

## Симптоми за вибродиагностика на електродвигателите от задвижванията на минната механизация

Вяра Пожидаева

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

**РЕЗЮМЕ.** Въз основа на теоретични постановки и експериментални измервания на вибрации и обработка на данните с програмен продукт Condmaster Pro, са определени симптоми и параметри в честотните спектри за разпознаването на различни по характер повреди в електродвигателите от задвижването на минната механизация.

### SYMPTOM PARAMETERS TO VIBRODIAGNOSTICS TO MOTORS OF MINING MECHANIZATION RUNNING

**ABSTRACT.** In the base of theoretical treatment and testing vibrations measurements and training to the data with Condmaster PRO programme, are determined the symptom parameters from the frequency specters to identify the difference damages of motors of mining mechanization running.

### Въведение

Ефективността на минното производство е пряко свързана с надеждната експлоатация на минната механизация. Във връзка с това през последните години нараства актуалността и интересът към техническата диагностика и безразрушителния контрол. Фирмите производителки на диагностична апаратура се стараят да предлагат разнообразни по вид и възможности апарати и програмни продукти. Обща тенденция е апаратурата да предоставя възможност за контрол на голям брой параметри, както и програма за тяхната последваща математическа обработка с диагностична цел. Типичен пример в това отношение е апарат Т30 и програмен продукт Condmaster PRO производство на фирмата SPM-Instrument, които се използват в "Мини Марица-Изток" ЕАД за диагностика на минната механизация. По своята същност апарат Т30 представлява честотен анализатор в реално време от тип "събирач на данни", в който предварително се програмират чрез управляващата програма Condmaster PRO, обема и вида на измерванията, праговите стойности на предупредителните и алармени нива на показателите за диагностика на техническото състояние. За получаването на коректни резултати и достоверна диагностична информация е необходимо предварително да се реализират експериментални измервания за определянето на характерни симптоми на конкретните технически неизправности. В настоящата публикация се коментират резултатите от проведените експерименти за безразрушителен контрол и диагностика на електродвигателите от задвижванията на минната механизация в "Мини Марица-Изток" ЕАД.

### Теоретична обосновка

Вибрациите на електрическите машини по своя произход са два основни класа – електромагнитни вибрации и механични вибрации (Деро, 1976; Божилков, 1992). Информационните параметри с които те се идентифицират са абсо-

лютните и относителните стойности на вибропоказателите, а основен аналитичен метод за тяхното изследване е спектралния анализ на съответните функционални зависимости.

Електромагнитните вибрации са свързани с възникването на едностранни сили на магнитно привличане, като следствие на нарушена магнитна или електрическа симетрия на статора или ротора, с което се променя характера на полето във въздушната междина. За различните асинхронни машини характерът на полето във въздушната междина е различен, но във всички случаи, за основен негов параметър се счита магнитната индукция, която има несинусоидална форма. За удобство тя се разлага в хармоничен ред:

$$B(\alpha) = B_1(\alpha) + B_2(\alpha) = \sum_{v=0}^{\infty} B_v \sin(\omega_v t - v\alpha - \varphi_v) + \sum_{\mu=0}^{\infty} B_{\mu} \sin(\omega_{\mu} t - \mu\alpha - \varphi_{\mu}) \quad (1)$$

където:  $\alpha$  е текуща ъглова координата;

$v$  е номер на хармоник на статорното магнитно поле;

$\mu$  е номер на хармоник на роторното магнитно поле.

След като се замести хармоничния ред на магнитната индукция в израза за магнитната енергия, се получава общия вид на Фуриеровия спектър за електромагнитните сили

$$F(\omega_{n,\alpha}) = F_n \cos(\omega_n t - n\alpha - \varphi_n) \quad (2)$$

където:  $n$  е номерът на хармоника на силата,

$F_n$  - нейната амплитуда,

$\omega_n$  - честотата,

$\varphi_n$  - фазата ѝ.

Тъй като съгласно принципа на суперпозицията даден хармоник на силата възбужда линейни хармонични треп-

тения със същия порядък на собствената форма, както е номерът му, то спектърът на вибрациите има същия вид като тези на силите.

$$S(\omega_{n,\alpha}) = \sum_{n=0}^{\infty} Q_n \cos(\omega_n t - n\alpha - \varphi_n - \tau_n) \quad (3)$$

където с  $Q_n$  е означен обобщен вибрационен параметър (преместване, скорост или ускорение).

Порядъкът на колебанията получени при интерференцията на собствените хармоници е:

$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (4)$$

На базата на горните уравнения, описани в труда на Божилов (1992), могат да бъдат получени съотношения за честотите и фазите на хармоничните трептения и да бъдат формирани амплитудно-честотния и фазово-честотния спектри на вибрациите от електромагнитен произход на конкретен тип асинхронен електродвигател.

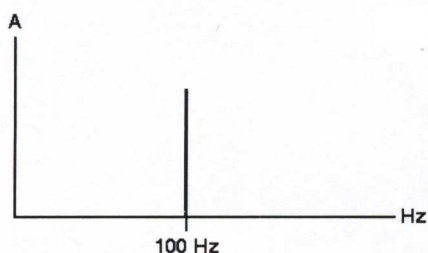
Вибрациите от механичен произход са следствие основно на некачествено производство, некачествен монтаж и експлоатационни повреди в електродвигателя. Идентифицирането им в честотния спектър се осъществява на базата на силите от механично взаимодействие, които се характеризират по честота и амплитуда.

## Неизправности и симптоматика

### Симптоми за идентификация на вибрации от електромагнитен произход

С помощта на програмния продукт Condmaster Pro в честотния спектър могат да бъдат разпознати следните видове вибрации от електромагнитен произход, като следствие на настъпили неизправности.

1. Ексцентрицитет на статора – проявява се в честотния спектър с увеличаване на амплитудата на хармоника на удвоената мрежова честота 100 Hz (фиг. 1).

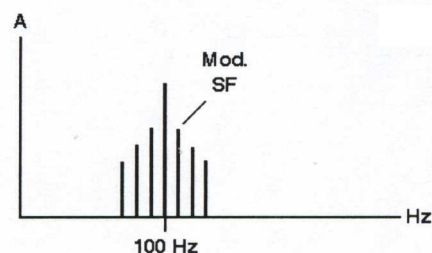


Фиг. 1. Симптом за диагностика на ексцентрицитет на статора

Честотата на вибрациите в този случай не зависи от роторната честота, респективно от натоварването на двигателя. По принцип статорната несиметрия не внася нови хармоници, нито по номер, нито по честота. Изменя се само амплитудите и фазите на вече съществуващи в хармоничен режим хармоници.

2. Ексцентрицитет на ротора - проявява се в честотния спектър с увеличаване на амплитудата на хармоника на удвоената мрежова честота 100 Hz и по три странични

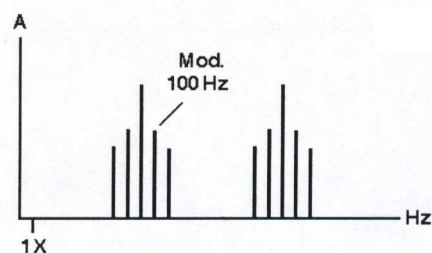
ленти модулирани с честотата на хлъзгането (SF-slip frequency), която е разликата между синхронната скорост и скоростта на ротора. (фиг. 2).



Фиг. 2. Симптом за диагностика на ексцентрицитет на ротора

Страничните ленти могат да се дължат също и на неравномерна въздушна междина между ротора и статора, мека пета или деформирана основа на двигателя или несъосност.

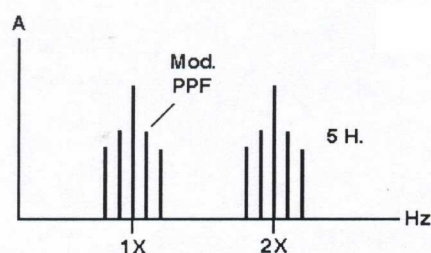
3. Несиметрия в статорната намотка (прекъсване, късо или корпусно съединение, нееднаквост на фазните съпротивления) (фиг. 3).



Фиг. 3. Симптом за диагностика на несиметрия в статорната намотка

В случая повредата се идентифицира чрез две групи от по пет линии на честота 100 Hz и 200 Hz, с модулация на удвоената мрежова честота.

4. Несиметрия в роторната намотка (прекъсване или нееднаквост на съпротивленията) (фиг. 4).

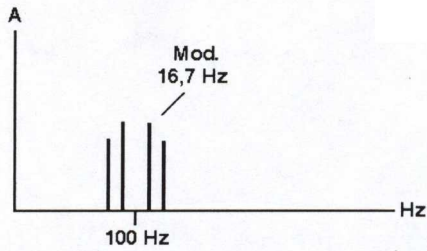


Фиг. 4. Симптом за диагностика на несиметрия в роторната намотка

В този случай, в спектъра присъстват 5 групи по пет линии от първи до пети хармоник на роторната честота. Модулацията на страничните ленти е с честотата на полярния преход или скоростта на превключване на полюсите (PPF-pole pass frequency), определена като произведение от честотата на хлъзгане и броя на полюсите. Страничните ленти в спектъра могат да се дължат също и на неравно-

мерна въртяща се въздушна междина между ротора и статора.

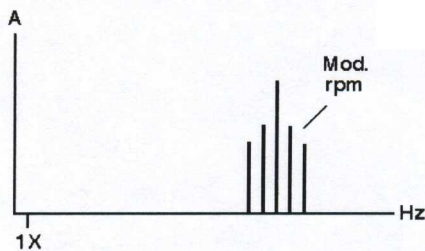
5. Индикация за лош контакт на контактните пръстени на двигателя в т.ч. счупен контактен пръстен (фиг. 5).



Фиг. 5. Симптом за диагностика на лош контакт на контактните пръстени на двигателя

Индикацията за липса на контакт или прекъсвания в контакта, типична за асинхронни двигатели с навит ротор, се илюстрира в спектъра с група от четири линии около хармоника на удвоената мрежова честота. Модулацията на страничните ленти е с 1/3 от мрежовата честота 50 Hz.

6. Хлабини в статорната намотка (фиг. 6).



Фиг. 6. Симптом за диагностика на хлабини в статорната намотка

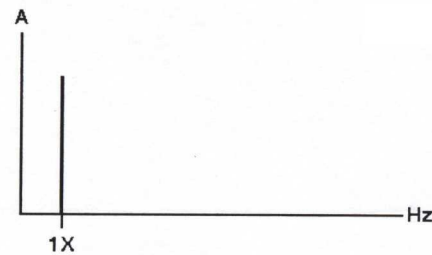
Проявява се с група от 5 хармоника на честотата на превключване на статорната намотка (CPF-coil pass frequency), с две странични ленти модулирани на роторната честота.

### Симптоми за идентификация на вибрации от механичен произход

Вибрациите от механичен произход са свързани основно с конструктивни недостатъци, повреди и дефекти от лош монтаж. Основните недостатъци предизвикващи вибрации в електродвигателя са недопустима неуравновесеност на ротора, допусната при производството му или в резултат на деформация на вала или отслабване на сглобките на въртящите се части. Освен това вибрации могат да бъдат предизвикани от повреди в лагерите, овалност на шийката на вала, увеличаване на радиалните хлабини или ниска температура на маслото. Причини за вибрациите, свързани с лош монтаж и куплиране с друга машина са колебанията на фундамента или металната конструкция на която е монтиран електродвигателя, предаването на вибрации от съседната машина като дефекти в зъбните предавки на редуктора, дефекти в съединителя, нарушена центровка на полусъединителя с вала, неправилен монтаж или износване в палците на съединителя, както и несъосност.

Симптомите за разпознаването на тези неизправности в честотния спектър са следните:

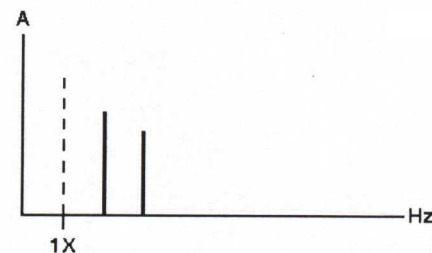
1. Статичен или динамичен дебаланс, динамичен ексцентрицитет на ротора, деформация на вала (фиг. 7).



Фиг. 7. Симптом за диагностика на статичен или динамичен дебаланс, динамичен ексцентрицитет на ротора, деформация на вала

Проявява се с увеличаване на амплитудата на присъстващите в спектъра основен хармоник на роторната честота. Вибрациите са предимно радиални.

2. Несъосност, биене, неправилен монтаж, хлабина, претоварване, овалност, деформация на вал или лагерните тела, деформации в опорите, тялото или фундамента (фиг. 8).



Фиг. 8. Симптом за диагностика на дефекти от несъосност

Проявява се с увеличаване на амплитудата на втори и трети хармоник на роторната честота.

Предаването на вибрации от съседни елементи, като дефекти в зъбните предавки на редуктора, дефекти в съединителя и др. се изявяват също в честотния спектър със своите типични симптоми и се диагностират чрез измервания върху измервателни точки, разположени в близост до тях в съответни честотни диапазони. Те са предмет на контрол и диагностика на съответната машина. По отношение на диагностиката на търкалящите лагери, по-ефективни са резонансните методи за контрол и следва те да бъдат прилагани за лагерните вграждания в минната механизация.

### Изводи

Установяването на коректна симптоматика на повредите в електродвигателите от задвижванията на минната механизация, позволява те да бъдат включени като обект за диагностика в една обща система за вибрационен безразрушителен контрол, функционираща в експлоатационни условия. Освен това се предоставя възможност на персонала

по техническа поддръжка да оцени качеството на проведения ремонт на електродвигателите преди тяхното монтиране на работното им място, а също така и да се прецизира качеството на техния монтаж.

## Литература

- Божилев, Г. Й. 1992. *Разработка и анализ на методи за техническа диагностика на електрически машини*. Автореферат на дисертация за получаване на научната степен "доктор на техническите науки", С., Печатна база на ТУ, 64 с.
- Деро, А. Р. 1976. *Неполадки в работе асинхронного двигателя*. Л., Энергия, 94 с.
- Soldat, D., D. Živković, D. Malic, 2002. Maintenance and Usage of Information Technology in Agriculture Plant

- Industry, *Proceedings 2<sup>nd</sup> International Conference Research and Development in Mechanical Industry, volume 2, RaDMI 2002*, 01-04 September, Vrnjacka Banja, Yugoslavia, 800-806.
- Živković D., M. Veljić, 2003. EFFECTS OF IMPLEMENTING A INFORMATION SYSTEM IN MAINTENANCE OF MANUFACTURING EQUIPMENT AT A COMBINE FACTORY, *Proceedings 3<sup>rd</sup> International Conference Research and Development in Mechanical Industry, RaDMI 2003*, 19-23 September, Herceg Novi, Serbia and Montenegro, 922-926.
- SPM Instrument AB, *Technical data*, 1999. Working with Condmaster PRO and Data Loggers A30/T30, Copyright 1999 by SPM Instrument AB, 71545.B, 150 p.