

REZGÉSDIAGNOSZTIKAI VIZSGÁLATOK FÖLDI GÁZTURBINÁKON

Amióta az ember ipari célra gépeket kezdett készíteni, mindig foglalkoztatta a gépek rezgésének problémája. Mivel a rezgés szigetelésének vagy csökkentésének technikája a géptervezés szerves részét képezi, a mechanikai rezgések pontos mérése és elemzése iránti igény megnövekedett.

Az eltelt 20-30 év alatt teljesen új rezgésmérési technológia fejlődött ki, amely alkalmas a korszerű nagy igénybevételű, gyors gépek mérésére is. A piezoelektromos gyorsulásérzékelő használatával a rezgő mozgást elektromos jellé alakítjuk át, így kihasználhatjuk a rezgés mérésénél és elemzésénél a számítógépes adatfeldolgozás lehetőségeit.

A gyakorlatban igen nehéz elkerülni a rezgéseket. Keletkezésük oka rendszerint a géprészek gyártási tűrései, légrései, gördülő és rugalmas kapcsolatai és forgó- illetve állórészei között ható, kiegyensúlyozatlanságból eredő erők. Gyakran kis, jelentéktelen rezgések a gép egyéb részeit azok rezonáns frekvenciáján gerjeszthetik, erősíthetik erős rezgésekké és zajforrásokká.

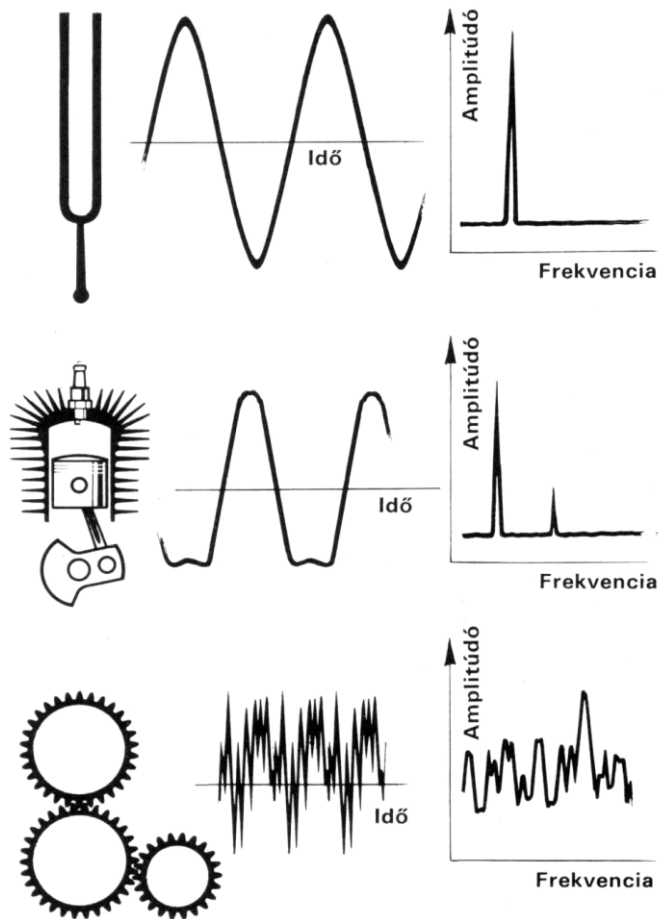
Minden rezgéstechnikai munka alapkövetelménye a rezgés pontos leírása mérésekkel és elemzéssel, akár olyan gépről van szó, amely a rezgés energiáját hasznosítja, akár pedig olyanról, amelynek létrehozásánál vagy üzemfenntartásánál fontos követelmény a mechanikai részek sima járása. Ahhoz, hogy mélyebb összefüggéseket megértsünk, előbb meg kell ismerkednünk a rezgésméréssel kapcsolatos alapfogalmakkal.

A test akkor rezeg, ha egy adott referencia-helyzethez képest oszcilláló mozgást végez. Az egy másodperc alatti teljes mozgásciklusok száma a frekvencia, amelyet Herz (Hz) egységekben mérünk.

A mozgás lehet egyetlen összetevőjű, mint például a hangvilláé, vagy több összetevőjű, egyidejűleg több frekvencia jelenlétére utaló, mint például a belsőégésű motor dugattyújának a mozgása.

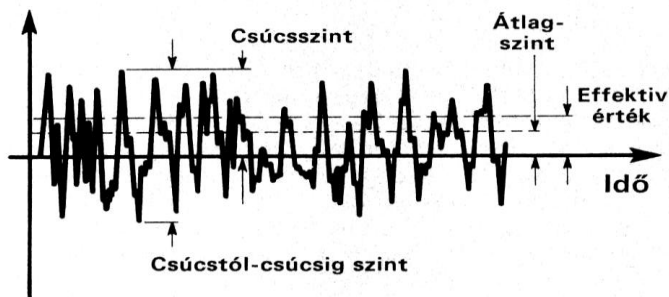
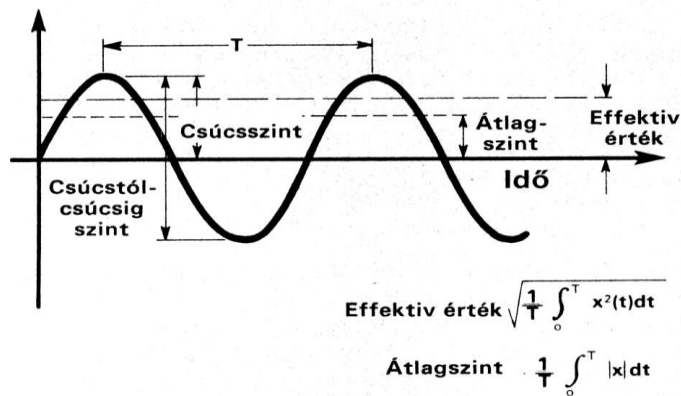
A gyakorlatban a rezgésjelek összetettek, és rendszerint az egyidejűleg ható összetevők igen különböző frekvenciájúak, tehát az amplitúdó-idő függvényből azonnal nem látható az összetevők száma és frekvenciája. Az összetevőket láthatóvá lehet tenni, ha a rezgés amplitúdóját a frekvencia függvényében ábrázoljuk. A rezgésjelek felbontása önálló frekvenciaösszetevőkre, az elemzés művelete az a mérés technika, amely a hibakereső, diagnosztizáló rezgésmérések legfonto-

sabb pontja. Azt a diagramot, amely a rezgésszintet a frekvencia függvényében ábrázolja, frekvenciaspektrumnak nevezzük. Ha a géprezgéseket elemezzük, általában számos markáns periodikus frekvenciaösszetevőt találunk, amelyek közvetlen kapcsolatban állnak a gép különböző részeinek mozgásával. A frekvenciaelemzéssel lehetőségünk van arra, hogy megtaláljuk a nemkívánatos rezgések forrását.



1. ábra. Különböző mozgásösszetevőjű rezgések amplitúdói a frekvencia függvényében

A rezgés amplitúdója, amely jellemzi és leírja a rezgés erősségét, többféleképpen értékelhető. A 2. ábrán egy szinuszos rezgés csúcstól-csúcsig szintje, csúcserőértéke, átlagszintje és négyzetes középértéke vagy effektív értéke (RMS — Root-mean square) közötti összefüggések láthatók.



2. ábra. Szinuszos rezgés

ahol:

- a csúcstól-csúcsig érték igen fontos, mert a rezgőmozgás legnagyobb kitérését mutatja, ami egy géprész esetén lényeges a rezgés elmozdulásának kritikus, a maximális igénybevétel, mechanikai túrések, légrések megítélése szempontjából;
- a csúcserték különlegesen fontos a rövididejű ütések mérésénél, azonban nem utal a rezgőmozgás időlefolyására;
- az egyenirányított átlagérték már figyelembe veszi a rezgőmozgás időlefolyását, azonban nincs közvetlen összefüggésben egyetlen fizikai mennyiséggel sem;
- az RMS vagy effektív érték az amplitúdó legfontosabb mértéke, mert a hullámnak az időlefolyását is figyelembe véve egyben olyan amplitúdó értéket ad, amely közvetlenül összefügg az energiatartalommal, és ezért a rezgés romboló hatásával.

A rezgés jellemzői lehetnek a gyorsulás, a sebesség és az elmozdulás. Szinuszos jelnél az elmozdulás-, sebesség- és gyorsulásamplitúdók matematikai kapcsolatban állnak a frekvencia- és idő függvényekkel, ez a diagramból látható. Ha a fázist elhanyagoljuk, a sebességszintet megkapjuk a gyorsulásjel értékének a frekvenciával arányos tényezővel való osztása útján, és az elmozdulást a gyorsulásjel értékének a frekvencia négyzetével arányos tényezővel történő osztással. Ezt az osztást a mérőprogram integrálással elvégzi. A rezgésjellemzőket az ISO-követelményeknek megfelelően metrikus egységekben mérjük, amelyek a következők:

- elmozdulás [m; mm; μm];
- sebesség [m/s; mm/s];
- gyorsulás [m/s^2].

A rezgés gyorsulások mérése nem köti mérésünket kizárólag ehhez a paraméterhez, mivel integrálással a gyorsulásjelet átalakítjuk sebesség- és elmozdulásértékekre. A korszerű rezgésmérő mindhárom jellemző mérésére alkalmas.

Egyetlen szélessávú rezgésmérésnél a paraméter megválasztása nagyon fontos, ha a jel több különböző frekvenciájú összetevőt is tartalmaz. Az elmozdulás mérésekor a kisfrekvenciájú összetevők kerülnek előtérbe, a gyorsulásmérés inkább a nagyobb frekvenciájú összetevőket emeli ki.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a rezgéssebesség RMS értéke 10 Hz és 1 kHz közötti sávban mérve a rezgés erősségét adja meg a legjobban, ugyanis adott sebességszint megfelel adott energiaszintnek mind a kis, mind pedig a nagyobb frekvenciákon a rezgés energiája szerint súlyozva. Frekvenciaelemzés céljára rendszerint a sebesség- vagy a gyorsulásparamétereket válasszuk, mivel ezek a paraméterek adják a leglaposabb frekvenciaspektrumot.

Az érzékelő, amelyet rezgésmérésekhez a legtöbb esetben használunk, a piezoelektromos gyorsulásérzékelő. Igen nagy frekvencia- és dinamikatartománya jó linearitással párosul a teljes sávban. Viszonylag robusztus és megbízható, úgy, hogy jellemzői állandóak maradnak hosszú időn keresztül. Továbbá a piezoelektromos gyorsulásérzékelő öngerjesztésű, vagyis nem igényel külső táplálást. Nincsenek mozgó, elhasználódó alkatrészei, és végül a gyorsulással arányos kimenete integrálható a sebességgel és elmozdulással arányos jelek nyerése céljából. A gyorsulásérzékelők gyakorlati kivitelénél a piezoelektromos elem úgy van elhelyezve, hogy rezgés hatására az alkalmazott tömeg a rezgés gyorsulásával arányos erővel hat a piezoelektromos elemre.

Gyorsulásérzékelők széles választéka áll rendelkezésre, hogy a speciális mérések követelményeinek is megfelelően (kisméretű érzékelők nagy rezgésszintekhez és finom szerkezetekhez; érzékelő három egymásra merőleges síkban való egyidejű méréshez; nagy hőmérsékletekre; igen kis rezgésszintekhez; kalibráláshoz; az ipari gépek állandó figyeléséhez).

A gyorsulásérzékelők jellemzői az érzékenység, a tömeg, és a dinamikatartomány. Az érzékelő tömege lényegesen befolyásolhatja a mérési hely rezgés-

szintjét és frekvenciáját, ha könnyű tárgyon kell mérni, ezért általánosságban célszerű betartani azt a szabályt, hogy a gyorsulásérzékelő tömege legfeljebb egytizede lehet annak a rezgő dinamikus tömegnek, amelyre azt mérés céljából szereljük. Az érzékelő dinamika tartományát (lineáris jelátvitel) akkor célszerű figyelembe venni, ha szélsőségesen kis ($0,01 \text{ m/s}^2$ alatti) vagy nagy ($10\,000 \text{ m/s}^2$ feletti) gyorsulásszinteket kell mérni. Az alsó határt nem közvetlenül az érzékelő szabja meg, hanem a kábel és az erősítő áramkörök elektromos zaja. A felső határt a gyorsulásérzékelő felépítési szilárdsága határozza meg.

Mechanikai rendszerek rezgési energiájának zöme a viszonylag keskeny, 10–1000 Hz közötti frekvenciasávba esik, azonban a méréseket sok esetben 10 kHz-ig is elvégezzük, mivel az ilyen széles sávban gyakran értékes információkat hordozó frekvenciaösszetevőket találhatunk. Éppen ezért meg kell győződnünk a gyorsulásérzékelő megválasztásánál arról, hogy annak frekvenciatartománya fedi-e a mérni kívánt rezgéstartományt. Gyakorlatban a mérési tartomány alsó széle 1 Hz alatt van, nagyobb figyelmet inkább a felső határra kell fordítani, amit a gyorsulásérzékelő rezonancia frekvenciájának egyharmadában szabunk meg. Általános célokra alkalmas gyorsulásérzékelők jellemző rezonancia frekvenciája 20–30 kHz körül van.

Mivel a gyorsulásérzékelő érzékenysége a nagyobb frekvenciákon jellemzően a rezonancia fellépéséből kifolyólag megnövekszik, a kimeneti jel nagyobb frekvenciáknál már nem tükrözi hűen a mérési hely rezgéseit. A frekvenciaanalízis során ez nagyfrekvenciás csúcsként jelentkezik, amit nem hagyhatunk figyelmen kívül, ugyanis értékes összetevők is rejlenek benne. Megoldást jelenthet igen széles frekvenciasávú gyorsulásérzékelő választása és aluláteresztő szűrő alkalmazása, így levágjuk a nemkívánatos jeleket.

A gyorsulásérzékelőt úgy kell felszerelni, hogy a kívánt mérési irány egybeessen az érzékelő fő érzékenységi tengelyével. Egy tárgyon történő rezgésméréskor többnyire adott a mérési pont helye. A mérést végezhetjük radiális irányban vízszintes és függőleges tengely mentén valamint axiális irányban. A mechanikai részek viselkedése a keltett rezgések hatására komplex jelenség. Ezt állapíthatjuk meg, ha ugyanazon gépelemen szomszédos mérési helyeken is mérünk, különösen nagyobb frekvenciákon jelentősen különböző rezgésszinteket és frekvenciaspektrumokat találva. A rezgésdiagnosztikai mérések talán legnagyobb nehézsége az érzékelő megfelelő elhelyezése, ugyanis úgy kell mérési pontot találni, hogy a forrástól a számunkra értékes rezgésjel, minél kevesebb alkatrészen haladjon át, tehát minél kevésbé módosuljon.

A telepített gyorsulásérzékelő ideális rögzítése a sima felülethez menetes csappal történik, de kemény ragasztót is alkalmaznak, ha a berendezés nem fűrható meg. Mobil mérőrendszer érzékelője erős mágnissel rögzíthető ideiglenesen a sima felülethez.

A rezgésdiagnosztikai mérési folyamat eredményét számos külső hatás befolyásolhatja, mint például a légköri nedvesség, hőmérsékletingadozás, nukleáris

sugárzás, környezeti hőmérséklet, földhurok hatása, a mérési alap nyúlása, akusztikai zaj, korróziós anyagok, mágneses indukció, keresztirányú rezgések, triboelektromos zaj. A korszerű gyorsulásérzékelők és kábelek csak kismértékben érzékenyek az említett környezeti hatásokra. Igen szélsőséges körülmények között azonban különleges érzékelők szükségesek. Az általános gyorsulásérzékelők 250 °C-ig használhatók. 400 °C-ig alkalmazható gyorsulásérzékelő, különleges piezokerámiával, szintén rendelkezésre áll. Az említett többi környezeti hatás kiküszöbölhető, megfelelő mérőkábel és fej alkalmazásával értékelhető jelet kapunk.

Gyakran ábrázoljuk a frekvenciát logaritmikus skálán. Ez a módszer a skálán a kisfrekvenciákat széthúzza, míg a nagyfrekvenciákat összesűríti és ezzel azonos relatív feloldást nyújt a skála teljes terjedelmében, továbbá a skála méretét ésszerű arányokban adja meg. A logaritmikus skálát a rezgésamplitúdó ábrázolásánál is felhasználjuk. Ez lehetővé teszi a decibel skála használatát a szintek összehasonlításánál. Egy rezgésszint N (dB) értékét a következőképpen határozhatjuk meg:

$$N(\text{dB}) = 20 \cdot \lg \left(\frac{a}{a_{\text{ref}}} \right)$$

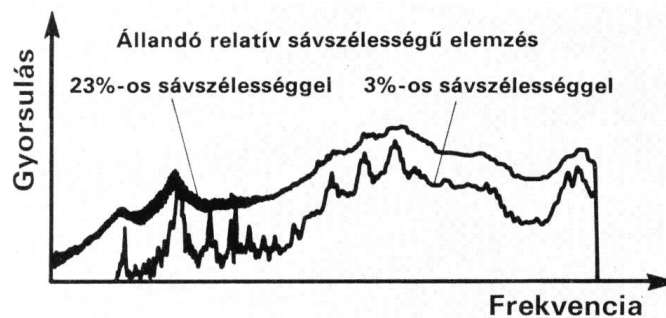
ahol:

N — a decibel-szám;

a — a mért jelszint;

a_{ref} — a referencia jelszint.

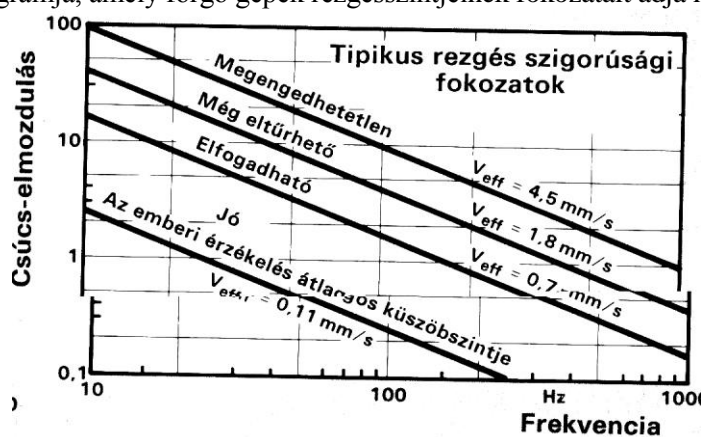
A rezgésmérő — amely az érzékelő által tapintott jelet számunkra értékelhetővé teszi — egyetlen rezgésjelet szolgáltat széles frekvenciasávon mérve. A széles frekvenciasávon belüli frekvencia-összetevők vizsgálatához frekvenciaelemzést kell végeznünk. Ehhez szűrőket alkalmazunk, amelyek a rezgésjeleknek csak azokat a részeit engedik át, amelyek keskeny sávjukba beleférnek. A szűrő sáváteresztő tartományát a teljes átviteli frekvenciasávon mozgatva az adott sáv jelszintjét mindenkor le lehet olvasni. Folyamatosan hangolható sávszűrővel a teljes, mért frekvenciasáv átfogható. Az elemzés felbontóképességét a szűrő átvitt sáv szélessége határozza meg.



3. ábra. Fogaskerekes hajtómű spektruma

A felső spektrumgörbe 23%-os állandó relatív sáv szélességű szűrővel készült, míg az alsó 3%-os szűrővel lett felvéve, azonos mérési jelet feldolgozva. Látható, hogy a keskenyebb sáv szélességű szűrővel sokkal több részletet kapunk és így egyedi csúcsok is kimutathatók a rezgés spektrumában. A keskenysávú elemzés hátránya, hogy a különösen nagy pontosság eléréséhez szükséges sáv szélesség csökkentésével az elemzési idő lényegesen növekszik. Mivel a keskenysávú elemzés elvégzése nagy frekvenciaterjedelemben meglehetősen sok időt igényel, gyakran célszerű széles sávú szűrővel végigmenni a teljes frekvenciatartományon az érdekes részek kikeresésére. Ezután az elemzőt keskeny sáv szélességre kapcsolva csak ennek az értékes tartománynak a részletes elemzését végezzük el.

A széles frekvenciasávú rezgésméréssel igen hasznos rezgésinformációkat tudunk nyerni például a gépek általános állapotának ellenőrzéséhez, vagy a rezgés-szigetelések hatásosságának méréséhez. A mért szintet összehasonlítva a későbbi mérések eredményeivel, vagy előírt szigorúsági kritériumokkal, mérlegelhető a mért gép károsodása. Ezt szemlélteti a 4. ábrán látható a szabványok és ajánlások ismert diagramja, amely forgó gépek rezgésszintjeinek fokozatait adja meg.



4. ábra. Tipikus rezgés szigorúsági fokozatok

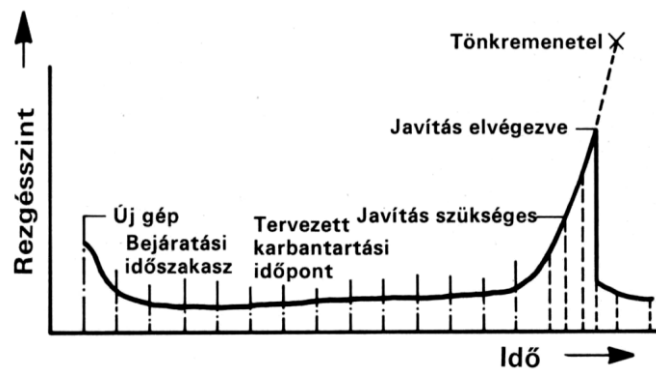
Hibadiagnózis céljából, például a termék fejlesztése során, szükséges a frekvenciaelemzés. A spektrum bizonyos frekvenciaösszetevői azonnal összefüggésbe hozhatók részleges erőfüggvényekkel, például a tengelyek fordulatszámával, a fogaskerék-hajtómű fogszámaival. Mindenkor lehet találni olyan jellemző frekvenciaösszetevőket a spektrumban, amelyek kapcsolatba hozhatók az alapmozgással.

A legjellemzőbbek rendszerint a harmonikusok (az alaphfrekvencia többszörösei). Harmonikusok gyakran úgy állnak elő, hogy az alaphfrekvencia torzul, vagy az eredeti periodikus mozgás eleve nem tiszta szinuszos. Ha ezek találkoznak más gépelemek rezonáns frekvenciáival, magas rezgésszintek jöhetnek létre. Fogaskerekeknél a terhelés hatására bekövetkező fogalaktorzulás és a fogkopás megnöveli az egymásba kapcsolódó fogak által keltett frekvenciaösszetevők

számát és a harmonikusokat. Továbbá gyakran oldalsáv komponensek keletkeznek a kapcsolódási frekvencia és harmonikusai körül periodikus hatásokra, mint amilyen például az excentricitás.

Gyakran nem lehet megváltoztatni a ható erők frekvenciáját (tengely fordulatszámát, fogaskerék áttételét...) ezért más, a kedvezőtlen rezgésszintet csökkentő módszert kell alkalmazni. Ilyen lehet például a gépelemek tömegének és merevségének a megváltoztatása, a rezgések átvitelének a csillapítása szigetelő vagy csillapító anyagokkal.

A gépek ritkán mennek tönkre minden előzmény nélkül. A figyelmeztető jelek rendszerint sokkal előbb jelentkeznek, mint a gép meghibásodás miatti leállása. A géphibára mindig a rezgésszint növekedése a jellemző. Ha a rezgésmérés eredményeként kapott jel szintjét az idő függvényében ábrázoljuk, akkor „kád-görbe” jelleget kapunk (5. ábra).



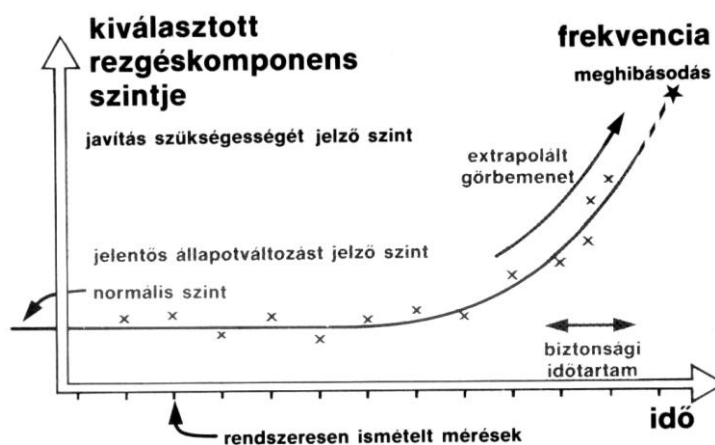
5. ábra. A rezgésmérés eredményeként kapott jel szintje az idő függvényében

A szabályos megelőző karbantartásoknál a javításokat meghatározott időközönként végzik, amelyeket az elhasználódó géprészek várható élettartamának minimumánál terveznek. Azonban, ha a javítással addig várnak, amíg a rezgésszintek jelzik ennek szükségességét, — természetesen a meghibásodás előtt — akkor ezzel fölösleges megbontást kerülhetünk el, ami további hibákat is okozhat, és megelőzhető az ok nélküli leállás.

A gép állapotfüggő karbantartása értékes gazdaságossági előnyökkel jár, ugyanis megnövelhető a gép élettartama és elkerülhetők a váratlan meghibásodások, amelyek katasztrofális kiesést is okozhatnak a folyamatos üzemű gépeknél. A megengedhető rezgésszintet legjobb próbaüzem során meghatározni. Ezzel a karbantartási módszerrel minden egyes gép önállóan kezelhető.

Amint láttuk, a rezgésjelek frekvenciaelemzésével meghatározhatjuk a szereplő frekvenciaösszetevők forrásának helyét. Szokásos üzemi feltételek mellett, a jó gép frekvenciaspektrumát a gép referencianévjegyének tekinthetjük. A későbbi üzem során végzett elemzéseket összehasonlítva ezzel a referenciával

nemcsak a beavatkozás szükségességére, hanem a megállapított hiba forrására is kapunk adatokat. A mérések eredményei alapján a változások iránya extrapolálható és megállapítható, hogy mikorra várható egy adott határérték túllépése, illetve mikor válik szükségessé a javítás (6. ábra).



6. ábra. A javítások szükségessé válása az idő függvényében

Ezt nevezzük trend-felügyeletnek, és ez ad lehetőséget a karbantartás kellő időben történő megszervezésére.

A rezgésmérésre alapozott gépállapotfüggő karbantartási rendszereket a 70-es évek óta sikeresen alkalmazzák a folyamatos üzemű iparágakban. A kőolaj- és vegyipari üzemek valamint más iparágak, ahol nagy értékű forgógépek üzemelnek, ezeket a módszereket gyorsan befogadták, és a lecsökkentett gépállásidők révén jelentős megtakarításokat értek el.

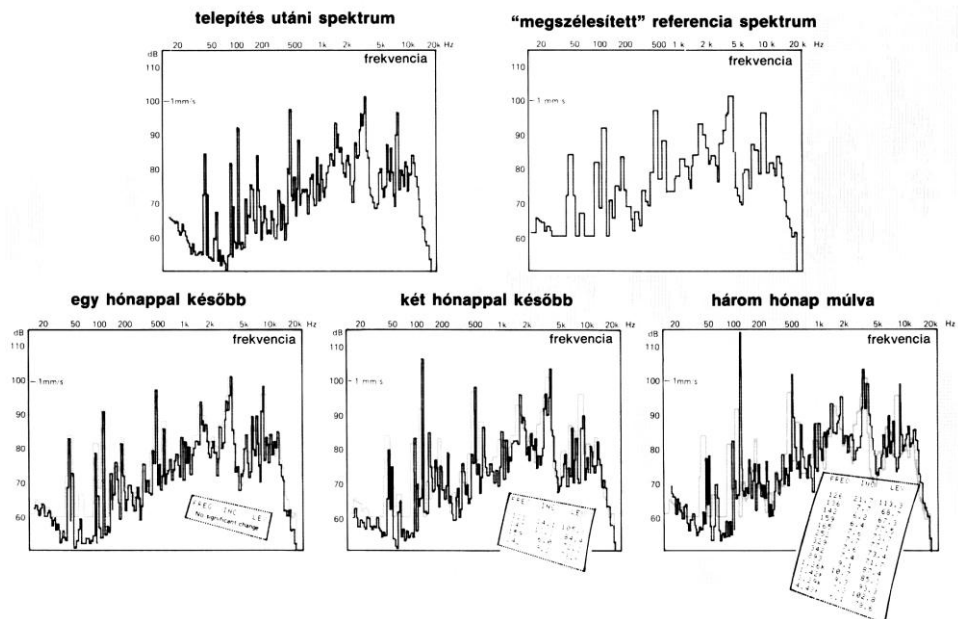
A rendszeres rezgésellenőrzés műszereit több bonyolultsági csoportba lehet besorolni. A különbség a gyorsaságukban, korai hibafelismerő képességük fejlettségében, és az általuk készített trend-analízis pontosságában nyilvánul meg.

A legegyszerűbb rendszerben egyszerű zsebméretű rezgésmérő műszer kerül alkalmazásra, amely megadott széles frekvenciasávban méri a rezgésszinteket. A mért értékeket általános szabványokban megadott, vagy a vizsgált gépre elfogadott referencia-értékkel vetik egybe, azaz a gépállapot értékelése a helyszínen történik. Az ilyen műszerről a rezgésgyorsulás, vagy a rezgésebbesség 10 Hz–1 kHz illetve 10 Hz–10 kHz frekvenciatartományban mért effektív (RMS) értéke vagy csúcserőértéke olvasható le. A rezgésebbesség effektív értéke közvetlenül összehasonlítható a különböző szabványosított rezgéserebbességekkel, aminek alapján a karbantartás esetleges szükségességére lehet következtetni. Egy szélessávú rezgésmérő műszer azonban meglehetősen korlátozott mind a korai hibafelismerést, mind a diagnózist, mind a meghibásodás előrejelzését illetően, ha a lehetőségeit a frekvenciaelemzést végző műszerek szolgáltatásaihoz viszonyítjuk.

Ahogy nő a mérőpontok száma, és a mérést nem időszakosan, hanem állandó jelleggel végezzük, egyre inkább szükségessé válik a spektrumösszehasonlítások számítógépes mérőrendszerrel történő elvégzése. Ebben a rendszerben az egyes gépeken mért rezgésjeleket rögzítik, vagy hálózaton jutnak be a számítógépbe, ahol feldolgozásra kerülnek, hogy összehasonlíthatóvá váljanak az adott gépre vonatkozó, korábban mért spektrumokkal. A hibaelemzést és a trend-analízist is elvégzi a mérőprogram.

Több gépre kiterjedő gépállapot-felügyeleti rendszer esetén számítógépes analízátor-rendszert alkalmazunk. A kihelyezett gyorsulásérzékelők által szolgáltatott jelet a mérőprogram feldolgozza, s a korábban létrehozott referenciaspektrumokkal összehasonlítja. Ez a megoldás kihasználja a laboratóriumi készülékek gyorsaságát, sokoldalúságát és nagyobb felbontóképességét, valamint kisebb mérésenkénti költséget eredményez.

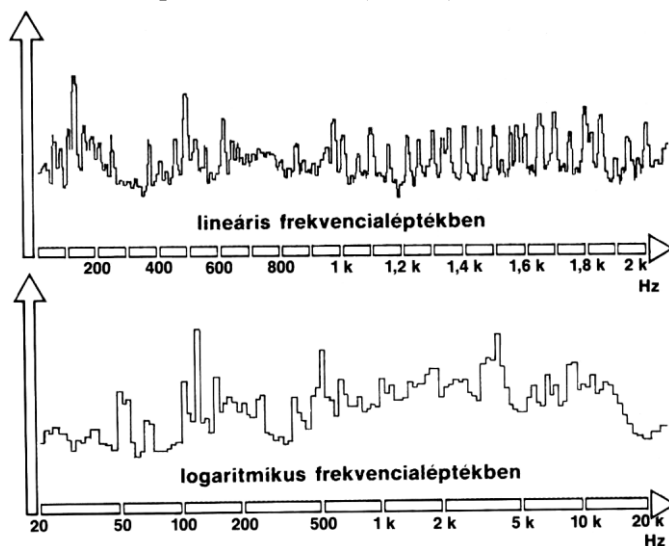
Az úgynevezett FFT-elemzők által szolgáltatott lineáris frekvenciakálajú keskenysávú spektrum kiváló képet ad a harmónikus- és oldalsávi komponensekről, ami különösen értékes tulajdonság, ha diagnosztikai alkalmazásról van szó. Az analízátor zoom funkciójával a spektrum bármelyik szakasza megnyújtható az egyes komponensek részletes vizsgálatához. Külön erre a célra készült programcsomag teszi lehetővé, hogy asztali számítógép segítségével nagymennyiségű géprezgési adat rutinvizsgálatát végezhesük el. Az automatikus összehasonlító programmal kapott néhány tipikus eredmény látható a 7. ábrán.



7. ábra. Az automatikus összehasonlító programmal kapott néhány tipikus eredmény

A mért spektrumok egy nagyfordulatszámú hajtóműtől származnak, amely a 3000 1/min motorfordulatszámot növeli meg a centrifugálkompresszor meghajtásához szükséges 7260 1/min értékre. A meghibásodásra utaló spektrumokon további vizsgálatok is végezhetők: Cepstrum-analizáló, trend-előrebecslő és harmonikus- valamint oldalsávok közötti frekvenciatávolságok pontos meghatározása. Ezek különösen a hajtómű hibafelismeréséhez adnak értékes segítséget.

A frekvenciaspektrum felrajzolásakor mind a lineáris, mind a logaritmikus frekvenciatengelynek lehetnek előnyei. Általában elmondható, hogy a logaritmikus frekvenciaskála és az állandó relatív sáv szélességű analízis a legelőnyösebb, ha korai hibafelismerésről és előrebecslésről van szó. Ugyanakkor a hibadiagnosztika céljaira — különösen, ha összetett gépet vizsgálunk — a lineáris frekvenciaskála és az állandó abszolút sáv szélességű analízis használata előnyösebb, mivel az egyes frekvenciakomponensek jobban szétválnak. Így könnyebbé válik a hibabehatárolás, különösen azoknál a jelcsoportoknál, ahol nagyszámú harmonikus vagy oldalsáv-komponens található (8. ábra).



8. ábra. A frekvenciaspektrum felrajzolása lineáris és logaritmikus frekvenciaskálán

A gép felületén mért rezgések az illető pontba eljutó ciklikus erőket tükrözik vissza. A tényleges rezgés egy adott pontban nemcsak az odajutó erőtől, hanem a szerkezet jelzett pontjának mobilitásától is függ. Logaritmikus skálák használata esetén az eredő rezgésspektrumot egyszerűen az erőspektrum és a mobilitás-spektrum összegzésével nyerhetjük. Értelmetlen dolog csak nagy szintcsúcsokat figyelemmel kísérni a rezgésspektrumban, ugyanis egy nagy erőkomponens hatását az ugyanott jelentkező alacsony mobilitás kompenzálhatja. Így az alacsony jelszintek is jelenthetnek

fontos információkat nagy erőkről. Az alábbi rezgéshatárérték-táblázat csapágyakra vonatkozik (10–10 000 Hz, vonatkozási szint: 10^{-6} mm/s).

Rezgéshatárérték csapágyakra

1. táblázat

A rezgésebbesség szélessávú effektív-értéke géptípusok szerint:	ÚJ GÉPEK ESETÉN				KOPOTT GÉPEKRE (teljes fordulatszámon és terheléssel)			
	Hosszú élettartamú (1000-10 000 üzemóra)		Rövid élettartamú (100-1000 üzemóra)		Készenléti szint (szerviz igény)		Riasztási szint (azonnali javítás)	
	VdB	mm/s	VdB	mm/s	VdB	mm/s	VdB	mm/s
Gázturbinák (20 000 LE fölött 6-20 000 LE között 6000 LE alatt)	138	7,9	145	18	145	18	150	32
	128	2,5	135	5,6	140	10	145	18
	118	0,79	130	3,2	135	5,6	140	10
Sűrítők (szabaddugattyús)	140	10	150	32	150	32	155	56
Centrifugál olajleválasztók	123	1,4	140	10	145	18	150	32
Motorgenerátorok	120	1,0	130	3,2	135	5,6	140	10
Villanymotorok (1200 l/min alatt; 1200 l/min felett)	108	0,25	125	1,8	130	3,2	135	5,6
	103	0,14	125	1,8	130	3,2	135	5,6

Ha egy rezgésszint megnövekedésből valamilyen meghibásodásra lehet következtetni, a felelős mérnök feladata megkeresni a kérdéses gépalkatrészt. Szélessávú rezgésmérések ehhez alig adnak segítséget, bár a csúcstényező mérése gyakran elegendő a hibás golyós-, vagy gördülőcsapágy felderítéséhez. Az általános megoldás azonban a frekvenciaspektrum használata. A gép hibabehatárolásánál a lehetséges meghibásodások jellegzetes frekvenciáinak ismeretében ki kell keresni azokat, amelyek egybeesnek a mért spektrumban mutatkozó szint-növekedéssel. Ehhez az szükséges, hogy legelső lépésnél minden egyes gépre végig kell tanulmányozni a műszaki dokumentációt és egy sematikus ábrában össze kell gyűjteni mindazt az adatot (motor pólusszám, tengelyfordulatszámok, lapátkoszorú lapátszámok, fogaskerék fogszámok, csapágygolyók, görgők száma...), ami a jellegzetes frekvenciák alakulásában szerepet játszhat. Ezekből aztán egyszerű számításokkal megkaphatók a jellemző frekvenciák, amelyeket későbbi felhasználás céljából táblázatban gyűjtünk össze.

Az eddigiekben tárgyalt valamennyi géprezgés-felügyeleti rendszer periodikus állapotellenőrzésekre épül fel. Ezzel igen közeli rokonságot mutat a gépek folyamatos rezgésfelügyelete, ahol a rezgésfigyelő rendszer a gépre állandóan rá van építve, és folyamatosan ellenőrzi annak állapotát. Döntően olyan helyeken

alkalmazzák, ahol egy hirtelen állapotváltozásra azonnali beavatkozás szükséges, illetve ahol nagy értékű, nem duplikált gépek üzemelnek, és ahol azok folyamatos üzeme létfontosságú.

A hibaállapot azonnal vagy legalábbis percekben belül észlelésre kerül és a központi kapcsolóteremben adott riasztójel lehetővé teszi az azonnali hibaelhárító beavatkozást, amivel a katasztrofális meghibásodások megelőzhetők. Az ilyen fajta rendszerek jól beváltak és elterjedtek az erőművi és vegyi üzemekben használt turbináknál, tápszivattyúknál, gázgenerátoroknál.

Valamennyi folyamatos felügyelőrendszerrel szemben elsőrendű követelmény a magas fokú megbízhatóság és hosszú idejű stabilitás, ellenálló képesség a káros környezeti hatásokkal szemben valamint a hibás riasztást kiváltó rendellenességekkel szemben. Kompakt mechanikai konstrukciók, amelyek képesek a párás és poros környezetben is működni, valamint a teljes MIL-szabványok szerinti környezetállósági vizsgálat segítenek a fenti követelmények kielégítésében.

Az ilyen rendszerekre jellemző az automatikus tesztelőrendszer, melynek segítségével a kezelő bármikor meggyőződhet a berendezések helyes működéséről, ha riasztást észlel.

Különleges viszonyok között robbanásbiztos kivitelű berendezések is rendelkezésre állnak. Ezeknél diódás védelem gondoskodik arról, hogy nagyobb feszültségek ne jussanak a robbanásveszélyes helyeken futó kábelekkbe.

A folyamatos állapot-felügyeleti rendszer telepítése előtt alapvetően fontos a spektrumelemzés elvégzése, hogy kiválasztható legyen a legmegfelelőbb mért paraméter, frekvenciatartomány és megszólalási küszöbértékek. A korábbiakban elmondott irányelvek ebben a vonatkozásban is segítséget nyújtanak.

A LEGÚJABB ÁLLAPOT-FELÜGYELETI RENDSZER JELLEMZÉSE

A mérés-technika és automatizálás területén működő vállalatok és fejlesztők számára az üzemeltetők igen összetett követelményrendszert állítanak a gépekre telepített (on-line) mérőrendszerekkel szemben:

- alkalmas legyen lassan kialakuló változások, kopások jelzésére, de gyors, hirtelen hibák esetén is legyen lehetőség a gép védelmére, hamis riasztások elkerülése mellett;
- minden, jelenleg ismert elemző módszer segítse a szakemberek munkáját, de a mérőrendszer saját költsége csak elenyésző része lehet a gép értékének;
- alkalmas legyen több száz érzékelő által mért érték rögzítésére, akár 5-10 éven keresztül is.

A fenti szempontok csak a legújabb mérés technikai módszerek, hardver és szoftver fejlesztések együttes alkalmazásával, jelentős gyártási tapasztalatok mellett eléghetőek ki.

Összetett gépegységek — például kompresszorállomás — esetén, 30-40 csatornán végzett mérés is kevésnek bizonyulhat, elsősorban akkor, ha a rezgésértékek mérése mellett egyéb analóg paraméterek egyidejű mérése is szükséges.

Az újabb állapot-felügyeleti rendszerek már képesek 30 méréspont folyamatos elemzésére. Az ilyen fejlett, digitális jelfeldolgozáson alapuló diagnosztikai mérőrendszer alapvetően az alábbi egységekből épül fel:

- bármely fizikai jellemzőt mérő érzékelők;
- jelkiválasztó, mérő, elemző modulok a mérőkerettel;
- vezérlő számítógép és elemző programcsomagok.

A digitális feldolgozás az alábbi előnyöket, lehetőségeket nyújtja:

- diagnosztikai rendszer, tehát a fellépő probléma okára is utalást ad;
- igények szerint alakítható modulrendszerű hardver és szoftver;
- a mérési sebesség igen nagy (bizonyos modulokkal 10 mérés/s minden csatornán), így katasztrófa jelleggel bekövetkező meghibásodások esetén is mód van a nagy értékű gépek, például turbinák leállítására;
- többféle automatikus önellenőrzést biztosító funkció (self-test), mely a működést felügyeli és kizárja a hamis riasztásokat.

A fejlett állapot-felügyeleti rendszerek jellegzetessége, hogy igen sokféle opció alkalmazására ad lehetőséget az érzékelők, a mérőmodulok és a diagnosztikai mérőprogramok tekintetében.

Egy állapot-felügyeleti rendszert az alábbi, egymásra épülő szoftvercsomagok támogatják:

- alapprogram: a rendszer legfontosabb funkcióit biztosítja (kezelőfelület a képernyőn, alpmérések, a mért értékek folyamatos kijelzése és tárolása, trendelemzés, riasztások, s azok nyilvántartása);
- diagnosztikai program: a spektrum elemzését végzi, így a hibás gépelem meghatározható (nagyfelbontású spektrumok, nagyítás, vízés-diagram, Campbell-diagram);
- csapágy- és hajtómű ellenőrző program (burkológörbe detektálás csapágyhibák és turbinalapát kopások igen korai észleléséhez; frekvencia-spektrum-elemzés);
- tranziens elemző program: (tengelygörbület, excentricitás méréshez, fel-futás- leállítás alatti hibák mérése, X/Y kitérés a fordulat és a fázis függvényében, Nyquist-diagram);
- szakértői program: a rezgésspektrumok és a forgógépek felépítésének ismeretében automatikusan elvégzi a hibaelemzést.

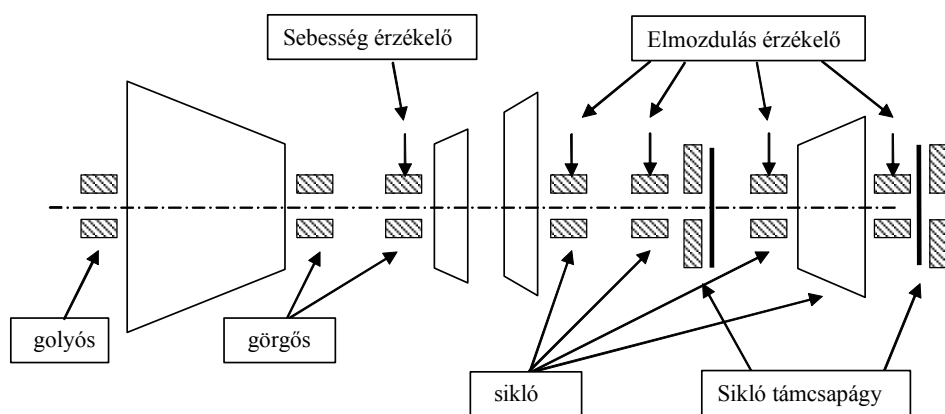
Lehetőség nyílt számomra rezgésdiagnosztikai méréseket végezni a MOL Rt. Kompresszorállomásain. Tájékoztatásul megosztom az olvasóval a gépegységek néhány műszaki jellemzőjét.

A MOL Rt. kompresszorállomásain telepített, földgázüzemű gázturbinával hajtott kompresszoregységek jellemzői

2. táblázat

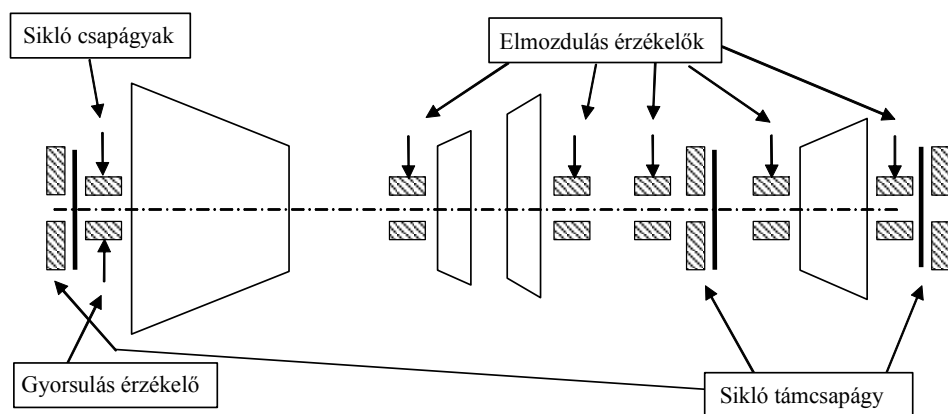
Kompresszorállomás	Kompresszor típusa	Gázturbina típusa	Gépegységek száma	Teljesítmény (MW/db)	Üzembehelyezés éve
Bregdaróc	Nuovo Pignone PLC 802	General Electric MS 3002	4	10,8	1979
Nemesbikk	Ingersol-Rand CDP 416	Allison 501 KC	6	2,8	1982
Városföld	Ingersol-Rand CDP 416	Allison 501 KC	3	2,8	1983
	Solar C304-617	Centaur T4002	4	2,8	1976
Mosonmagyaróvár	Solar C402	Solar Taurus 60S	3	5,4	2001
Hajdúszoboszló	Solar C402	Solar Centaur 50LS	3	4,6	2001

Az Allison 501 KC gázturbina eredetileg a C-130 típusú szállítórepülőgépből volt beépítve, majd ezt követően készítették el a földi változatát. A többi gázturbinát kompresszor-állomásra tervezték. Az eredeti Allison 501 KC gázturbina egytengelyes volt, négy turbinafokozattal, a földi változat gázgenerátorában kétfokozatú turbina van, ami mögött kétfokozatú munkaturbina helyezkedik el, ami meghajtja a távvezetéki kompresszort. A gázgenerátor és munkaturbina forgórészek nincsenek egymással mechanikai kapcsolatban, gázdinamikai kapcsolat van közöttük. Az Allison 501 KC gázgenerátor gördülőcsapágyazású, háromtámaszú forgórész.



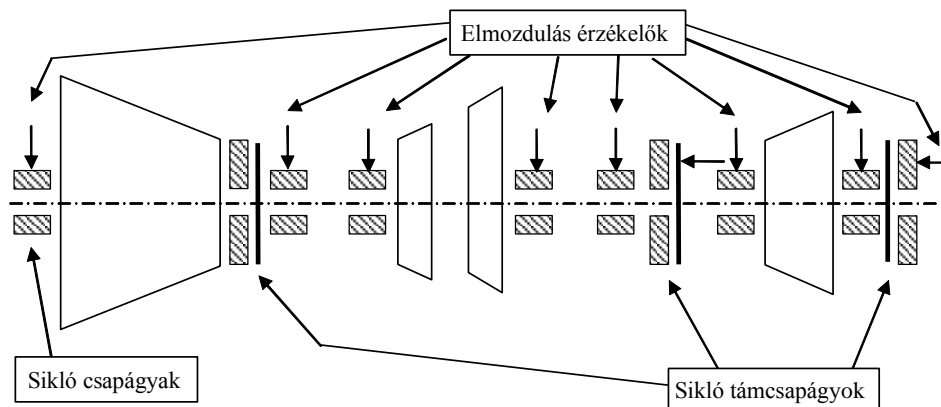
9. ábra. Ingersol-Rand gépegység vázlata

A munkaturbina és a kompresszor között lévő tengelykapcsoló a tengelyek közötti kismértékű szögeltérést és párhuzamos eltérést teszi lehetővé. Az érzékelők a gépegység vezérlőegység analóg műszerein jelzik ki a rezgéssebesség vagy a relatív elmozdulás radiális irányú értékeit effektív értékben (RMS). A gépegységek minden rezgéscsatornájától jelet kap a COMPASS on-line rezgésmonitoring rendszer, amely Bandpass spektrum és Cepsrtum ábrázolásra képes. A gázgenerátor axiálkompresszor házára kiegészítőleg fel van szerelve egy gyorsulásérzékelő, amely 0–20 kHz tartományban mér. Ennek az érzékelőnek a jeleit csak a COMPASS-rendszer kapja meg. A COMPASS-rendszer védelmi funkciót nem lát el, mivel a csatornák multiplexer szervezésűek, így a lekérdezési idő nagyon hosszú. Ez mindegyik géptípuson így van. A rendszer több éves adatgyűjtési funkciót is ellát.



10. ábra. Nuovo Pignone gépegység vázlatja

A Nuovo Pignone gépegységek axiálkompresszorának mellső támaszához kiegészítőleg fel van szerelve egy 0–20 kHz tartományban mérő gyorsulásérzékelő, amelynek jeleit csak a COMPASS-rendszer dolgozza fel. A gépegység többi érzékelője védelmi funkciókat lát el, valamint analóg jelként tájékoztatást ad a rezgésértékekről. A védelmi funkciót a gépegység-vezérlő végzi. A gyorsulásérzékelő kivételével a gépegység minden rezgésérzékelője a gépegység eredeti kialakításához tartozik, jeleiket a COMPASS-rendszer is megkapja és feldolgozza, hasonlóan az Ingersoll Rand gépeknél leírtakhoz.



11. ábra. Solar gépegység vázlat

A 11. ábra a Solar gépegységek kialakítását mutatja. Minden radiális csapágyban két relatív elmozdulásérzékelő van. Mindkét érzékelő be van kötve a gépegység-vezérlő Bentley-Nevada rezgésmérő rendszerébe. A rendszer a gépegység-vezérlő monitorán sávdigram formájában és számszerűen is megjeleníti a tengelycsapágyban történő elmozdulás PP értékét (Pick to Pick). A támcsapágyakban szintén két érzékelő van, de ebből csak az egyik aktív, a másik tartalék.

Minden elmozdulásérzékelő jelét megkapja a COMPASS-rendszer is, ami a konfigurálástól és a modulok típusától függően képes az adatokat feldolgozni. A jelenlegi modulokkal minden csapágytól érkező rezgésértékről megjeleníthető a spektrum 0–1 kHz és 0–10 kHz tartományban a Bandpass, a radiális csapágyaknál az Orbit jellemzők.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Brüel & Kjaer szakmai jegyzetek.
- [2] MOL Rt. szakmai jegyzetek.
- [3] CSA/MS/NVSH 107: kanadai műszaki irányelv forgógépekre.