

ELEKTROENERGETİK MAŞINLARIN FUNKSIONAL FİZİKİ PROSESLƏRİNƏ GÖRƏ ERKƏN DİAQNOSTİKASININ ÜSULLARI

RAMAZANOV N.K.

AzETE və ELİ

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 qurğular dedikdə elektrik stansiyalarındakı sinxron generator və onların xüsusi sərfiyyat mühərrikləri nəzərdə tutulur. Bu maşınlar stansiyanın texnoloji prosesində mühüm rol oynayırlar. Deməli stansiyanın etibarlı iş rejimini təmin etmək üçün bu maşınların texniki vəziyyəti daim nəzarət altında olmalıdır. Təəssüflər olsun ki, hal-hazırda texniki vəziyyətə nəzarət üsulları dövrün tələblərinə uyğun gəlmir. Bu deyilənləri nəzərə alsaq onda nasazlıqların 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 hələl 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 (SIQRE) 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 simmetrikiyi pozulur, dolağda qeyri-bərabər qızmalar yaranır, vibrasiya, səs artır və s.) yalnız zədələnmənin son şiddət səviyyələrində, yəni maşının işdən açılması ərəfəsində 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 elektrik maşınlarının vibrasiyaya görə diaqnostikası sahəsində bir boşluq olduğundan bu əsas tədqiqat obyektini seçilmişdir.

Elektrik maşınlarında elektromaqnit, mexaniki və hidro – aerodinamiki xarakterli dinamiki 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 təsirlərilə 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 tərpnəmz qalan bütün harmonikaların 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 bucaq sürətidir.

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

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

Ümumiyyətlə isə, fazaları 120° 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 tərpnəmz qalan 3-cü harmonikalı MHQ olmasına baxmayaraq maşının hava məsafəsində həmən harmonikadan yekun maqnit sahəsi yaranmır. 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 sifirdən 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 maşınının 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 funksialarının əyriləri (osilloqramaları) çıxarılmışdır.

Sarğılar və fazalar arası qq-nın süni yaradılması əvvəlcədən stator dolağının alın hissələrindən çıxarılmış naqillər vasitəsilə yerinə yetirilir. Həmən naqillər tənzimlənen

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 həməən izolyasiya arakəsməsi qq dövredə axan cərəyanların təsirindən dağılaraq 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 yolu ilə 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 göstərir [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 funksiaların əyrilərindən) nümunə kimi qeyd edilən asinxron maşınının 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 funksialar olur. Bunu natur – eksperimental yolu ilə 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 funksialar yalnız nasazlığın şiddətlik səviyyəsini (qq dövredə 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 nəzəriyyəsindən məlumdur ki, stasionar təsadüfi funksiyanın dispersiyası (σ^2) həmin funksiyanın spektrində olan bütün harmonikaların dispersiyalarının cəminə bərabərdir və təsadüfi kəmiyyətlərin (x_i) riyazi orta qiymətinə nəzərən səpələnməsini (paylanma sıxlığını) xarakterizə edir. Avtokorreksiya isə təsadüfi funksiyanın harmoniki spektrini təyin edir [7].

$$K_x(\tau) = \sum_{\nu=0}^n \sigma_{\nu}^2 \cdot \cos(\omega_{\nu}t) \quad (5)$$

Qeyd olanları əsas götürərək tədqiqatın gedişində əldə edilmiş təsadüfi funksiyaların əyriləri (osilloqramalar) Microsoft Excel XP proqramı bazasında, kompüterdə işlənmişlər. Bu məqsəd üçün əvvəlcə əyrilər Δt intervalında n hissələrə bölünərək uyğun ordinataları cədvəl şəklində verilir və məlum metodika [8] əsasında funksiyanın ehtimal kəmiyyətləri hesablanmışdır.

Nümunə üçün şək.1-dəki təsadüfi funksiyaların korrelyasiya analizinin və ehtimal kəmiyyətlərinin bəzilərinin qiymətləri cə.d.3-də verilir.

Həmin təsadüfi funksiyaların paylanma sıxlığı və avtokorrelyasiya əyriləri şək.2 şək.3-də göstərilir.

Vibrasiya təcilinin təsadüfi funksiyalarının (şək.1-dəki əyrilərin) xarakteristikaları	Dolaq Sazdır	Dolaq Nasazdır	Korrelyasiya analizi (şək.1-dəki əyrilərin)		
			τ	$K_a(\tau)$	
				Dolaq sazdır	Dolaq nasazdır
Riyazi orta (əyrinin) – $\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a(t_i)$ Dispersiya $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [a(t_i) - \bar{a}]^2$ Orta kvadratik fərq $-\sigma$	8,1	11,71	0	1	1
			1	0,91	0,98
			2	1,71	0,94
			3	0,45	0,87
			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
198		-0,02			

Təsadüfi funksiyaların paylanma əyrilərinin müqayisəsi göstərir ki, əyrilərin maksimumu dispersiyanın qiyməti ilə tərs mütənasibdir. Belə ki, nasazlıq yarandıqda əlavə ali harmonikaların 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 elektriki zədələnmələrin vibrasiya təcilinə xarakter təsirini korrelyasiya əyrilərindən və kəmiyyətlərindən də görmək olur (şək.3 və cədv.3)

Bütün bunlar təsdiq edir ki, funksional fiziki proseslərin 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 kompyuterdə rahat işlənir və alınan nəticələr elektroenergetik maşınların erkən diaqnostikası məsələlərinin həlli məqsədi ilə avtomatlaşdırılmış nəzarət sistemlərində də tətbiq oluna bilər.

1. Дьяков А.Ф., Шишкин 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. М.А.Наşимов, N.К.Рамазанов. Elektrik maşınlarında səpələnmə maqnit sellərinin texniki diaqnostika məsələləri üçün tədqiqat. «Enerci ehtiyatlarından vəsional 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.

СПОСОБ РАННЕГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИН ПО ФИЗИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

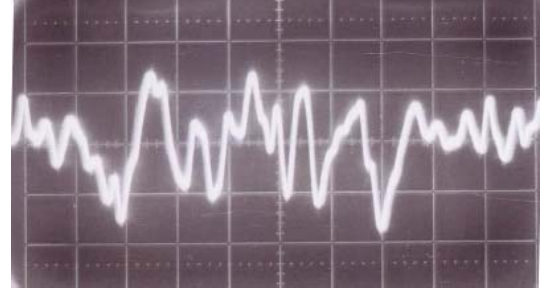
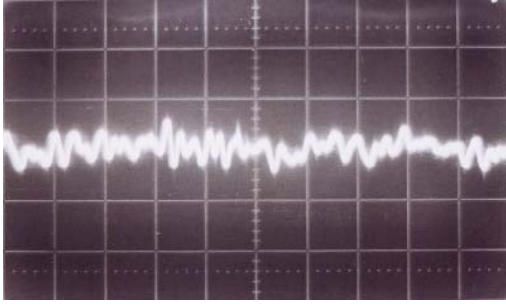
РАМАЗАНОВ Н.К.

Рассматривается возможность получения диагностирующей информации для экспресс оценки технического состояния в условиях работы, на базе изменений характеристик стационарных случайных функций вибрационного физического процесса, специфически обусловленных изменениями электромагнитных процессов функционирования при возникновении электрических неисправностей в электрических машинах переменного тока.

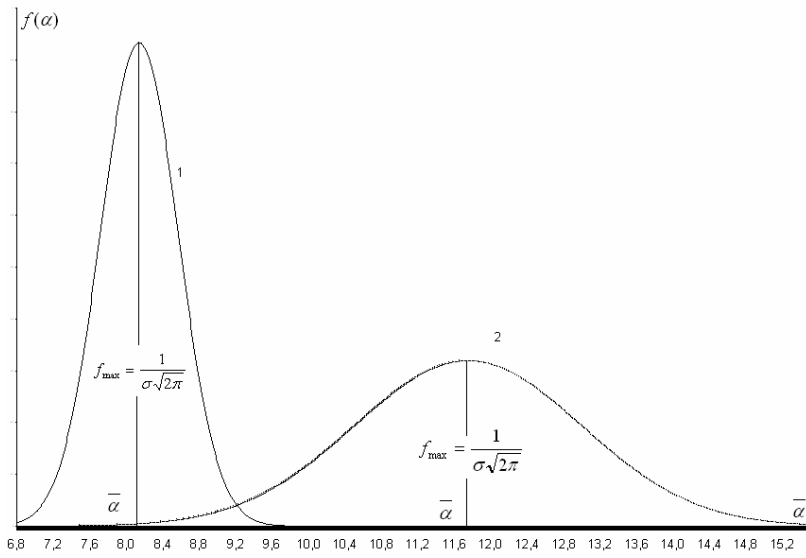
EARLY DIAGNOSTIC METHOD OF ELECTRIC MACHINES BY PHYSICAL PROCESSES FUNCTION

RAMAZANOV N.K.

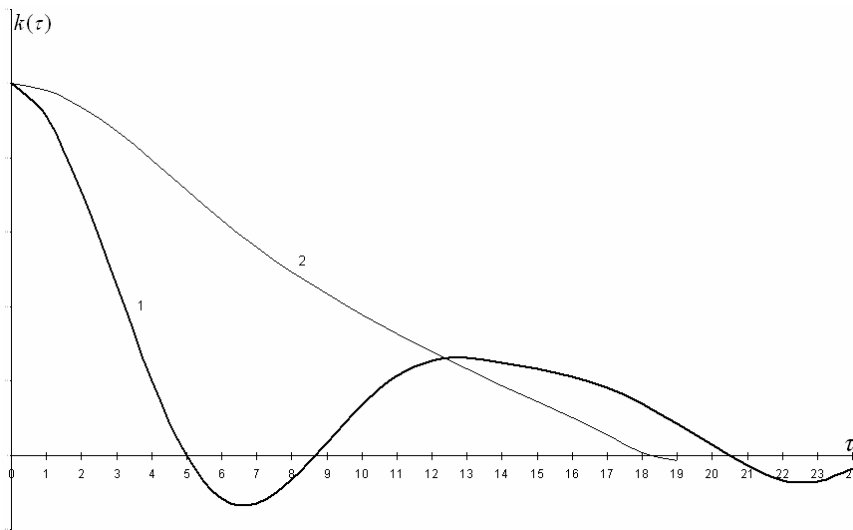
Here we take under consideration to get diagnostic information for express assessment of technical state in operation mode, based on of characteristics' change of stationary random function of vibro-physics processes which is specifically conditioned with change of electromagnetic processes of function during appearance of electric faultiness in alternating current machines.



Şək.1 Vibrasiya təcilinin təsadüfi funksiyaları (Yİ rejimi)
1 stator dolağı sazdır; 2 sarğılar arası qq yaradılır ($I_{qq}=40A$)



Şək.2 Vibrasiya təcilinin təsadüfi funksiyalarının paylanma sıxlığı (Yİ rejimi)
1 dolağı sazdır; 2 sarğılar arası qq yaradılır ($I_{qq}=40A$)



Şək.3 Vibrasiya təcilinin təsadüfi funksiyalarının avtokorrelyasiya əyriləri (Yİ rejimi)
1 dolağı sazdır; 2 sarğılar arası qq yaradılır ($I_{qq}=40A$)

Cədvəl 1

Rejim	Stator dolağının vəziyyəti	Elektromağnit (və harmonik tərkibi) və vibro – akustika funksional prosesləri parametrləri													
		$I_p, A/n.v$			$I_{v=3}, nU$			$I_{v=5}, nU$			Vibrosürüşmə $A, \mu m$	Vibrosürət $V, mm/s$	Vibrotəcill $a, m/s^2$	Səsin səviyyəsi L, dB	
		I	II	III	I	II	III	I	II	III					
Yüksüz işləmə ($I_y=0$)	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_{qq}, 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 dolağının vəziyyəti		Elektromağnit (və harmonik tərkibi) və vibro – akustika funksional prosesləri parametrləri												
			U _φ , V			U _{v=1} , V/nv			U _{v=3} , V/nv			Vibrosü rüşmə A, mkm	Vibro sürət V mm/s	Vibrotəcil a, m/s ²	Səsin səviyyəsi L, dB
			I	II	III	I	II	III	I	II	III				
Yüksüz işləmə (I _y =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 _{qq} , 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
Yüklənmə (I _y =I _n)	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 _{qq} , 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