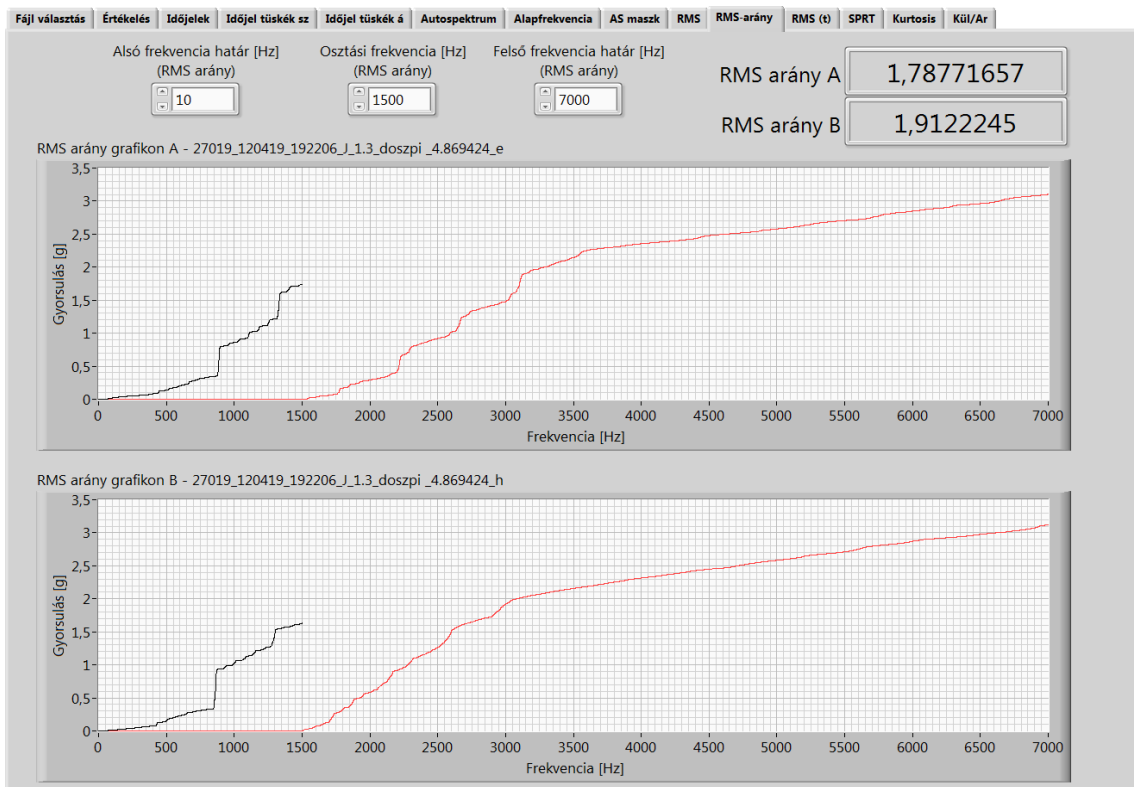
52. ábra: Alapfrekvencia keresés



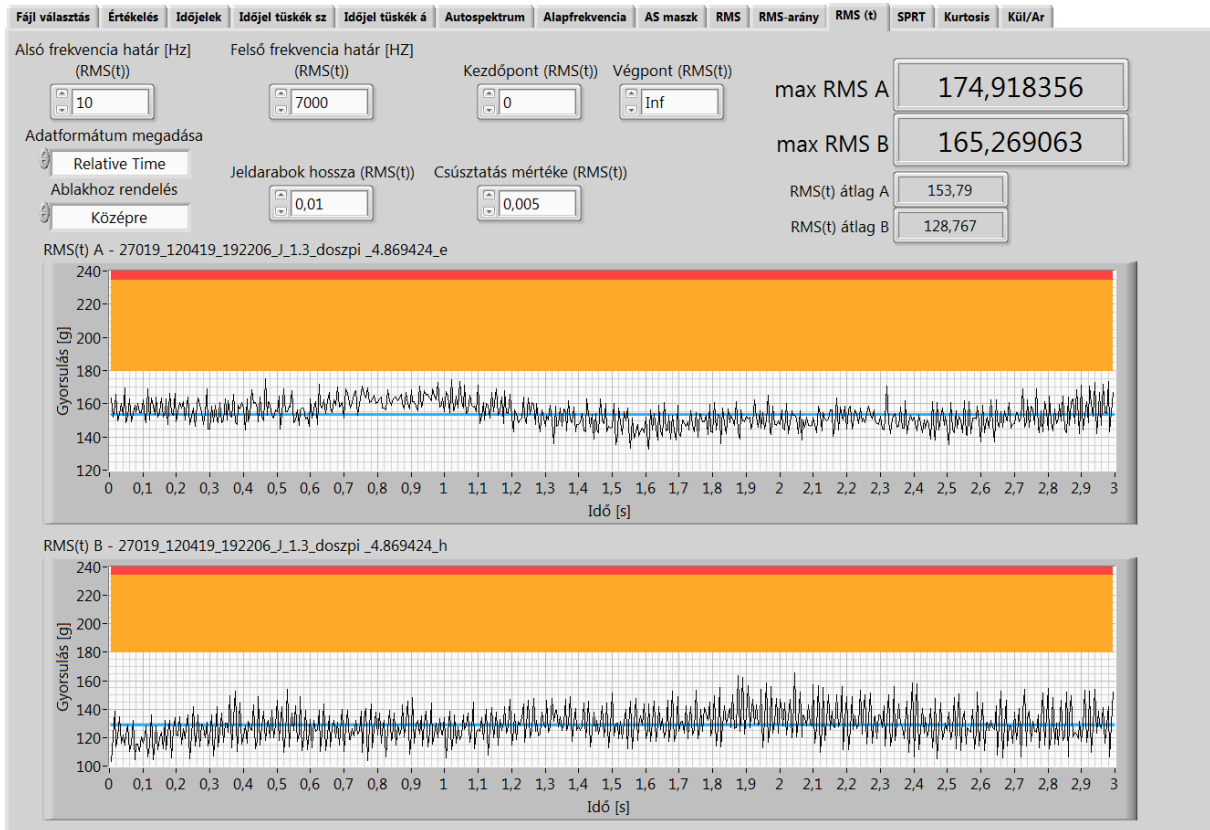
53. ábra: Az Autospektrum maszkolása



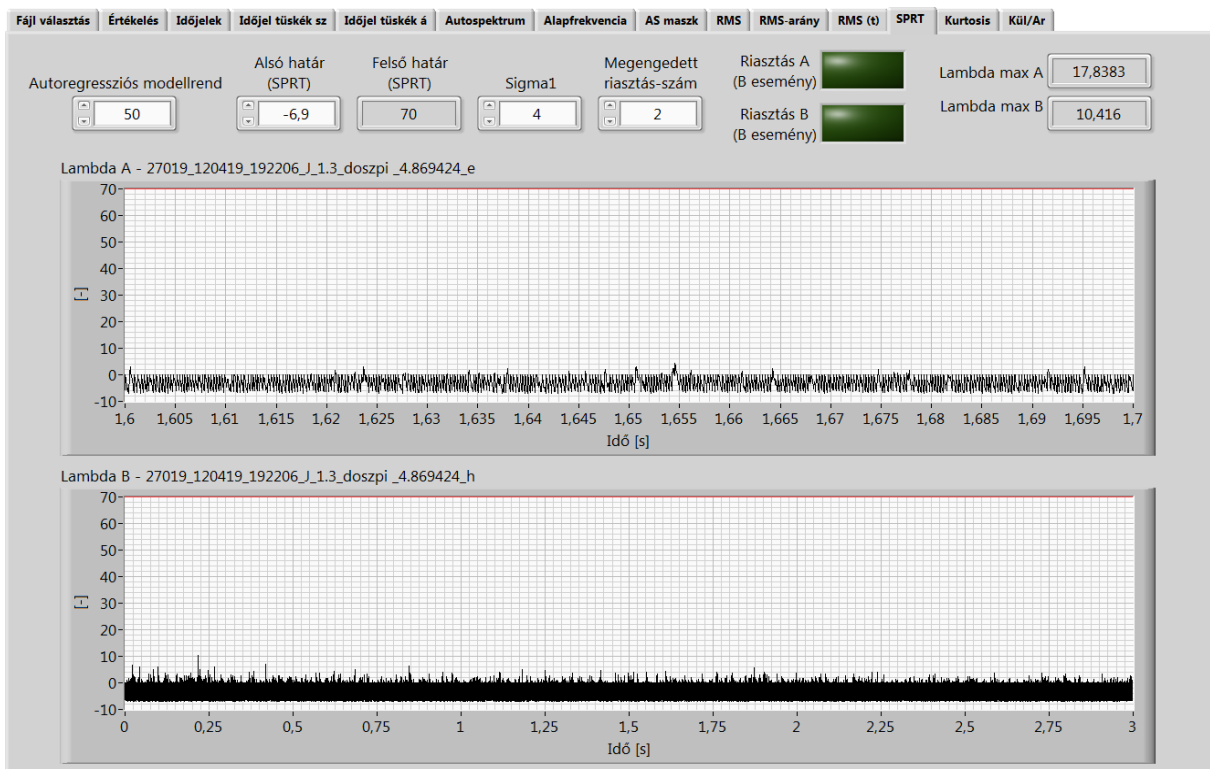
54. ábra: RMS számítás megjelenítése



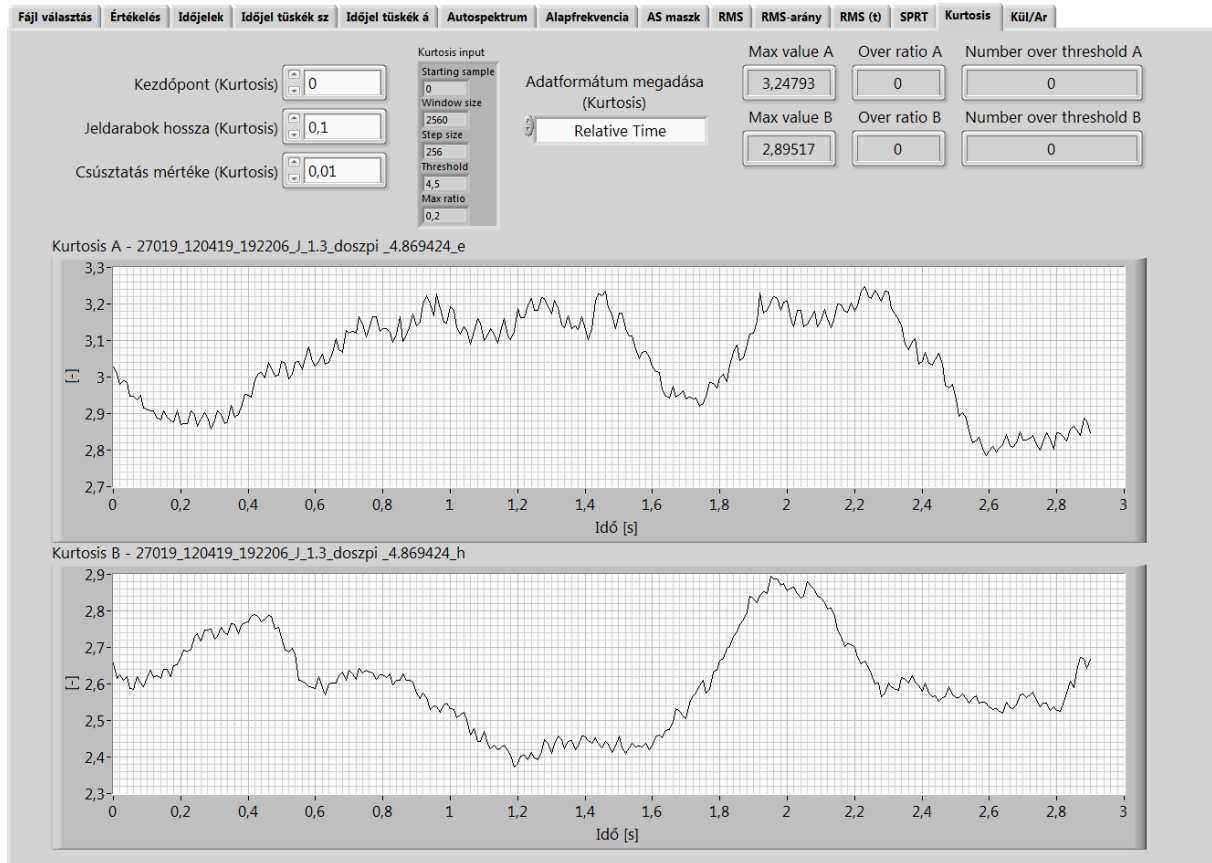
55. ábra: RMS arány számítás megjelenítése



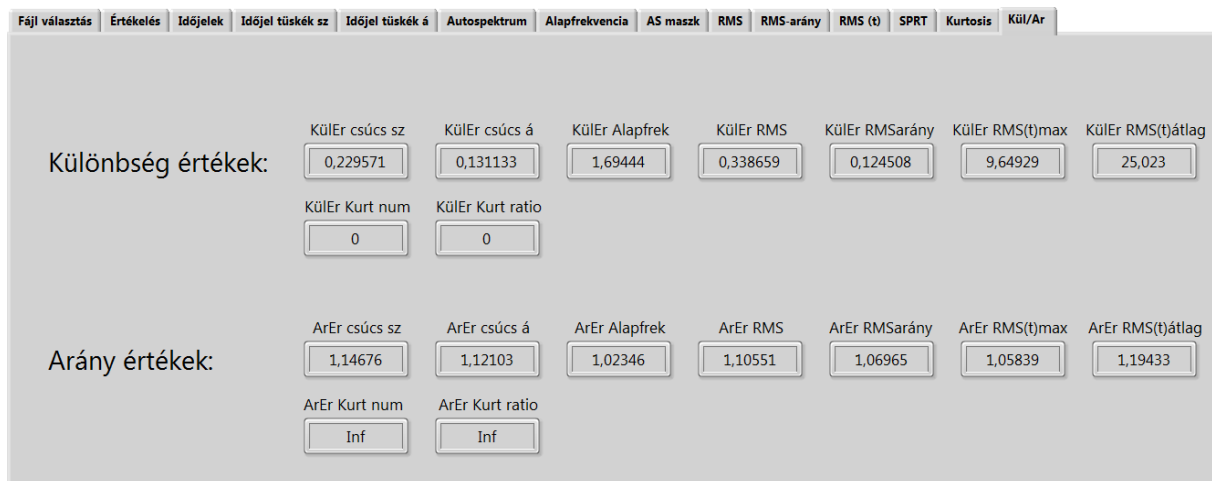
56. ábra: RMS(t) függvény ábrázolása



57. ábra: SPRT analízis megjelenítése



58. ábra: Kurtosis módszer

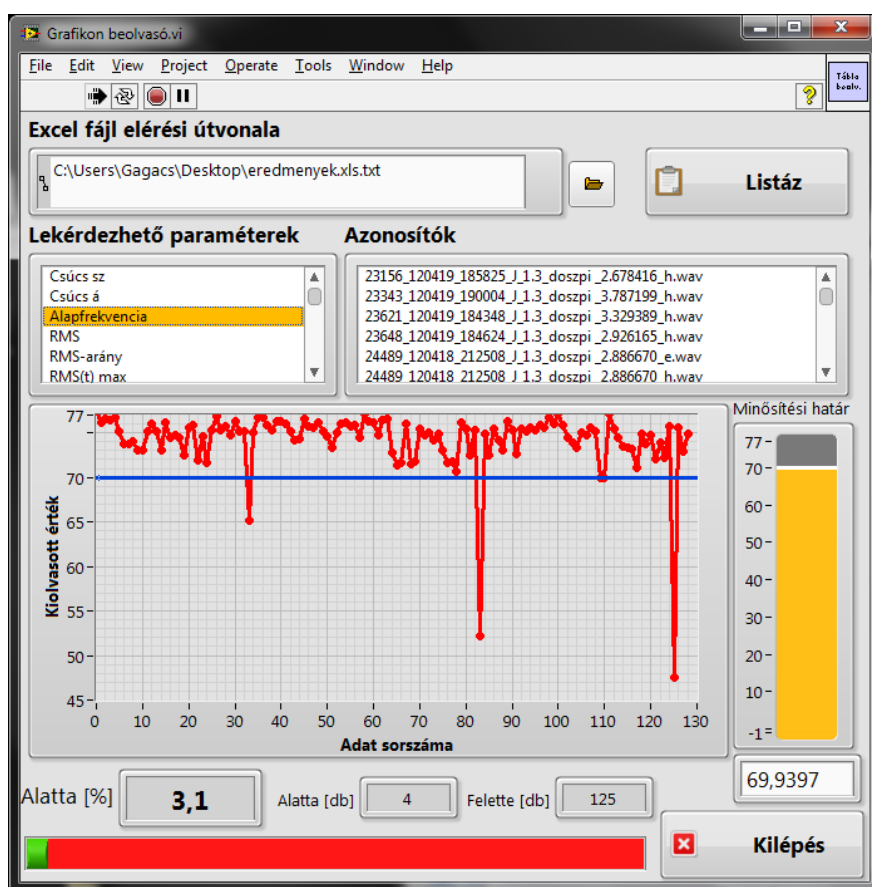


59. ábra: Az előre és hátra irányok összehasonlítása

6.8. Paraméter meghatározást támogató segédprogram

A fejlesztői programmal az előzetes mérések feldolgozása során kimentett táblázatokba a numerikus diagnosztikai eredmények kerülnek. Ezek alapján kell meghatározunk az adott módszerek legmegfelelőbb határértékeinek beállítását.

A minősítési határértékek meghatározását segíti a Grafikon beolvasó.VI (60. ábra).



60. ábra: A paraméter-beállítást segítő szoftver kezelői felülete

A programmal betölthető az analízis szoftverrel elmentett eredménytáblázat. Kिलिस्ताzza a mérési sorozatban szereplő motorok azonosítóját, valamint a fejlécben szereplő módszereket. Utóbbiakat a „Lekérdezhető paraméterek” lista jeleníti meg. A lista egy elemére kétszer kattintva grafikusán megjelenik a hozzá tartozó oszlopban lévő számsor. Egy csúszkával állítható a határérték. Grafikusán és numerikusan is láthatóvá válik, hogy az adott szint alatt, ill. felett hány darab paraméter helyezkedik el. Egy indikátor elem mutatja a beállított threshold szint mellett „Jó”-nak ítéendő termékek százalékos arányát.

A minősítő programba az előzetes vizsgálatokat követően, az ezzel a programmal ideálisan beállított értékeket visszaírva generálhatjuk a felhasználói programváltozat számára szükséges konfigurációs fájlt. Továbbá, ezen paraméterek használata mellett tudunk megbízható minősítési folyamatot elvégezni.

7. Diagnosztikai eredmények, tapasztalatok összefoglalása

Egy hatékony minősítő rendszer létrehozásához szükséges információkat csak mérések útján szerezhethetjük meg. A mérési eredményeket alapos vizsgálat alá kell vetni, meg kell találni a rögzített jeleknek azon tulajdonságait, melyek alapján a „Jó” és a „Rossz” termékek egymástól megkülönböztethetők.

A diagnosztikai paraméterek meghatározása előtt szubjektív (hallás utáni) besorolást végeztünk. Meghallgattuk az összes „.wav” fájlt, majd rendellenes mellékzajok észlelése esetén külön csoportokba osztottuk őket. A minősítési beállításokat főleg ehhez a szubjektív értékrendhez állítjuk.

A kvalifikációs mérőrendszer fejlesztése, tesztelése során több száz terméket vizsgáltunk meg. A kísérletek során szerzett tapasztalatokat, lényegesebb megfigyeléseket ismertetjük illusztrációs példákon keresztül a következő fejezetekben.

7.1. Mérőrendszer értékelése

Fontos tisztában lenni azzal, hogy a mérési folyamatot milyen tényezők képesek befolyásolni. Az összeállítás kialakításakor ezeket fel kell derítenünk, és a tapasztalatoknak megfelelően folytatni a fejlesztési folyamatot. Olyan tényezők esetében, melyek fokozottan képesek a mérési eredményeket befolyásolni, érdemes lehet kiegészítő eszközök kifejlesztése, alkalmazása.

7.1.1. Szenzor rögzítése

A mérési eljárás meghatározó eleme az alkalmazott gyorsulásmérő szenzor. Helytelen felhelyezése, vagy rossz közvetítő anyag alkalmazása esetén a mérési eredményeket már a mérőlánc első fázisában hibával terheltjük. A mért jel egészen más eredményeket mutathat olyan esetekben is, ha a szenzort nem konzekvens módon ugyan abban a pozícióban fixáljuk.

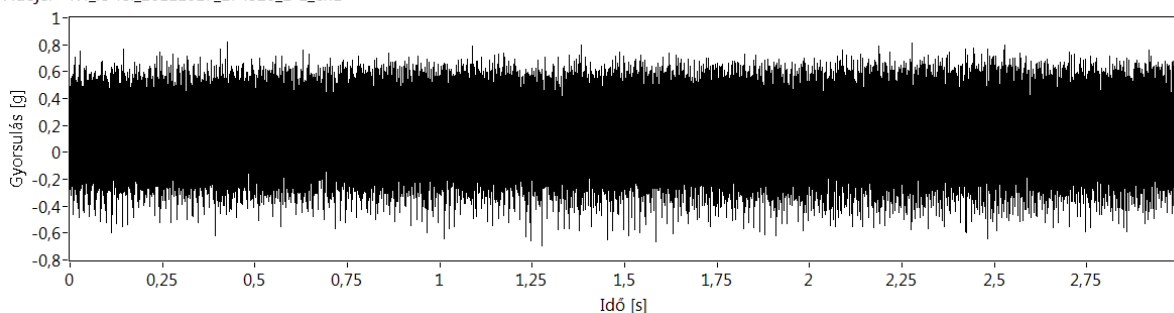
Szenzor rögzítési helye

Ezt a problémát már a 5.1-es fejezetben már érintettük. Ott elsősorban azzal foglalkoztunk, mely mérési ponton lehet a vizsgálat szempontjából hasznos jeleket a legjobb hatékonysággal kinyerni. Az előbb említett fejezetben nem tértünk ki annak részletezésére, milyen mértékben befolyásolja a következtelen helyre felhelyezett szenzor a mérési és/vagy a minősítési eredményeket.

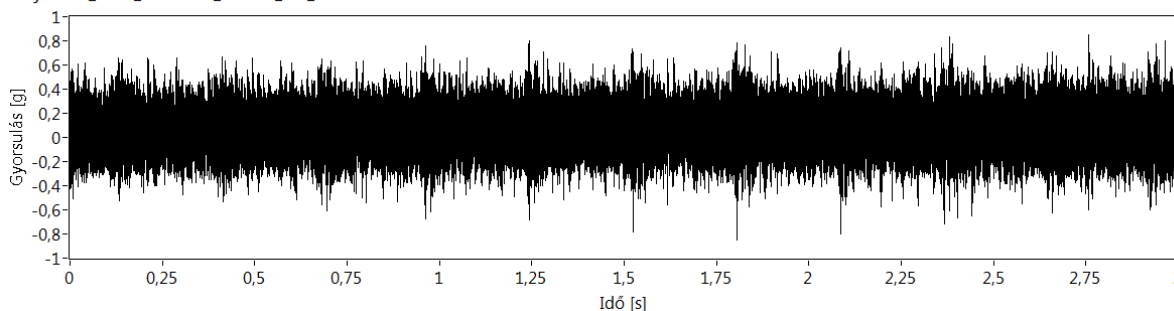
Az előzetes vizsgálatok során számos mérést végeztünk egy többcsatornás, kísérleti mérőrendszer segítségével. A szenzorokat több helyen rögzítettük, más-más szöghelyezettel, más-más felületeken.

Erre szolgáltatnak példát az alábbi illusztrációk. A grafikonokon ugyanazon terméken végzett, de eltérő pontokon mért jelek láthatóak.

A időjel - R4_le-fel_20111017_174520_1-1_ch1



A időjel - R4_le-fel_20111017_174520_1-1_ch3

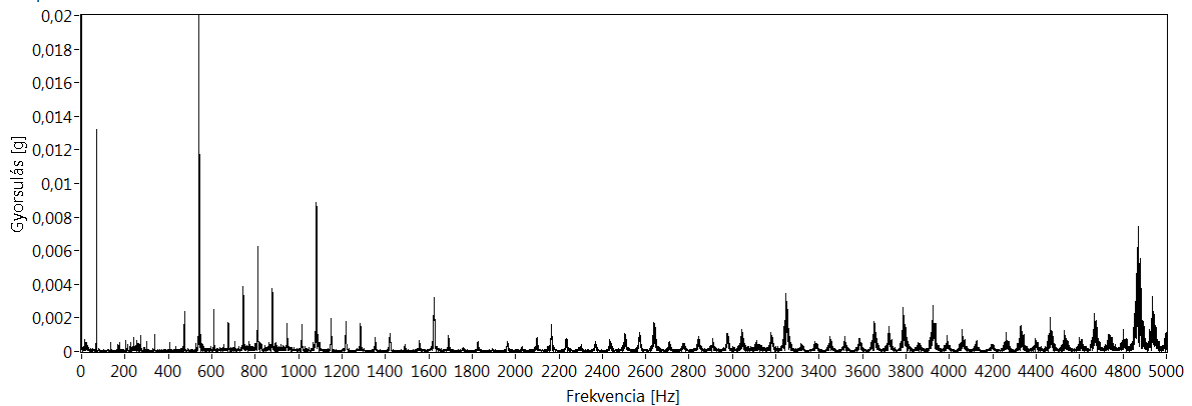


61. ábra: Előzetesen vizsgált terméken egy időben, két eltérő ponton végzett mérés időjele

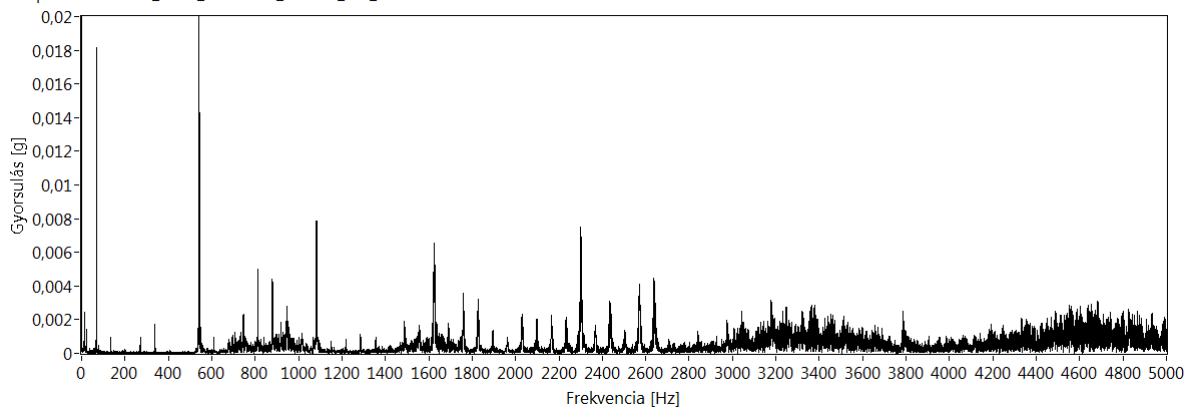
A felső diagram az elektromotoron, az alsó a hajtómű közelében rögzítésre került szenzorral mért jeleket mutatja be. Szemmel is jól látható, hogy az előbbi esetében sokkal egyenletesebb amplitúdó eloszlású a jel, mely meghallgatva is zavarmentes működésre utal.

A másik ponton felvett jel viszont jól kivehető, periodikus amplitúdó kiugrásokat tartalmaz. Ez a hajtómű rendellenes működéséből adódik, amely füllel is könnyen kivehető.

Autospektrum A - R4_le-fel_20111017_174520_1-1_ch1



Autospektrum A - R4_le-fel_20111017_174520_1-1_ch3



62. ábra: Előzetesen vizsgált terméken egy időben, két eltérő ponton végzett mérés időjelének spektruma

A jelek spektrumát megvizsgálva (62. ábra) szintén szembetűnő a különbség. Míg a motoron felvett jelek jóformán csak a belőle származó tipikus frekvencia-összetevőket tartalmazzák, a hajtóművön mért jelek spektrumainak bizonyos tartományain „beszűrösödik”.

Az imént tárgyalt mérési jelek közötti különbség már elegendő indokot szolgáltathatnak arra, hogy a szenzor rögzítési pontját a hajtómű házon, a kivezetés közelében jelöljük ki. A bemutatott eltérések a motoroknál rendszerint jelentkeztek. Minősítés szempontjából számunkra több információt szolgáltat a hajtóművön kijelölt rögzítési ponton elvégzett mérés.

Szenzor rögzítés módja

Az érzékelő felhelyezése több módon történhet, lehetséges ragasztással, csavarkötéssel, mágnesalppal, méhviasszal vagy egyéb közvetítő közeg alkalmazásával. A felsoroltak közül többnek hátránya – mivel gyártósorra tervezzük a rendszert – az időigényes felhelyezése vagy a kialakított kötés oldási nehézsége. Méréseink folyamán kezdetben méhviaszos, későbbiekben mágnesalpas rögzítési alternatívákkal dolgoztunk.

Tapasztalataink azt mutatják, hogy mindkét módszerrel, közel azonos hatékonysággal lehet közvetíteni a mérendő rezgéseket. Gyakorlatilag az alkalmazott módtól függetlenül, azonos beállítások mellett tudunk nagy megbízhatóságú minősítési eredményt produkálni. Természetesen a nagyobb pontosság elérésének érdekében az rögzítési mód változtatásakor érdemes az alkalmazott paraméterszettet újrangolni.

7.1.2. Mérendő eszköz rögzítése

Minősítési céllal végzett mérésekkel kapcsolatban felmerülő kérdés az, hogy adott alkatrészt kézben, asztalra elhelyezve vagy speciális befogó szerkezettel rögzítve működtessük. A befogás módja számottevően befolyásolhatja a mérési eredményt.

A fejlesztés kezdeti szakaszában a méréseket kézben tartva, vagy szivacsos ágyon, asztalra helyezve végeztük el. Utóbbi esetében az indításból fakadó „berántási” jelenség az időjelben hosszabb ideig állt fenn. Ez azzal magyarázható, hogy a motor az indításakor a rotor szöggyorsulásának hatásként ránt egyet, kibillen alaphelyzetéből, melybe való visszatérése időt vesz igénybe. Későbbi vizsgálatainkhoz a mérési eredmények konzekvenciájának és a mérési eljárás reprodukálhatóságának érdekében egy termékspecifikus befogószerkezetet készítettünk. Az eszköz fékszerkezettel van ellátva, mely újabb külső zavarhatásokat vethet fel (lásd később a 7.2-es fejezetben).

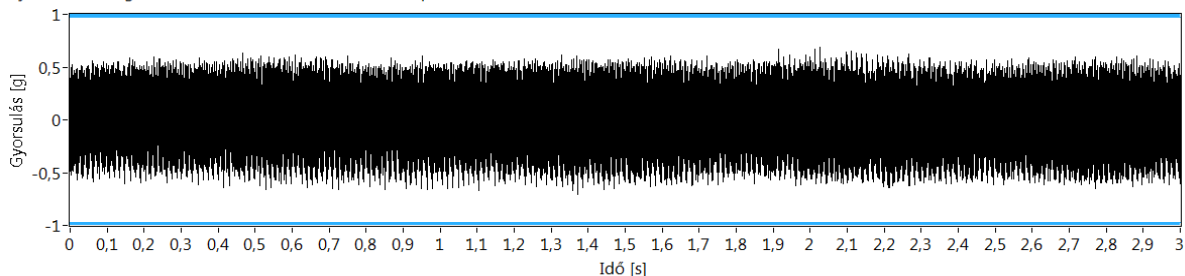
7.2. Tipikus deviációk

Számos mérés és analízis elvégzése után kimondható, hogy a hajtóművekben jelentkező rendellenes zajok rendkívül összetettek. Alapos vizsgálatokat követően megállapítottuk, hogy a meghibásodások jellege sok esetben hasonló. A következő alfejezetben az ilyen meghibásodások által, a kimutatásokban okozott tipikus elváltozásokat illusztráljuk.

7.2.1. Egy jó motor analízisének eredményei

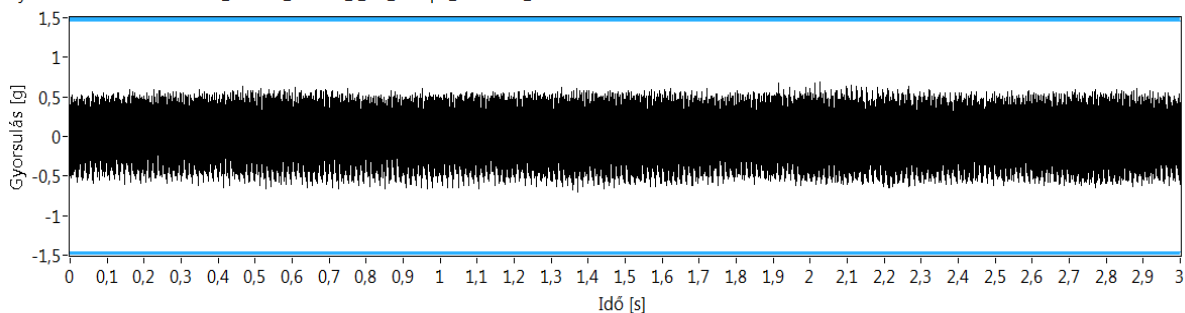
A rendellenességeket bemutató alpontok előtt szükséges egy hibamentes hajtásrendszer reprezentálása. A tipikus meghibásodások bemutatása során nem fogjuk megjeleníteni a jó minősítést ábrázoló diagramokat. Szembeállítani a két minősítési eredményt a most következő ábrák felhasználásával lehet.

Időjel tükék átlag A - 27011_120419_191849_J_1.3_doszpi_3.824486_h



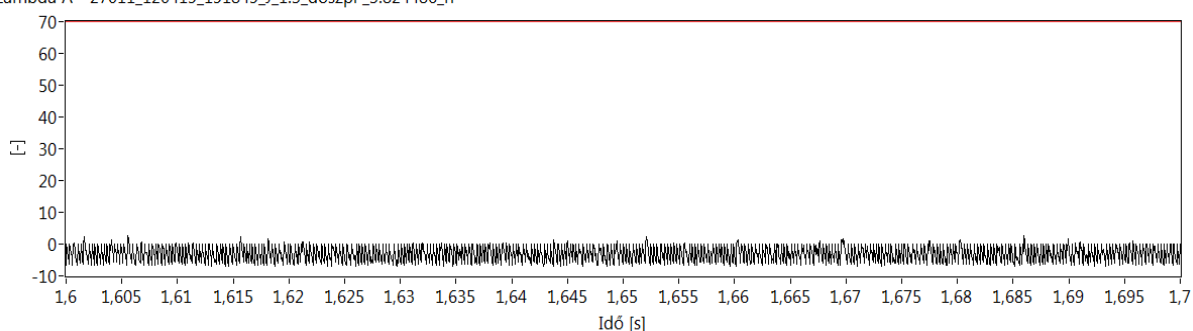
63. ábra: „Jó” minősítés – időjel átlag

Időjel tükék szórás A - 27011_120419_191849_J_1.3_doszpi_3.824486_h

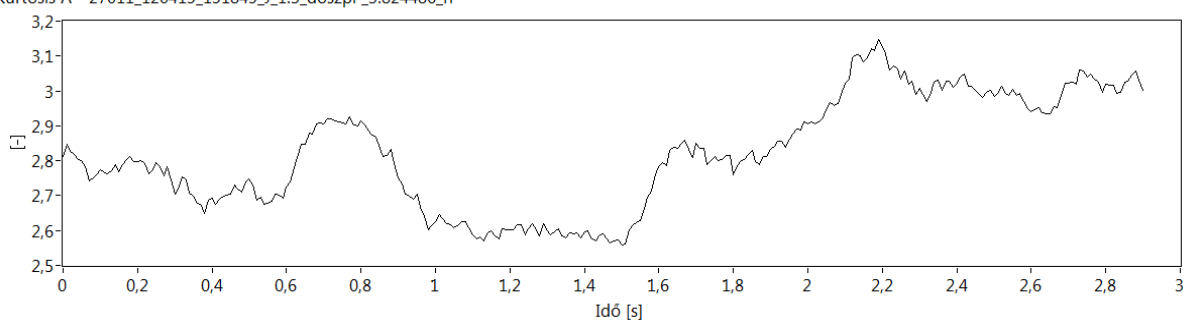


64. ábra: „Jó” minősítés – időjel szórás

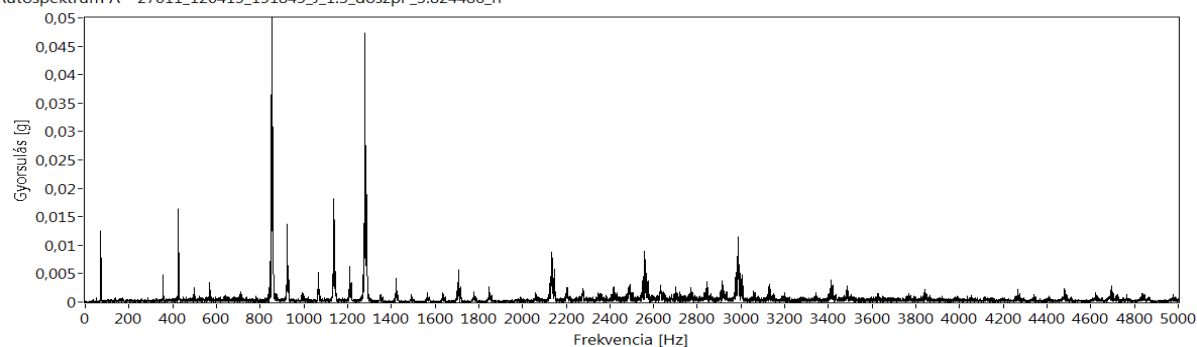
Lambda A - 27011_120419_191849_J_1.3_doszpi_3.824486_h

**65. ábra: „Jó” minősítés esetén – SPRT**

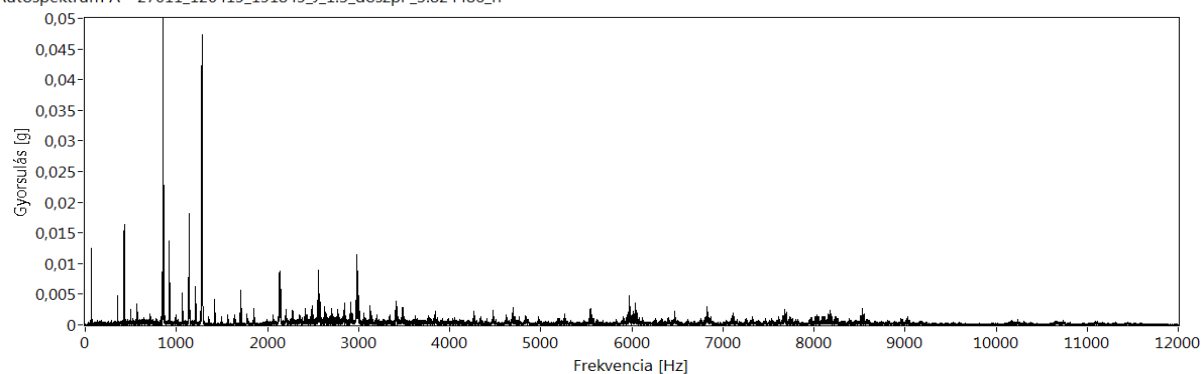
Kurtosis A - 27011_120419_191849_J_1.3_doszpi_3.824486_h

**66. ábra: „Jó” minősítés – Kurtosis**

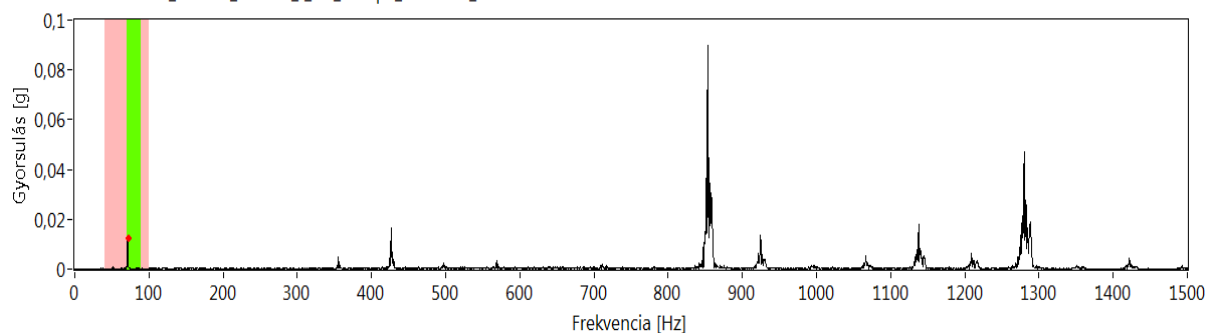
Autospektrum A - 27011_120419_191849_J_1.3_doszpi_3.824486_h

**67. ábra: „Jó” minősítés – autospektrum 0-5000 Hz**

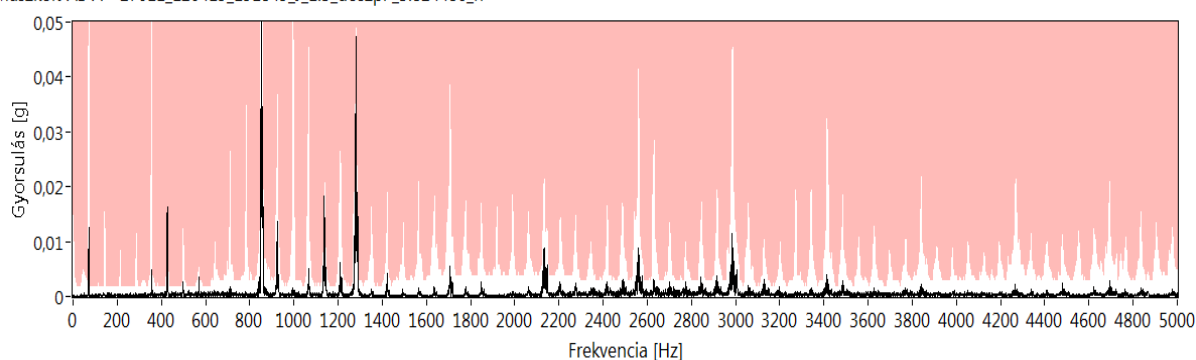
Autospektrum A - 27011_120419_191849_J_1.3_doszpi_3.824486_h

**68. ábra: „Jó” minősítés – autospektrum 0-12000 Hz**

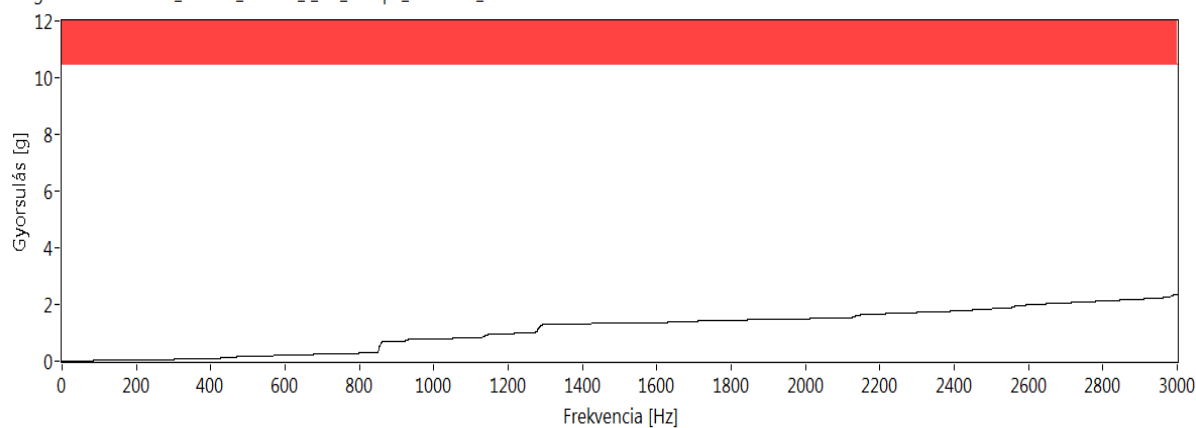
AS csúcsok A - 27011_120419_191849_J_1.3_doszpi_3.824486_h

**69. ábra: „Jó” minősítés – alulfrekvencia**

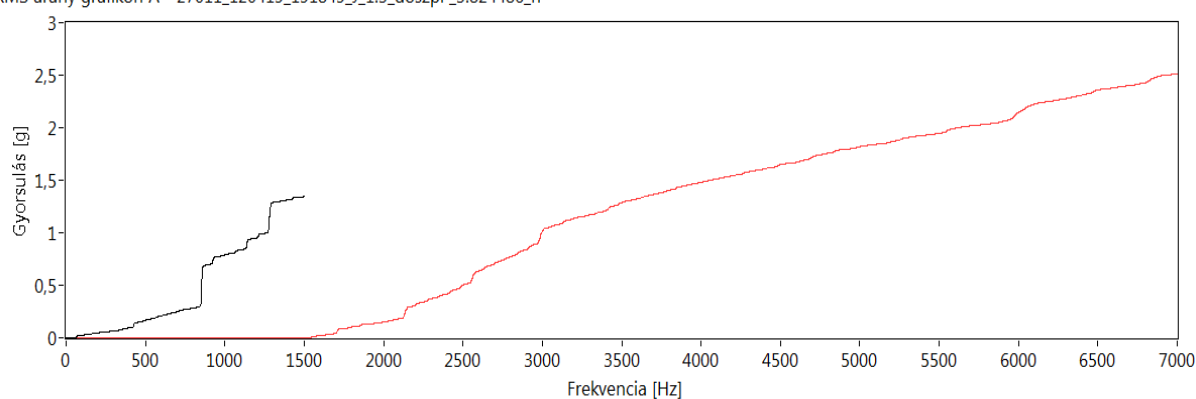
Maszkolt AS A - 27011_120419_191849_J_1.3_doszpi_3.824486_h

**70. ábra: „Jó” minősítés – autospektrum maszkolás**

RMS grafikon A - 27011_120419_191849_J_1.3_doszpi_3.824486_h

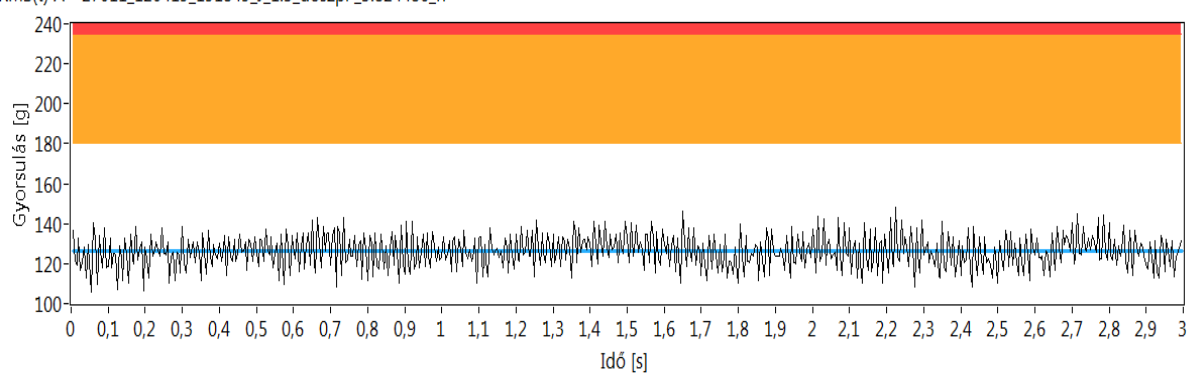
**71. ábra: „Jó” minősítés – RMS**

RMS arány grafikon A - 27011_120419_191849_J_1.3_doszipi_3.824486_h



72. ábra: „Jó” minősítés – RMS arány

RMS(t) A - 27011_120419_191849_J_1.3_doszipi_3.824486_h



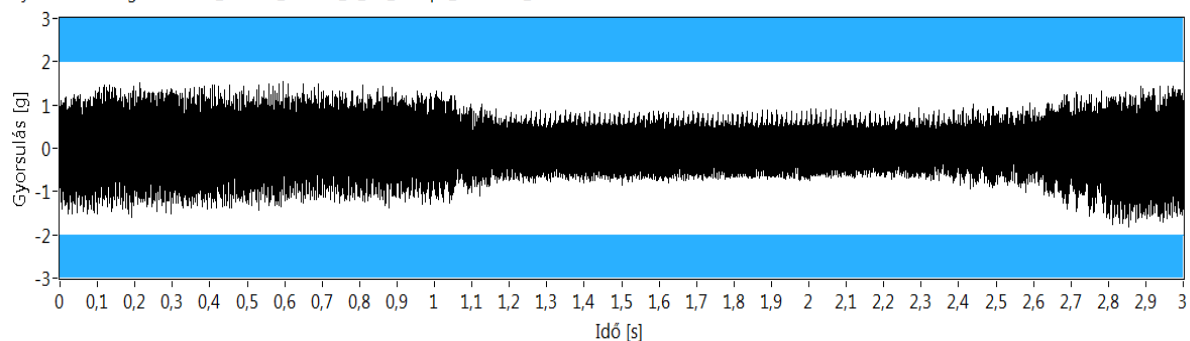
73. ábra: „Jó” minősítés – RMS(t)

7.2.2. Nyikorgás

Ezt a jelenséget a befogó szerkezet alkalmazásakor tapasztaltuk. Okai többek között a nem megfelelő kenés, a befogó szerkezettel való egytengelyűség hiánya (befogó vagy termék konstrukciós hiba), a fékező hatás egyenetlensége lehetnek. Az analízis több módszere is alkalmas az időszakosan megjelenő negatív hatás kiszűrésére. Az alábbi ábrák egy ilyen deviációval rendelkező hajtóművet mutatnak be.

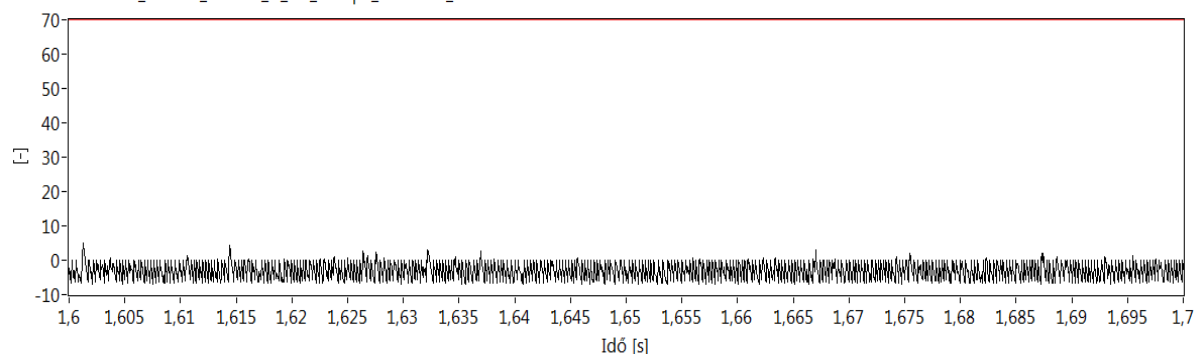
Láthatóan a nyikorgás a jel első másodpercében, valamint az utolsó fél másodpercben van jelen. Nagyon kiugró értékeket nem detektáltunk, illetve hirtelen esemény sem történt, ezért ezt az időjel átlag (74. ábra), időjel szórás és SPRT (75. ábra) alapú módszerek nem tudják kimutatni.

Időjel tüskék átlag A - 26966_120419_145538_U_1.3_doszpi_3.748775_e



74. ábra: Nyikorgási jelenség – időjel átlag

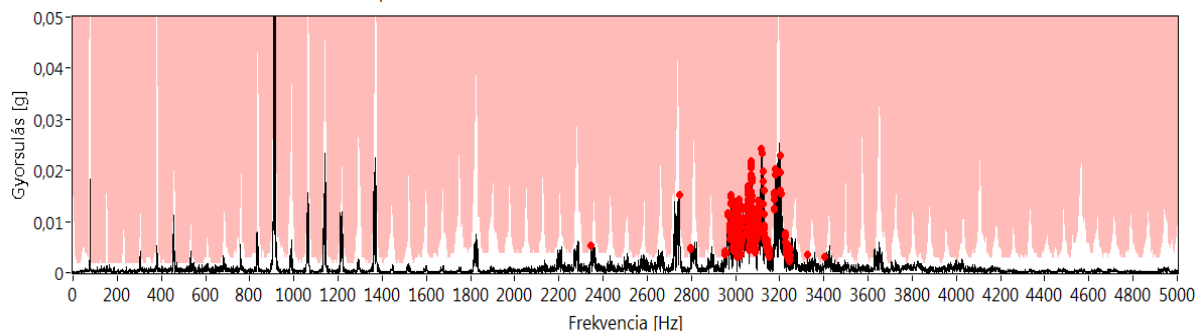
Lambda A - 26966_120419_145538_U_1.3_doszpi_3.748775_e



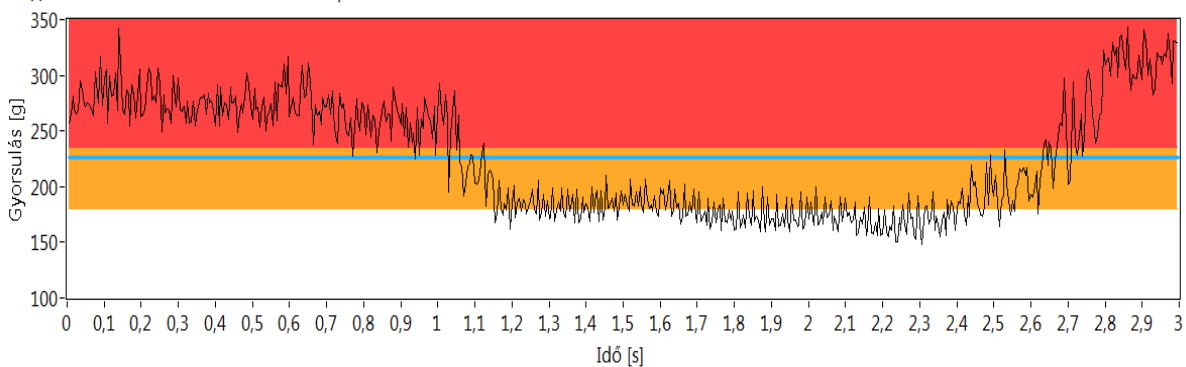
75. ábra: Nyikorgási jelenség – SPRT

A 76. ábra az autospektrum maszkolási eljárásának megjelenítését mutatja. A grafikon szemlélteti, hogy a spektrum maszkkal való összevetése során számos nem megengedett értéket detektált a program 3 kHz környékén. Az ezeken a frekvenciákon megjelenő rezgések a nyikorgás jelenlétekor növelik az RMS értéket. Az időszakos nyikorgás RMS értékre való hatását a 77. ábra szemlélteti. A grafikonon látható, hogy az értékek a nyikorgás alatt a nem megengedett (piros) tartományba esnek, valamint az RMS(t) függvény átlagértéke is jóval meghaladja a számára megengedett (fehér) intervallum felső határát.

Maszkolt AS A - 26966_120419_145538_U_1.3_doszipi_3.748775_e

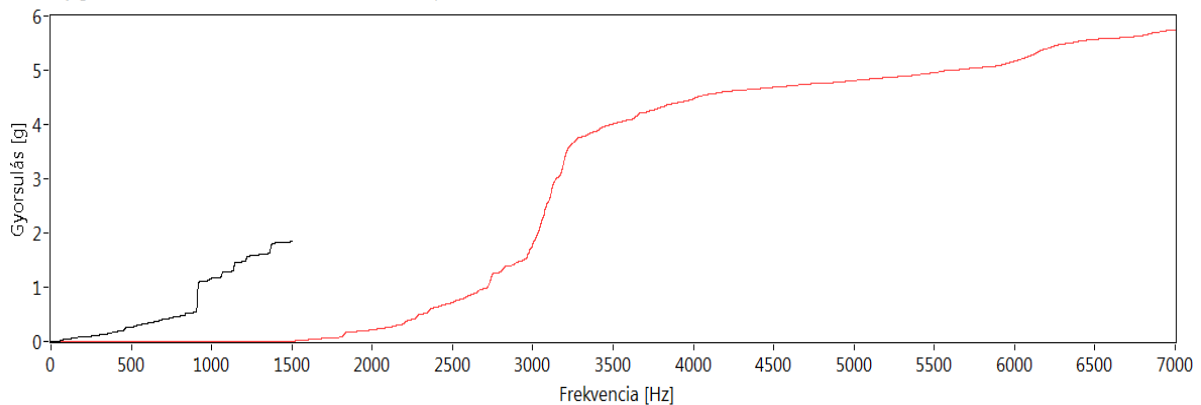
**76. ábra: Nyikorgási jelenség – autospektrum maszkolás**

RMS(t) A - 26966_120419_145538_U_1.3_doszipi_3.748775_e

**77. ábra: Nyikorgási jelenség – RMS(t)**

A 78. ábra az RMS részintegrál értékeit mutatja be a módszer osztási frekvenciája által meghatározott frekvenciaintervallumokon. Szembetűnő a „Jó” termék azonos grafikonjához képest (72. ábra), hogy 3000 Hz környékén a görbe meredeksége megnő. Ez a plusz növekedés már elegendően megváltoztatja az alsó és felső frekvenciaintervallumokra számított RMS értékek arányát úgy, hogy ez a módszer is biztonsággal kimutassa az ilyen jellegű deviációkat.

RMS arány grafikon A - 26966_120419_145538_U_1.3_doszpi_3.748775_e

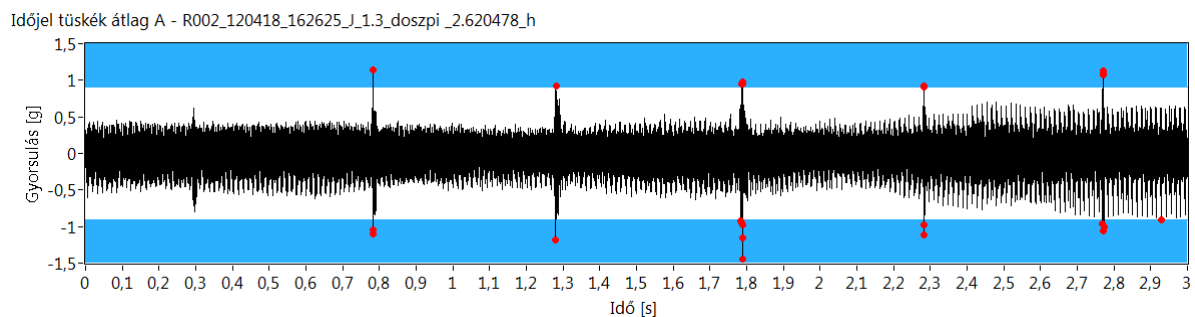


78. ábra: Nyikorgási jelenség – RMS arány

7.2.3. Periodikus kattogás

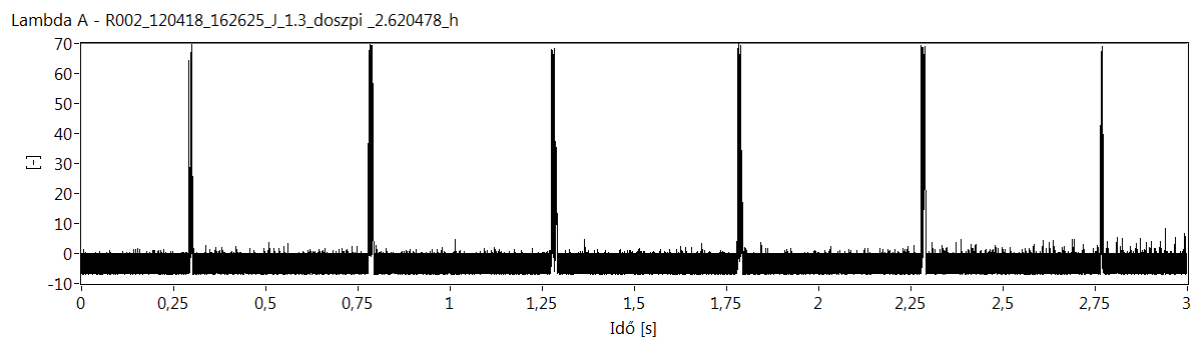
Hibás fogaskerék, sérült csúszófelületű csigaorsó, vagy akár a hajtóműszerkezetbe került idegen tárgy is okozhatja. Ez a jelenség rendszerint erős hanghatással jár, amely a felhasználót fokozottan zavarhatja. A termék, bár el tudja látni funkcióját, a periodikusan ismétlődő kattogás mindig valamilyen meghibásodásra utal.

Az erős hanghatást a felületen detektálható nagy gyorsulásamplitúdók mutatják (79. ábra).



79. ábra: Periodikus kattogás – időjel átlag

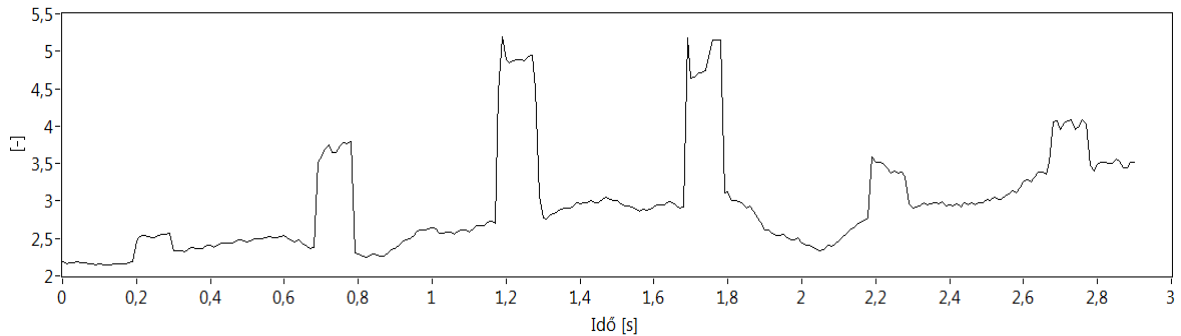
Az újra és újra előforduló esemény detektálására az SPRT (80. ábra) alkalmas eljárás. Bár a kiemelkedő gyorsulásértékekből álló események egymást egyenlő időközönként, periodikusan követik, ettől még a jel összetétele megváltozik. Az eseményeket alkotó mért értékek nem tekinthetők determinisztikusnak, így a Lambda függvény a felső döntési határt többször is eléri.



80. ábra: Periodikus kattogás – SPRT

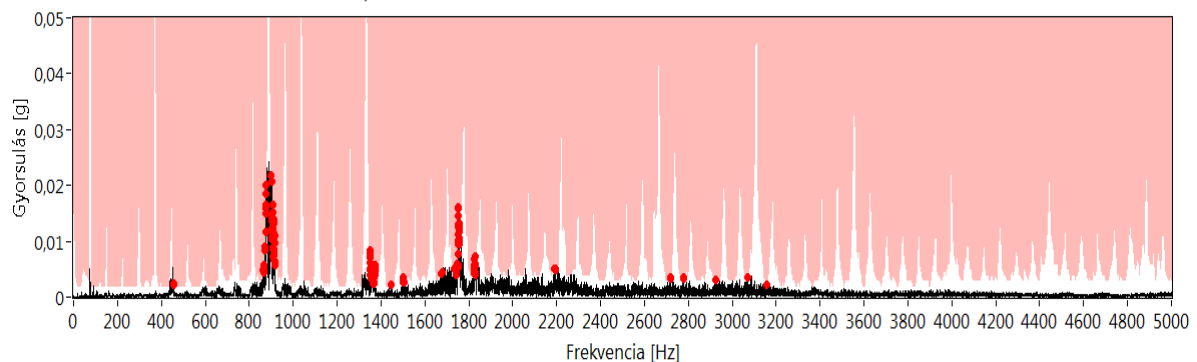
Az ilyen jellegű nem várt értékekre reagál a Kurtosis módszer. A 81. ábra mutatja, hogy a függvény értéke az események időpontjában magasabb értékeket vesz fel.

Kurtosis A - R002_120418_162625_J_1.3_doszpi_2.620478_h

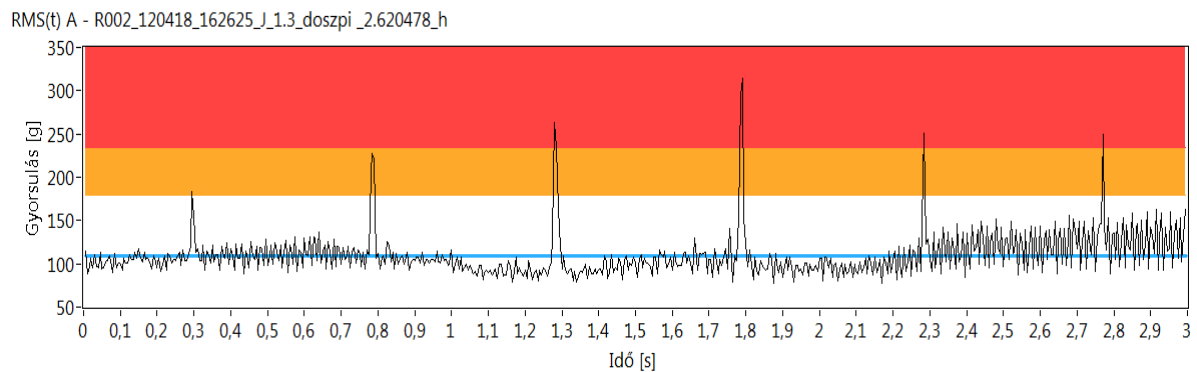
**81. ábra: Periodikus kattogás – Kurtosis**

Ez a rendellenes hatás az autospektrumban időszakosan, széles tartományban amplitúdó növekedésként jelentkezik. A teljes jele számított autospektrumban a növekmény nem szűrhető ki első ránézésre, azonban az autospektrum maszkolás (82. ábra) széles spektrumban jelzi, hogy vannak túl magas értékek.

Maszkolt AS A - R002_120418_162625_J_1.3_doszpi_2.620478_h

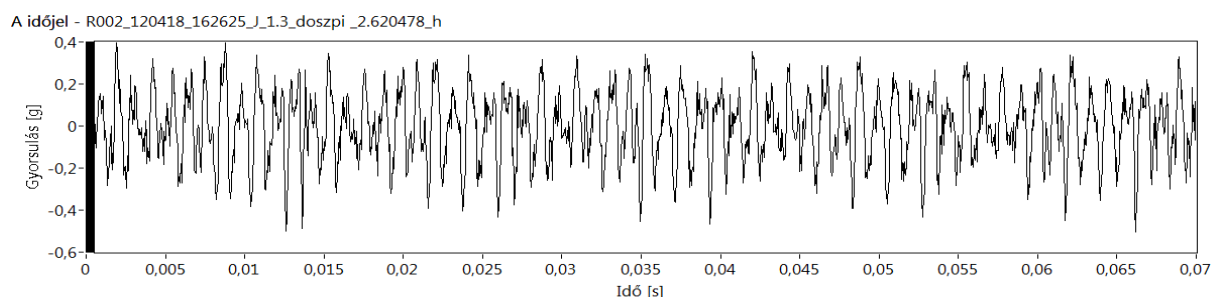
**82. ábra: Periodikus kattogás – autospektrum maszkolás**

A jel frekvencia-összetételének változását már a maszkolási eljárás kimutatta, de sokkal szemléletesebb eredménnyel szolgál az RMS(t) függvény (83. ábra). A megjelenő új rezgéskomponensek megnövelik a pillanatnyi RMS értéket, ami az RMS(t) vizsgálata során a tiltott sávba futást eredményez.

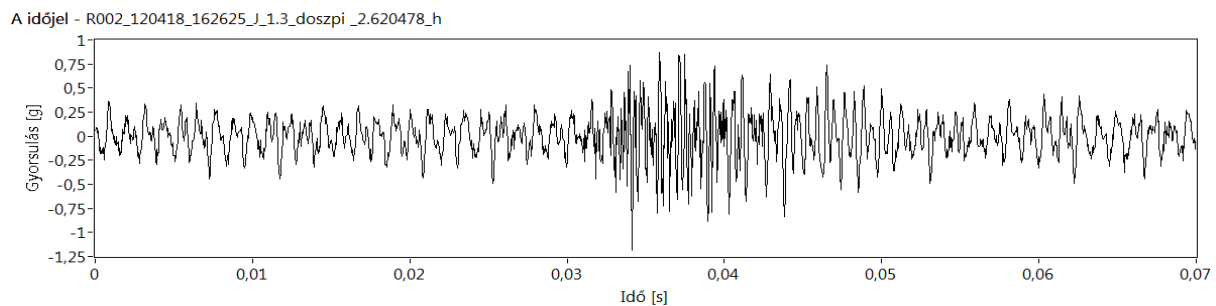


83. ábra: Periodikus kattogás – RMS(t)

A 84. ábra egy kivágott zavarmentes jeldarabot, a 85. ábra pedig egy „kattanást” és annak környezetét mutatja.



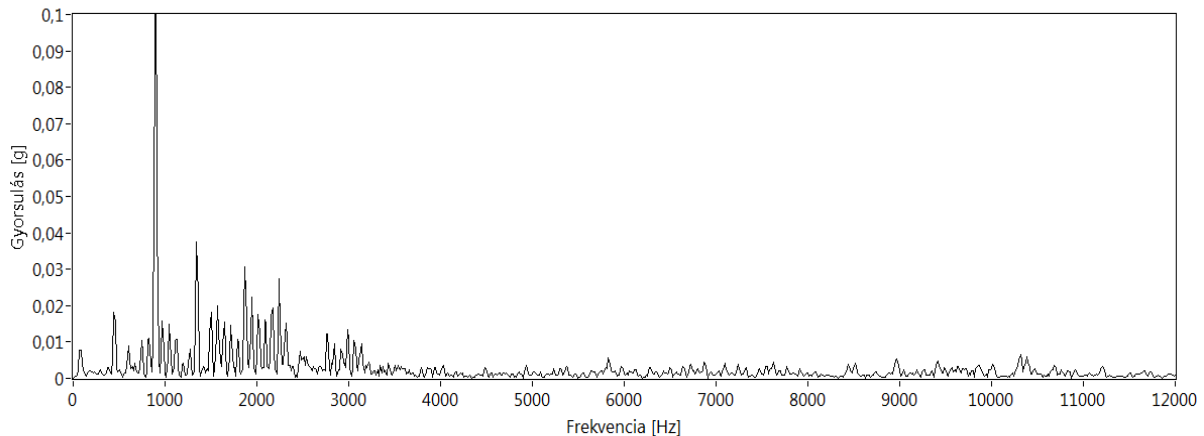
84. ábra: Periodikus kattogás – normális működési szakasz



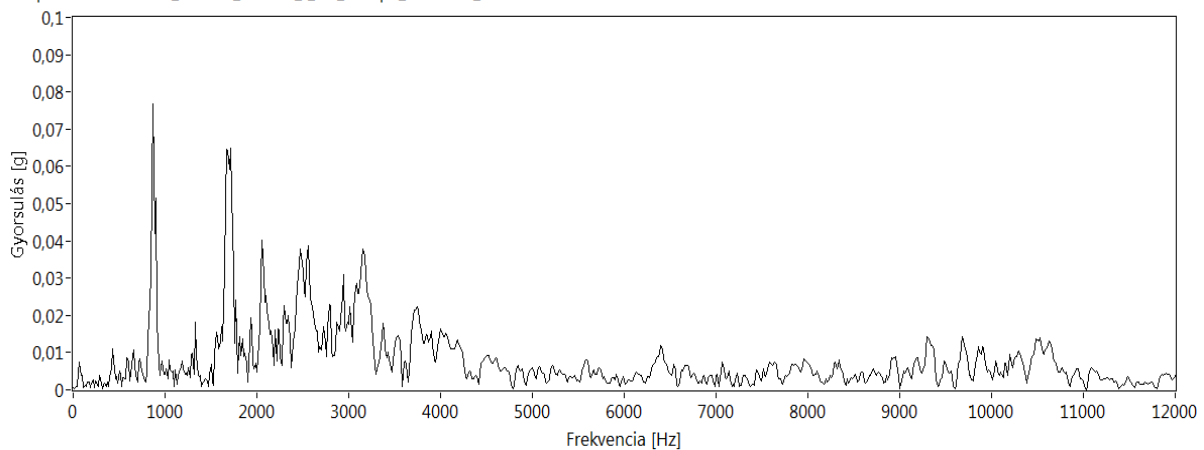
85. ábra: Periodikus kattogás – zajjal terhelt működési szakasz

A 84. ábra által illusztrált szakaszra számított autospektrum látható a 86. ábra grafikonján. Érdekes összevetni a 87. ábra tartalmával (85. ábra szakaszára számított autospektrum). Rögtön észrevehető, hogy a jel teljesítménytartalma jóval megnövekedett, gyakorlatilag a teljes tartományban jelentős a frekvencia-összetevőkhöz tartozó értékek növekedése.

Autospektrum A - R002_120418_162625_J_1.3_doszpi_2.620478_h

**86. ábra: Periodikus kattogás – normális működési szakasz autospektruma**

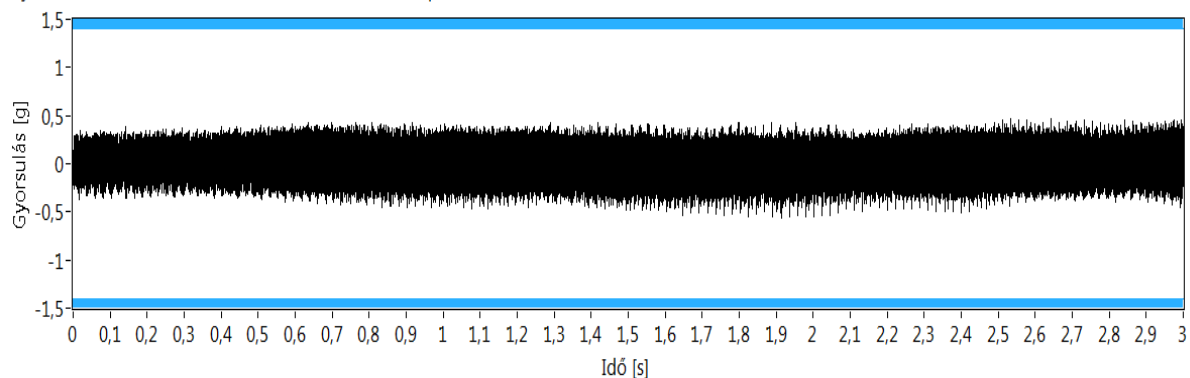
Autospektrum A - R002_120418_162625_J_1.3_doszpi_2.620478_h

**87. ábra: Periodikus kattogás – zajjal terhelt működési szakasz autospektruma**

7.2.4. Alacsony alapfrekvencia

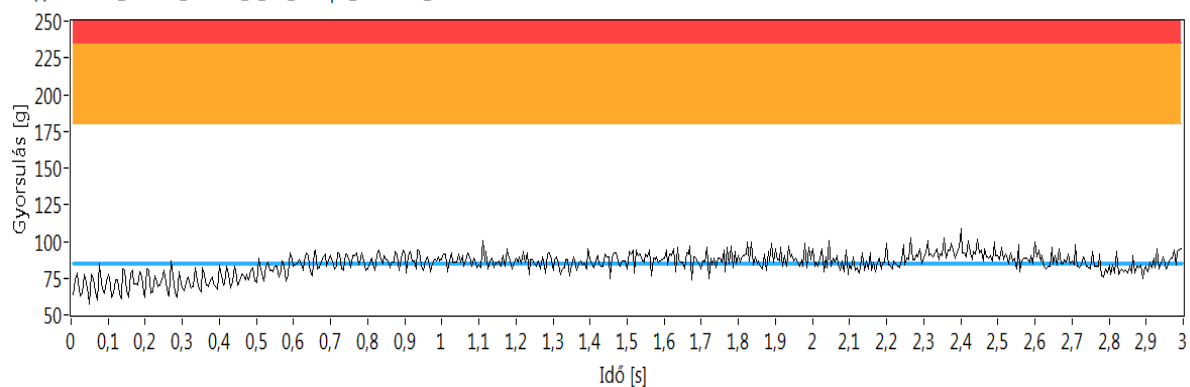
Egy hajtásrendszerrel szemben állított alapvető követelmény, hogy az üzemi fordulatszámának megfelelően tudjon működni. Az alacsony fordulatszámúknak több okozója is lehet, mint például egy szoruló mechanikai alkatrész visszatartó hatása, vagy a villanymotor elégtelen működése. Az ilyen típusú elégtelen működés kisebb energiatartalmú vibrációval jár együtt, amelyet a kis mérhető gyorsulásértékek is mutatnak (88. ábra). A kis energiatartalmat reprezentálja a 89. ábra is.

Időjel tuskék szórás B - R005_120418_163940_R_1.3_doszpi_4.185102_h



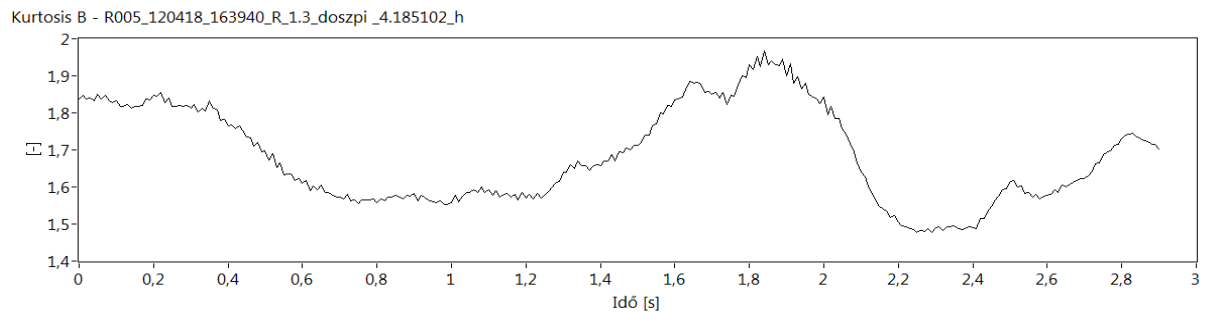
88. ábra: Alacsony alapfrekvencia – időjel szórás

RMS(t) B - R005_120418_163940_R_1.3_doszpi_4.185102_h

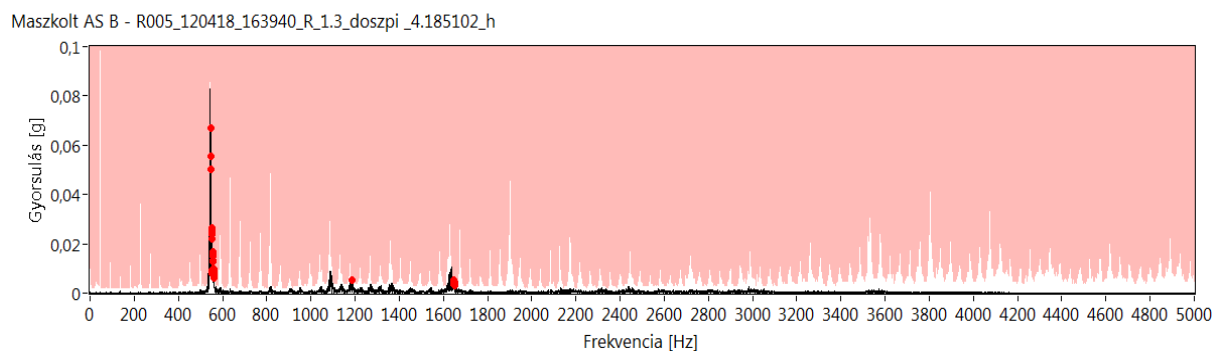


89. ábra: Alacsony alapfrekvencia – RMS(t)

Az alacsony alapfrekvencia jelensége általában együtt jár a folyamatosan alacsony (< 3) Kurtosis értékekkel. Az autospektrum maszkolás megjelenítésén (91. ábra) jelentős elváltozást nem láthatunk, alaposabb vizsgálat alapján megállapítható, hogy a magas frekvenciás tartományban a normálisnál kisebb amplitúdó értékeket kaptunk eredményül.

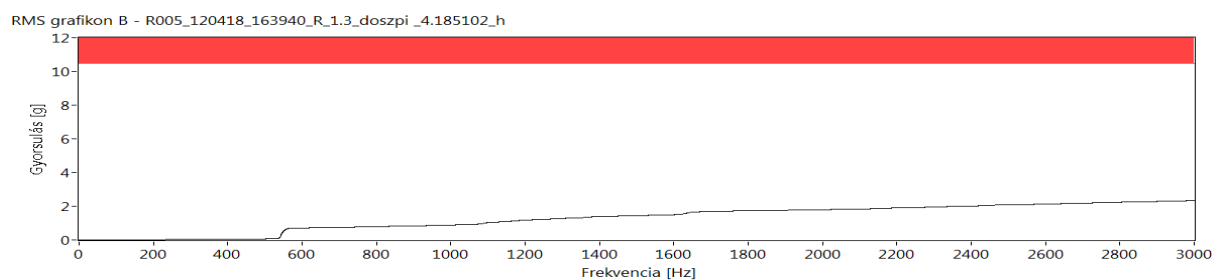


90. ábra: Alacsony alapfrekvencia – Kurtosis



91. ábra: Alacsony alapfrekvencia – autospektrum maszkolás

A mérési pontban, a hajtóműházon mért rezgések kis energiatartalma miatt a 0-3000 Hz-en vett RMS érték alacsony (92. ábra).

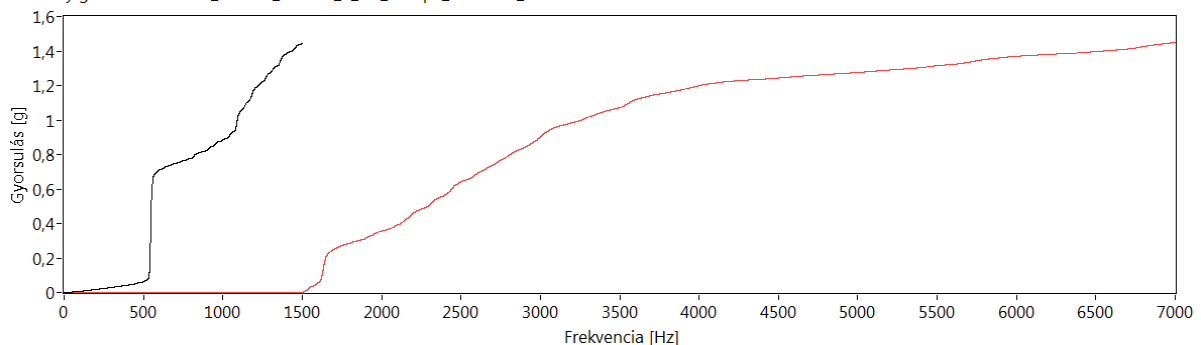


92. ábra: Alacsony alapfrekvencia – RMS(t)

Mint már láttuk (91. ábra), a magas frekvenciás részen a frekvencia-összetevők szinte teljesen eltűnnek. Ezt reprezentálja a 93. ábra is. A felső tartományra számított RMS részintegrál függvény egészen ellaposodik, az két vizsgált intervallumra számított értékek aránya akár 1 alá is eshet.

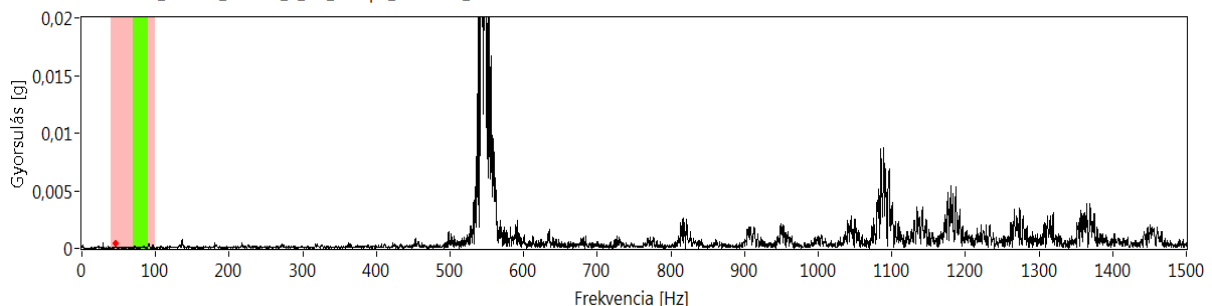
Az RMS alapú vizsgálatok tehát egytől egyig alkalmatlanok az alacsony fordulatszámon üzemelő hajtásrendszerek kiszűrésére.

RMS arány grafikon B - R005_120418_163940_R.1.3_doszpi_4.185102_h

**93. ábra: Alacsony alapfrekvencia – RMS arány**

A legtöbb módszer problémával szembeni tehetetlensége miatt volt szükséges az alapfrekvencia meghatározását és az üzemi fordulatszám alapján történő minősítést lehetővé tevő szubrutin kifejlesztése. A kapott eredményt megjelenítő képen (94. ábra) látható, hogy az alapfrekvencia körüli tartományban nem jelentkeznek jelentős amplitúdók. A programot nem zavarja, hogy alacsonyak ezek az amplitúdó értékek, mert az alapfrekvenciát annak egy jóval nagyobb energiájú felharmonikusát felhasználva számítjuk ki.

AS csúcsok B - R005_120418_163940_R.1.3_doszpi_4.185102_h

**94. ábra: Alacsony alapfrekvencia – alapfrekvencia**

7.3. Paraméter-beállítás

A megfelelő minősítések végrehajtásához egy kellően behangolt, a vizsgált termék és a mérési környezet tulajdonságait figyelembe vevő paraméterszetre van szükség.

Az analízisek kezdeti szakaszában a mérési hangfájlokat füllel történő osztályozás alá vetettük. Itt az emberi érzékelési tartományba eső zajok, rendellenes működésből fakadó akusztikus emisszió kiszűrésére került sor. A szelekció során elkülönítettünk jó, rossz, valamint kétes minősítési csoportokat. A jó csoportba került mérési fájlokat automatikus beolvasási folyamat során dolgozzuk fel a fejlesztői programmal. Ezek a jelek alapján alakítottunk ki egy AS-maszk profilt, amely a jónak ítélt motorok spektrumaiból generálható. A maszk előállításakor beállítható egy, az adott frekvenciákhoz tartozó amplitúdó érték százalékban meghatározott toleranciája, valamint a maszk eltolható függőleges irányban egy ofszet értékkel is. A további diagnosztikai módszerek eredményei Excel táblába kerültek kimentésre. Ezen adatok regisztrálása után, a következő sorokba rögzítettük a rossz csoport eredményeit is.

Mivel a jó és rossz motorok ebben a sorrendben követik egymást, így a már bemutatott paraméter meghatározást támogató segédprogrammal a számszerű értékek jól szétválaszthatók. Az „.xls” fájl megnyitását követően az adott diagnosztikai módszert kiválasztva, kilistázódnak a megjelenítő grafikonon a hozzá tartozó mérési eredmények. Ezen grafikon segítségével tudunk egy minősítésre alkalmas határértéket beállítani.

A paraméterek beállítása során előfordult, hogy néhány „Jó” termék diagnosztikai eredménye egy adott módszer esetén a threshold szintet meghaladta, de ez az összesített minősítési végeredményt a termék esetén nem befolyásolta.

7.4. Vizsgálati eredmények

A fent bemutatott módon létrehozott konfigurációs beállítással, a gyártó által rendelkezésünkre bocsátott mintadarabokon, a minősítési eredményeket tekintve 95%-os egyezést értünk el a megrendelő minősítésihez viszonyítva. Ugyan azon termékek többszöri vizsgálata esetén újra és újra nagyon közeli értékeket kaptunk, ez alapján kimondható, hogy

a mérési eljárás reprodukálható eredményeket biztosít. A végső teszteken, a megrendelő által eddig használt, valamint a dolgozatban leírt új minősítő rendszereket párhuzamosan alkalmazva próbáltuk ki. Az új szoftver a laboratóriumban megállapított megbízhatósági rátát tartotta.

A programmal, a paraméterek finomhangolását követően olyan minősítéseket is folytattunk, melyeknél a vizsgált termékek valamely részegységében, a mérést megelőzően mesterségesen hibát idéztek elő (megreszelt csúszófelület, elgörbített tengely, stb.). A minősítő rendszer ezeket a defektusokat minden esetben jelezte, míg az addig alkalmazott rendszer a termékek nagy részét „Jónak” ítélte.

8. Összegzés és továbbfejlesztési lehetőségek

Az előzetes vizsgálatok és a további mérési eredmények is azt mutatják, hogy egy összetett hajtómű komplex, megbízható minősítési procedúrájának megvalósítása csak több rezgésdiagnosztikai módszer együttes alkalmazása mellett lehetséges. A mérést értékelő algoritmusok helyes megválasztásán, paraméterezésén kívül kiemelkedően fontos tényezők a mérés kivitelezésének, a mért jel tárolásának, előkészítésének, valamint a minősítési határértékek és egyáltalán a teljes minősítési logika meghatározása. Ügyelni kell a mérési és kvalifikációs eredmények követhető, rendszerezett tárolására is.

A MAIDLab-tól egy olyan mérő és minősítő rendszert kért a megbízó, mellyel a beszerelés előtt meg lehet állapítani az adott termékről, hogy az megfelel-e a vele szemben támasztott követelményeknek. A feladat nehézségét első sorban az jelentette, hogy a vizsgált termékek nem konkretizált tulajdonságait figyeltetjük. A rendszernek tudnia kell detektálni bármilyen, a felhasználót zavaró jelenséget. A minősítési eljárást tehát emberi szubjektív érzékeléshez illesztettük, ez a felhasználói visszajelzések figyelembevételével volt lehetséges. A gyártó, vagy a felhasználók által hibásnak ítélt, és a jól működő termékek kimerítő vizsgálata és az eredmények összevetése által sikerült a módszerek kidolgozásához, fejlesztéséhez, és a paraméterek helyes megválasztásához elegendő információhoz jutnunk.

A végső program létrehozását megelőző vizsgálatok keretén belül már kialakult a mérési elrendezésre, folyamatra vonatkozó koncepció. Fény derült a gyártáshibás termékek meghibásodási lehetőségeinek, valamint az általuk előidézett vibrációs jelenségek sokoldalúságára. A diagnosztikai algoritmusok kidolgozása során eltérő elven működő eljárásokat választottunk. Ezek együttes alkalmazása biztosítja, hogy a számos hibalehetőség bármelyikét nagy valószínűséggel tudjuk egy, vagy több módszer által is kimutatni.

Két programváltozat (fejlesztői és felhasználói/ipari) készült el párhuzamosan. Ez két különálló programcsomagot jelent, melyek alapját a közös diagnosztikai modulok képezik. Kiemelkedően fontos a két, egymással szinergikus kapcsolatban álló program közötti fájlkezelési kompatibilitás. Célnak megfelelően kialakított funkcióik szervesen kiegészítik egymást.

- Fejlesztői programváltozat:
 - Összetett felhasználói felület.
 - A program belső működése, szerkezete a fejlesztés érdekeit szolgálja, nem az optimális programfutást.
 - Egy külön mérőprogram által szolgáltatott adatokat, vagy az ipari változattal mért jeleket tudja utólagosan vizsgálni.
 - Alkalmas kiterjedt vizsgálatok lebonyolítására.
 - Szabadon paraméterezhető.
 - Automatikus beolvasási funkció egy mérési sorozat gyors kiértékeléséhez.
 - Megoldott a vizsgálati eredmények fájlba mentése.
 - Kétszintű minősítő logika.
 - Az ipari változat által igényelt paraméterszett előállításának, vagy visszaolvasásának lehetősége.
 - Gyakorlatilag bármilyen termék rezgésdiagnosztikai elemzésére alkalmas.
- Ipari/felhasználói programváltozat:
 - A felhasználói felületen csak a legszükségesebb kezelő és megjelenítő elemek kaptak helyet.
 - A program belső szerkezetének kialakításakor a gyors és megbízható programfutást, a konkrét feladatnak való alárendeltséget, valamint az operátor tehermentesítését tartottuk szem előtt.
 - A program magába foglalja a mérőprogramot, a mért jelet közvetlenül dolgozza fel.
 - A fejlesztői programváltozat által előállított paraméterszettből nyeri ki a futáshoz szükséges beállításokat.
 - Csak a beolvasatott „.cfg” fájl által meghatározott feladat elvégzésére alkalmas.
 - A mért jeleket a kvalifikációs eredménnyel együtt fájlba menti archiválás és az esetleges későbbi vizsgálatok céljából.
 - Háromszintű, összetett minősítési logika.
 - A két elkészült szoftvert először kis sorozaton teszteltük, majd a megrendelő által biztosított, „előminősített” termékek nagy sorozatán is.

A megrendelőnek átadott, felhasználói rendszert a gyártósoron is beüzemeltük, és az addig alkalmazott minősítő rendszerrel párhuzamosan teszteltük. A két párhuzamosan futtatott minősítés több esetben eltérő eredményt adott. A kísérlet során a jól működő termékek mellett kvalifikációs vizsgálat alá vetettünk szándékosan „elrontott” hajtóműveket is. Az előidézett deviációt, jellegétől (csigaorsó megsértett felülete, elgörbített tengely, sérült fogaskerék, stb.) függetlenül az általunk készített rendszer kimutatta, míg gyakran a gyárban eddig alkalmazott minősítő szoftver nem!

Az elkészült minősítő rendszerrel elértük a vizsgált termékek helyes minősítésének 95%-os arányát.

A minősítés megbízhatósága tovább növelhető lenne öntanuló algoritmusok programba építésével. Az alkalmazás a mérések végzésével párhuzamosan felülbírálná a működést, szükség szerint az eredmények alapján változtatna a kvalifikációs folyamat, vagy egy-egy szubrutin paraméterein. A futáshoz szükséges paraméterszett előállításának teljes automatizáltsága, a paraméterek optimalizációs folyamat révén való generálása is a jövőbeni célok között szerepel. Az utóbb említett paraméter optimalizáció különböző algoritmusok alapján történhet, ezek tesztelése már a program fejlesztési fázisában is zajlott a MAIDLab-ban. További fejlesztési lehetőségeket vet fel az a tény, hogy a mérési eredmények alapján meg lehetne állapítani, melyik mechanikai elem okozza az észlelt rendellenességet, illetve azt is be lehetne határolni, hogy milyen jellegű a meghibásodás.

Tervezett projekt az elkészített rendszer gyártási folyamatba való teljes integrálása is. Ehhez szükséges a belső adathálózzal való szoftvervezérelt kommunikáció megvalósítása, illetve egyéb kiegészítő modulok (pneumatikus mérőállomás vezérlése, datamátrix olvasás azonosítás céljából, stb.) beépítése is.

9. Irodalomjegyzék

- 1) Deák, T. (2009). *SPRT algoritmus alkalmazása valós időben*. Dunaújváros.
- 2) Dr. Pór, G. (2005). *Modern műszaki diagnosztika*. Főiskolai és egyetemi jegyzetanyag.
- 3) Dr. Pór, G., & Volosin, T. (2007). *K+F tanulmány: A Robert Bosch Elektronika Kft-ben gyártott termékek élettartam kutatásáról*. Dunaújváros.
- 4) http://acoustics.hit.bme.hu/download/Hangtechnika_Labor_1/m3_Mechanikai_meresek.pdf.
- 5) http://eda.eme.ro/bitstream/handle/10598/14561/03_FMTU1998%20_%20Racz%20Jozsef%20_%20108-112%20old.pdf?sequence=1.
- 6) http://www.antarktisz-szeged.hu/tev_rezges.htm.
- 7) <http://www.idesol.hu/iranyitasi-rendszerek/ts-16949-vda-qs.html>.
- 8) http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/digitalis_jelfeldolgozas.pdf.
- 9) <http://www.tlw.hu/hu/hirek-menu/25-2009-evfolyam2-szam/121-rezgesmeres-rezgesdiagnosztika-a-gyakorlatban-cikksorozat-13>.
- 10) Hunyadi, L. (87. évfolyam, 3. szám). A negyedik mutatóról. *Statisztikai Szemle*.
- 11) LabVIEW User Manual.
- 12) Szappanos, G., & Pór, G. (1999). Improvements in the Theory of Identification of Burst-Shaped Events for Fault Diagnosis. *Nuclear Science and Engineering*, vol. 13, pp. 261-267.
- 13) Wald, A. (1945). Annals of Mathematical Statistics. In *Sequential Tests of Statistical Hypotheses* (old.: 117–186).
- 14) Wald, A. (1947). *Sequential Analysis*. New York: John Wiley and Son Inc.

10. Ábra, táblázat és egyenletjegyzék

10.1. Ábrajegyzék

1. ábra: A tervezett mérőrendszer	20
2. ábra: Szenzor rögzítési pontok az előzetes mérések során	22
3. ábra: A véglegesített rögzítési pont	23
4. ábra: Mérés közbeni terhelést biztosító befogóeszköz	24
5. ábra: Az előzetes mérőprogram kezelőfelülete	25
6. ábra: A szűrőtervező program kezelőfelülete.....	28
7. ábra: Az előzetes analizáló program	30
8. ábra: Spektrumösszetevők amplitúdójának összehasonlítása jó, ill. rossz hajtómű esetén	31
9. ábra: A programterv első része	33
10. ábra: A programterv második része	34
11. ábra: A programterv harmadik része	35
12. ábra: A programterv negyedik része	36
13. ábra: A program beolvasási algoritmus, denormalizálással.....	38
14. ábra: A vágatlan és a vágott időjel	41
15. ábra: A jel vágása.....	42
16. ábra: Az időjelet felhasználó szórás- és átlagalapú minősítési, valamint irány-összehasonlítási programrészlet.....	44
17. ábra: Az időjel szórás módszer VI-ának megjelenítési része.....	45
18. ábra: Az időjel átlag módszer VI-ának megjelenítési része	45
19. ábra: SPRT elemzés megjelenített eredménye	48
20. ábra: Az SPRT módszer alapú minősítés	48
21. ábra: A Kurtosis módszer alprogramja által kért paramétertömb összeállítása.....	50
22. ábra: A Kurtosis alapú minősítés, valamint a kapott eredmények irányonkénti összevetése.....	50
23. ábra: A Kurtosis módszer grafikus eredménye	51
24. ábra: Az időjelből autospektrumot létrehozó program megjelenítési része	52

25. ábra: Autospektrum számítása, megjelenítése, alapfrekvencia keresése, irányok összehasonlítása	53
26. ábra: Alapfrekvencia keresés	54
27. ábra: Autospektrum maszkolás alapján történő minősítés	55
28. ábra: AS maszkolási eljárás	56
29. ábra: RMS érték számítása irány-összehasonlítással	58
30. ábra: Az RMS-t kiszámító VI megjelenítői	58
31. ábra: RMS arány számítású és irányok összehasonlítása általi minősítés	59
32. ábra: Az RMS-arány számító eljárás eredménye	59
33. ábra: RMS(t) függvény előállítása, minősítése, valamint a különböző irányokra vonatkozó eredmények egymással való összevetése	60
34. ábra: Az RMS(t) alapú analízis subVI eredménykijelzése	60
35. ábra: Az összesített minősítési logika.....	63
36. ábra: Vizsgált időjelek mentése külön „wav” fájlba.....	65
37. ábra: Időjel megjelenítésének, lejátszásának programrésze, illetve a maszkszerkesztő alprogram igény szerinti meghívása.....	66
38. ábra: Paraméterek mentése config fájlba.....	67
39. ábra: Config fájl beolvasás.....	68
40. ábra: Táblázat létrehozása	69
41. ábra: A táblázat fejlécének címezése	70
42. ábra: Egy motorhoz tartozó adatok táblázatba írása, majd referencia bezárása	70
43. ábra: A megjelenítő grafikonok címezése	71
44. ábra: Kép kimentése a járulékos információk fájlnevbe írásával.....	72
45. ábra: A program jelaktiváló, jelkondicionáló, módszerkiválasztó és mentéskonfiguráló felülete	74
46. ábra: A program nyitóablaka az alapbeállításokkal	74
47. ábra: Minősítési eredmény(ek) megjelenítése	75
48. ábra: Az időjelek megjelenítése	75
49. ábra: Időjel szórás alapú elemzés.....	76
50. ábra: Időjel átlag alapú elemzés.....	76
51. ábra: A mért jelek frekvenciafüggvénye	77

52. ábra: Alapfrekvencia keresés	78
53. ábra: Az Autospektrum maszkolása	78
54. ábra: RMS számítás megjelenítése	79
55. ábra: RMS arány számítás megjelenítése	79
56. ábra: RMS(t) függvény ábrázolása	80
57. ábra: SPRT analízis megjelenítése	80
58. ábra: Kurtosis módszer	81
59. ábra: Az előre és hátra irányok összehasonlítása	81
60. ábra: A paraméter-beállítást segítő szoftver kezelői felülete	82
61. ábra: Előzetesen vizsgált terméken egy időben, két eltérő ponton végzett mérés időjele	85
62. ábra: Előzetesen vizsgált terméken egy időben, két eltérő ponton végzett mérés időjelének spektruma	86
63. ábra: „Jó” minősítés – időjel átlag	88
64. ábra: „Jó” minősítés – időjel szórás	88
65. ábra: „Jó” minősítés esetén – SPRT	89
66. ábra: „Jó” minősítés – Kurtosis	89
67. ábra: „Jó” minősítés – autospektrum 0-5000 Hz	89
68. ábra: „Jó” minősítés – autospektrum 0-12000 Hz	89
69. ábra: „Jó” minősítés – alapfrekvencia	90
70. ábra: „Jó” minősítés – autospektrum maszkolás	90
71. ábra: „Jó” minősítés – RMS	90
72. ábra: „Jó” minősítés – RMS arány	91
73. ábra: „Jó” minősítés – RMS(t)	91
74. ábra: Nyikorgási jelenség – időjel átlag	92
75. ábra: Nyikorgási jelenség – SPRT	92
76. ábra: Nyikorgási jelenség – autospektrum maszkolás	93
77. ábra: Nyikorgási jelenség – RMS(t)	93
78. ábra: Nyikorgási jelenség – RMS arány	94
79. ábra: Periodikus kattogás – időjel átlag	95
80. ábra: Periodikus kattogás – SPRT	95

81. ábra: Periodikus kattogás – Kurtosis	96
82. ábra: Periodikus kattogás – autospektrum maszkolás.....	96
83. ábra: Periodikus kattogás – RMS(t)	97
84. ábra: Periodikus kattogás – normális működési szakasz	97
85. ábra: Periodikus kattogás – zajjal terhelt működési szakasz	97
86. ábra: Periodikus kattogás – normális működési szakasz autospektruma.....	98
87. ábra: Periodikus kattogás – zajjal terhelt működési szakasz autospektruma	98
88. ábra: Alacsony alapprofrekvencia – időjel szórás.....	99
89. ábra: Alacsony alapprofrekvencia – RMS(t).....	99
90. ábra: Alacsony alapprofrekvencia – Kurtosis.....	100
91. ábra: Alacsony alapprofrekvencia – autospektrum maszkolás	100
92. ábra: Alacsony alapprofrekvencia – RMS(t).....	100
93. ábra: Alacsony alapprofrekvencia – RMS arány	101
94. ábra: Alacsony alapprofrekvencia – alapprofrekvencia	101

10.2. Táblázatjegyzék

1. táblázat: A szenzor specifikációja	21
---	----

10.3. Egyenletjegyzék

1. egyenlet: Az átlag számítási képlete	43
2. egyenlet: A szórás számítási képlete.....	44
3. egyenlet: Lambda-függvény növekménye	47
4. egyenlet: Lambda-függvény leírása	47
5. egyenlet: Negyedik momentum.....	49
6. egyenlet: Autospektrum számítási mód	51
7. egyenlet: RMS számítása.....	56

11. Melléklet

11.1. Elkészített programok

11.1.1. Grafikon beolvasó.VI

Ikon:



Bemenetek:

- Excel fájl beolvasási útvonala: [file path]
- Minősítési határ: [double]

Kimenetek:

- Grafikus megjelenítés: [cluster (1D array of int32, 1D array of double)]
- Alatta [%]: [double]
- Alatta [db]: [int32]
- Felette [db]: [int32]

Leírás:

A program a sorozatmérés során kimentett eredmények Excel fájlját nyitja meg, ill. listázza ki a benne található minősítő algoritmusok azonosítóit. Egy azonosítót kiválasztva a grafikus megjelenítő diagramon kirajzolódnak az adott minősítő eljárásához tartozó diagnosztikai eredmények. Ennek segítségével könnyedén lehet megállapítani egy pontosabb, megbízható minősítést adó threshold szintet, melyet a grafikon melletti csúszkával lehet állítani.

11.1.2. Mintavétel és wav mentés.VI

Ikon:



Bemenetek:

- Mintavételezési frekvencia [Hz]: [double]
- Kiolvasási adattömb mérete: [int32]
- Szenzor érzékenység [mV/g]: [double]
- Azonosító: [string]
- A jel mentési mappája: [file path]
- Threshold: [double]
- Error vezeték: [error cluster]

Kimenetek:

- Hajtási irány: ELŐRE: [waveform (DBL)]
- Hajtási irány: HÁTRA: [waveform (DBL)]
- Számláló: [int32]
- Szint átlépés: [boolean]
- Error vezeték: [error cluster]

Leírás:

A VI folyamatosan mintavételezi, és vizsgálja az érzékelő jelét, amin alapesetben zajt érzékelünk. Időnként lehet egy-egy koppanás, ütődés is. Ezek rövid idejű események, amiket nem kell rögzíteni. A program akkor kezdi el feltölteni az első tömböt, amikor egymás után három mintavételezett tömbben is van threshold szintet meghaladó érték. Azt, hogy milyen hosszúságú eseményeket ne kezdjen el rögzíteni, a mintavételezett tömb hosszával lehet befolyásolni (50 kHz és 4096-os tömbök esetén kb. 0,15sec hosszúságú eseményt még nem rögzít). Az adott minta rögzítése akkor áll le, amikor olyan mintát vesz, amiben a jelszint nem haladja meg a thresholdot, de az előző kettőben még igen. Erre a kilépő feltételre azért van

szükség, mert különben az irányváltás közti szünetben nem lenne képes átváltani a másik irány tömbjének rögzítésére, a második tömb mindig üres lenne. Így csak akkor hagyja abba a minták rögzítését, ha volt előtte rögzített jel.

Waveform transzformáció:

A folyamatos mintavételezés alatt a program vizsgálja azt is, hogy az adott minta éppen rögzítésre kerül-e, és az előző rögzítve volt-e. Amennyiben az előző nem volt rögzítve, de az aktuális már rögzítésre kerül, úgy az aktuális minta a rögzítés eleje. Ebben az esetben tehát elhelyezi egy shift regiszterben az adott időpontot, amit aztán már nem módosít, a következő irány rögzítéséig. Így létrejön a két irány rögzítésének a kezdő időpontja, amit felhasználunk a waveform adattípus létrehozásához. A waveform „dt” paraméterét a mintavételezési frekvencia reciprokaként állítjuk elő.

11.1.3. Szűrő-tervezés.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Szűrő jellege: [unsigned word16]
- Szűrő típus: [unsigned word16]
- Frekvencia tulajdonságok: [cluster (double, double, double, double)]
- Ripple specification: [cluster (double, double, boolean)]
- Mintavételezési frekvencia [Hz]: [double]

Kimenetek:

- Magnitude response [cluster (double, double, 1D array of double)]
- Phase response: [cluster (double, double, 1D array of double)]
- Szűrő fokszám: [int32]

Leírás:

A program különböző szűrőtervezési algoritmusokat kínál fel szűrő jelleg és típus beállítási lehetőséggel. A megadott frekvenciaparaméterek alapján állíthatóak be a vágási, ill. áteresztési pontok. Az VI megjeleníti a szűrő amplitúdó és fázismenetét, valamint a szűrő fokszámát.

11.1.4. D.Ö.M.P.E.R..VI

Ikon:



Leírás:

A 6-os fejezetben bemutatott diagnosztikai minősítő program.

11.1.5. Normalizációs korrekció.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Beolvasási hely: [file path]

Kimenetek:

- Irány: [string]
- Normalizációs korrekció: [double]

Leírás:

A mérési fájl nevéből kiolvassa a normalizációhoz alkalmazott konstanst, valamint az irány azonosítását lehetővé tevő „_e” vagy „_h” tagokat.

11.1.6. Időjel vágása.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Vágatlan időjel: [Waveform (DBL)]
- Időjel vágása ON/OFF: [boolean]
- Kezdeti idő: [double]
- Jelhossz: [double]
- error in: [error cluster]
- Adatformátum megadása: [int16] (0 → sample, 1 → relative time, default → 0)

Kimenetek:

- Vágott időjel: [Waveform (DBL)]
- Vágott jel kezdeti ideje: [double]
- Vágott jel hossza: [double]
- error out: [error cluster]

Leírás:

A bemenő időjelből lehet részletet kivágni. A bemenő paramétereket választhatóan meg lehet adni másodpercben, vagy az adatsor hosszaként is, alapértelmezett a minták számának megadása.

11.1.7. Idő-AS.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Időjel: [waveform (DBL)]
- ON/OFF: [boolean]
- Error in: [error cluster]

Kimenetek:

- Autospektrum [cluster (double, double, 1D array of double)]
- Autospektrum info [type def 'svc_spectrum inf.ctl']
- Error out: [error cluster]

Leírás:

A mintavételezetten mért időjelből Express VI segítségével Autospektrum függvény generálása. A VI csak az AS ON/OFF kapcsoló bekapcsolása esetén működik.

11.1.8. Alapfrekvencia.VI

Ikon:



Bemenetek:

- Autospektrum: [cluster (double, double, 1D array of double)]
- Felharmonikus száma: [integer32]
- Keresési határok megadása: [1D array of cluster (double, double)]
- Minősítési határértékek: [1D array of cluster [double, double]]
- ON/OFF: [boolean]
- Error in: [error cluster]
- AS ON/OFF: [boolean]

Kimenetek:

- Felharmonikus: [double]
- Eredmények [1D array of cluster (double, double, double, double)]
- AS csúcsok: [1D array of cluster (1D array of double, 1D array of double)]
- Minősítések: [1D array of boolean; 1=JÓ, 0=ROSSZ]
- Minősítés: [boolean]
- Error out: [error cluster]
- Talált csúcsok táblázat formázás: [cluster (2D array of string, 1D array of string, integer32)]

Leírás:

A VI alapértelmezett működése az autospektrum vizsgálata alapján az alapfrekvencia megállapítása. Egy bemeneti paraméterként adható meg, mely frekvencia-intervallumon keresse a maximális intenzitású frekvenciakomponenst, amely által megállapítható az motor fordulatszáma. Egy másik bemenetként adható meg a minősítési intervallum, amely alapján a program Boolean kimenetén adja ki a minősítést, hogy a talált frekvencia benne van-e a megengedett tartományban. A VI csak akkor működik, ha az AS ON/OFF és az ON/OFF

választókapcsoló egyaránt „true” értéket kap. Több frekvencia tartomány is megadható, ekkor ezeket a program külön-külön vizsgálja és minősíti. A megjelenítésben láthatóvá válnak a kijelölt frekvenciatartományok, valamint piros ponttal vannak megjelölve a meghatározott tartományokon belüli maximális csúcsértékek.

11.1.9. Időjel tüskék átlag.VI

Ikon:



Bemenetek:

- Időjel: [waveform (DBL)]
- Határ átlag [%]: [double]
- Tüskeszélesség (átlag): [integer32]
- Minősítési csúcshatárérték: [integer32]
- Error in: [error cluster]
- ON/OFF: [boolean]

Kimenetek:

- Csúcsok száma átlag: [integer32]
- Határ átlag: [double]
- Átlag: [double]
- Időjel-tüskék átlag: [1D array of cluster (1D array of double, 1D array of double)]
- Minősítés: [boolean; 1=JÓ, ROSSZ=0]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

A mért időjelet a program először 0 központúvá teszi egy átlag alapú korrekcióval. Ezek után az időjelből számított átlag százalékban megadott többszöröseként definiált threshold határ fölötti tüskék kijelzése és számlálása teszi lehetővé a minősítést. A pozitív tartományban a beadott threshold alapján „csúskereséssel”, a negatívban pedig annak ellentettjével, "völgykereséssel" minősít. A subVI csak az ON/OFF választógomb bekapcsolásával működik.

11.1.10. Időjel tüskék szórás.VI

Ikon:



Bemenetek:

- Időjel: [waveform (DBL)]
- Határ [szórás*%]: [double]
- Minősítési csúcshatárérték [integer32]
- Tüskeszélesség (szórás): [integer32]
- ON/OFF: [boolean]
- Error in: [error cluster]

Kimenetek:

- Csúcsok száma szórás: [integer32]
- Határ szórás: [double]
- Időjel-tüskék szórás: [1D array of cluster (1D array of double, 1D array of double)]
- Szórás: [double]
- Minősítés: [boolean; JÓ=1, ROSSZ=0]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

A mért időjelet a program először 0 központúvá teszi egy átlag alapú korrekcióval. Ezek után az időjelből számított szórás százalékban megadott többszöröseként definiált threshold határ fölötti tüskék kijelzése és számlálása teszi lehetővé a minősítést. A pozitív tartományban a beadott threshold érték alapján „csúskereséssel”, a negatívban pedig annak ellentettjével, "völgykereséssel" minősít. A subVI csak az ON/OFF választógomb bekapcsolásával működik.

11.1.11. SubVI_Kurtosis_v1.1.VI

Ikon:



Bemenetek:

- Input waveform: [waveform (DBL)]
- Input data: [cluster (int32, int32, int32, double, double)]
- Error in: [error cluster]

Kimenetek:

- Output waveform: [waveform (DBL)]
- Output data: [cluster (boolean, int32, double, double)]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

Először egy ablakolási technikával adott hosszúságú jeldarabokat vág ki, majd az adott jeldarabra alkalmazza a negyedik momentum számításának képletét, mely az alábbi:

$$\alpha_4 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^2}$$

A subVI az ON/OFF kapcsolójának bekapcsolásával működik.

11.1.12. RMS-arány.VI

Ikon:



Bemenetek:

- Osztási frekvencia [Hz]: [double]
- Alsó frekvencia határ [Hz]: [double]
- Felső frekvencia határ [Hz]: [double]
- Minősítési határérték: [double]
- AS ON/OFF: [boolean]
- ON/OFF: [boolean]
- Autospektrum: [cluster (double, double, 1D array of double)]
- Error in: [error cluster]

Kimenetek:

- RMS arány: [double]
- RMS arány grafikon [1D array of cluster (double, double, 1D array of double)]
- Minősítés: [boolean; 1=JÓ, 0=ROSSZ]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

Autospektrum függvény integrálása a frekvencia szerint megadott határok közötti frekvenciatartományban, mely tartományt egy osztási frekvenciával felosztva alsó és felső tartomány keletkezik. A subVI egy viszonyszámot képez a felső tartomány RMS-ét elosztva az alsó tartományéval, melyet egy minősítési határértékkel vet össze és reláció után dönt a minősítésről. A subVI az AS ON/OFF és az ON/OFF kapcsolók bekapcsolásával működik.

11.1.13. RMS.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Autospektrum: [cluster (double, double, 1D array of double)]
- Alsó frekvencia határ [Hz]: [double]
- Felső frekvencia határ [Hz]: [double]
- Minősítési határérték: [double]
- AS ON/OFF: [boolean]
- ON/OFF: [boolean]
- Error in: [error cluster]

Kimenetek:

- RMS: [double]
- RMS grafikon [1D array of cluster (double, double, 1D array of double)]
- Minősítés: [boolean; 1=JÓ, 0=ROSSZ]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

Autospektrum függvény integrálása a frekvencia szerint megadott határok közötti frekvenciatartományban. A minősítési határérték folyamatos összevetésre kerül az aktuális RMS értékkel, ha az integrálérték átlépi ezt a küszöböt, akkor a minősítési kimenet 0=ROSSZ. A subVI az AS ON/OFF és az ON/OFF kapcsológombok aktiválásával működik.

11.1.14. AR-modell_sub.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Autoregressziós modellrend: [int32]
- Normalizált autokorrelációs függvény: [1D array of double]

Kimenetek:

- Autoregressziós modell: [1D array of double]

Leírás:

Ez a subVI nem a feladatunk keretein belül került kifejlesztésre. A MAIDLab (Dobján Tibor) egy korábbi feladat megvalósítása során fejlesztette ki és bocsátotta rendelkezésünkre.

11.1.15. AR-szűrő_sub.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Mért időjel: [1D array of double]
- Autoregressziós modell: [1D array of double]

Kimenetek:

- Szűrt időjel: [1D array of double]

Leírás:

Ez a subVI nem a feladatunk keretein belül került kifejlesztésre. A MAIDLab (Dobján Tibor) egy korábbi feladat megvalósítása során fejlesztette ki és bocsátotta rendelkezésünkre.

11.1.16. NACF_sub.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Autokorrelációs függvény: [1D array of double]

Kimenetek:

- Normalizált autokorrelációs függvény: [1D array of double]

Leírás:

Ez a subVI nem a feladatunk keretein belül került kifejlesztésre. A MAIDLab (Dobján Tibor) egy korábbi feladat megvalósítása során fejlesztette ki és bocsátotta rendelkezésünkre.

11.1.17. SPRT_sub.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Szűrt időjel: [1D array of double]
- Sigma1 értéke: [double]
- A: [double]
- B: [double]

Kimenetek:

- Lambda: [1D array of double]
- Riasztás B esemény: [boolean]
- Lambda: [1D array of waveform]

Leírás:

Ez a subVI nem a feladatunk keretein belül került kifejlesztésre. A MAIDLab (Dobján Tibor) egy korábbi feladat megvalósítása során fejlesztette ki és bocsátotta rendelkezésünkre.

11.1.18. SPRT.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Időjel: [waveform]
- Alsó határ: [double]
- Megengedett riasztások száma: [integer32]
- Felső határ (SPRT minősítési határérték): [double]
- Szigma1 értéke: [double]
- Autoregressziós modellrend: [integer32]
- ON/OFF: [boolean]
- Error in: [error cluster]

Kimenetek:

- Lambda max: [double]
- Felső határ elérve?: [boolean]
- Lambda: [1D array of waveform]
- Minősítés: [boolean; 1=JÓ, 0=ROSSZ]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

Szekvenciális valószínűségi hányados teszt a normalizált autokorrelációs függvény előállítását követően. A mérési hibákból eredő "téves" riasztások maximumát a megengedett riasztások bemenet inicializálja.

11.1.19. RMS(t).VI

Ikon:



Bemenetek:

- Időjel: [waveform]
- Adatformátum megadása: [unsigned word]
- Ablakhoz rendelés: [unsigned word]
- Alsó frekvencia határ [Hz]: [double]
- Felső frekvencia határ [Hz]: [double]
- Vizsgált jeldarabok hossza: [double]
- Csúsztatás mértéke: [double]
- Vizsgálat kezdőpontja: [double]
- Vizsgálat végpontja: [double]
- Minősítési határérték (max RMS(t)): [double]
- Minősítési határérték (RMS(t) átlag): [double]
- ON/OFF: [boolean]
- error in: [Error cluster]

Kimenetek:

- max RMS(t): [double]
- RMS(t) átlag: [double]
- RMS(t) grafikon [1D array of cluster (1D array of double, 1D array of double)]
- Minősítés (max RMS(t)): [boolean; 1=JÓ, 0=ROSSZ]
- Minősítés (RMS(t) átlag): [boolean; 1=JÓ, 0=ROSSZ]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

Az időjelből a megadott kezdőpont és az időjel vége, vagy a megadott végpont között a paramétereknek megfelelő méretű ablakozást alkalmazva részleteket vág ki. A részletek autospektrumainak kiszámítását követően a megadott frekvenciaintervallumban RMS értékeket számítunk. Az RMS értékeket a hozzájuk tartozó időjelek adott (felhasználó választhatja meg, hogy kezdő-, közép-, vagy vég-) pontjához rendelve jelenítjük meg a kimeneti grafikonon. A minősítéshez szükséges paraméterként az RMS-idő grafikon maximális pontját felülről korlátozó határt adhatunk meg. A kimeneti minősítés (boolean) igaz értéket ad, ha a számított RMS értékek egyike sem haladja meg a határt. Az RMS(t) függvénynek számítjuk az átlagértékét is, erre szintén megadható egy minősítési határérték, amelyhez külön minősítő kimenet tartozik.

11.1.20. AS-maszk.VI

Ikon:



Bemenetek:

- Alapfrekvencia: [double]
- Felső vizsgálati határ: [double]
- Autospektrum: [cluster [double, double, double]]
- Autospektrum XY: [1D array of cluster [1D array of double, 1D array of double]]
- Maszk adatok: [cluster [1D array of cluster [double, double], double]]
- ON/OFF: [boolean]
- Error in: [error cluster]

Kimenetek:

- Hibás adatok: [1D array of cluster]
- Maszkolt AS: [1D array of cluster [1D array of double, 1D array of double]]
- Minősítés: [boolean]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

A program a készített autospektrum függvényre egy bemenetként megadott maszkot illeszt, amelynek segítségével megállapítható, hogy a spektrum mely pontjai tartózkodnak ezen maszkon kívül. A maszk pontsorát a program automatikusan az autospektrumból megállapítható alapfrekvenciához illeszti a dinamikusabb kiértékelhetőség céljából. A minősítő kimeneten "true" értéket ad, ha az autospektrum minden pontja a megadott maszk alatt található. A felső vizsgálati határ beállításával elérhető, hogy csak egy adott részt vizsgáljunk a spektrumból, nem a teljes tartományt. Ez gyorsítja a számítást. A program az ON/OFF és az AS ON/OFF kapcsolók bekapcsolásával aktiválható.

11.1.21. CFG-ből XY pontsor.VI

Ikon:



Bemenetek:

- Refnum in: [Config data refnum]
- Section in: [string]
- Error in: [error cluster]

Kimenetek:

- Refnum out: [Config data refnum]
- Koordináták: [1D array of cluster (double, double)]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

A subVI az AS-maszk módszer működéséhez szükséges profil pontjait olvassa ki egy konfigurációs fájlból. A programban egy ciklus fut le, mely sorról sorra halad a szekcióban, és ellenőrzi, hogy X, vagy Y koordinátát olvas-e be. A beolvasott számszerű értékeket adott ponthoz tartozó X-Y párokként továbbítjuk, a ciklus lefutása végére egy tömb épül fel, tartalmazva a teljes maszk pontsorának adatait.

11.1.22. Koordkiir.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Refnum in: [Config data refnum]
- Section: [string]
- Koordináták: [1D array of cluster (double, double)]
- Error in: [error cluster]

Kimenetek:

- Refnum out: [Config data refnum]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

Az autospektrum maszkolási módszer számára előállított maszk pontjai egy külön, [profil] szekcióban kapnak helyet a konfigurációs fájlban belül. A pontsor fájlba írását szolgálja ez a szubrutin. A profilt X (frekvencia) és Y (amplitúdó) koordináták írják le. Az elkészített ciklus a maszk pontjait sorra veszi, és azok X és Y koordinátáit rögzíti a szekció következő két kulcsában. A kulcsok nevei „X”, illetve „Y”, az aktuális pont sorszámával kiegészítve (000-val kezdve). A beolvasási programrészletnél is hasonló eljárást végzünk. Egy ciklus fut le, mely sorról sorra halad a szekcióban, és ellenőrzi, hogy X, vagy Y koordinátát olvas-e be.

11.1.23. Maszk-szerkesztő.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Nincs

Kimenetek:

- Maszk adatok: [cluster (array of cluster (double, double), double)]

Leírás:

Az AS-maszk.VI program számára készíthető elő vele egy autospektrum-burkoló maszk. Lehetőség van a burkoló maszk automatikus generálására, valamint manuális, táblázatos koordináta-megadásra és a pontok grafikonon való megjelölésére is. A grafikonos megjelenítés képes megjeleníteni a szerkesztett maszk háttérében több autospektrum görbét is, melyeket úgy torzít, hogy alapfrekvenciájuk a megadott helyre kerüljön. Egy mappa összes „.wav” fájlját is be lehet tölteni egyszerre, ekkor egy kapcsolóval választható, hogy az autospektrumokat külön-külön akarjuk kirajzoltatni, vagy szeretnénk egy olyan görbét létrehozni, amely pontjainak értékét mindig az az időjel határozza meg, mely autospektrumának adott helyen vett értéke maximális.

11.1.24. Arány_különbség.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Előremeneti adat: [double]
- Hátrameneti adat: [double]
- Minősítési határérték: [double]
- Arány/különbség: [boolean]
- ON/OFF: [boolean]
- Error in: [error cluster]

Kimenetek:

- Eredmény: [double]
- Minősítés: [boolean, 1=JÓ; 0=ROSSZ]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

Különböző minősítési módszerek előre, illetve hátrameneti eredményeit összehasonlító VI, arány és különbség alapú minősítéssel ellátva. Az ON/OFF kapcsolóval aktiválható, a Különbség/arány választógombbal kiválasztható a belső összehasonlítási metódus.

11.1.25. Listbox.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Mappa útvonala: [file path]
- Keresett kiterjesztés: [string]
- Error in: [error cluster]

Kimenetek:

- Összes talált fájl útvonala: [1D array of file path]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

A megadott mappa kijelölését követően a mappa által tartalmazott, bemenetként megadott kiterjesztéssel rendelkező fájlokat listázza ki a program. A listában feltüntetésre kerül a fájlok neve, mérete, valamint az utolsó módosítás dátuma.

11.1.26. Mappa-lista.VI

Ikon:**Bemenetek:**

- Path be: [file path]
- Keresett kiterjesztés: [string]
- Error in: [error cluster]

Kimenetek:

- Mappa összes fájlja: [1D array of string]
- File és mappa információk: [2D array of string]
- Path ki: [file path]
- Összes talált fájl útvonala: [1D array of file path]
- Szimbólumok: [1D array of int32]
- Error out: [error cluster]

Leírás:

A bemenő adatként megadott elérési útvonallal meghatározott mappában vizsgálja a tartalmazott fájlokat, kigyűjti a keresett kiterjesztéssel megegyezőket, majd kimeneti információként tömböket ad, melyekben a mappa összes fájljának neve, az adott kiterjesztésű fájlok elérési útvonalai, valamint a keresett fájlok fontosabb információi találhatók.