



**“Fizika-2005”  
Beynəlxalq Konfrans  
International Conference  
Международная Конференция**



**7 - 9 İyun 2005 №125 5-ci sənədlər**  
**June 2005 №125 page 477-480**  
**Июнь 2005 №125 стр. 477-480**

**Bakı, Azərbaycan**

**Baku, Azerbaijan**

**Баку, Азербайджан**

**ELEKTROENERGETİK MAŞINLARIN FUNKSIONAL FİZİKİ PROSESLƏRİNƏ  
GÖRƏ ERKƏN DİAQNOSTİKASININ PROBLEMLƏRİ**

**HAŞIMOV M.A., RAMAZANOV N.K.**

*AzETE və ELİ, Bakı ş.*

İlk dəfə asinxron və sinxron maşınlarının stator dolağında elektriki nasazlıqların iş rejimi proseslərinə, xüsusi olaraq maqnit sahəsinin ali harmonikalı tərkib hissəsinə və bununla bağlı olan radial vibrasiya qüvvələrinə təsiri diaqnoz obyektini kimi tədqiq olunur. İş rejimi funksional prosesləri stoxastik baxımından təhlil olunur, təsadüfi funksiyaların statistik kəmiyyətləri diaqnostik parametr olaraq elektroenergetik maşınlarının işləmə şəraitində texniki vəziyyətlərinə effektiv nəzarətin təşkili və onun ekspress analizi üçün təklif edilir.

Elektroenergetik maşınların (sinxron generatorları və elektrik mühərrikləri) elektrik stansiyaların və digər sənaye müəssisələrinin mürəkkəb texnoloji proseslərində yerinə yetirdikləri rolun məsuliyyətini nəzərə alaraq nasazlıqlarının təkcə tapılması deyil, həm də işləmə şəraitində onların yaranmasının erkən təyin edilməsi tələb olunur. Belə aktual məsələnin həllində başlıca çətinlik ondan ibarətdir ki, ayrı-ayrı nasazlıqlar diaqnoz obyektini baxımından hələlik tədqiq olunmayıb və onların yaranmasının elektromaqnit, vibro – akustika və digər funksional proseslərə təsirini xarakterizə edə bilən diaqnostik parametrlər yoxdur.

Böyük elektrik sistemləri üzrə Beynəlxalq Şura (SİQRE) elektrik maşınlarında nasazlıqların diaqnostikası üçün funksional proseslərin harmonik və spektral analizi əsasında məlumat bazasının yaradılmasını elmi-praktiki istiqamət kimi elektroenergetikanın aktual dünyəvi problemləri sırasına daxil edir [1].

İstismar təcrübəsindən məlumdur ki, stator dolağında sarğılar və fazalar arası qısa qapanmalar (qq) elektrik maşınlarında ən çox yaranan və həm də nəzarəti çətin olan nasazlıqlardır. Onların praktikada müşahidə edilən əsas nişanələri (faz cərəyanlarının simmetrikliliyi pozulur, dolağda qeyri-bərabər qızmalar yaranır, vibrasiya və səs artır və s.) yalnız zədələnmənin son şiddət səviyyələrində, yəni maşının işdən açılması ərafında yaranır [2]. Başlanğıc mərhələlərində isə onların təyini xüsusi diaqnostika üsullarının tətbiqini tələb edir.

İşləmə şəraitində nasazlığın effektiv diaqnostikası üçün nəzarət parametri həssas və informativ olmaqdan əlavə, onun ölçülməsi də rahat olmalıdır. Bu növ parametrləri həm elektromaqnit proseslərində, o cümlədən səpələnmə maqnit sellərində, həm də vibro – akustika proseslərində, xüsusən bu funksional proseslərin harmonik spektral tərkib hissələrində axtarmaq əlverişlidir.

Qeyd etmək lazımdır ki, mexaniki xarakterli müxtəlif zədələnmələrdən (yastıqlarda zədələnmələr, konstruktiv hissələrdəki sınıqlar və yaxud boşalmalar, mexaniki qeyri-balanslar və s.) asılı olaraq elektrik maşınlarında vibro – akustika proseslərinin dəyişməsi az-çox tədqiq edilmiş və məlumdur. Lakin həmin proseslərin elektriki zədələnmələrdən, asılı olaraq dəyişməsi, xüsusən stoxastik baxımından tədqiq olunmayıb. Hazırda bu elektrik maşınlarının vibrasiyaya görə diaqnostikası sahəsində bir boşluq olduğundan burada əsas tədqiqat obyektini seçilmişdir.

Elektrik maşınlarında elektromaqnit, mexaniki və hidro – aerodinamiki xarakterli dinamik qüvvələrin təsirləri mövcuddur [3]. Bu qüvvələr təkcə vibrasiyanın və səsin deyil, həm də müxtəlif nasazlıqların mənbəyidir. Nasazlıqlar isə yarandıqda, öz növbəsində funksional proseslərin dinamik təzahuruna təsir edir, yəni bu proseslərin parametr və xarakteristikalarını dəyişdirir.

Elektrik maşınının hava məsafəsində maqnit enerjisinin dəyişməsi və maqnit sahəsilə cərəyanların qarşılıqlı təsirlənilməsi əlaqədar olaraq yaranan elektromaqnit qüvvələrinin təsirləri özünəməxsusdur. Bu, ilk öncə, maqnit sahəsində ali harmonikalı tərkib hissələrinin olması ilə izah olunur.

Üç fazlı stator dolağında ayrılıqda hər bir fazın MHQ həmən faz dolağındakı zamana görə döyünən və fəzada tərپənməz qalan bütün harmonikalardan cəminə bərabərdir:

$$F_f = \sum_{v=1,3,5,\dots} \sin \omega t \cdot \cos v\alpha \quad (1)$$

Maşında həmən harmonikalara uyğun olaraq yaranan radial qüvvələri (vibrasiya qüvvələri) bərabər olur [4]:

$$P_{rv} = A_v \cos(v\alpha - \Omega_v t) \quad (2)$$

Burada  $v-1 \div \infty$  və  $\Omega_v-v$  harmonikalı qüvvənin bujaq sürətidir.

Maşında verilmiş hər hansı harmonikaya görə yekun MHQ, bütün üç fazalardakı uyğun harmonikanın cəmi kimi tapılır:

$$F_v = F_{fv} \sin(\omega t \pm v\alpha) \quad (3)$$

Ümumiyyətlə isə, fazaları  $120^\circ$  fərqli yerləşdirilmiş stator dolağında, normal halda, yəni faz dolaqlarının elektriki və maqnit simmetrikliliyi və onların simmetrik cərəyanlarla yüklənməsi şəraitində, aşağıdakı ali harmonikalar yaranır:

$$v = 6k \pm 1 \quad (4)$$

Bu o deməkdir ki, statorun üç faz dolaqlarında zamana görə döyünən və fəzada tərpənməz qalan 3-cü harmonikalı MHQ olmasına baxmayaraq maşının hava məsafəsində həmən harmonikadan yekun maqnit sahəsi yaranır. Çünki, normal halda faza dolaqlarında qiymətləri və istiqamətləri eyni olduğundan, onların cəmi sifira bərabər olur.

Lakin stator dolağında sarğılar və fazalar arası qapanmalar yarandıqda faz dolaqlarında qeyd edilən simmetriklilik pozulur və bunun nəticəsi kimi maşında maqnit induksiyasının bərabər paylanması da pozulur.

Əlbətdə, belə olduqda fazlarda 3-cü harmonikalı maqnit sahələrinin simmetrikliliyi pozulur, artıq onların cəmi sıfırdan fərqli olur və nəticədə maşının hava məsafəsində  $3f_1$  ( $f_1$ -şəbəkənin tezliyi) tezlikli yekun MHQ əmələ gəlir. Hava məsafəsində 3-cü və həm də ona həm qat (9,15,...) harmonikaların əmələ gəlməsi maşında differensial səpələnmə ( hava məsafəsində ali harmonikalı) maqnit sellərinin kəsgin artmasına səbəb olur.

Beləliklə, elektrik maşınların baxılan nasazlıqları qeyri – taraz maqnit dartınmaların (radial qüvvələrin) başlıca səbəbi olan ali harmonikaların mənbəsinə çevrilir və yəqin ki, funksional fiziki proseslərinin, o cümlədən vibrasiya prosesinin parametr və xarakteristikalarında müəyyən özünə məxsus dəyişikliklər yaratmaqla müşayiət olunmalıdır.

Yuxarıda deyilənlərin eksperimental təsdiqini və əlavə diaqnoz məlumatı almaq üçün qeyd olunan nasazlıqlar fiziki modelləşdirilərək xüsusi metodika əsasında natur-eksperimental tədqiq edilmişdir. Metodikanın mahiyyəti ondan ibarətdir ki, yüksüz və müxtəlif yük rejimlərində işləyən elektrik maşının stator dolağında süni olaraq yaradılan nasazlıqlarda elektromaqnit, vibrasiya, akustika və s. funksional proseslərinin parametrləri və xarakteristikaları ölçülür və analiz edilir. Eyni zamanda nəzarət olunan kəmiyyətlərin zamana görə dəyişmə funksiyalarının əyriləri (osilloqramaları) çıxarılmışdır.

Sarğılar və fazalar arası qq-nın süni yaradılması əvvəlcədən stator dolağının alın hissələrindən çıxarılmış naqillər vasitəsilə yerinə yetirilir. Həmən naqillər tənzimlənən aktiv müqavimətdən qapanırlar və bu imkan verir ki, yaradılan qq dövrəsində cərəyanın qiymətini dəyişdirməklə verilən nasazlığın müxtəlif

şiddətlik səviyələri alınsın. Qəbul etmək olar ki, həqiqətdə də belə olur: qq nöqtəsində ilkin zamanda müəyyən izolyasiya arakəsməsi mövcud olduğundan orada keçid müqaviməti olur. Sonralar həmən izolyasiya arakəsməsi qq dövrədə axan cərəyanların təsirindən dağılıraq keçid müqavimətin qiyməti aşağı düşür və nəhayət metalik qq əmələ gəlir ki, maşın tamamilə sıradan çıxır.

Tədqiqat üçün həm elektrik stansiyasında istismar olunan və biləvasitə texnoloji rejiminin tsiklində işləyən (X.S. mühərrikləri) elektrik maşınları, həm də onların həm tip nümunələri istifadə edilmişdir.

Natur eksperiment yoluna alınmış çoxsaylı kəmiyyətlərdən görünür ki, stator dolağında elektriki və maqnit simmetrikliliyinin pozulmasına səbəb olan baxılan elektriki zədələnmələr, kəsgin olaraq, maşının səpələnmə maqnit sellərinə və vibrasiya prosesi parametrlərinə, xüsusən vibrasiya təcilinə təsir göstərilir [5,6].

Nümunə kimi cə.d.1 və cə.d.2-də stator dolağında sarğılar arası qq yaratdıqda, uyğun olaraq, asinxron (tipi A 160 M04, 18,5 kVt, 1460 d/dəq, stator dolağı üçbucaq birləşir) və sinxron (tipii ES, 12 kVt, jos  $\varphi=0,8$ , 400V, 23A, 1500 d/dəq.) maşınlarında alınmış qiymətlər verilir.

Çəkilməmiş çoxsaylı osilloqramalardan (stoxastik funksiyaların əyrilərindən) nümunə kimi qeyd edilən asinxron maşının stator dolağında sarğılar arası qq yaratdıqda (yüksüz işləmə rejimi) vibrasiya təcilinə dəyişməsi göstərilir (şək.1).

Məlum olduğu kimi texniki qurğuların çoxunda, o cümlədən elektrik maşınlarında funksional proseslərin dinamik təzahurundan formalaşan texniki vəziyyətin dəyişməsi normal paylanma qanununa tabe olur. Bu halda texniki vəziyyətin parametr və xarakteristikalarının qiymətləri təsadüfi kəmiyyətlərdir və onların zamana görə dəyişmə əyriləri (funksiyaları) ergetik xarakterli stasionar təsadüfi funksiyalar olur. Bunu natur – eksperimental yoluna çıxarılmış osilloqramaların analizindən görmək olur və şək.1-də göstərilən əyrilər təsdiqləyir. Belə ki, verilmiş iş rejimi üçün nasazlığın yaradılan şiddətlik səviyyəsində maşının texniki vəziyyəti qərarlaşan stasionar funksiyası ilə xarakterizə olunur. Bu funksiyalar yalnız nasazlığın şiddətlik səviyyəsinin (qq dövrədə cərəyanın) dəyişməsindən asılı olaraq biri-birindən fərqlənirlər.

Tədqiq edilən nasazlıqlar maqnit sahəsinin ali harmonikalı tərkib hissəsinə təsir göstərdiyindən maşının texniki vəziyyətinin təsadüfi funksiyalarının ehtimal kəmiyyətlərində, xüsusən dispersiyasında və avtokorrelyasında, spesifik dəyişmələr yaratmalıdır. Bu halda, texniki vəziyyətin işləmə şəraitində nəzarəti və ekspress analizi üçün daha həssas və informativ diaqnoz məlumatı almaq olar.

Ehtimal nəzəriyyəsinə məlumdur ki, stasionar təsadüfi funksiyaların dispersiyası ( $\sigma^2$ ) həmin funksiyaların spektrində olan bütün harmonikaların dispersiyalarının cəminə bərabərdir və təsadüfi kəmiyyətlərin ( $x_i$ ) riyazi orta qiymətinə nəzərən səpələnməsini (paylanma sıxlığını) xarakterizə edir. Avtokorreksiya isə təsadüfi funksiyaların harmoniki spektrini təyin edir [7].

Cədvəl 1

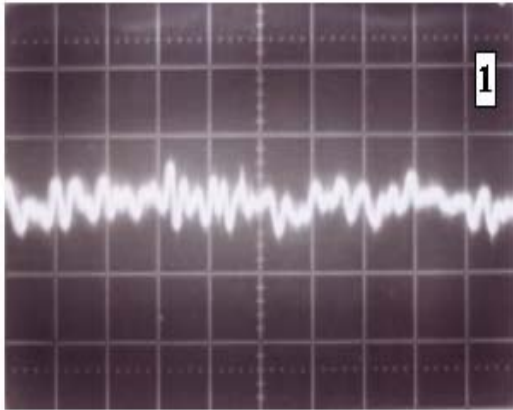
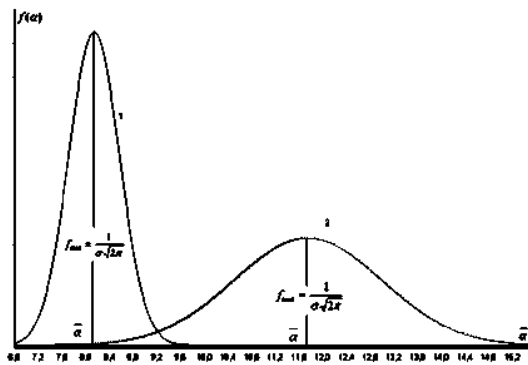
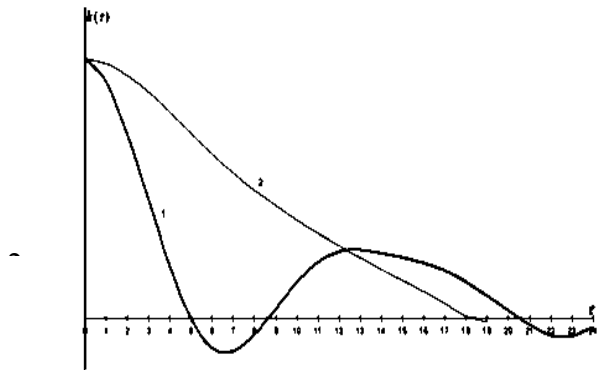
Rejim	Stator dolğunun vəziyyəti	Elektromagnit (və harmonik tərkibi) və vibro - akustika funksional prosesləri parametrləri													
		$I_0, A/\eta, v$			$I_{v-3}, nU$			$I_{v-5}, nU$			Vibrosürüşmə, A, mikm	Vibrosürüşmə t.Y., mm/s	Vibrotəcili a, m/s <sup>2</sup>	Səsin səviyyəsi L, dB	
		I	II	III	I	II	III	I	II	III					
Yüksüz işləmə ( $I_{\text{qđ}}=0$ )	Sazdır	9,65/10	9,6/10	9,6/10	3,1	3,1	3,1	0,9	0,9	0,9	45	2,0	4,0	58	
	C-fazasında sarğılar arası qq yaradılır, qq dövredə cərəyan $I_{\text{qđ}}$ , A	15	9,75/10	10,5/10	12,2/10	3,4	3,2	2,6	1,1	0,95	0,7	55	3,0	5,5	69
		30	9,8/10	11,7/10	14,6/10	3,8	3,4	1,8	1,2	1,0	0,48	60	3,7	7,5	72
		40	10,0/10	12,4/10	16,7/10	4,2	3,8	1,4	1,25	1,1	0,4	65	4,8	9,0	76

Qeyd: I-faza A, II-faza B, III-faza C

Cədvəl 2

Rejim	Stator dolğunun vəziyyəti	Elektromagnit (və harmonik tərkibi) və vibro - akustika funksional prosesləri parametrləri										Vibrosürüşmə, A, mikm	Vibrosürüşmə t.Y., mm/s	Vibrotəcili a, m/s <sup>2</sup>	Səsin səviyyəsi L, dB
		$U_p, V$			$U_{v-3}, V/\eta, v$			$U_{v-5}, V/\eta, v$							
		I	II	III	I	II	III	I	II	III					
Yüksüz işləmə ( $I_{\text{qđ}}=0$ )	Sazdır	220	220	220	200/10	200/10	200/10	15,0/0,73	15,0/0,73	15,0/0,73	55	3	5	65	
	B-fazasında sarğılar arası qq yaradılır, qq dövredə cərəyan $I_{\text{qđ}}$ , A	10	220	219	220	198/10	195/10	200/10	15,7/0,08	13,2/0,68	15,6/0,78	60	3,5	6,5	71
		15	220	219	220	198/10	194/10	198/10	16,2/0,84	12,4/0,65	16,0/0,80	75	4,6	8	73
		20	220	218	220	195/10	190/10	198/10	17,0/0,9	12,0/0,51	16,3/0,84	80	6,2	9,6	80
Yükənləmə ( $I_{\text{qđ}}=I$ )	Sazdır	220	220	220	190/10	190/10	190/10	26,0/1,4	28,0/1,4	26,0/1,4	100	4	5	69	
	B-fazasında sarğılar arası qq yaradılır, qq dövredə cərəyan $I_{\text{qđ}}$ , A	5	220	220	220	190/10	190/10	190/10	28,0/1,45	25,6/1,36	27,8/1,44	120	5,3	6,8	77
		10	220	220	220	185/10	189/10	190/10	28,2/1,46	25,5/1,34	28/1,5	130	6,5	9,2	83
		15	220	220	220	185/10	187/10	190/10	28,3/1,52	25,0/1,32	28,5/1,58	150	7	11,7	86

Qeyd: I-faza A, II-faza B, III-faza C

Şək.1 Vibrasiya təcilinin təsadüfi funksiyaları (Yİ rejimi) 1 stator dolağı sazdır; 2 sarğılar arası qq yaradılır ( $I_{\text{qđ}}=40A$ )Şək.2 Vibrasiya təcilinin təsadüfi funksiyalarının paylanma sıxlığı (Yİ rejimi) 1 dolağı sazdır; 2 sarğılar arası qq yaradılır ( $I_{\text{qđ}}=40A$ )Şək.3 Vibrasiya təcilinin təsadüfi funksiyalarının avtokorrelasiya əyriləri (Yİ rejimi) 1 dolağı sazdır; 2 sarğılar arası qq yaradılır ( $I_{\text{qđ}}=40A$ )

$$K_x(\tau) = \sum_{v=0}^n \sigma_v^2 \cdot \cos(\omega_v t) \quad (5)$$

Qeyd olanları əsas götürərək tədqiqatın gedişində əldə edilmiş təsadüfi funksiyaların əyriləri (osilloqramalar) Microsoft Excel XP proqramı bazasında, kompüterdə işlənmişlər. Bu məqsəd üçün əvvəlcə əyrilər  $\Delta t$  intervalında  $n$  hissələrə bölünərək uyğun ordinatları

cədvəl şəklində verilir və məlum metodika [8] əsasında funksiyaların ehtimal kəmiyyətləri hesablanmışdır. Nümunə üçün şəkl.1-dəki təsadüfi funksiyaların korrelyasiya analizinin və ehtimal kəmiyyətlərinin bəzilərinin qiymətləri cədv.3-də verilir. Həmin təsadüfi funksiyaların paylanma sıxlığı və avtokorrelyasiya əyriləri şəkl.2 şəkl.3-də göstərilir.

Cədvəl 3

Vibrasiya təcilinin təsadüfi funksiyalarının (şəkl.1-dəki əyrilərin) xarakteristikaları	Dolaq Saz Dır	Dolaq Nasazdır	Korrelyasiya analizi (şəkl.1-dəki əyrilərin)		
			$\tau$	$K_a(\tau)$	
				Dolaq sazdır	Dolaq nasazdır
Riyazi orta (əyrinin ordinatlarının) – $\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a(t_i)$	8,1	11,71	0	1	1
Dispersiya $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [a(t_i) - \bar{a}]^2$			1	0,91	0,98
Orta kvadratik fərq - $\sigma$	0,18	1,55	2	1,71	0,94
			3	0,45	0,87
	0,43	1,24	4	0,20	0,79
			5	-0,002	0,71
			6		0,63
			7		0,56
			8		0,49
			9		0,43
			10		0,37
			11		0,33
			12		0,28
			13		0,23
			14		0,19
			15		0,14
			16		0,10
			17		0,06
			18		0,01
			19		-0,02

Təsadüfi funksiyaların paylanma əyrilərinin müqaisəsi göstərir ki, əyrilərin maksimumu dispersiyanın qiyməti ilə tərs mütənəsbdir. Belə ki, nasazlıq yarandıqda əlavə ali harmonikalardan əmələ gəlməsi ilə dispersiya artır və odur ki, stator dolağının saz və nasaz hallarını xarakterizə edən təsadüfi funksiyalarının paylanma sıxlığı əyriləri kəskin fərqlənirlər. Tədqiq olunan elctriki zədələnmələrin vibrasiya təcilinə xarakter təsirini korrelyasiya əyrilərindən və kəmiyyətlərindən də görmək olur (şəkl.3 və cədv.3)

Bütün bunlar təsdiq edir ki, funksional fiziki prosesləri parametrlərinin, xüsusən vibrasiya təcilinin

zamana görə dəyişmə funksiyalarının stoxastik baxımından analizi əsasında təyin edilən statistik kəmiyyətlər işləmə şəraitində elektrik maşınlarının texniki vəziyyətinə effektiv nəzarətin təşkili və onun ekpress diaqnostik qiymətləndirilməsi üçün müvəffəqiyyətlə istifadə oluna bilər.

Bu növ diaqnoz məlumatı kompüterdə rahat işlənilir və alınan nəticələr elektroenergetik maşınların erkən diaqnostikası məsələlərinin həlli məqsədi ilə avtomatlaşdırılmış nəzarət sistemlərində də tətbiq oluna bilər.

[1]. Дьяков А.Ф., Ишкин В.Х., Мамиконянц Л.Т., Электроэнергетика Мира- состояние, проблемы (по материалам 38-й сессии СИРГЭ), Энергетика за рубежом, 2001, вып 5-6

[2]. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин. Л. «Энергия», 1989.

[3]. Костенко М.П. Электрические машины. Специальная часть. М-Л., ГЭИ, 1949.

[4]. Геллер Б., Гамата В. Дополнительные поля, моменты и потери мощности в электрических машинах М-Л. «Энергия», 1964.

[5]. M.A.Nəşimov, N.K.Ramazanov. Elektrik maşınlarında sərplənmə maqnit sellərinin texniki diaqnostika məsələləri üçün tədqiqat. «Enerji ehtiyatlarından vasional istifadə olunması və

elektrik avadanlığının etibarlılığı». Respublika elmi-praktiki konfransının məruzələri, 2000, Bakı.

[6]. Гашимов М.А., Абдулзаде С.В. Исследование в целях диагностики физических процессов функционирования электрических машин при неисправностях в обмотке статора и ротора. Электротехника, 2004, №2

[7]. Биргер И.А. Техническая диагностика. М., «Машиностроение», 1978.

[8]. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М., «Наука», 1964.