

Üzembiztonság

Forgógépek rezgésvédelme

Nagyértékű forgógépeknek szokás nevezni az erőművek turbináit, generátorait, a nagyteljesítményű turbókompresszorokat, a kimondottan nagyméretű fogaskerék hajtóműveket és elektromotorokat.

Ezeket a nagyértékű gépeket szinte minden felhasználó tartalék berendezés nélkül üzemelteti, hiszen manapság csak kevés termelőüzem engedheti meg magának azt a luxust, hogy állandó meleg/hideg tartalék gép álljon rendelkezésre. Éppen ezért ezen gépek védelme kifejezetten stratégiai fontosságú, amelyre minden felhasználó fokozott figyelmet fordít. Mi sem bizonyítja ezt jobban, mint az a tény, hogy a nagyértékű forgógépek rezgésvédelmi rendszereire fordított összeg világméretben mintegy két-háromszorosa annak az összegnek, amit a hordozható rezgésdiagnosztikai eszközök és az on-line monitoring rendszerek összesített forgalma tesz ki. Sajnos, a rezgésdiagnosztika egyes szegmenseit tekintve itt a legnagyobb a lemaradásunk a fejlett nyugati országokhoz képest.

A forgógépekre leselkedő veszélyek

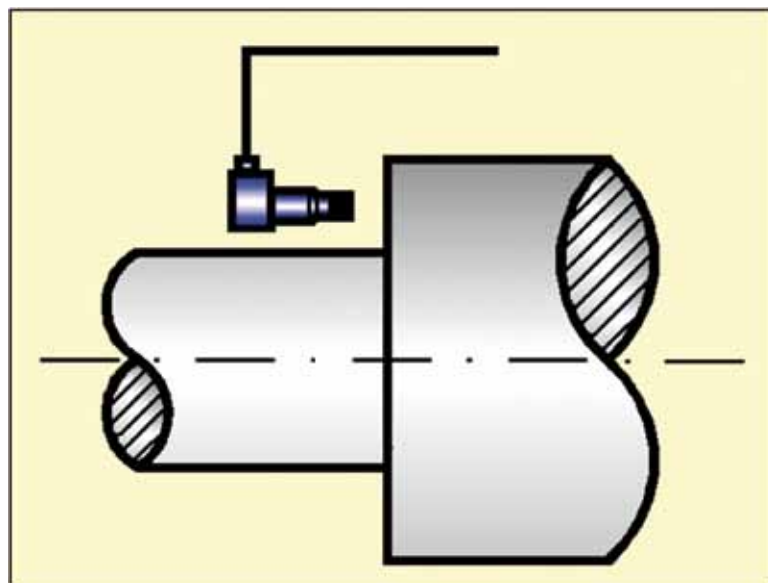
A gépek épségét, üzembiztonságát többféle veszély fenyegeti, s ezek mindegyikére időben föl kell készülni. A könnyebbik eset a normál elhasználódás (pl. gördülőcsapágy belső/külső gyűrű futópálya gödrösödés) okozta üzembiztonság-csökkenés, amely bizonyos állapotjelző paraméterek (mindenekelőtt a rezgés) folyamatos figyelése révén nyomon követhető. Az ilyen feladatok ellátására alkalmas berendezés az állapotfigyelő rendszer, amely egyszerűbb esetben lehet egy hordozható rezgés adatgyűjtő/

elemző készülék, míg bonyolultabb esetben lehet beépített érzékelőkkel felszerelt on-line monitoring rendszer. Ebben az esetben az adatok mennyiségére és azok minél részletesebb feldolgozására helyezük a hangsúlyt. Következésképpen a sok adat „mélyelemzése” nagyon megbízható és fölöttébb látványos eredményekhez vezet. Ezt nevezik diagnosztikai célra kifejlesztett on-line állapotfigyelő rendszernek. Az ilyen rendszerek közé sorolják egyrészt az egyszerűbb ISO szerinti effektív rezgéssebességet vagy valamely nagyfrekvenciás jel integrálértékét kijelző egységektől kezdve a bonyolult, idő- és frekvenciatarományban egyaránt működni képes adatgyűjtő rendszerekig mindent, ami a gépekről az adatokat automatikusan gyűjti a mérési helyre szerelt érzékelők segítségével.



Gyors adatfeldolgozás

A másik, ennél lényegesen nehezebb eset az olyan forgórész meghibásodás, amelynek során letörik egy-egy kisebb darab, s mondjuk a turbinaház belsejében elsza-





badulva gyakorlatilag „legyalulja” a méregdrága lapátózást a tengelyről. Ezek az esetek a másodperc törtrésze alatt lezajló folyamatok, s éppen ezért az ellenük való védekezés is ennek megfelelően gyors kell legyen. Ebben az esetben a feldolgozás sebességére helyezük a hangsúlyt, így ekkor az adatfeldolgozás kevésbé mély és látványos, de a döntéshez szükséges minimális információ a másodperc törtrésze alatt a döntéshozó rendelkezésre áll. Az ilyen különleges feladatra alkalmas berendezéseket nevezzük gépvédelmi rendszernek.

Kérdezhetnénk, hogy miért kell ezt a kétféle funkciót különválasztani, hiszen elvileg bármely forgógépen előfordulhat mind a két típusú (lassan kifejlődő meghibásodás, illetve a hirtelen, váratlanul lecsapó katasztrófa). Ez elvileg így is van, ez megindokolhatná a két rendszer egybekapcsolását. Van egy bökke-

nő, ez pedig nem más, mint a technika jelenlegi fejlettsége. Bármilyen nagy is az adatfeldolgozó rendszerek kapacitása és az adatfeldolgozás sebessége, a rendszer kapacitása mégiscsak véges. Meg kell tehát gondolni, hogy ezt a véges kapacitást milyen célra használjuk föl.

Allapotfigyelő rendszerek

Többek között a diagnosztikai célú állapot-felügyelet követelményrendszerével foglalkozik a VDI 3839-es német műszaki irányelv, amely összefoglaló jelleggel megadja, hogy tulajdonképpen mit is várhatunk el egy ilyen rendszertől. Kezdjük mindenképpel a mérési paraméterekkel. Ebből a szempontból különbséget kell tenni az állórész, illetve a forgórész rezgései között. Az előbbi esetben az állórész elmozdulás, sebesség vagy gyorsulás effektív értékét vagy csúcserőértékét (esetleg csúcstól csúcsig értéket) mérik, s azt hasonlítják össze

szé az etalonnak tekintett adatsorral. Ennek a részleteivel a DIN ISO 10816 szabványsorozat foglalkozik. Az utóbbi esetben, azaz a forgórész rezgésének vizsgálata során a forgórésznek az állórészhez viszonyított mozgását követik nyomon, a megítélés alapjául a körpályától való maximális eltérés vagy pedig két mérőszonda által mért elmozdulás közül a nagyobbik értéke szolgál. Az ilyen jellegű mérésekkel a DIN ISO 7919 szabványsorozat foglalkozik. Vannak ezen kívül nem szabványosított, elsősorban a gördülőcsapágy meghibásodásának előrejelzésére szolgáló, nagyfrekvenciás, úgymond cég-specifikus paraméterek is.

Már az előzőekből is látszik a mérési paraméterek elsődleges rendeltetése, hogy a paraméterek adatsorából trend készüljön:

- › a naplózás segítségével áttekinthető legyen a változások nyomon követése,
- › a veszély küszöbértékek elérésekor a rendszer jelzést adjon.

Mindez annak érdekében szükséges, hogy a felhasználó megfelelő módon informálódhasson a rendszer állapotáról és szükség esetén megtegye a kellő intézkedéseket.

A mérési paraméterek részletekbe menő elemzése akkor készíthető el, ha a rendszer mind hardver, mind pedig szoftver oldalról alkalmas a bonyultabb feladatok ellátására. A paraméterek által szolgáltatott jelfolyam egyrészt vizsgálható időtartományban, másrészt a Fourier transzformációt követően a frekvenciatartományban. Ha mindezt fejlett grafikus kijelző rendszer egészíti ki, akkor annak egy szakértő kezében már komoly információs értéke van.

A német VDI 3839 műszaki irányelv a jelfeldolgozás folyamatából a következő ábrázolási módokat hangsúlyozza:

- › frekvencia függvényében ábrázolt rezgésparaméterek,
- › Bode diagram (amplitúdó-fázis diagram),
- › Nyquist diagramot (más néven polárdiagram),



- › vízesés diagram (kaszád diagram) és
- › Campbell diagram (rezonancia a fordulatszám függvényében).

A VDI 3839 szerint ezek a rezgésvizsgálat leggyakrabban használt vizuális eszközei, melyeket kiegészíthetnek rezgő test/forgórész mozgásformáját bemutató grafikus ábrázolások, mint például:

- › az üzemelés során történő elmozdulás görbéi (ODS, modál-analízis),
- › a forgórész kinetikai pályagörbéje (Lissajous görbék),
- › a forgórész pályagörbékből készült kaszkád diagram, valamint
- › az ún. Gumbel-diagram, amely a forgórész statikus lehajlását mutatja a fordulatszám függvényében,
- › a felfutás/leállási diagramok, amelyeket az instacionér állapotban rögzítettek,
- › a mesterségesen (impulzuskalapács, hidraulikus gerjesztő) gerjesztett rezgések amplitúdóinak lefutását időben, illetve a frekvencia függvényébe mutató diagramok.

A vizuális eszközök alkalmazására jó példa a Brüel&Kjaer Vibro leg-

újabb VC6000 mérőrendszere, amely a fenti követelményrendszer túlnyomó részben teljesíti, s emellett univerzálisan használható nagyértékű forgógépek védelmére, részben diagnosztikájára. Gyakori, hogy a rezgésszimptomákat előre megadott szabályok szerint a számítógépi szoftver kiértékeli, vagyis szakértői rendszerként működik. Előfordulhat az is, hogy az adatátvitel bekapcsolható a technológia teljes irányítástechnikai hálózatába. Ezáltal az operátorokat segítő rendszer alakulhat ki.

Az on-line állapotfigyelő rendszer architektúrája

Az on-line diagnosztikai rendszer általában egy több paraméteres, programozható monitoring rendszer, amely az adatok folyamatos online leolvasását teszi lehetővé. Egy ilyen rendszer többnyire az alábbi elemekből áll:

- › érzékelők és a hozzájuk csatlakozó kábelek,
- › helyi adatgyűjtő /adatfeldolgozó egység,
- › központi helyen (irodában, stb.) elhelyezett számítógép,
- › adatfeldolgozást végző szoftver.

Egy-egy helyi adatgyűjtő általában típustól vagy gyártótól függően 16/32/64 érzékelőből veszi a jeleket. Az egy számítógéphez kapcsolt helyi adatgyűjtők száma úgyszintén 16/32/64 lehet. Általában minél fejlettebb egy rendszer, annál több érzékelő jeleinek fogadására alkalmas. A helyi adatgyűjtő/adatfeldolgozó egység általában egy akatáska méretű rozsdamentes acél dobozban helyezkedik el. Belső szerkezete első ránézésre egy számítógéphez hasonlít, hiszen különféle alaplapokon elhelyezkedő

mikroelektronikai alkatrészekből áll. Általában elkülönül az ún. analóg és az ún. digitális kártya, valamint a különféle speciális jelfeldolgozó funkciókat ellátó kártya.

Ami a bemeneteket illeti, a helyi adatgyűjtő/adatfeldolgozó egységek a következőket tartalmazzák:

- › érzékelő bemenetek (pl. gyorsulásérzékelők, elmozdulásérzékelők, stb.),
- › tachométer bemenetek (a különböző fordulatszámokról kapott információ),
- › logikai bemenetek (pl. milyen üzemi feltételek esetén kell a mérést végezni),
- › adathálózati (LAN) kommunikációs kábelek,
- › elektromos hálózati, azaz teljesítménykábel bemenet.

A helyi adatgyűjtő/adatfeldolgozó egység végzi a letöltött mérési pont konfigurációja alapján az ada-



tok gyűjtését is. Maga az adatgyűjtési folyamat – ha nincs más utasítás érvényben – az előre megállapított sorrendben, egymás után fogadja az egyes érzékelőkről érkező jeleket. Ha mindegyikről megkapta az adatokat, akkor kezdi előlről az egészet. Vegyük példaként a Brüel&Kjaer Vibro cég Compass rendszerét, amely minden csatornát mindig tárol, de a régebbi adatokat egyre jobban tömöríti, a felbontás az adatbázisban először perces lesz, egy év múlva már órás, néhány év múlva nappos lesz a felbontás.

A központi számítógép (és az ezen futó szoftver) feladata többek között az egyes adatgyűjtő/feldolgozó egységek működésének összehangolása, az adatforgalom irányítása, a trendek és a különféle feldolgozottági szintű jelek (spektrum, vízésés- diagram, stb.) képzése, megjelenítése. Külön figyelmet érdemel az adatgyűjtés módja

és az ún. riasztási folyamat. Maga a felhasználó ugyan csak egy adatbázissal kerül kapcsolatba, de azt azért célszerű tudnia, hogy a háttérben többnyire három különböző adatbázis közötti adatforgalomról van szó. A helyi adatgyűjtő/adatfeldolgozó egység fogadja a legújabb mérési adatokat, s ezt az aktuális adatbázisban helyezi el. Ahogy az adatgyűjtés megtörtént, a következő mérési sorozat mindig felülírja az előző adatsort, így a korábbi adatok elveszhetnek, hacsak a rendszer el nem tárolja azokat. Tárolás egyrészt akkor van, ha a mérési pont előre meghatározott riasztási szintjét az aktuális adat túllépte, másrészt akkor, ha a központi számítógép az adatot lekérdezte és tárolta.

Az on-line adatgyűjtő rendszernek előnyös tulajdonsága az irányított adatgyűjtési lehetőség. Ez azt jelenti, hogy az adatgyűjtés folyamatosan ugyan, de csak bizo-

nyos feltételek teljesülése mellett végezhető. A feltételeket az ún. controller-modul fogja össze. Ha ez engedélyt ad az adatgyűjtésre, akkor az megindul, míg a feltételek nem teljesülése esetén adatgyűjtés nincs. Az irányított adatgyűjtés több formában létezik, melyek közül a leggyakrabban az alábbiakat használják:

- › paraméter értékhez kötött adatgyűjtés,
- › logikai feltételek az adatgyűjtésre,
- › tachométeres jelhez kötött adatgyűjtés.

Említésre méltó ezen kívül a logikai kapuzás, mely tulajdonképpen a paraméteres irányítás egyik formája. Ebben az esetben az irányítás egy logikai pontról érkezik, amely a jelet egy külső forrásból (pl. egy PLC-ről) kapja.

A védelmi rendszerrel szemben támasztott fontosabb követelmények

A védelmi feladat az állapotjelző paraméterek határértékeinek figyelmével, figyelmeztető jelzésekkel, esetleg a folyamatba való beavatkozással valósítható meg. A gépvédelmi feladatokkal szemben támasztott követelmények „bibliája” imár több, mint 30 éve az API 670-es számú, amerikai szabvány. Noha a szabvány címe nem utal erre a funkcióra, de a tartalmából egyértelműen kiderül a cél. Az API szabvány rögzíti, hogy a hatálya alá tartozó forgógépekre szerelt monitoring rendszer:

- › az állórész rezgéseit érzékelő gyorsulásérzékelőkből (és a hozzátartozó kábelekből),
- › a forgórész rezgéseit érzékelő örvényáramú szondákból (és a hozzátartozó kábelekből),
- › az oszcillátor/demodulátor egységből,
- › a központi egység különféle moduljaiból (tápfeszültség, rezgésmodul, hőmérséklet modul, stb) kell álljon.

Mivel az olaj- és gázipar berendezéseinek jó része a Föld extrém





időjárású területein található, ezért az API670 előírja, hogy a rendszer álljon ellent a trópusi hőségnek és pl. a szibériai hidegnek is. Az API 670 szerinti gépvédelmi rendszer ön-rezteselő relé (latching relay) alkalmazását is előírja:

- › a forgórész tengelyirányú helyzete,
- › a forgórész radiális irányú rezgései,
- › az állórész csapágyházon mért rezgései,
- › a csapágyhőmérséklet figyelése során.

A rendszer energiaellátását 24 V (DC) törpefeszültség kell biztosítsa.

A mért állapotjelzők kijelzése, azaz a felhasználó tájékoztatása ugyancsak hangsúlyos. Az API670 előírja, hogy a felhasználót tájékoztatni kell a következőkről (a monitoron meg kell jelenjen): az összes mért állapotjelző értéke (rezgés-gyorsulás, rezgéssebesség, hőmérséklet, stb.), minden állapotjelző riasztási (alert) és vészjelzési (alarm) küszöbértéke (ill. annak túllépése), minden hely-

zetjelzés jellegű paraméter (pl forgórész tengelyirányú pozíciója).

Biztosítani kell továbbá egy, a jellel arányos (4 – 20 mA, vagy 0 – 10 V) kimenetet is, hogy adott esetben más mérőeszközzel kiegészítő méréseket (pl rezgés-elemzés) lehessen végezni.

Célszerű, ha a mérőrendszer 1-2 analóg jel figyelésével, (pl terhelés, hőmérséklet) képes a gép automatikusan minden csatornán riasztási határértékeket váltani. Ugyanis másféle rezgés határértékekre van szükség pl egy gázturbinán kis fordulatszámú terhelésen, mint nagy fordulatszámú terhelésen. Ugyanilyen fontos gőzturbinánál a kondenzátor vákuum, stb. Ezt a képességet a szakzsargon "adaptív monitoring stratégiának" hívja.

A gépvédelem szempontjából kritikus feltétel a rendszer működési sebessége. Az API 670 előírásai szerint a meghibásodás (rendellenesség) észlelésétől a riasztás (alert) illetve a vészjelzés (alarm) eltelt idő

maximum 100 msec (0,1 sec) lehet. A csatornához kapcsolódó relé késleltetése 1 és 3 másodperc közötti érték lehet, s az a helyszínen állítható kell legyen.

Lényeges továbbá, hogy a forgórész dinamikus mozgását minden csapágyazási helyen két, egymáshoz képest forgásirányban 90 fokkal eltolt örvényáramú szonda figyelje. Fontos továbbá megjegyezni, hogy az érzékelőket nem szabad az ún. modális csomópontokba helyezni, hiszen ebben az esetben hamis képet kapnánk a forgórész mozgásáról. A tengelyrezgés-érzékelőkhöz tartozó relé pedig csak abban az esetben szólalhat meg, ha mindkét szonda egyidejűleg a határérték átlépését mutató jelet szolgáltat (dual voting). Ugyanilyen relé kell szolgáltasson a csapágy-hőmérséklet mérés, valamint a forgórész tengelyirányú helyzetjelzését (- 1,0 -tól + 1,0 mm -ig) a beavatkozásra.

A precíz vizsgálathoz biztosítani kell a fázisreferenciát, méghoz-

zá minden különböző fordulatszám esetében egy-egy mérőszondával. Ez különösen az első két-három harmonikus esetén fontos. Végül, de nem utolsó sorban említésre méltó még az állórész rezgés paramétereire szabott feltétel rendszer is. Ennek értelmében a gyorsulásérzékelővel történő mérés 10 Hz és 10 kHz között gyorsulást, míg 10 Hz és 2500 Hz között sebességet kell mérjen.

A gépvédelmi rendszerek alkalmazása

A rezgésvédelmi rendszereket leginkább erőművekben alkalmazzák, ezért a legegyszerűbb, ha egy erőművi példán keresztül mutatjuk be a rendszerrel szemben támasztott követelményeket. Az erőművi forgógépeket három nagy csoportba szokás sorolni:

- › fő berendezések (turbinák, generátorok, kazántápszivattyúk),
- › kiegészítő, fő berendezések (hűtővízszivattyúk, szellőző ventilátorok, stb),
- › segédberendezések (minden egyéb forgógép).

A fő berendezésnek számítató erőművi gőzturbina esetén például mérési paraméter lehet a rezgéseken (tengely és állórész, külön-külön) kívül az állórész abszolút hőtágulása, az álló- és forgórész relatív hőtágulása, az ún. nulla fordulatszám megelőzése, a fordulatszám-változásnak, a szelephelyzetnek és természetesen a rotordinamikai jellemzők folyamatos figyelése.

Az amerikai API 670 szabvány mellett a német VDI 3841-es műszaki irányelv a másik olyan dokumentum, amely sok ezer iparvállalatból összegyűjtött tapasztalat alapján készített egy olyan ajánlást, amely az egyes gépekhez hozzárendeli a feladatkörnek leginkább megfelelő diagnosztikai/gépvédelmi eszközöket. A műszaki irányelv, mint a neve is mutatja, nem kötelező érvényű ugyan, de az ott leírtak figyelembe vétele nagyon hasznos lehet az üzemeltetőknek, karbantartóknak. Vegyünk egy-egy példát. Kisebb

teljesítményű centrifugálszivattyú vizsgálatára elegendő az időszakos vizsgálat, amelyet a csapágházon fölvevett rezgésjelek elemzése során egy hordozható analizátorral végzünk. On-line állapotfigyelés kizárólag nagy teljesítmény, vagy különleges üzemi feltételek esetén indokolt. Az erőművi turbina-generátor gépcsoport állapotfigyelése ezzel szemben sokkal komolyabb feladat. Itt minden esetben a következőkre van szükség:

- › örvényáramú mérőszondák (párban beépítve) a csapágyazási helyekre,

- › fordulatszám jeladó (ugyancsak örvényáramú mérőszonda),
- › forgórész axiális helyzetérzékelő (ugyancsak örvényáramú mérőszonda).

Nagyértékű fogaskerék hajtómű esetén az előbbiek mellé még a csapágház rezgésmérése, míg elektromotor esetén a csapágy hőmérsékletmérése is hozzáadódhat a feladathoz.

Varga Zoltán
Spectris Components Kft

www.bruel.hu

