

## FUNKSIONAL ELEKTROMAQNİT PROSESLƏRİN SPEKTRİNƏ GÖRƏ ELEKTRİK MAŞINLARININ MONİTORİNQİ VƏ DİAQNOSTİKASI

RAMAZANOV N.K.

*AzETE və ELİ*

İşləmə şəraitində elektrik maşınlarının texniki vəziyyətini diaqnostik qiymətləndirilməsi üçün informativ məlumat almaq məqsədilə alın hissələrin səpələnmə maqnit selinin faza tərkib hissələri (maşının maqnit aurası) tədqiq edilir.

Natur-eksperiment tədqiqatı yolunu statorun faza dolaqlarında yaranan elektrik qısa qapanmalarının qeyd edilən səpələnmə selinin harmonik spektrinə təsiri təyin olunmuşdur. Tədqiqatın nəticələrini işləmə şəraitində texniki vəziyyətin monitorinqi və nasazlıqların diaqnostikası üçün istifadə etmək tövsiyyə olunur.

Böyük elektrik sistemləri üzrə Beynəlxalq Şura (SİQRE) işləmə şəraitində elektrik maşınların texniki vəziyyətinə effektiv nəzarətin təşkili və yaranmağa başlayan nasazlıqların erkən diaqnostikası üçün funksional fiziki proseslərin harmonik və spektral analizinin aparılması əsasında məlumat bazasının yaradılması elmi-praktiki istiqamət kimi elektroenergetikanın aktual dünya problemləri sırasına daxil edir [1].

Belə xarakterli məlumat barəsinin mövudluğu imkan verir ki, qurğunun təmirə çıxarılması texniki vəziyyətin proqnozu və diaqnostikası nəticələrinə görə təşkil edilsin, qəflətən açılmaların qarşısı alınsın və bu hallarda xərclər xeyli azaldılsın.

Bu xüsusən indiki zamanda – istismarda olan elektrik maşınlarının böyük hissəsinin öz texniki və mənəvi resurslarının itirilməsi dövründə əhəmiyyət kəsb edir.

Dünya təcrübəsində texniki qurğuların, o cümlədən elektromexaniki qurğuların işləmə şəraitində vəziyyətini qiymətləndirməklə əlaqədar olaraq əsasən iki anlayışa rast gəlinir:

- 1..texniki vəziyyətin dəyişməsinə təyin etmək üçün funksional fiziki proseslərin parametr və xarakteristikalarının nəzarəti və onların dəyişmə səbəblərinin analizini təmin edən monitorinq,
- 2.yaranmağa başlayan nasazlığın növünü və ağırlıq dərəcəsini təyin edən diaqnostika.

Elektromexaniki çeviricilərində (generator və mühərriklərdə) qeyd edilən məqsədlər üçün elektromaqnit funksional proseslərin istifadə olunması daha çox əlverişlidir. Elektrik maşınlarının nəzəriyyəsiindən məlum olduğu kimi, onların vibro-akustika funksional fiziki prosesləri əsasən elektromaqnit sahələrinin harmonik spektrinə təsirlərinin nəticəsi olaraq yaranır [2,3].

Xüsusən, elektrik maşınlarında səpələnmə maqnit sellərinin və onların faza tərkib hissələrinin (maşının maqnit aurasının) spektral analizi işləmə şəraitində texniki vəziyyətin diaqnostik qiymətləndirilməsi üçün çox informativdir. Həm də, bu halda maşının saxlanılması və sökülməsi tələb olunmur.

Məqalə məhz sonra qeyd olunan məsələlərin tədqiqinə və həllinə həsr edilir.

Nəzəriyyədən məlum olduğu kimi maşında hər iki dolaqla – stator və rotir dolaqları ilə əlaqəli əsas (səmərəli) maqnit seli ilə yanaşı dolaqlardan yalnız biricilə əlaqəli əsas maqnit seli – səpələnmə selləri də maşında həmişə mövcuddur. Sonuncu maşının funksional prosesində mövcud olsa da, səmərəli iş prosesində zamanı onlar keçid cərəyanlarının qiymətlərini məhdudlaşdırır.

Ümumi halda elektrik maşınlarında dəyişən cərəyanlı dolaqların yaratdıqları səpələnmə maqnit selləri üç fəzaların maqnit seli (differensial sahə), yuvaların seli və alın fiziki iş prosesini yalnız hava məsafəsindəki birinci (əsas) harmonikanın maqnit seli yerinə yetirir.

Alın hissələrin maqnit sahəsinin faza strukturası elədir ki, o stator və rotor nüvələrinə keçmir və əsasən stator dolağının alın hissələri ətrafındakı qeyri-maqnit mühitdə qapanan səpələnmə sellərini özündə cəmləşdirir. Bu sahənin dəqiq hesablanması, stator dolağının alın hissələrində sarğuların mürəkkəb formada bərkidilib yerləşdirilməsinə və bu hissədə sahənin yekun xarakterli olmasına görə, çox çətindir.

Yuxarılardan çıxan qrup naqillər alın hissələrdə ümumi dəstə naqillər təşkil edir və yekun səpələnmə selilə əhatələnilirlər. Sarğuların bir tərəfindəki alın hissədə VV naqillə ilə əlaqəli induksiyanın maqnit sahəsi üçün yarmaq olar:

$$\Phi_x = F_x \cdot \Lambda_a \quad (1)$$

burada

$$F_x = W_x i \quad (2)$$

- baxılan sarğının MHQ-dir,  $\Lambda_a$ -qrup sarğuların hissəsinin öünə induksiya və digər sarğuların qarşılıqlı induksiya səpələnmə seli əsas etibarilə haradan qapandığından qiyməti üçün yarmaq olar.

$$\Lambda_a = \mu_0 l_a \lambda_a \quad (3)$$

burada  $\mu_0$  - havanın maqnit nüfuzluluğuna bərabər qəbul edilir

$l_a$  – dolağın alın hissəsinin uzunluğudur (bir tərəfdən)

$\lambda_a$  - alın hissəsində səpələnmə selinin keçiricilik əmsalındır.

Nəzəri və praktiki hesabatlarda  $\lambda_a$  əmsalı vasitəsilə statorun faz dolağının alın səpələnmə induktiv müqaviməti xarakterizə edilir.

$$X_a = \frac{4\pi f w^2}{p} \mu_0 l_a \lambda_a \quad (4)$$

Elektrik maşınında digər səpələnmə sellərinin induktiv müqavimətləri də (4) ifadəsi kimi hesablanır. Lakin bu halda uyğun səpələnmə maqnit selinin keçiricilik əmsalı istifadə olunur.

Qeyd etmək lazımdır ki, statorun faza dolaqlarında induksiyalanan EQ alın hissələrinin formasından və bu hissələrdəki səpələnmə sellərinin qiymətindən asılı deyil. Alın hissələri dolağın əsas maqnit sahəsilə əlaqəli və EQ induksiyalanan aktiv (yuva) hissələrini birləşdirmək üçün lazımdır.

Diagnoz məsələlərinin həlli üçün alın hissələrin səpələnmə maqnit selinin fazada paylanma strukturunun pozulma dərəcəsi vacibdir.

Sarğular və ya fazalar arası qısa qapanma yarandıqda statorun faza dolaqlarının və onların sarğı qruplarının elektriki simmetrikliliyi pozulur, bunun nəticəsi kimi maşında maqnit induksiyasının simmetrik paylanması təhrif olunur. Şübhəsizdir ki, bu halda alın hissələrdəki sarğı qruplarının maqnit selləri arasındakı nisbətlər dəyişəkdir. Bu birinci növbədə ona görə baş verməlidir ki, qısa qapanmış dövrənin daxilində qalmış sarğı qrupunun maqnit seli, o cümlədən, onun alın hissəsinin səpələnmə seli, bu dövrdən xaricdə qalmış sarğı qrupunun

maqnit sellərindən fərqli olur. Çünki (2) ifadəsinə görə bu halda sarğı qruplarında sarğıların sayı və onlardan axan cərəyanların nisbəti dəyişir. Digər səbəb o ola bilər ki, sarğı qrupları arasında qarşılıqlı induksiya da dəyişmiş olur, zədəli və zədəsiz sarğı qruplarının yerləşdiyi alın hissə zonaları arasında simmetrilik pozulur.

Həqiqətən, üç fazlı dolaqla bütün fazalarda sarğıların və sarğı qruplarının sayı bir-birinə bərabər olur və onlar öz aralarında eyni sxelə birləşdirilirlər. Faza dolaqları və onların sarğı qrupları naqillərinin zonaları, o cümlədən onların alın hissələrinin zonaları təyin edildikdə ciddi ardıcılıq gözlənilir. Əyanilik üçün şəkl.1-də dörd qütblü elektrik maşınında faza zonalarının yerləşdirilməsi göstərir (4)- hər bir cüt qütbə bir ədəd sarğı qrupu düşür. Oudur ki, sarğı qruplarının tərərlərini yerləşdirmək üçün iki qat qütb məsafəsi ( $2\tau$ ) bir-birindən 60 elektriki dərəcə aralı altı bərabər sahəyə bölünür və s. Məhz, belə olduqda maşında maqnit və elektriki simmetriklilik təmin olunur, induksiyalanan yekun EHQ ən böyük alınır və dolaq daxili bərabərləşdirici cərəyanlar yox olur.

Adı çəkilən nasazlıqlarda faza dolaqlarında induksiya paylanmasının simmetrikliliyi pozular və bu səbəbdən əlavə ali harmonikaların yaranı bilməsi şəraiti maşında maqnit auranın harmonik spektrinin tədqiqini diaqnoz məlumatı almaq üçün daha önəmli edir.

Məlum olduğu kimi, üçfazlı dolaqla hər fazın yekun MHQ uyğun faza dolağındakı zamana görə döyünən və fazada tərpənməz qalan bütün harmonikaların cəmi kimi təyin edilir:

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

burada

$F_{f\nu}$  -  $\nu$  fəza harmonikasının maqnitləşdirici qüvvəsinin amplitudadır:

$$F_{f\nu} = 0.9 \frac{WK_{doc.\nu}}{\nu P} I \quad (6)$$

bir qayda olaraq simmetrik üç fazlı stator dolağında aşağıdakı harmonikalar mövcud olur:

$$\nu = 6K \pm 1$$

burada  $K=0,1,2,\dots$

Maşında hər hansı  $\nu$  harmonikaya görə yekun MHQ həmin harmonikanın üç faz dolaqlarında olan maqnitləşdirici güvvələrinin cəminə bərabərdir.

Nisbətən zəif olan hissələrinin maqnit sellərini müxtəlif üsullarla, o cümlədən, elektromaqnit EHQ löçü sarğısı vasitəsilə nəzarət etmək olar.

Harmonik spektrə malik faza elektromaqnit sahələri faz dolaqlarında, o cümlədən, alın hissələrində EHQ yaradır. Bu halda induksiyalanan EHQ forması maqnit induksiyasının təkrarı olur.

Beləliklə, saz və nasaz texniki vəziyyətləri işləyən maşının ətrafında, xüsusən alın hissələri tərəfindən (maqnit auran) induksiyalanan EHQ-in analizi və müqayisəsini aparmaqla qiymətləndirmək olar.

Yuxarıdakıları təsdiqləndirmək və əlavə diaqnoz məlumatı toplamaq üçün xüsusi metodika əsasında Adı çəkilən nasazlıqlar natur – eksperiment yolu ilə bir sıra asinxron və sinxron maşınlarında tədqiq edilmişdir. Metodikanın mahiyyəti ondan ibarətdir ki, yüksüz işləmə və müxtəlif yük rejimlərində işləyən maşında sarğılar və fazalar arası qısa qapanmalar süni olaraq yaradılır, səpələnmə maqnit sellərini ölçməklə texniki vəziyyətə nəzarət edilir [5].

Süni qısa qapanmalar stator dolağının alın hissələrindən əvvəlcədən bayıra çıxarılmış və aktiv müqavimətdən qapanılan xüsusi naqillər vasitəsilə yaradılır. Bu imkan verir ki, qısa qapanmış dövrdə cərəyanı təcnzim etməklə nasazlıqların müxtəlif şiddət dərəcələri yaradılsın.

Alın hissələrində səpələnmə maqnit sellərinin faza tərkib hissələri (maqnit aura) elektromaqnit verici – elektromaqnit EHQ sarğıları vasitəsilə ölçülmüşdür.

EHQ ölçü sarğısı maşının xaricində yerləşdirilir və ölçmə prosesində xüsusi qurğu vasitəsilə alın hissəsi tərəfdən örtük qapağın müxtəlif nöqtələrinə sürüldürülmüşdür. Həmin qurğu şəkl. 1-də şərti olaraq punktir yarım dairə kimi xarakterizə olunur.

Ölçülən EHQ eyni zamanda R 3271A (Yaponiya) spektr analizatoruna verili rəvə spektral analizi aparılır. Bu məqsəd üçün analizatorun komplektində olan printerin vasitəsilə tədqiq edilən səpələnmə maqnit selinin spektoramları çəkilmişdir.

Nümunə üçün şəkl. 2 və 3-də elektromaqnit vericidən ölçülən EHQ spektoramları göstərilir. Onlar uyğun olaraq sinxron (TVF-63, 10,5 kv,  $\cos \varphi=0,8$ , 3000 dövr/d saz halında) və asinxron (A160M04, 18,5 kv, 1500 dövr/d, saz və nasaz halında) maşınlarında alın hissədə (generatora təsirləndirici maşın, asinxron maşınında mexanizmin əks tərəfində) ölçülən EHQ spektoramlarıdır.

Çox saylı tədqiqatlar göstərir ki, alın hissələrinin müxtəlif nöqtələri üçün aparılan ölçmələr və çəkilən spektoramlar praktiki olaraq eyni nəticələr verir. Eyni oxşar nəticələr həm də iki ədəd elektromaqnit EHQ ölçü sarğılarında istifadə etdikdə eləcə də fazalar arası qısa qapanma yaratdıqda alınır. İş rejimlərinin növü tədqiqat nəticələrinə və onların xarakterinə praktiki olaraq təhrif edici təsir göstərmir.

Nümunə üçün cədl. 1-də maşının (A 160 M04) alın hissələrinin müxtəlif nöqtələrində ölçülmüş EHQ qiymətləri verilir.

Göründüyü kimi, stator dolağında elektriki zədələnmələr yarandıqda alın hissələrdə səpələnmə maqnit seli ümumən artır. Spektoramların analizindən görünür ki, həmin nasazlıqlarda qeyd edilən səpələnmə selinin spektrində olan harmonikaların amplitudası artır və əlavə ali harmonikalar yaranır.

Cədl. 2-də spektoramların analizinin nəticələri verilir. Burada maşının saz və nasaz texniki vəziyyətlərində harmonik tərkib hissələrin mütləq qiymətlərdə amplitudaları, onların arasında yaranan fərq və, nəhayət, daha informativ olan kəmiyyət – verilmiş tezlik üçün amplitudanın artma dəfəliyi əks olunur.

Cədl. 2-də və spektoramlardan görünür ki 7-cidən başlayaraq yuxarı ali harmonikalarda xarakter sığrayışları əmələ gəlir. Lakin bu hal daha stabil olaraq 500 Hz-dən yuxarı olan tezliklərdə müşahidə olunur (500÷1000 Hz).

Odur ki, diaqnoz məsələlərinin həlli üçün məhz göstərilən harmonikalar arasındakı spektrlərin istifadəsi əlverişlidir.

Bütövlükdə aparılmış tədqiqatlardan belə nəticəyə gəlmək olar ki, elektrik maşınlarında səpələnmə maqnit sellərinin, xüsusən, həmin sellərin alın hissələrindəki faza tərkib hissələrinin (maqnit auranın) parametr və xarakteristikaları funksional diaqnostika məsələlərinin həlli üçün qiymətli diaqnoz məlumatına malikdir. Müasir texniki ölçmə və analiz vasitələrinin səviyyəsi imkan verir ki, səpələnmə maqnit sellərindəki diaqnoz məlumatı işləmə şəraitində elektrik maşınlarının texniki vəziyyətinə effektiv nəzarətin təşkili üçün geniş istifadə edilsin, onun əsasında erkən diaqnostika üsulları və vasitələri işlənsin.

---

1. Дьяков А.Ф., Ишкин В.Х., Мамикоянц Л.Г. Электроэнергетика мира – состояние, проблемы (по материалам 38-й сессии СИГРЭ, Париж). Энергетика за рубежом, выпуск 5-6, 2001 г.

2. Костенко М.П. Электрические машины, М-Л., ГЭИ, 1949.

3. Копылов И.П. Математические моделирования электрических машин, М., Высшая школа, 1987.

4. Зимин В.И., Каплан М.Я., Палей А.М., и др. Обмотки электрических машин. Л. Энергия, 1970.

5. Нәşитов М.А., Рамазанов Н.К. Elektrik maşınlarında səpələnmə maqnit sellərinin texniki diaqnostika məsələləri üçün tədqiqi «Enerji ehtiyatlarından rəşional istifadə olunması və elektrik avadanlığının etibarlılığı» Respublika elmi-praktiki konfransın məruzələri kitabı, Bakı, 2000-ci il.

# **МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН СОГЛАСНО СПЕКТРУ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**РАМАЗАНОВ Н.К.**

В работе проведено изучение магнитного потока (магнитной ауры) с получением информативных данных для оценки технического состояния электрических машин в рабочем режиме. Рекомендуется использовать полученные данные для мониторинга технического состояния и диагностики неисправностей.

## **MONITORING AND DIAGNOSTIC OF ELECTRICAL MACHINE IN ACCORDANCE WITH RANGES OF FUNCTIONAL ELECTROMAGNETIC PROCESSES**

**RAMAZANOV N.K.**

The study of magnetic flow (magnetic aura) for obtaining informative data for evaluation of technical condition in operation mode of electrical machines is carried out. Recommended to use the obtained data for technical condition monitoring and faultiness diagnostic.

Şəkilaltı yazılar.

Şək. 1. Dördqütblü maşında faz zonalarının yerləşdirilməsi

Şək. 2. TVF-63 generatorun alın hissələrində səpələnmə maqnit selindən induksiyaalan EHQ spektrogramı (nasazlıq yoxdur).

Şək. 3. A160M04 mühərrikinin alın hissələrində səpələnmə maqnit selindən induksiyaalan EHQ spektrogramları saz (1) və nasazlıq (2) hallarında (9-cu nöqtə)

Spektoqramların analizinin nəticələri

Cədvəl 2.

Spektr harmonika Hs	U <sub>1</sub> (Nasazlıq yoxdur)		U <sub>2</sub> (nasazlıq yaradılıb)		ΔU	$\frac{\Delta U}{U_1}$
	-dB	mV	-dB	mV		
50	-20	100	-18	125	25	0,25
150	44	6,31	38	12,5	6,2	0,68
250	52	2,5	44	6,3	3,8	1,5
300	75	0,177	55	1,27	1,09	6,15
350	75	0,177	46	5	4,8	27
400	82	0,08	43	7	6,9	86
450	65	0,56	50	3	2,4	4,2
500	78	0,12	48	3,9	3,8	31
600	70	0,3	50	3	2,7	9
650	74	0,2	60	1	0,8	4
700	88	0,04	60	1	0,96	24
850	83	0,07	63	0,7	0,63	10
900	87	0,04	62	0,8	0,76	19
950	87	0,04	67	0,44	0,40	11
1000	87	0,04	65	0,56	0,52	13
1100	87	0,04	73	0,22	0,18	4,5







Ölçülərin nəticələri

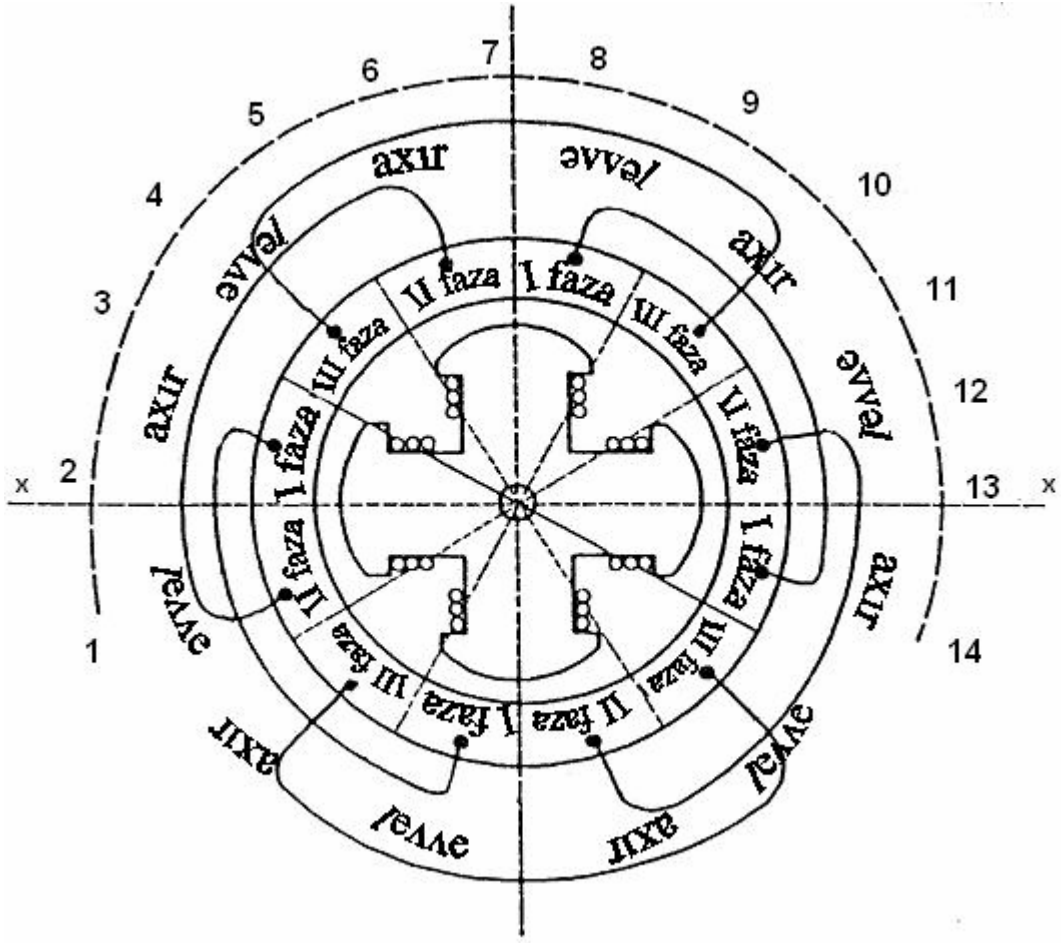
Cədvəl 1.

Stator dolağının vəziyyəti	Maşının alın hissələrinin müxtəlif nöqtələrində induksiylanan EHQ qiymətləri, mV											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Saz	155	150	140	160	170	168	180	180	190	180	165	165
B fazasında sarğılar arası qısa qapanma yaradılır	210	240	215	254	240	390	405	400	425	382	340	230
B fazalar arası qısa qapanma yaradılır	245	260	252	310	305	465	460	427	485	410	390	282

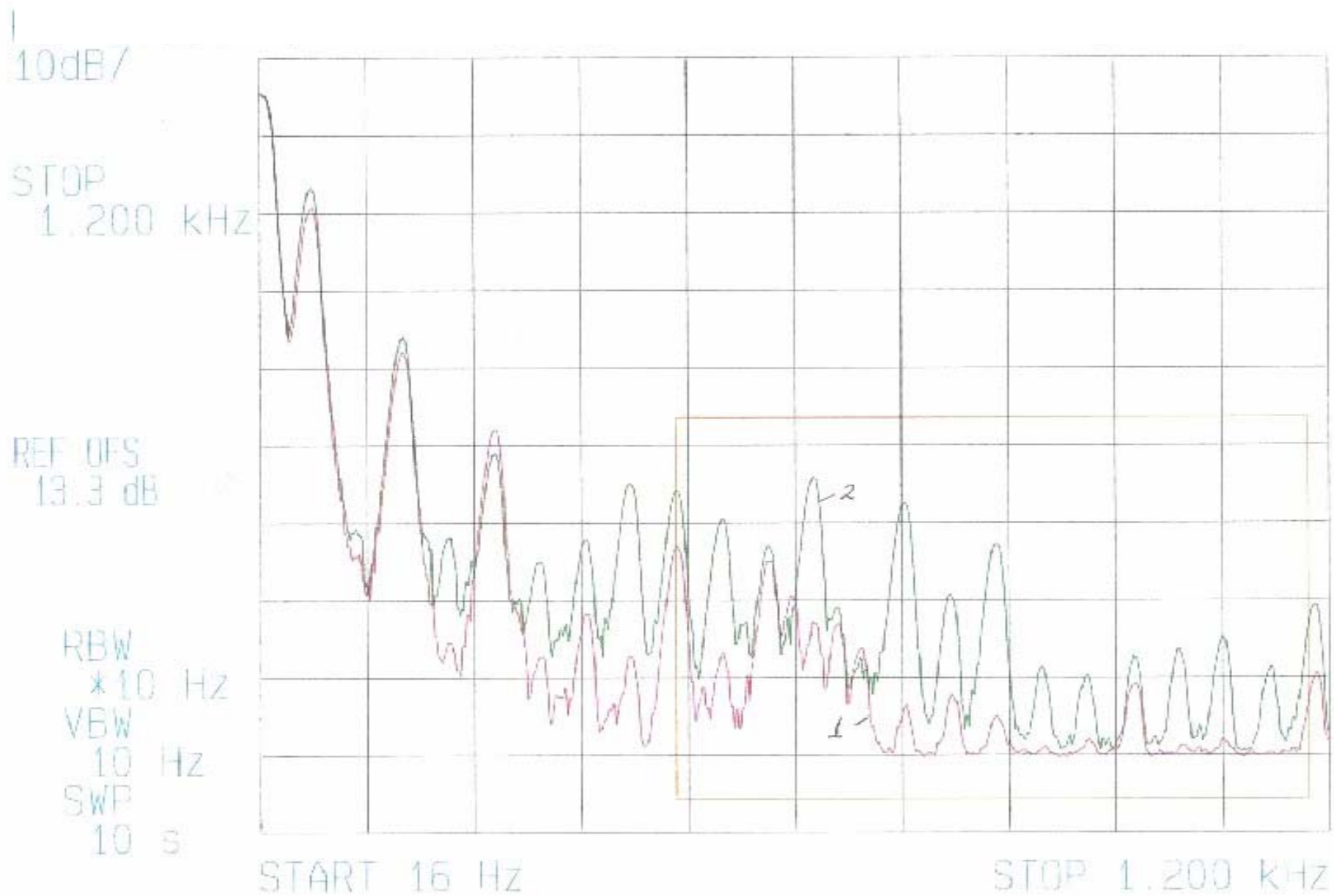
Spektoqramların analizinin nəticələri

Cədvəl 2.

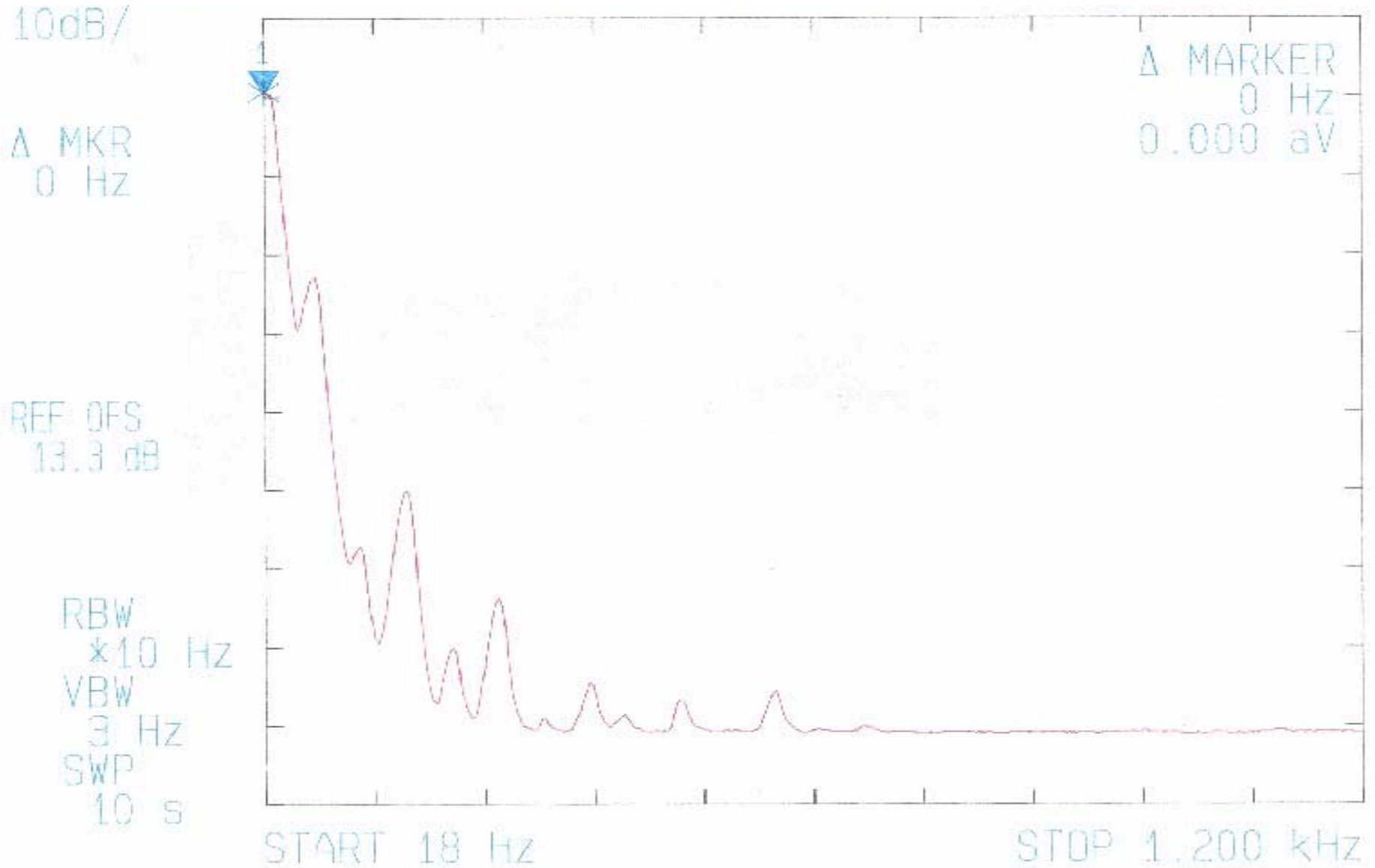
Spektr harmonika Hs	U <sub>1</sub> (Nasazlıq yoxdur)		U <sub>2</sub> (nasazlıq yaradılıb)		ΔU	$\frac{\Delta U}{U_1}$
	-dB	mV	-dB	mV		
50	-20	100	-18	125	25	0,25
150	44	6,31	38	12,5	6,2	0,68
250	52	2,5	44	6,3	3,8	1,5
300	75	0,177	55	1,27	1,09	6,15
350	75	0,177	46	5	4,8	27
400	82	0,08	43	7	6,9	86
450	65	0,56	50	3	2,4	4,2
500	78	0,12	48	3,9	3,8	31
600	70	0,3	50	3	2,7	9
650	74	0,2	60	1	0,8	4
700	88	0,04	60	1	0,96	24
850	83	0,07	63	0,7	0,63	10
900	87	0,04	62	0,8	0,76	19
950	87	0,04	67	0,44	0,40	11
1000	87	0,04	65	0,56	0,52	13
1100	87	0,04	73	0,22	0,18	4,5



Şəkil 1. Dördqütblü maşında faz zonalarının yerləşməsi



Şəkil 3 A16M04 mühərrikin alın hissələrində səpələnmə maqnit selindən induksiylanan EHQ spektroqramları saz (1) və nasaz (2) hallarda (9-cu nöqtə)



Şəkil 2 TVF-63 generatorun alın hissələrində səpələnmə maqnit selindən induksiylanan EQ spektrogramı (nasazlıq yoxdur)