Tűzoltás és nagyjavítás helyett

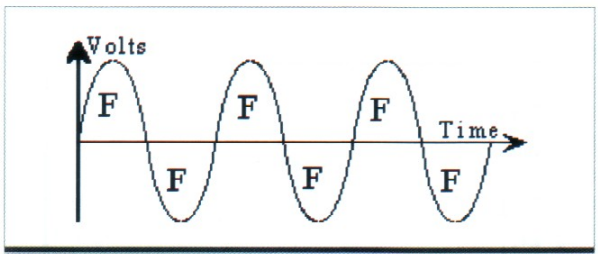
Állapotfüggő karbantartás rezgésdiagnosztikával (XVIII.)

Az aszinkron villanymotorok hibáinak diagnosztizálása során alapfeltevésként fogadhatjuk el, hogy mechanikus rendszerként a villamos forgógépek ugyanazokkal a módszerekkel vizsgálhatók, mint bármely más forgógép. De a villamos forgógépek felépítéséből és működéséből adódik, hogy esetükben nemcsak a hajtott forgógépeknél fellépő gépészeti (mechanikai) erőhatások és az abból adódó rezgések fordulnak elő.

A VILLAMOS FORGÓGÉPEKBEN történő elektromechanikai energiaátalakítás elektromágneses terek közvetítésével történik. Az így keletkező erőhatások azonban nemcsak a kívánt forgónyomatékot állítják elő, hanem az egyes gépelemek időben és irányban változó igénybevételét – és ezáltal mechanikai deformációját – is okozzák. Ha a villamos forgógép valamelyik elektromos eleme villamos szempontból megsérül, akkor ez egyenlőtlen eloszlású elektromágneses tér kialakulásához vezet. Ennek következményeképpen az egyes gépelemek nagyobb, aszimmetrikus, illetve időben erősen változó mechanikus terhelésére kell számítani. Motorok esetén nagyobb villamosenergia-felvétel mellett kisebb mechanikus teljesítmény nyerhető, generátoroknál csökken a leadott villamos energia ugyanakkorra mechanikus energiával történő hajtás mellett. A hatásfok csökkenéséből eredő nagyobb veszteségek hővé alakulnak át, és így az alkatrészek termikus terhelése is fokozódik.

Villamosan ébresztett mechanikus rezgések oka

Felmágnesezési frekvencia (magnetostrikciós hatás) A villamos forgógépek forgatónyomatéka az álló- és a forgórész elektromágneses terének kölcsönhatása révén jön létre. Ha például egy aszinkronmotor állórészét 50 Hz-es hálózatra kapcsolták, akkor az állórész pólusai a hálózat egy-egy periódusa alatt kétszer felmágneseződnek. Ez azt jelenti, hogy az állórész pólusai és minden, az elektromágneses terükben lévő alkatrész a hálózati frekvencia kétszeresével szinuszosan pulzáló erőhatásnak van kitéve (magnetostrikciós hatás).



Periodikus erők keletkezése

Az aszinkron motorok állórészének pólusai mindig párosan vannak elhelyezve, hogy a mágneses tér erővonalai átmenjenek a forgórészen. Egyébként nem lenne indukció, így nem lenne erőhatás, és végül forgatónyomaték sem. Mellesleg a páros elrendezésnek köszönhetően – hengerszimmetrikus álló- és forgórészt, valamint a forgórésznek az állórész közepén való tökéletes elhelyezését feltételezve – a radiális (rezgést keltő) erők pont kiegyenlítik egymást. Mivel a mágneses térerő erősen függ a forgó- és állórész közötti légréstől, nyilvánvaló, hogy egy nem a mágneses tér közepén elhelyezkedő forgórész esetén egyenlőtlen radiális erők keletkeznek.

Ugyancz a rezgéskeltő jelenség lép fel akkor, ha eleve aszimmetrikus elektromágneses tér jön létre, például ha az állórész tekercseiben nem egyforma nagyságú áramok folynak, vagy maguk a tekercsek különböző mágneses tereket generálnak. Ez gyártási (konstrukciós) hibák, meglazult kábelcsatlakozások vagy tekercszárlatok miatt is keletkezhet. Az ebből fakadó erők mindenképpen a hálózati frekvencia kétszeresével jelentkeznek.

Megjegyzendő, hogy egyfázisú aszinkronmotorok esetén nem alakul ki az említett ideális – szimmetrikus – mágneses tér, hanem úgynevezett forgó elliptikus elektromágneses tér keletkezik, amely felbontható egy nagy amplitúdójú forgásfrekvenciájú (50 Hz-es), valamint egy ellentétes forgásirányú, kisebb amplitúdójú, 100 Hz frekvenciájú mágneses forgótérre. Ezért ezeknél a motoroknál mindig is érezhetően jelen van a 100 Hz-es rezgéscsúcs és ennek szlipfrekvenciájú oldalsávjai.

A német VDI 3839 szabvány villanymotor forgórészhibája miatt keletkező rezgésekre vonatkozó részlete

„A forgórész aszimmetriái a fordulatszám-frekvenciájú csapágy- és házrezgések kétszeres szlipfrekvenciával történő modulációihoz vezetnek. Ezek többnyire a géphang lebegéseként hallhatók. Az állórész áramfelvételében is fellép lebegés, amelynek frekvenciája egyenlő a szlipfrekvencia és a kétszeres hálózati frekvencia szorzatával. Ez analóg árammérőkön a mutató periodikus elmozdulásán ismerhető fel, és oszcilloszkóppal jól megjeleníthető.

A kalicka aszimmetriája vagy meghibásodása által keletkező moduláció a kalickaáram növekedésével nő, tehát a motor teljesítményével együtt emelkedik. Ez kétpólusú gépeknél többnyire egyértelműen megfigyelhető és mérhető.

Ha a motor csapágyrezgéscin üzem közben hirtelen amplitúdómoduláció jelenik meg, és ez a moduláció a teljesítménytől függ, nagy biztonsággal forgórészhibára következtethetünk. Ha az amplitúdómoduláció mindig is jelen volt, illetve nincs teljesítményfüggése, nagy valószínűséggel forgórész-excentricitás van jelen."

Forgórészrúd-, illetve horonyfrekvenciájú rezgés A villanymotor forgórésze általában nem homogén test, például az indukciós motorokat (aszinkronmotorok) beépített áramvezetőkkel (forgórészrudakkal) szerelik fel. Ezek döntő fontosságúak a kívánt elektromágneses kölcsönhatás kialakulásában: a forgórész mágneses térbeli forgatása során a forgórészrudak elhaladnak az állórész pólusai előtt. Eközben feszültség indukálódik a rudakban, czért áram folyik bennük, amely elektromágneses teret hoz létre körülöttük. A minden egyes forgórészrúd körül fellépő tér és az állórész forgó elektromágneses terének kölcsönhatása alapján létrejön a villanymotor forgatónyomatéka. A két tér kölcsönhatásaként ébresztett erő minden egyes forgórészrúd pólus előtti elhaladásakor eléri a pillanatnyi maximumát, tehát a forgásfrekvencia és a forgórészrudak számának szorzatával egyenlő frekvenciájú – úgynevezett rúdfrekvencián található – rezgések lépnek fel.

Ugyanezt a jelenséget tapasztalhatjuk, ha az állórész tekercsciben nem ugyanakkora áramok folynak, vagy maguk a tekercsek különböző mágneses tereket generálnak. Ez meglazult kábelcsatlakozások vagy tekercszárlat miatt is felléphet. Az ezáltal ébredő erő mindenképpen a hálózati frekvencia kétszeresével (és ennek többszöröseivel) hat a villanymotor alkatrészeire.

Egyszerű módszer létezik a rezgés villamos vagy mechanikus eredetének eldöntésére: ha lekapcsoljuk a villanymotor táplálását, a villamosan gerjesztett rezgések azonnal megszűnnek, a mechanikus eredetű rezgések a rezonanciakereséssel foglalkozó korábbi cikkünkben említett lefutásvizsgálatnál leírtaknak megfelelően a fordulatszámmal arányosan csökkennek. A villamos problémák esetén fellépő rezgések egyik nagy csoportját alkotják a forgórészhibák esetén jelentkező rezgések, ezen belül a forgórészrúd (-pálca) törései, illetve a forgórész excentricitása.

Forgórészrúd (-pálca) törései

A villamosan gerjesztett rezgések gyakran a hálózati frekvenciával és annak kétszeresével lépnek fel. Ha a forgórész egy-egy áramvezető rúdja (pálca) törött, az indukciós áram csak a mellette lévő rudakon folyhat. Törött forgórészrudak esetén tehát a mágneses terek kialakulása és az így keletkező erőhatás nem egyenletes.

Szakkifejezések magyarázata

Szlipfrekvencia Az indukciós motoroknál a szlipfrekvencia a mechanikai forgásfrekvencia és a szinkron elektromágneses tér forgásfrekvenciájának különbsége. A szlip a növekvő terheléssel együtt nő, emiatt a motorproblémák legjobban teljes terhelés alatt vizsgálhatók. A szlip mértékét a dimenzió nélküli *s* jelöli, amely a következőképpen számítható ki:

$s=1-(F_f/F_{syn})$, ahol

- F_f *a motor forgásfrekvenciája Hz-ben, illetve a fordulat/percben megadott motorfordulatszám/60*
- F_{syn} *a szinkron elektromágneses tér forgási frekvenciája Hz-ben, azaz* $2\times F_h/P$
- F_h *a hálózati frekvencia Hz-ben*
- P *a motor állórészpólusainak száma*

Rúdfrekvencia A rúdfrekvencia a forgórészen lévő áramvezető rudak száma és a forgásfrekvencia szorzata. Villamosan gerjesztett mechanikus (tehát rezgés-) frekvencia.

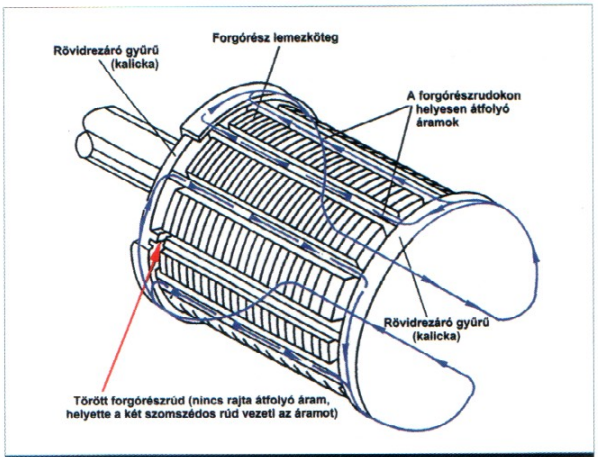
$F_{rúd} = F_f \times R$, ahol

- F_f *a motor forgásfrekvenciája Hz-ben, illetve a fordulat/percben megadott motorfordulatszám/60*
- R *a forgórész rúdjainak száma*

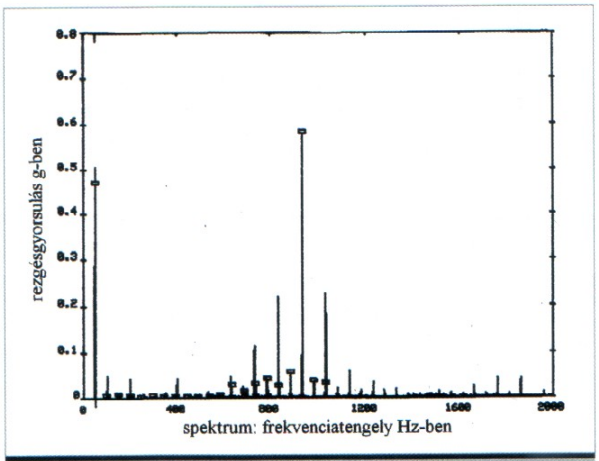
Pólusmodulációs frekvencia A pólusmodulációs frekvencia a pólusszám és a szlipfrekvencia szorzata. Az elektromágneses térben (illetve a tápáramban) előforduló villamosan gerjesztett frekvencia, amely csak aszinkron motoroknál fordul elő, és mechanikus rezgéseket okoz.

$F_{polm}=F_s \times P$, ahol

- F_s *a motor szlipfrekvenciája Hz-ben, azaz* $2\times F_h/P-F_f$
- F_f *a motor forgásfrekvenciája Hz-ben, illetve a fordulat/percben megadott motorfordulatszám/60*
- F_{syn} *a szinkron elektromágneses tér forgási frekvenciája Hz-ben, azaz* $2\times F_h/P$
- P *a motor állórészpólusainak száma*



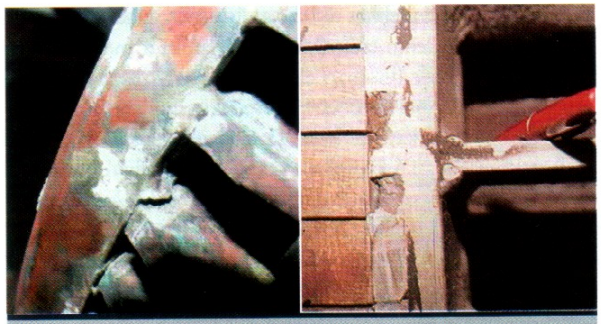
Aszinkron villanymotor forgórészén átfolyó áramok rúdtörés esetén



Tipikus frekvenciaspektrum a rúdfrekvenciákkal

A forgórészen lévő rudak törése miatt keletkező, egyenetlen erőhatás torziós rezgésekhez vezet, amelyek általában a következő formában válnak láthatóvá a mechanikus rezgésspektrumban: › kétszeres szlipfrekvenciájú oldalsávok a fordulatszám körül › kétszeres szlipfrekvenciájú oldalsávok a hálózati frekvencia kétszerese körül › nagy amplitúdók a fordulatszámon, illetve annak kétszeresén › nagy amplitúdók a rúdfrekvencián › kétszeres hálózatfrekvenciájú oldalsávok a rúdfrekvencia körül › pólusmodulációs (szlipfrekvencia×pólusszám) oldalsávok a fordulatszám, illetve többszörösei körül › pólusmodulációs frekvenciájú oldalsávok a hálózati frekvencia kétszerese körül.

Fontos megjegyzés, hogy törött forgórészrudak esetén a gép-rezgések amplitúdómodulációja terhelésfüggő, excentrikus forgórész esetén azonban nincs terhelésfüggő változás. Normál üzemű villanymotoroknál megfigyelhető még, hogy a forgórészrúd töréseinek számával arányosan csökken a motor mechanikus teljesítménye, illetve forgatónyomatéka, valamint ezáltal – változatlan mechanikus terhelés mellett – a fordulatszáma.



Példa forgórészrúdtörésre

A forgórész excentricitása

A forgórész elektromágneses terének excentricitása a forgórész excentrikus geometriája, illetve törött rudak vagy kalickák miatt keletkezhet. A következőkben csak a forgórész geometriai hibája miatt előforduló jelenségekkel foglalkozunk (a törött rudakat vagy kalickákat az előzőekben már tárgyaltuk). A forgórész geometriai excentricitása gyártási pontatlanságok, illetve üzem közbeni – többnyire termikus – hatások következménye lehet. Mivel általában a gyártási folyamatok végén történik a forgórészek kiegyensúlyozása, ilyen esetekben nem észlelhető a forgórész excentricitása által okozott mechanikus (statikus és dinamikus) kiegyensúlyozatlanság, hiszen ezt kiegyenlítették. Üzem közbeni alakváltozások – például termikus deformációk – viszont kiegyensúlyozatlanságot okozhatnak, amely azonnal észrevehető a kiegyensúlyozatlanságra jellemző forgásfrekvenciájú rezgéscsúcs révén.

Rahne Eric

HATÉKONYSÁGMUTATÓ

Anyagfelhasználás	○	Energiaigény	●
Üzemfenntartás	●	Kezelhetőség	○
Időráfordítás	●	Élettartam	○

pim@pim-kft.hu
www.pim-kft.hu, www.gepszakerto.hu