

**T.C.  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKSENEL AKILI SABİT MIKNATISLI AÇIK OLUKLU SENKRON  
(EASMAOS) ALTERNATÖRLERDE MIKNATIS GRUPLAMA  
TEKNİĞİNİN UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yusuf ÇOLAK**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Engin HÜNER**

**HAZİRAN 2019**

**T.C.  
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKSENEL AKILI SABİT MIKNATISLI AÇIK OLUKLU SENKRON  
(EASMAOS) ALTERNATÖRLERDE MIKNATIS GRUPLAMA  
TEKNİĞİNİN UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yusuf ÇOLAK  
(1148203106)**


**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Engin HÜNER**

**HAZİRAN 2019**

Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1148203106 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi **Yusuf ÇOLAK**'ın ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**EKSENEL AKILI SABİT MIKNATISLI AÇIK OLUKLU SENKRON (EASMAOS) ALTERNATÖRDE MIKNATIS GRUPLAMA TEKNİĞİNİN UYGULANMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Dr. Öğr. Üyesi Engin HÜNER**  
Kırklareli Üniversitesi



.....

**Jüri Üyeleri :** **Dr. Öğr. Üyesi Aydın MÜHÜRÇÜ**  
Kırklareli Üniversitesi



.....

**Dr. Öğr. Üyesi Süreyya KOCABEY**  
Sağlık Bilimleri Üniversitesi



.....

**Teslim Tarihi :** 05 Mayıs 2019  
**Savunma Tarihi :** 27 Haziran 2019

*Babama, anneme, eşime ve kızlarıma,*





## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında katkılarını esirgemeyen ve sürekli teşvikleriyle beni sürecin içinde tutan, çok iyi dost ve çok iyi insan olan kıymetli hocam Sayın Dr.Öğr. Üyesi Engin HÜNER' e teşekkür ederim.

Daha İlkokul 4. Sınıfta beni mühendislerle tanıştıranak “Oğlumda mühendis olacak diyen” ve beni bu mesleğe yönlendiren canım babama, emeği ve sevgisi üzerimde olan canım anneme, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Didem'e teşekkür ederim.

Bu çalışmayı canım kızlarım Dicle Lidya ve Ekin Irmak'a ithaf ediyorum.

Bu çalışma Kırklareli Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Komisyon Başkanlığı tarafından KLÜBAP-126 proje numarası ile desteklenmiştir.

Haziran 2019

Yusuf ÇOLAK  
(Elektronik Mühendisi)

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
KISALTMALAR .....	x
ÖZET.....	xviii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Araştırması .....	3
<b>2. SÜREKLİ MIKNATISLI SENKRON MAKİNELER.....</b>	<b>7</b>
2.1 Radyal Akıllı Sürekli Miknatıslı (RASM) Makine .....	8
2.1.1 Rotoru içte RASM makinalar .....	8
2.1.2 Rotoru dışta RASM makineler .....	9
2.1.3 Yüzey yerleştirmeli RASM makine .....	9
2.1.4 Gömülü tip RASM makine .....	10
2.2 Eksenel Akıllı Sürekli Miknatıslı (EASM) Makineler .....	10
2.2.1 EASM makinelerinin yapısı ve tipi .....	12
2.2.1.1 Tek statorlu tek rotorlu EASM makine .....	13
2.2.1.2 Çift statorlu tek rotorlu EASM makine .....	13
2.2.1.3 Tek Statorlu çift rotorlu EASM makine .....	15
2.2.1.4 Çoklu stator çoklu rotorlu EASM makine .....	16
<b>3. TASARIMINDA KULLANILAN MALZEMELER .....</b>	<b>17</b>
3.1 Manyetik Malzeme .....	17
3.1.1 Yumuşak manyetik malzemeler (Nüveler) .....	21
3.1.2 Sert Manyetik Malzemeler (Miknatıslar).....	23
3.1.2.1 AlNiCo miknatıslar (Alüminyum- nikel- kobalt miknatıslar) .....	24
3.1.2.2 Seramik (Ferrit) miknatıslar .....	25
3.1.2.3 Nadir toprak elementi miknatıslar .....	26
3.2 Elektriksel İletken Malzemeler .....	28
3.2.1 Bakır alaşımlar .....	28
3.2.2 Alüminyum alaşımlar .....	28
3.3 Yalıtkan Malzemeler .....	28
<b>4. VURUNTU MOMENTİ .....</b>	<b>31</b>
4.1 Vuruntu Momenti Teorisi .....	31
4.2 Vuruntu Momentinin Hesaplanması .....	32
4.3 Vuruntu Momentini Azaltıcı Teknikler .....	33
4.3.1 Stator tarafında yapılan teknikler .....	33
4.3.2 Rotor tarafında yapılan teknikler .....	34
4.3.2.1 Rotor kaydırması .....	35
4.3.2.2 Miknatıs kaydırması ve gruplama .....	35
4.3.2.3 Miknatıs kaykırısı .....	36
<b>5. TASARIMIN UYGULANMASI.....</b>	<b>39</b>
5.1 Stator .....	39

5.2 Rotor .....	40
5.3 Mıknatıs Tutma Aparatı .....	41
5.4 Pleksi Kalıplar .....	41
5.5 Deney Düzeneği .....	42
<b>6. DENEY SONUÇLARI.....</b>	<b>43</b>
6.1 Alternatörün Yük Ayarları .....	43
6.2 0'lı Grup 0 Derece Mıknatıs Açısı .....	44
6.2.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	44
6.2.2 1. Kademede alınan değerler .....	46
6.2.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	47
6.2.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	48
6.2.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	49
6.2.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	50
6.3 2'li Grup 28 Derece Mıknatıs Açısı .....	51
6.3.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	51
6.3.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	53
6.3.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	53
6.3.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	54
6.3.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	55
6.3.6 5. Kademede Alınan Sonuçlar .....	56
6.4 2'li Grup 30 derece mıknatıs açısı .....	57
6.4.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	58
6.4.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	59
6.4.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	60
6.4.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	61
6.4.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	62
6.4.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	63
6.5 2'li Grup 32 Derece Mıknatıs Açısı .....	64
6.5.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	64
6.5.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	65
6.5.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	66
6.5.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	67
6.5.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	68
6.5.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	69
6.6 2'li Grup 34 Derece Mıknatıs Açısı .....	70
6.6.1 Yüksüz durumda alına sonuçlar .....	70
6.6.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	72
6.6.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	73
6.6.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	74
6.6.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	75
6.6.6 5. Kademede alınan sonuçları .....	76
6.7 2'li Grup 36 Derece Mıknatıs Açısı .....	77
6.7.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	77
6.7.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	78
6.7.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	79
6.7.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	80
6.7.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	81
6.7.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	82
6.8 2'li Grup 38 Derece Mıknatıs Açısı .....	83
6.8.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	83

6.8.2 1. Kademe alınan sonuçlar .....	85
6.8.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	86
6.8.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	87
6.8.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	88
6.8.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	89
6.9 2'li Grup 40 Derece Açısı .....	90
6.9.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	90
6.9.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	92
6.9.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	92
6.9.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	93
6.9.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	94
6.9.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	95
6.10 2'li Grup 42 Derece Mıknatıs Açısı .....	96
6.10.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	96
6.10.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	98
6.10.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	99
6.10.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	100
6.10.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	101
6.10.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	102
6.11 2'li Grup 44 Derece Mıknatıs Açısı .....	103
6.11.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	103
6.11.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	104
6.11.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	105
6.11.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	106
6.11.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	107
6.11.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	108
6.12 4'lü Grup 28 Derece Mıknatıs Açısı .....	109
6.12.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	109
6.12.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	111
6.12.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	112
6.12.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	113
6.12.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	114
6.12.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	115
6.13 4'lü Grup 30 Derece Mıknatıs Açısı .....	116
6.13.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	116
6.13.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	117
6.13.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	118
6.13.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	119
6.13.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	120
6.13.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	121
6.14 4'lü Grup 32 Derece Mıknatıs Açısı .....	122
6.14.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	122
6.14.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	124
6.14.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	125
6.14.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	126
6.14.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	127
6.14.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	128
6.15 4'lü Grup 34 Derece Mıknatıs Açısı .....	129
6.15.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	129
6.15.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	130

6.15.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	131
6.15.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	132
6.15.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	133
6.15.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	134
6.16 4'lü Grup 36 Derece Mıknatıs Açısı .....	135
6.16.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	135
6.16.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	137
6.16.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	138
6.16.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	139
6.16.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	140
6.16.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	141
6.17 4'lü Grup 38 Derece Mıknatıs Açısı .....	142
6.17.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	142
6.17.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	143
6.17.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	144
6.17.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	145
6.17.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	146
6.17.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	147
6.18 6'lı Grup 28 Derece Mıknatıs Açısı .....	148
6.18.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	148
6.18.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	150
6.18.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	151
6.18.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	152
6.18.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	153
6.18.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	154
6.19 6'lı Grup 30 Derece Mıknatıs Açısı .....	155
6.19.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	155
6.19.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	157
6.19.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	158
6.19.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	159
6.19.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	159
6.19.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	160
6.20 6'lı Grup 32 Derece Mıknatıs açısı .....	161
6.20.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	162
6.20.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	163
6.20.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	164
6.20.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	165
6.20.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	166
6.20.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	167
6.21 6'lı Grup 34 Derece Mıknatıs Açısı .....	168
6.21.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar .....	168
6.21.2 1. Kademede alınan sonuçlar .....	169
6.21.3 2. Kademede alınan sonuçlar .....	170
6.21.4 3. Kademede alınan sonuçlar .....	171
6.21.5 4. Kademede alınan sonuçlar .....	172
6.21.6 5. Kademede alınan sonuçlar .....	173
6.22 Genel Değerlendirme.....	174
<b>7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>181</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>183</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>187</b>

## **KISALTMALAR**

<b>SMSM</b>	: Sabit Mıknatıslı Senkron Makine
<b>EASM</b>	: Eksenel Akılı Sabit Mıknatıslı
<b>RASM</b>	: Radyal Akılı Sabit Mıknatıslı
<b>SEY</b>	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
<b>SM</b>	: Sürekli Mıknatıslı
<b>AOEASM</b>	: Açık Oluklu Eksenel Akılı Sabit Mıknatıslı



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 3.1 : Preslenmiş AlNiCo mıknatısların özellikleri. ....	25
Çizelge 3.2 : Ferrit mıknatısların manyetik özellikleri. ....	25
Çizelge 3.3 : SmCo türü mıknatısların manyetik özellikleri. ....	26
Çizelge 3.4 : NdFeB mıknatıs çeşitlerinin manyetik özellikleri. ....	27
Çizelge 3.5 : SMM Çeşitli sıcaklıklardaki manyetizasyon değerlerinin değişimi. ....	27
Çizelge 5.1 : AOEASM makina için gerekli sarım sayıları. ....	40
Çizelge 6.1 : Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar. ....	44
Çizelge 6.2 : Gruplama yapılmadığı durumdaki sonuçlar. ....	175
Çizelge 6.3 : 2'li Gruplama tekniği ile alınan deneysel sonuçlar. ....	175
Çizelge 6.4 : 4'lü Gruplama tekniği ile alınan deneysel sonuçlar. ....	177
Çizelge 6.5 : 6'lı Gruplama tekniği ile alınan deneysel sonuçlar. ....	178

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1 : Diyamanyetik yönelim. ....	18
Şekil 3.2 : Paramanyetik yönelim. ....	18
Şekil 3.3 : Ferromanyetik yönelim. ....	19
Şekil 3.4 : Antiferromanyetik yönelim. ....	19
Şekil 3.5 : Ferrimanyetik yönelim. ....	20
Şekil 3.6 : B-H eğrileri. ....	22
Şekil 3.7 : Sürekli mıknatısların gelişim süreci . ....	24
Şekil 4.1 : Stator tarafında yapılan teknikler. ....	33
Şekil 4.2 : Rotor tarafında yapılan teknikler. ....	34
Şekil 4.3 : Rotor kaydırması. ....	35
Şekil 4.4 : Mıknatıs kaydırma. ....	35
Şekil 4.5 : Klasik kaykık. ....	36
Şekil 4.6 : Üçgen şekilli kaykık. ....	36
Şekil 4.7 : Paralelkenarlı kaykık. ....	37
Şekil 4.8 : Yamuk biçimli kaykık. ....	37
Şekil 4.9 : Dairesel kaykık. ....	38
Şekil 4.10 : Çift eğimli kaykık. ....	38
Şekil 5.1 : Statorun sargısız hali. ....	39
Şekil 5.2 : Statorun sargılı hali. ....	39
Şekil 5.3 : Stator sargı şeması. ....	40
Şekil 5.4 : Kutuplar için açılan daireler. ....	41
Şekil 5.5 : Mıknatıs tutma aparatı. ....	41
Şekil 5.6 : Pleksi kalıplar. ....	42
Şekil 5.7 : Deney düzeneği. ....	42
Şekil 6.1 : Yük kademeleri . ....	43
Şekil 6.2 : 3 Faz hat gerilimi ( $0^0$ yüksüz). ....	45
Şekil 6.3 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Thd_v$ ) değerleri ( $0^0$ yüksüz). ....	45
Şekil 6.4 : Vuruntu momenti ( $0^0$ ) . ....	46
Şekil 6.5 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $0^0$ 1. kademe). ....	46
Şekil 6.6 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $0^0$ 1. kademe). ....	47
Şekil 6.7 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $0^0$ 2. kademe). ....	47
Şekil 6.8 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $0^0$ 2. kademe). ....	48
Şekil 6.9 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $0^0$ 3. kademe). ....	48
Şekil 6.10 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $0^0$ 3. kademe). ....	49
Şekil 6.11 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $0^0$ 4. kademe). ....	49
Şekil 6.12 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $0^0$ 4. kademe). ....	50
Şekil 6.13 : Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $0^0$ 5. kademe). ....	50
Şekil 6.14 : Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $0^0$ 5. kademe). ....	51
Şekil 6.15 : 3 Faz hat gerilimi ( $28^0$ yüksüz). ....	51
Şekil 6.16 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Thd_v$ ) değerleri ( $28^0$ yüksüz). ....	52
Şekil 6.17 : Vuruntu momenti ( $28^0$ ). ....	52



Şekil 6.18 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$ 1. kademe).....	53
Şekil 6.19 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $28^0$ 1. kademe).....	53
Şekil 6.20 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$ 2. kademe).....	54
Şekil 6.21 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $28^0$ 2. kademe).....	54
Şekil 6.22 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$ 3. kademe).....	55
Şekil 6.23 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $28^0$ 3. kademe).....	55
Şekil 6.24 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$ 4. kademe).....	56
Şekil 6.25 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $28^0$ 4. kademe).....	56
Şekil 6.26 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$ 5. kademe).....	57
Şekil 6.27 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $28^0$ 5. kademe).....	57
Şekil 6.28 : 3 Faz hat gerilimi ( $30^0$ yüksüz).....	58
Şekil 6.29 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Thd_v$ ) değerleri ( $30^0$ yüksüz).....	58
Şekil 6.30 : Vuruntu momenti ( $30^0$ ).....	59
Şekil 6.31 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$ 1. kademe).....	59
Şekil 6.32 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $30^0$ 1. kademe).....	60
Şekil 6.33 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$ 2. kademe).....	60
Şekil 6.34 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $30^0$ 2. kademe).....	61
Şekil 6.35 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$ 3. kademe).....	61
Şekil 6.36 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $30^0$ 3. kademe).....	62
Şekil 6.37 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$ 4. kademe).....	62
Şekil 6.38 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $30^0$ 4. kademe).....	63
Şekil 6.39 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$ 5. kademe).....	63
Şekil 6.40 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $30^0$ 5. kademe).....	64
Şekil 6.41 : 3 Faz hat gerilimi ( $30^0$ yüksüz).....	64
Şekil 6.42 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Thd_v$ ) değerleri ( $32^0$ yüksüz).....	65
Şekil 6.43 : Vuruntu momenti ( $32^0$ ).....	65
Şekil 6.44 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$ 1. kademe).....	66
Şekil 6.45 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $32^0$ 1. kademe).....	66
Şekil 6.46 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$ 2. kademe).....	67
Şekil 6.47 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $32^0$ 2. kademe).....	67
Şekil 6.48 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$ 3. kademe).....	68
Şekil 6.49 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $32^0$ 3. kademe).....	68
Şekil 6.50 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$ 4. kademe).....	69
Şekil 6.51 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $32^0$ 4. kademe).....	69
Şekil 6.52 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$ 5. kademe).....	70
Şekil 6.53 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $32^0$ 5. kademe).....	70
Şekil 6.54 : 3 Faz hat gerilimi ( $34^0$ yüksüz).....	71
Şekil 6.55 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Thd_v$ ) değerleri ( $34^0$ yüksüz).....	71
Şekil 6.56 : Vuruntu momenti ( $34^0$ ).....	72
Şekil 6.57 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 1. kademe).....	72
Şekil 6.58 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $34^0$ 1. kademe).....	73
Şekil 6.59 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 2. kademe).....	73
Şekil 6.60 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $34^0$ 2. kademe).....	74
Şekil 6.61 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 3. kademe).....	74
Şekil 6.62 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $34^0$ 3. kademe).....	75
Şekil 6.63 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 4. kademe).....	75
Şekil 6.64 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $34^0$ 4. kademe).....	76
Şekil 6.65 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 5. kademe).....	76
Şekil 6.66 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $34^0$ 5. kademe).....	77
Şekil 6.67 : 3 Faz hat gerilimi ( $36^0$ yüksüz).....	77

Şekil 6.68 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Thd_v$ ) değerleri ( $36^0$ yüksüz).....	78
Şekil 6.69 : Vuruntu momenti ( $36^0$ ). .....	78
Şekil 6.70 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$ 1.kademe). .....	79
Şekil 6.71 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $36^0$ 1. kademe). .....	79
Şekil 6.72 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$ 2. kademe). .....	80
Şekil 6.73 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $36^0$ 2. kademe). .....	80
Şekil 6.74 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$ 3. kademe). .....	81
Şekil 6.75 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $36^0$ 3. kademe). .....	81
Şekil 6.76 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$ 4. kademe). .....	82
Şekil 6.77 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $36^0$ 4. kademe). .....	82
Şekil 6.78 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$ 5. kademe). .....	83
Şekil 6.79 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $36^0$ 5. kademe). .....	83
Şekil 6.80 : 3 Faz hat gerilimi ( $38^0$ yüksüz). .....	84
Şekil 6.81 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Thd_v$ ) değerleri ( $38^0$ yüksüz).....	84
Şekil 6.82 : Vuruntu momenti ( $38^0$ ). .....	85
Şekil 6.83 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$ 1. kademe). .....	85
Şekil 6.84 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $38^0$ 1. kademe). .....	86
Şekil 6.85 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$ 2. kademe). .....	86
Şekil 6.86 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $38^0$ 2. kademe). .....	87
Şekil 6.87 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$ 3. kademe). .....	87
Şekil 6.88 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $38^0$ 3. kademe). .....	88
Şekil 6.89 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$ 4. kademe). .....	88
Şekil 6.90 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $38^0$ 4. kademe). .....	89
Şekil 6.91 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$ 5. kademe). .....	89
Şekil 6.92 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $38^0$ 5. kademe). .....	90
Şekil 6.93 : 3 Faz hat gerilimi ( $40^0$ yüksüz). .....	90
Şekil 6.94 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Thd_v$ ) değerleri ( $40^0$ yüksüz).....	91
Şekil 6.95 : Vuruntu momenti ( $40^0$ ). .....	91
Şekil 6.96 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $40^0$ 1. kademe). .....	92
Şekil 6.97 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $40^0$ 1. kademe). .....	92
Şekil 6.98 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $40^0$ 2. kademe). .....	93
Şekil 6.99 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $40^0$ 2. kademe). .....	93
Şekil 6.100 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $40^0$ 3. kademe). .....	94
Şekil 6.101 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $40^0$ 3. kademe). .....	94
Şekil 6.102 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $40^0$ 4. kademe). .....	95
Şekil 6.103 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $40^0$ 4. kademe). .....	95
Şekil 6.104 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $40^0$ 5. kademe). .....	96
Şekil 6.105 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $40^0$ 5. kademe). .....	96
Şekil 6.106 : 3 Faz hat gerilimi( $42^0$ yüksüz). .....	97
Şekil 6.107 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Thd_v$ ) değerleri ( $42^0$ yüksüz).....	97
Şekil 6.108 : Vuruntu momenti ( $42^0$ ). .....	98
Şekil 6.109 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $42^0$ 1. kademe). .....	98
Şekil 6.110 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $42^0$ 1. kademe). .....	99
Şekil 6.111 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $42^0$ 2. kademe). .....	99
Şekil 6.112 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $42^0$ 2. kademe). .....	100
Şekil 6.113 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $42^0$ 3. kademe). .....	100
Şekil 6.114 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $42^0$ 3. kademe). .....	101
Şekil 6.115 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $42^0$ 4. kademe). .....	101
Şekil 6.116 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Thd_v$ b) $Thd_A$ ( $42^0$ 4. kademe). .....	102
Şekil 6.117 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $42^0$ 5. kademe). .....	102

Şekil 6.118 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> ( 42 <sup>0</sup> 5. kademe). .....	103
Şekil 6.119 : 3 Faz hat gerilimi ( 44 <sup>0</sup> yüksüz). .....	103
Şekil 6.120 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd <sub>v</sub> ) değerleri ( 44 <sup>0</sup> yüksüz). .....	104
Şekil 6.121 : Vuruntu momenti (44 <sup>0</sup> ).....	104
Şekil 6.122 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 44 <sup>0</sup> 1. kademe). .....	105
Şekil 6.123 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> ( 44 <sup>0</sup> 1. kademe). .....	105
Şekil 6.124 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 44 <sup>0</sup> 2. kademe). .....	106
Şekil 6.125 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> ( 44 <sup>0</sup> 2. kademe). .....	106
Şekil 6.126 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 44 <sup>0</sup> 3. kademe). .....	107
Şekil 6.127 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> ( 44 <sup>0</sup> 3. kademe). .....	107
Şekil 6.128 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 44 <sup>0</sup> 4. kademe). .....	108
Şekil 6.129 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> ( 44 <sup>0</sup> 4. kademe).....	108
Şekil 6.130 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 44 <sup>0</sup> 5. kademe). .....	109
Şekil 6.131 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> ( 44 <sup>0</sup> 5. kademe). .....	109
Şekil 6.132 : 3 Faz hat gerilimi ( 28 <sup>0</sup> yüksüz). .....	110
Şekil 6.133 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd <sub>v</sub> ) değerleri ( 28 <sup>0</sup> yüksüz). .....	110
Şekil 6.134 : Vuruntu momenti (28 <sup>0</sup> ).....	111
Şekil 6.135 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 28 <sup>0</sup> 1. kademe). .....	111
Şekil 6.136 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> ( 28 <sup>0</sup> 1. kademe). .....	112
Şekil 6.137 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 28 <sup>0</sup> 2. kademe). .....	112
Şekil 6.138 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> ( 28 <sup>0</sup> 2. kademe). .....	113
Şekil 6.139 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 28 <sup>0</sup> 3. kademe). .....	113
Şekil 6.140 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> ( 28 <sup>0</sup> 3. kademe). .....	114
Şekil 6.141 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 28 <sup>0</sup> 4. kademe). .....	114
Şekil 6.142 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> ( 28 <sup>0</sup> 4. kademe). .....	115
Şekil 6.143 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 28 <sup>0</sup> 5. kademe). .....	115
Şekil 6.144 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> ( 28 <sup>0</sup> 5. kademe). .....	116
Şekil 6.145 : 3 Faz hat gerilimi (30 <sup>0</sup> yüksüz). .....	116
Şekil 6.146 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd <sub>v</sub> ) değerleri (30 <sup>0</sup> yüksüz).....	117
Şekil 6.147 : Vuruntu momenti (30 <sup>0</sup> ).....	117
Şekil 6.148 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30 <sup>0</sup> 1.kademe). .....	118
Şekil 6.149 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> (30 <sup>0</sup> 1.kademe). .....	118
Şekil 6.150 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30 <sup>0</sup> 2.kademe). .....	119
Şekil 6.151 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> (30 <sup>0</sup> 2.kademe). .....	119
Şekil 6.152 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30 <sup>0</sup> 3.kademe). .....	120
Şekil 6.153 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> (30 <sup>0</sup> 3.kademe). .....	120
Şekil 6.154 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30 <sup>0</sup> 4.kademe). .....	121
Şekil 6.155 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> (30 <sup>0</sup> 4.kademe). .....	121
Şekil 6.156 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30 <sup>0</sup> 5.kademe). .....	122
Şekil 6.157 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> (30 <sup>0</sup> 5.kademe). .....	122
Şekil 6.158 : 3 Faz hat gerilimi (32 <sup>0</sup> yüksüz). .....	123
Şekil 6.159 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd <sub>v</sub> ) değerleri (32 <sup>0</sup> yüksüz).....	123
Şekil 6.160 : Vuruntu momenti (32 <sup>0</sup> ).....	124
Şekil 6.161 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (32 <sup>0</sup> 1.kademe). .....	124
Şekil 6.162 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> (32 <sup>0</sup> 1.kademe). .....	125
Şekil 6.163 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (32 <sup>0</sup> 2.kademe). .....	125
Şekil 6.164 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> (32 <sup>0</sup> 2.kademe). .....	126
Şekil 6.165 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (32 <sup>0</sup> 3.kademe). .....	126
Şekil 6.166 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd <sub>v</sub> b) Thd <sub>A</sub> (32 <sup>0</sup> 3.kademe). .....	127
Şekil 6.167 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (32 <sup>0</sup> 4.kademe). .....	127

Şekil 6.168 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $32^0$ 4.kademe).....	128
Şekil 6.169 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$ 5.kademe).....	128
Şekil 6.170 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $32^0$ 5.kademe).....	129
Şekil 6.171 : 3 Faz hat gerilimi ( $34^0$ yüksüz).....	129
Şekil 6.172 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Th_{dv}$ ) değerleri ( $34^0$ yüksüz).....	130
Şekil 6.173 : Vuruntu momenti ( $34^0$ ).....	130
Şekil 6.174 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 1.kademe).....	131
Şekil 6.175 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $34^0$ 1.kademe).....	131
Şekil 6.176 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 2.kademe).....	132
Şekil 6.177 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $34^0$ 2.kademe).....	132
Şekil 6.178 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 3.kademe).....	133
Şekil 6.179 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $34^0$ 3.kademe).....	133
Şekil 6.180 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 4.kademe).....	134
Şekil 6.181 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $34^0$ 4.kademe).....	134
Şekil 6.182 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 5.kademe).....	135
Şekil 6.183 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $34^0$ 5.kademe).....	135
Şekil 6.184 : 3 Faz hat gerilimi ( $36^0$ yüksüz).....	136
Şekil 6.185 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Th_{dv}$ ) değerleri ( $36^0$ yüksüz).....	136
Şekil 6.186 : Vuruntu momenti ( $36^0$ ).....	137
Şekil 6.187 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$ 1.kademe).....	137
Şekil 6.188 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $36^0$ 1.kademe).....	138
Şekil 6.189 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$ 2.kademe).....	138
Şekil 6.190 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $36^0$ 2.kademe).....	139
Şekil 6.191 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$ 3.kademe).....	139
Şekil 6.192 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $36^0$ 3.kademe).....	140
Şekil 6.193 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$ 4.kademe).....	140
Şekil 6.194 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $36^0$ 4.kademe).....	141
Şekil 6.195 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$ 5.kademe).....	141
Şekil 6.196 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $36^0$ 5.kademe).....	142
Şekil 6.197 : 3 Faz hat gerilimi ( $38^0$ yüksüz).....	142
Şekil 6.198 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Th_{dv}$ ) değerleri ( $38^0$ yüksüz).....	143
Şekil 6.199 : Vuruntu momenti ( $38^0$ ).....	143
Şekil 6.200 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$ 1.kademe).....	144
Şekil 6.201 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $38^0$ 1.kademe).....	144
Şekil 6.202 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$ 2.kademe).....	145
Şekil 6.203 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $38^0$ 2.kademe).....	145
Şekil 6.204 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$ 3.kademe).....	146
Şekil 6.205 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $38^0$ 3.kademe).....	146
Şekil 6.206 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$ 4.kademe).....	147
Şekil 6.207 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $38^0$ 4.kademe).....	147
Şekil 6.208 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$ 5.kademe).....	148
Şekil 6.209 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $38^0$ 5.kademe).....	148
Şekil 6.210 : 3 Faz hat gerilimi ( $28^0$ yüksüz).....	149
Şekil 6.211 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Th_{dv}$ ) değerleri ( $28^0$ yüksüz).....	149
Şekil 6.212 : Vuruntu momenti ( $28^0$ ).....	150
Şekil 6.213 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$ 1.kademe).....	150
Şekil 6.214 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $28^0$ 1.kademe).....	151
Şekil 6.215 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$ 2.kademe).....	151
Şekil 6.216 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dv}$ b) $Th_{dA}$ ( $28^0$ 2.kademe).....	152
Şekil 6.217 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$ 3.kademe).....	152

Şekil 6.218 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $28^0$ 3.kademe). .....	153
Şekil 6.219 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$ 4.kademe). .....	153
Şekil 6.220 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $28^0$ 4.kademe). .....	154
Şekil 6.221 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$ 5.kademe). .....	154
Şekil 6.222 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $28^0$ 5.kademe). .....	155
Şekil 6.223 : 3 Faz hat gerilimi ( $30^0$ yüksüz). .....	155
Şekil 6.224 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Th_{dV}$ ) değerleri ( $30^0$ yüksüz). .....	156
Şekil 6.225 : Vuruntu momenti ( $30^0$ ). .....	156
Şekil 6.226 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$ 1.kademe). .....	157
Şekil 6.227 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $30^0$ 1.kademe). .....	157
Şekil 6.228 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$ 2.kademe). .....	158
Şekil 6.229 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $30^0$ 2.kademe). .....	158
Şekil 6.230 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$ 3.kademe). .....	159
Şekil 6.231 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $30^0$ 3.kademe). .....	159
Şekil 6.232 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$ 4.kademe). .....	160
Şekil 6.233 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $30^0$ 4.kademe). .....	160
Şekil 6.234 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$ 5.kademe). .....	161
Şekil 6.235 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $30^0$ 5.kademe). .....	161
Şekil 6.236 : 3 Faz hat gerilimi ( $32^0$ yüksüz). .....	162
Şekil 6.237 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Th_{dV}$ ) değerleri ( $32^0$ yüksüz). .....	162
Şekil 6.238 : Vuruntu momenti ( $32^0$ ). .....	163
Şekil 6.239 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$ 1.kademe). .....	163
Şekil 6.240 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $32^0$ 1.kademe). .....	164
Şekil 6.241 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$ 2.kademe). .....	164
Şekil 6.242 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $32^0$ 2.kademe). .....	165
Şekil 6.243 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$ 3.kademe). .....	165
Şekil 6.244 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $32^0$ 3.kademe). .....	166
Şekil 6.245 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$ 4.kademe). .....	166
Şekil 6.246 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $32^0$ 4.kademe). .....	167
Şekil 6.247 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$ 5.kademe). .....	167
Şekil 6.248 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $32^0$ 5.kademe). .....	168
Şekil 6.249 : 3 Faz hat gerilimi ( $34^0$ yüksüz). .....	168
Şekil 6.250 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Th_{dV}$ ) değerleri ( $34^0$ yüksüz). .....	169
Şekil 6.251 : Vuruntu momenti ( $34^0$ ). .....	169
Şekil 6.252 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 1.kademe). .....	170
Şekil 6.253 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $34^0$ 1.kademe). .....	170
Şekil 6.254 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 2.kademe). .....	171
Şekil 6.255 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $34^0$ 2.kademe). .....	171
Şekil 6.256 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 3.kademe). .....	172
Şekil 6.257 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $34^0$ 3.kademe). .....	172
Şekil 6.258 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 4.kademe). .....	173
Şekil 6.259 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $34^0$ 4.kademe). .....	173
Şekil 6.260 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$ 5.kademe). .....	174
Şekil 6.261 : 3 Faz harmonik değerleri a) $Th_{dV}$ b) $Th_{dA}$ ( $34^0$ 5.kademe). .....	174

## **EKSENEL AKILI SABİT MİKNATISLI AÇIK OLUKLU SENKRON (EASMAOS) ALTERNATÖRLERDE MİKNATIS GRUPLAMA TEKNİĞİNİN UYGULANMASI**

### **ÖZET**

Dünyamızda fosil yakıt rezervlerinin azalması, belli ülkelerin tekelinde olması, enerji ihtiyacının ve çevre kirliliğini arttırması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme olmuştur. Bu kaynaklardan biride rüzgâr enerjisidir. Bu güne kadar rüzgâr türbinleri, kanatlardan gelen hareketi alternatörlere dişli sistemlerle aktardığından büyük hacimli ve sürekli bakım gerektiren sistemler olmuştur. Bu olumsuzlukları gidermek amacıyla kanat miline direk bağlanabilecek alternatörler geliştirilmiştir.

19. Yüzyıl'dan itibaren üzerinde çalışılan “Eksenel Akılı Sürekli Mıknatıslı (EASM) Makineler” düşük güç yoğunluklu mıknatıslar sebebiyle sınırlı uygulama alanı bulmuştur. 1980 yıllardan sonra mıknatıs teknolojisindeki önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Böylece rotorda sargı yerine yüksek manyetik akı sağlayan mıknatıslar (NdFeB ve Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub>) kullanılmaya başlanmıştır. Böylece rotordaki sargılarda oluşan bakır kayıpları olmadığından verimde yükselmeler olmuştur. Böylece günümüzde “Eksenel Akılı Sürekli Mıknatıslı Makineler” küçük hacim ve ağırlıkta, düşük kayıplar, yüksek ağırlık/moment oranı ve yüksek güç gibi avantajlara sahip olarak sık kullanılan bir makine haline gelmiştir.

EASM makineler sahip oldukları önemli özellikler yanında, bazı dezavantajlara sahiptir. Vuruntu momenti bunlardan en önemli olanıdır. Oluk kenarı ile mıknatıs arasında meydana gelen etkileşim sonucu oluşan bozucu momentlere vuruntu momenti denir. EASM makinelerinde açık oluk kullanımı üretim maliyetini önemli ölçüde düşürmekle birlikte, vuruntu momenti değerlerini ciddi oranda arttırmaktadır.

EASM makinelerinde vuruntu momentini gidermek için literatürde birçok yöntem verilmiştir. Verilen bu yöntemler temelde ikiye ayrılır. Birincisi rotor tarafında yapılan teknikler, ikincisi ise stator tarafında yapılan tekniklerdir. Rotor tarafında yapılan teknikler üretim maliyeti açısından daha uygundur. Bunların başlıcaları: mıknatıs kaykık teknikleri, çift rotorlu sistemlerde rotor kaydırma, her iki rotorda farklı yay uzunluğunda mıknatıs kullanma, mıknatısların kendi etrafında belli bir açıyla döndürülmesi, değişik tip mıknatıs kullanımı ve mıknatıs gruplamasının yapılmasıdır.

Bu çalışmada açık oluklu eksenel akılı sabit mıknatıslı (AOEASM) alternatörün vuruntu momentini azaltmak için mıknatıs gruplama tekniği önerilmiştir. Önerilen bu teknik için deneysel bir düzenek oluşturularak 2- 4 ve 6'lı gruplama için deneysel veriler elde edilmiştir. Literatürde sadece 2'li gruplama tekniğinden bahsedilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar ise simülasyon ile sınırlı kalmıştır. Dolayısıyla yapılan bu çalışma ile açık oluk yapısına sahip alternatörde meydana gelen büyük vuruntu momentlerini gidermek için farklı sayıda gruplamalar yapılarak alternatör performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda mıknatıs gruplama tekniğinin vuruntu momenti ve harmonik bozulmaları için etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte gruplama sayısı arttıkça gruplar arası açının da azalması gerektiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca 2- 4 ve 6'lı gruplamalarda optimum açılarda değerleri ise sırasıyla 34- 32 ve 30 derece olarak bulunmuştur.

# **APPLICATION OF MAGNET GROUPING TECHNIQUE IN OPEN SLOTTED AXIAL FLUX PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS ALTERNATOR**

## **SUMMARY**

In our world, there has been a tendency towards renewable energy resources due to the reduction of fossil fuel reserves, the monopoly of certain countries, the increase in energy demand and the increase of environmental pollution. One of these renewable energy sources is wind energy. Until this day, transferring the motion from the propeller to the alternators with gear systems bring about the large volume of wind turbines and requiring constant maintenance. Alternators have been developed which can be connected directly to the propeller shaft in order to eliminate these problems.

The Axial Flux permanent Magnet (AFPM) machines, which have been studied since the 19th century, have found limited application due to their low power density. After 1980, significant developments in magnet technology have taken place. Thus, instead of winding in the rotor, high magnetic flux magnets (NdFeB and  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ) have started to be used. Thus, there was an increase in yield due to the lack of copper losses from windings in the rotor. Today, Axial Flux Permanent Magnet Machines has become a frequently used machine with advantages such as small volume and weight, low losses, high weight / torque ratio and high power. Besides the important features that AFPM machines have, there are some disadvantages. The cogging torque is the most important one. Breaking moments that occur as a result of the interaction between the edge of the slotted and the magnet are called the cogging torque. The use of open slotted of AFPM machines significantly reduces the production cost and increases the quantity of cogging torque considerably.

In AFPM machines, many methods have been given in the literature to eliminate the cogging tork. These methods are basically divided into two. The first is the techniques on the rotor side and the second is the stator side. Rotor side techniques are more suitable for production costs. The major ones are: magnet shift techniques, rotor shift at double-rotor systems, using different spring length magnets in both rotors, rotating the magnets around an angle, use of different types of magnets and magnet grouping.

In this study, a magnet grouping technique has been proposed to reduce the cogging torque of an open slotted axial flow permanent magnet (OSAFPM) alternator. By forming an experimental apparatus for the suggested technique, experimental data were obtained for 2,4 and 6 grouping. In the literature, only two-grouping technique is mentioned. The studies were limited to simulation. Therefore, with this study, the effect on alternator performance was investigated by using different number of groupings in order to eliminate the big cogging torques occurring in the alternator with open gutter structure. As a result of the experimental studies, it was concluded that the magnet grouping technique was effective for the cogging torque and harmonic distortion. At the same time, as the number of grouping increases, it has become clear that there should be a decrease in the number of angle between groups. Besides, in groupings 2, 4 and 6, the optimum angle values were 34, 32 and 30 degrees, respectively.





## 1. GİRİŞ

Dünyamızda fosil yakıt rezervlerinin azalması, belli ülkelerin tekelinde olması, enerji ihtiyacının artması ve çevre kirliliğini arttırması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme olmuştur. Bu yenilenebilir enerji kaynaklardan biride rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr gücüyle enerji üretiminde enerji verimliliği ve maliyeti etkileyen unsurlardan biride güç aktarımında kullanılan dişli sistemleridir. Rüzgâr türbinlerinde kullanılan alternatörler, genellikle mekanik sistemler üzerinde kanatlar bağlanmakta idi, bu durum sürekli bakım ve türbin hacmini artırıcı etki yapmaktadır. Bu olumsuzlukları gidermek amacıyla kanat miline direk bağlanabilecek alternatörler geliştirilmiştir. Genellikle sürekli mıknatıslı olarak üretilen, radyal ve eksenel alternatörler üzerinde çalışılmaktadır. Özellikle Eksenel Akılı Sürekli Mıknatıslı (EASM) alternatörler sağladıkları yüksek güç yoğunluğu ve kompakt yapı ve direk sürülebilme kabiliyetleri açısından rüzgâr türbinleri için önemli bir adaydır. Ayrıca eksenel akılı sürekli mıknatıslı makinelerin mekanik yapıları gereği elektrikli araçlarda teker motor olarak kullanılması başka bir uygulama alanı olarak öne çıkmaktadır.

EASM makineler sahip oldukları önemli özellikler yanında, bazı dezavantajlara sahiptir. Vuruntu momenti bunlardan en önemli olanıdır. Oluk kenarı ile mıknatıs arasında meydana gelen etkileşim sonucu oluşan bozucu momentlere vuruntu momenti denir. EASM makinelerinde açık oluk kullanımı üretim maliyetini önemli ölçüde düşürmekle birlikte, vuruntu momenti değerlerini ciddi oranda arttırmaktadır.

Sürekli mıknatıslı (SM) makinelerde çıkış momentinin kalitesi, makine performansı ile doğrudan orantılıdır. Makine tasarımında moment kalitesine önem gösterilmelidir. Yüksek hızlarda sistem eylemsizliğinin büyük olması dolayısıyla moment dalgalanmaları makine performansına etki etmemekte, ancak düşük hızlarda hız değişimlerine gürültüye ve titreşime neden olmaktadır.

19. Yüzyıl'dan itibaren üzerinde çalışılan “Eksenel Akılı Sürekli Mıknatıslı (EASM) Makineler” kullanılan mıknatıslardaki düşük güç yoğunluğu sebebiyle sınırlı uygulama alanı bulmuştur. Özellikle 1980 yıllardan sonra mıknatıs teknolojisindeki önemli gelişmelerin olması, rotorda sargı yerine yüksek manyetik akı sağlayan mıknatısların (NdFeB ve Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub>) kullanılması, rotoru sargılı makinelerde görülen bakır kayıpları dolayısıyla oluşan verim düşüklüğünü ortadan kaldırarak aynı emsaldeki senkron makineden daha fazla verim sağlamıştır. Böylece günümüzde “Eksenel Akılı Sürekli Mıknatıslı Makineler” küçük hacim ve ağırlıkta, düşük kayıplar, yüksek ağırlık/moment oranı ve yüksek güç gibi avantajlara sahip olarak sık kullanılan bir makine haline gelmiştir.

EASM makinelerin yapısı genellikle rotor disk ve stator ise yüzük şeklindedir. Motorda güç üreten etkin kısım, statorun dış çapı ile iç çapı arasındaki farkın büyüklüğüdür. Dört farklı topolojide bulunan eksenel akılı sürekli mıknatıslı makineler; bir rotor-bir stator, iki rotor-tek stator, bir rotor-iki stator, çok katmanlı (birden fazla statora ve rotora sahip) yapıdadırlar.

Düşük hız ve yüksek tork gerektiren uygulamalarda eksenel akılı sürekli mıknatıslı makineler avantajlı sonuçlar vermiştir. Bu güne kadar rüzgâr türbinleri, kanatlardan gelen hareketi alternatörlere dişli sistemlerle aktardığından büyük hacimli ve sürekli bakım gerektiren sistemler olmuştur.

EASM makinelerinde vuruğu momentini gidermek için literatürde birçok yöntem verilmiştir. Verilen bu yöntemler temelde ikiye ayrılır. Birincisi rotor tarafında yapılan teknikler, ikincisi ise stator tarafında yapılan tekniklerdir. Rotor tarafında yapılan teknikler üretim maliyeti açısından daha uygundur. Bunların başlıcaları: mıknatıs kaykık teknikleri, çift rotorlu sistemlerde rotor kaydırma, her iki rotorda farklı yay uzunluğunda mıknatıs kullanma, mıknatısların kendi etrafında belli bir açıyla döndürülmesi, değişik tip mıknatıs kullanımı ve mıknatıs gruplamasının yapılmasıdır.

Bu çalışmanın amacı vuruğu momentini azaltıcı yöntemlerden biri olan mıknatıs gruplama tekniği üzerine ayrıntılı bir deneysel çalışma ortaya koymaktır. Mıknatıs gruplamada 2'li, 4'lü ve 6'lı gruplama tekniği uygulanarak deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Alınan sonuçlar ile EASM alternatör üzerinde vuruğu momenti ve harmonik açısından değerlendirilecektir. Bu çalışmanın;

Giriş bölümünde; konu açıklanarak literatürde yer alan çalışmalar özetlenmiştir.

İkinci bölümde; Sürekli mıknatıslı senkron makinelerin (SMSM) gelişim süreci, yapısı, avantaj ve dezavantajları verilmiştir. Radyal akılı sürekli mıknatıslı (RASM) ve Eksenel akılı sürekli mıknatıslı (EASM) makinelerin genel performansı, yapıları, kullandıkları yerler sunulmuştur.

Üçüncü bölümde; tasarımda kullanılan manyetik, elektriksel iletken ve yalıtkan malzemelerin yapı ve özellikleriyle birlikte gelişim süreçleri de ayrıntılı sunulmuştur.

Dördüncü bölümde; Sürekli mıknatıslı senkron makinelerde, makine performansına etki eden vuru mu momenti detaylı incelenerek, bugüne kadar yapılmış olan vuru mu momentini azaltıcı teknikler sıralanmıştır.

Beşinci bölümde; Tasarımı gerçekleştirilen AOEASM alternatörü oluşturan malzemeler tel tek tanıtılarak, özellikleri ve yapıları hakkında bilgiler verilmiştir.

Altıncı bölümde; tasarımı gerçekleştirilen AOEASM alternatörün deneysel çalışmaları yer almıştır. Bu bölümde oluşturulan farklı mıknatıs grupları ve gruplar arasına farklı açılar verilerek, bu durumun vuru mu momenti üzerindeki etkisi incelenmiş ve sonuçlar sunulmuştur.

Yedinci bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

## **1.1 Literatür Araştırması**

1831’ yılında M. Faraday tarafından tasarlanan eksenel akılı makine, Faraday’ın disk makinesi olarak adlandırılmıştır. Yapısındaki karışıklık nedeniyle uzun süre kullanılmamıştır. Yüksek yoğunluklu mıknatısların (NdFeB ve Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub>) bulunması ile birlikte eksenel akılı makinelerin gelişiminde ve maliyetinin düşürülmesinde büyük katkı sağlamıştır.

Mekanik güç aktarımında kullanılan redüktör (dişli kutusu) olmadan doğrudan sürülebilen sistemlerde bu makinelerin kullanma ihtiyacının artması (rüzgâr türbini ve elektrikli arabalarda) eksenel akılı makinelere olan ilgiyi arttırmıştır. Son yıllarda eksenel akılı makineler ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Kurt ve arkadaşları, Makine tasarımında kullanılan malzemelerin yabancı yerine yerli kaynaklardan sağlayarak dışa bağımlılığı önlemek için, eksenel akılı makinaların değişik tasarım biçimleri için standart eşitlikler geliştirmeye çalışmıştır [1].

Hwang ve arkadaşları, direk sürülebilir, rüzgâr türbinlerine uygulanmak üzere 10 KVA ve 300 rpm çift taraflı sürekli mıknatıslı aksel akı jeneratör tasarlayarak, değişken işletme koşullarında çalışabilen, dişli sisteme ihtiyaç duymayan model üzerinde çalışmışlardır [2].

Ayçiçek, bu çalışmada rotor tarafında yapılan çeşitli kayk yöntemleriyle vuru momentini en aza indirecek yöntemler vermiş olup. Gelecekte yapılacak çalışmalar için kapsamlı bir alt yapı sunmuştur [3].

Ojaghlu, ve arkadaşları, rüzgar türbini olarak aksel akı makine prototipi tasarlayarak, aksel akı sürekli mıknatıslı (EASM) rüzgar jeneratörünün geometrisi ayrıntılı anlatılarak, çalışma prensibi, performansı, deneysel sonuçlar üç boyutlu SEY ile verilmiştir [4].

Dwivedi ve arkadaşları, Üç boyutlu, analitik yöntemlerle 3D modellemeyi kullanarak makinenin elektromanyetik torkunu, manyetik alan dağılımını, cogging torkunu ve geriye dönük EMF 'yi hesaplamışlardır [5].

Brando ve arkadaşları, düşük hız yüksek torka sahip aksel akı sürekli mıknatıslı (EASM) bir makine tasarlayarak, yüksek tork ve dinamik performansın gerekli olduğu uygulamalarda optimal çözüm olarak sunulmuştur [6].

Deng ve arkadaşları, harici rotorlu aksel akı motorların aksel elektromanyetik ve mıknatısların yüzeyine etki eden uzaysal ve zamansal özellikleri analitik olarak türetilmiş ve 2D çözümleme analizi doğrulamışlardır. Aksel akı motorlarda titreşim ve gürültüye aksel kuvvetin neden olduğu ve harmonik akımlar genlik ve faza bağlı olarak vibroakustik davranışı bozduğunu görmüşlerdir. Bu çalışmada düşük gürültülü Aksel akı motorların tasarımı çalışmalarda rehberlik etmeyi amaçlamışlardır [7].

Neethu ve arkadaşları, Aksel akı yüksek hızlı motorun tasarımı ile ilgili zorlukları ele almak için, çekirdek sargı stator bobinleri ve tamamen gömülü mıknatısları olan tek taraflı bir aksel akı motor tasarlamışlardır. Yüksek hızlı motorların elektromanyetik, mekanik ve termal tasarımındaki başlıca sorular ve güçlükler ortaya konmuştur [8].

Jussile ve arkadaşları çalışmalarında, açık oluklu, iki stator-bir rotorlu EASM makine tasarlayarak endüstriyel uygulamalarda kullanılması amaçlanmıştır. Nüvesiz rotor

tasarlayarak, yapılan makine analizinde, eddy kayıplarının açık oluklu sistemlerde yüksek olduğu belirtilmiş ve bu kayıpları azaltıcı çalışmalar ortaya koymuşlardır [9].

Lee ve Jung yapmış olduğu çalışmalarda, vurutu momentini azaltmak için, EASM makinelerdeki elektromanyetik yapı incelenmiştir. Bu inceleme sonucu, SEY kullandığı çalışmalarında 1,3kW çıkış gücüne karşılık %1.61 lık vurutu momentinin oluştuğunu, kullandıkları SEY yöntemiyle en uygun tasarım modeli oluşturmuşlardır [10].

Shokri ve arkadaşları çalışmalarında, farklı sürekli mıknatıs modelleriyle oluşturulan EASM rotorlarıyla yaptıkları makinelerin performans analizlerini 3D SEY ile yaparak, vurutu momenti, harmonik ve gerilim değerlerinin en iyi olduğu en uygun mıknatıs modellerini belirtmişlerdir [11].

Ishikawa bu çalışmada EASM alternatörün en uygun modelini geliştirmiştir. Tasarladığı alternatör ile Ticari olarak kullanılan EASM jeneratörü karşılaştırarak analiz yapmıştır [12].

Kurt ve arkadaşları, aksenal akılı sürekli mıknatıslı (EASM) tasarımında Taguchi yaklaşımının elektrik makineler için tasarım modeli geliştirmede yararlı bir araç olduğunu ortaya koymakta ve bu konudaki yapılacak çalışmalara öncülük ve katkı sağlamaya çalışmıştır [13].

Ayçiçek ve arkadaşları, EASM makimelerde farklı kayk açılı mıknatıslar kullanarak, vurutu momentini azaltıcı teknikler araştırılmış ve bu mıknatısların makinede yaratmış olduğu performansı 3D SEY kullanılarak test edilmişler ve referans makine olarak seçilen 1400 fan tipi motor ile karşılaştırılarak vurutu momentinde görülen azalmalar belirtilmiştir [14].

Muljadi ve Green Aksenal akılı sürekli mıknatıslı makinelerde görülen ve bu makinelerin en büyük dezavantajını oluşturan vurutu momentini azaltmak için yapılan çalışmalarında, hava aralığı, simetri düzenleme teknikleriyle vurutu momentini azaltmaya gitmişlerdir. Ve sonuçta stator yapılan oluk eğimi ile kutup eğimi yapılarak vurutu momentini azaltacaklarını göstermişlerdir [15].

Literatürde yapılan çalışmalarda; EASM makinelerinin kullanıldığı yerler, farklı tip EASM makine tasarımı, vurunu momentini zayıflatıcı teknikler için yapılan çalışmalardır.



## 2. SÜREKLİ MIKNATISLI SENKRON MAKİNELER

1930 da AlNiCo ile başlayan, 1950'lerde ferrit mıknatısların bulunması ve 1960'lı yıllarda bulunup ticari olarak 1970'li yıllarında üretimine başlanan yüksek yoğunluklu sürekli mıknatısların rotorda uyartım sargıları yerine kullanılmaya başlaması, sürekli mıknatıslı makinelerin hızla gelişimini sağlamıştır. Bu tür makinelerde uyartım için harici bir kaynağa ihtiyaç duyulmaması, rotor sargılarının ortadan kalkması dolayısıyla daha kompakt makine tasarımının yolunu açmıştır. Sürekli mıknatıslı senkron makineler (SMSM) rotorunda sargı bulunmadığından, geleneksel (rotoru sargılı) senkron makinelerde oluşan sargı kayıpları dolayısıyla oluşan ısı bu makinelerde oluşmaz ve SMSM'lerin soğutulması daha kolay olur [3,16].

Rotorda sargı yerine sürekli mıknatısın kullanılması, çalışma prensibinde ve tasarımda kolaylık, dinamik performansta artış sağlanmıştır. Sürekli mıknatıslı senkron makinelerde, rotorda sargılar bulunmadığından, fırça ve kolektörden kaynaklı problemler ortadan kalkmış, uyartım sargı kayıpları da olmadığından makinenin daha yüksek sıcaklık aralıklarında çalışması sağlanmıştır. Bu durum aynı boyutlardaki geleneksel senkron makineden daha yüksek güç alınmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla makine boyutunda oldukça küçülme sağlanmıştır [3,16].

Sürekli mıknatıslı senkron makineler, yapısal olarak (mıknatısların yerleştirme şekillerine ve hava aralığı akı dağılımına göre) ikiye ayrılmaktadır.

Mıknatıs yerleştirmesine göre;

A-Rotor içine mıknatısların yerleştirilmesi (içe gömülü),

1- Mıknatısların rotor içine radyal yerleştirme yöntemi,

2- Mıknatısların rotor içine dairesel yerleştirme yöntemi,

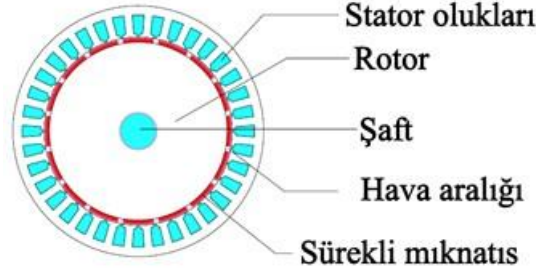
Olarak iki şekilde rotor içine yerleştirme yapılmaktadır.

B-Rotor yüzeyine mıknatıs yerleştirilmesi (yüzey yerleştirmeli),

Hava aralığı akı dağılımına göre;





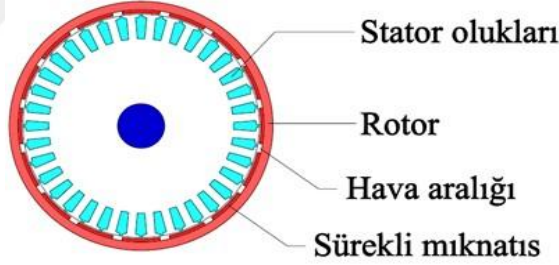


Şekil 2.2 : Rotoru içte RASM makine.

### 2.1.2 Rotoru dışta RASM makineler

Rotor makinenin en dışına, stator makinenin merkezine yerleştirilmektedir. RASM makineler genel olarak rotoru dışta olan yapıda tasarlanmaktadır. Bu tasarımla birlikte;

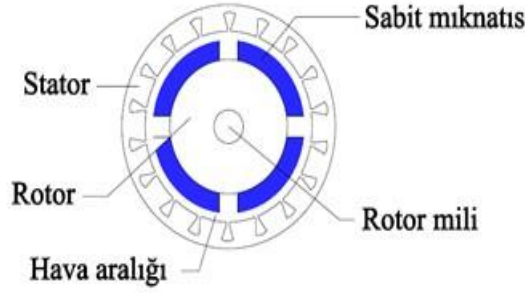
- Çok kutuplu,
- Gürültü ve ağırlıkta azalma,
- Hacimde azalma,
- Düşük maliyet avantajları sağlamaktadır [16,20,21]. Şekil 2.3’de Rotoru Dışta RASM makinesi gösterilmektedir [16].



Şekil 2.3 : Rotoru dışta RASM makinesi.

### 2.1.3 Yüzey yerleştirmeli RASM makine

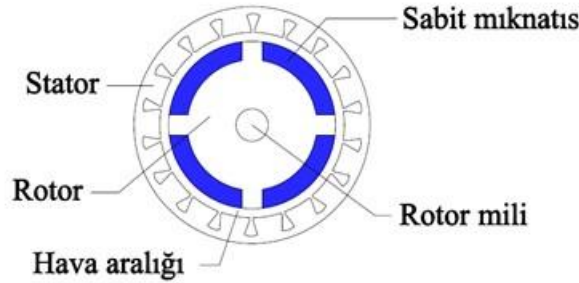
Rotor yüzeyine mıknatıslar güçlü yapıştırıcılarla veya yüzey irtibat ekipmanları ile sabitlenir. Bu durum üretim maliyetlerini azaltır. Mıknatısların yüzeyde bulunması ve yüksek hızlarda merkezkaç kuvvetinin artması dolayısıyla mıknatısların yerinden çıkması söz konusu olduğundan, düşük hızlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu tip makinelerde hava aralığı büyüktür [15,20,21]. Şekil 2.4’de Yüzey yerleştirmeli RASM makine gösterilmektedir [16].



Şekil 2.4 : Yüze yerleştirmeli RASM makine.

#### 2.1.4 Gömülü tip RASM makine

Rotor yüzeyi içine, kullanılacak mıknatıs hacmi kadar oluklar açılarak bu oluklar içine mıknatıslar yapıştırılır. Mıknatıslar rotor içine açılan oyuklara yerleştirildiğinden, yüksek hızlarda merkez kaç kuvvetine karşı dayanıklıdırlar. Bu sebeple yüksek hız uygulamalarına uygun bir tasarımıdır. Hava aralığı etkisi mıknatıs olan yerlerde büyük, mıknatıs olmayan yerlerde küçüktür. Dezavantajı yüksek maliyet olmasına rağmen, diğer mıknatıslı makinelere göre yüksek verime sahiptir [16.20.21]. Şekil 2.5’de gömülü tip RASM makine gösterilmiştir [16].



Şekil 2.5 : Gömülü tip RASM makine.

#### 2.2 Eksenel Akılı Sürekli Mıknatıslı (EASM) Makineler

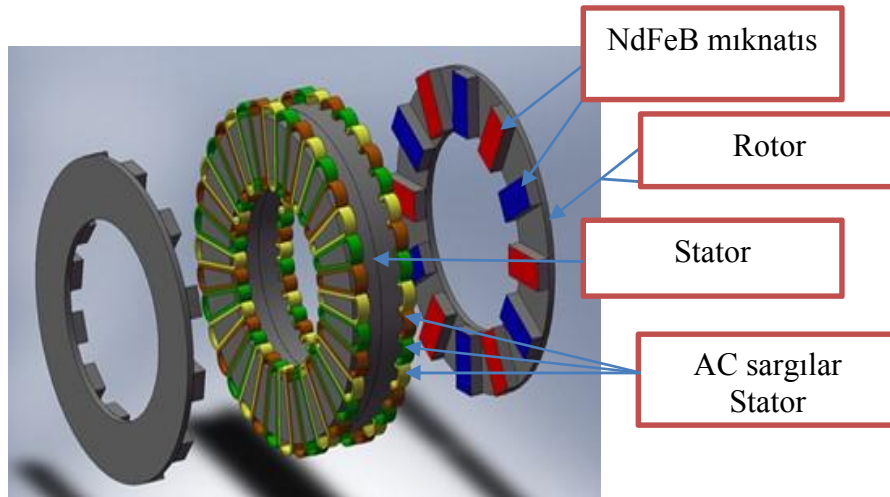
EASM makinelerde manyetik akı yönü rotor miline paralel (eksenel) olurken, akım yönü rotor miline dik yönde (radyal) olmaktadır. Yapıları gereği disk makineler olarak da tanımlanırlar. EASM makineleri Kompakt üretimleri ve yüksek güç yoğunlukları sebebiyle oldukça ilgi çekmektedir. Çok kutuplu olarak da üretildiklerinden düşük hızlarda döndürüldüğünde RASM makinelere göre daha yüksek güç yoğunluğu sağlamaktadır. EASM’ler nüvesiz olarak üretilmesi sonucu vuru moment ve nüve

kayıpları oluşmamaktadır [22,23]. Bu özelliği sayesinde küçük ve orta büyüklükteki rüzgâr türbinlerinde alternatör olarak tercih edilmektedirler. EASM makineler robotlar, vana kontrolleri, elektrikli araçlar, pompalar, fanlar ve çeşitli endüstriyel araçlarında kullanılmaktadır [16, 21].

EASM makinelerin diğer makinelere göre üstünlükleri;

- Düşük maliyet,
  - Yüksek verimlilik,
  - Manyetik nüvenin yüksek kullanım oranı,
  - Düşük frekanslarda, çok kutuplu ve kompakt olarak üretimi,
  - Üretimdeki imalat kolaylığı,
  - Bakır kullanım faktörünün yüksekliği,
  - Yüksek hızlarda gürültüyü azaltabilme imkânı,
  - Enerjiyi düşük maliyetle üretme,
  - Bakım azlığı ve güvenilirlik,
- Olarak sayılabilir [16, 21].

Şekil 2.6’de EASM makine yapısı görülmektedir [21].



Şekil 2.6 : EASM makine yapısı.

### 2.2.1 EASM makinelerinin yapısı ve tipi

1-EASM makinaları kullanım yerleri ve ihtiyaca göre farklı rotor ve stator dizilimlerine göre;

-Bir Stator (tek stator) – İki Rotor (çift rotor),

-İki Stator (çift stator) --Bir Rotor (tek stator),

-Bir Stator (Tek stator) – İki Rotor (çift rotor),

-İki Stator (çift stator) – İki Rotor (çift rotor),

-Çoklu stator – Çoklu Rotor,

2- Miknatısların rotor yüzeyine montaj şekline göre;

-Rotor Yüzeyinde,

-Rotor yüzeyine gömülü,

3-Rotor yüzeyindeki miknatısların kutuplarının tiplerine göre;

-NS,

-NN,

-SS,

4- Statorun;

-Nüveli,

-Nüvesiz,

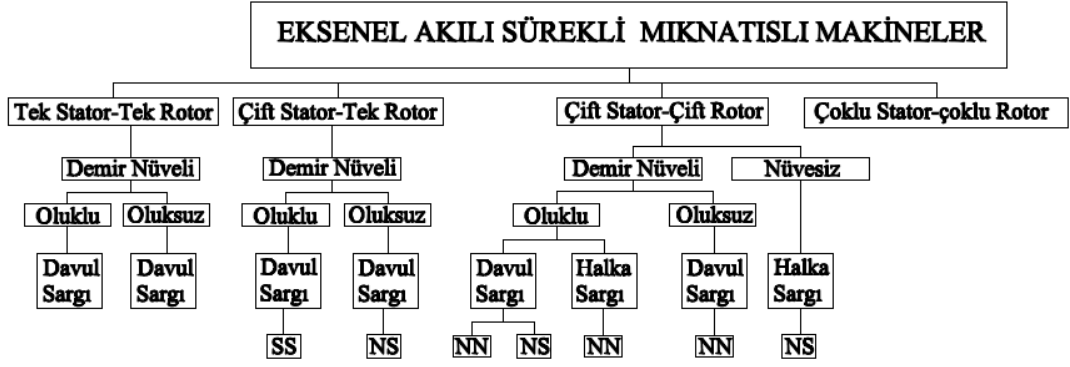
5- Stator sargılarına göre;

-Davul sargı,

-Halka sargı,

Şeklinde olmaktadır.

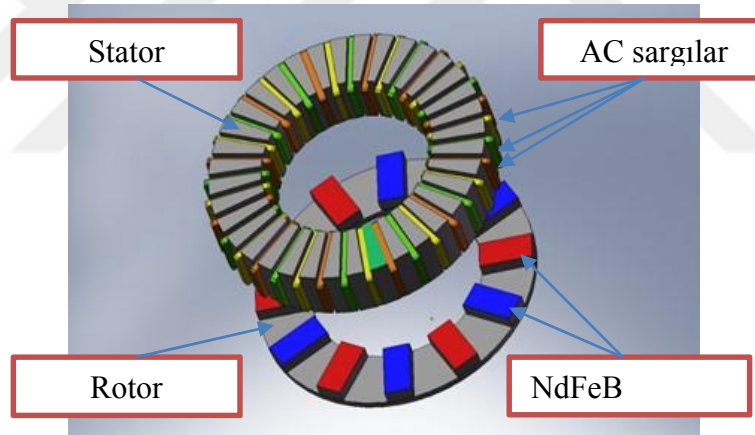
Şekil 2.7’de bu EASM makinelerin sınıflandırılması gösterilmiştir [20].



Şekil 2.7 : EASM makinelerinin sınıflandırması.

### 2.2.1.1 Tek statorlu tek rotorlu EASM makine

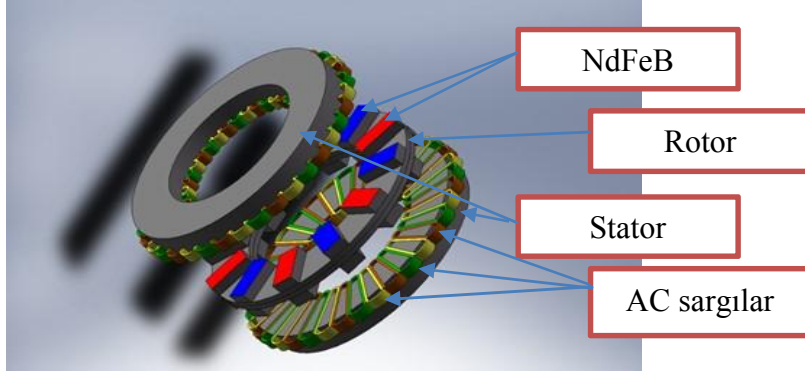
EASM makineler içinde en basit yapıda olmaktadır. Statorunda konsantre veya dağıtık sargı kullanılabilir. Tek stator ve tek rotordan oluşur. Kullanım alanları; endüstriyel taşımacılık, asansör, askeri sanayi, taşımacılık, servo elektromekanik sürücüleridir. Şekil 2.8’de tek statorlu tek rotorlu EASM makine gösterilmiştir [16,20].



Şekil 2.8 : Tek statorlu tek rotorlu EASM makine.

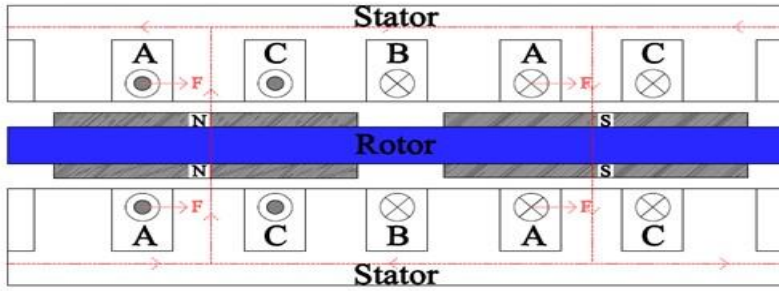
### 2.2.1.2 Çift statorlu tek rotorlu EASM makine

İki adet stator ve tek rotordan oluşmaktadır. Statörleri oluklu veya oluksuz yapıda, mıknatıslar rotor yüzeyinde veya rotor yüzeyine gömülü, stator sargısı yoğunlaştırılmış veya dağıtık olabilmektedir. Şekil 2.9’da çift Statorlu tek rotorlu EASM makine gösterilmiştir [20].



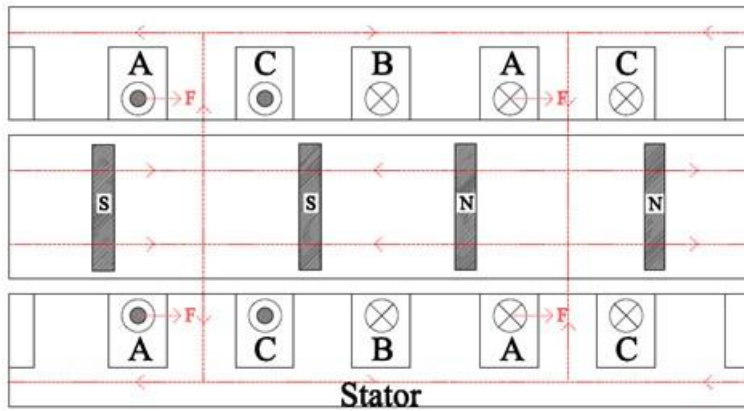
**Şekil 2.9 :** Çift statorlu tek rotorlu EASM makine.

Şekil 2.10’da çift statorlu tek rotorlu mıknatıslar rotor yüzeyine montajlı EASM makineye ait manyetik akı yolu gösterilmektedir. Burada mıknatısın rotor yüzeyine montajlı durumunda manyetik akı, rotor diskini geçerek diğer stator tarafına geçtiği görülmektedir [20].



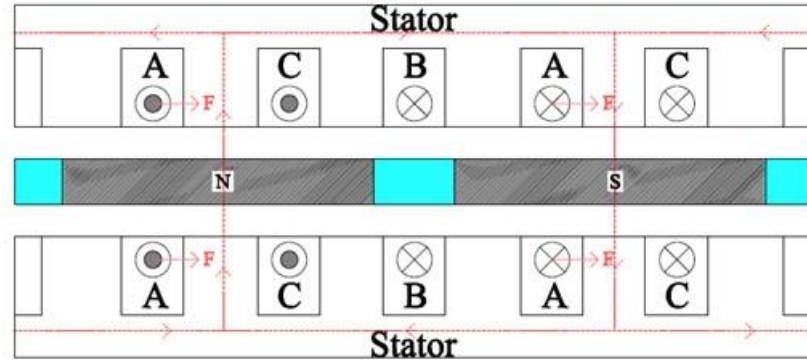
**Şekil 2.10 :** Çift statorlu tek rotorlu mıknatıs yüzeyde EASM makine.

Şekil 2.11’de çift statorlu tek rotorlu mıknatıslar rotor yüzeyine gömülü EASM makineye ait manyetik akı yolu gösterilmektedir [20]. Burada mıknatısın rotor yüzeyine gömülü montajlı durumunda manyetik akı, dairesel olarak rotor diski boyunca yol izlemektedir [20].



**Şekil 2.11 :** Çift statorlu tek rotorlu yüze gömülü EASM makine.

Bu uygulamada rotor manyetik olmayan malzemeden yapıldığında, manyetik akı rotor boyunca dolaşmaz rotoru geçerek diğer statora ulaşır. Rotoru manyetik malzemeden yapılmış bu gibi uygulamalar, genellikle küçük atalet momenti isteyen düzeneklerde kullanılması uygundur. Şekil 2.12’de manyetik olmayan (alüminyum gibi) malzemeden yapılmış bir rotor diskinden geçen manyetik akı yolu gösterilmiştir [20].

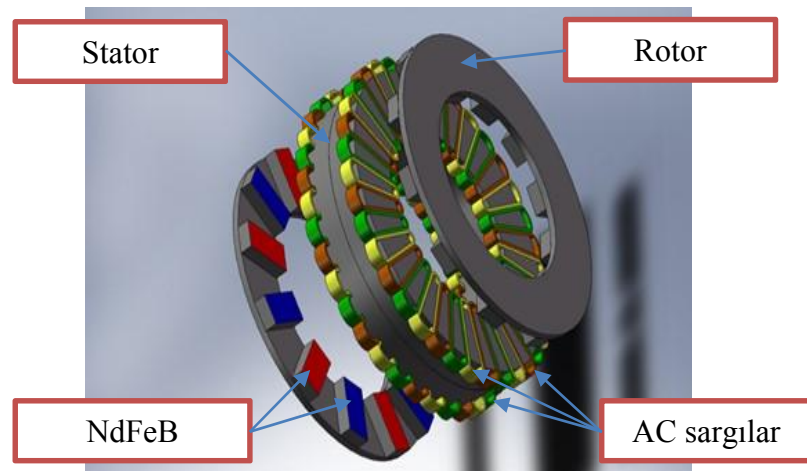


**Şekil 2.12 :** Manyetik olmayan rotor diskinden geçen manyetik akı yolu.

Çift statorlu tek rotorlu yapılar statoru oluksuz olarak ta üretilmekte olup, makine sağlamlığı ve ısı transferi için stator sargıları arasındaki boşluk epoksi reçine doldurularak sağlanmaktadır [20].

### 2.2.1.3 Tek Statorlu çift rotorlu EASM makine

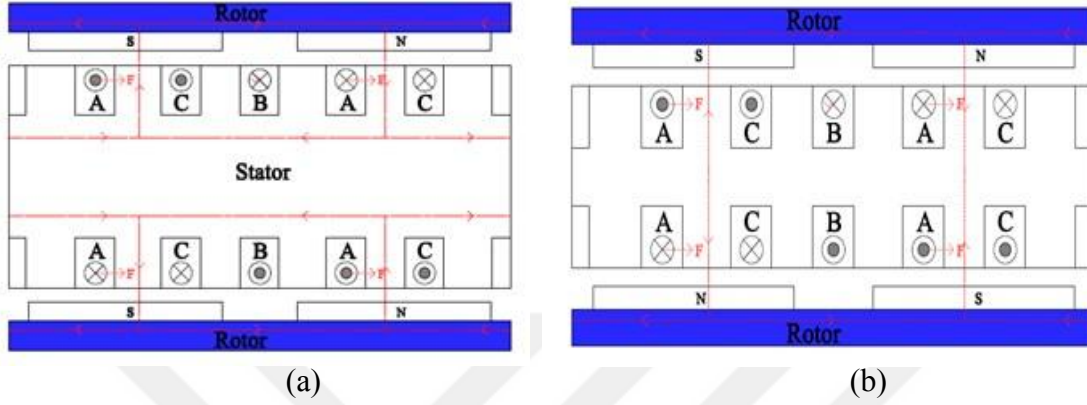
Bu yapıdaki makine yapısı, stator içeride olup, iki tarafında rotor diskleri bulunmaktadır. Bu makineler, mıknatısların rotor yüzeyinde veya gömülü, statoru oluklu veya oluksuz olmak üzere farklı yapıda üretilebilirler. Şekil 2.13’ de tek stator ve çift rotor yapısındaki makine gösterilmektedir [20].



**Şekil 2.13 :** Tek stator ve çift rotor yapısındaki EASM makine.



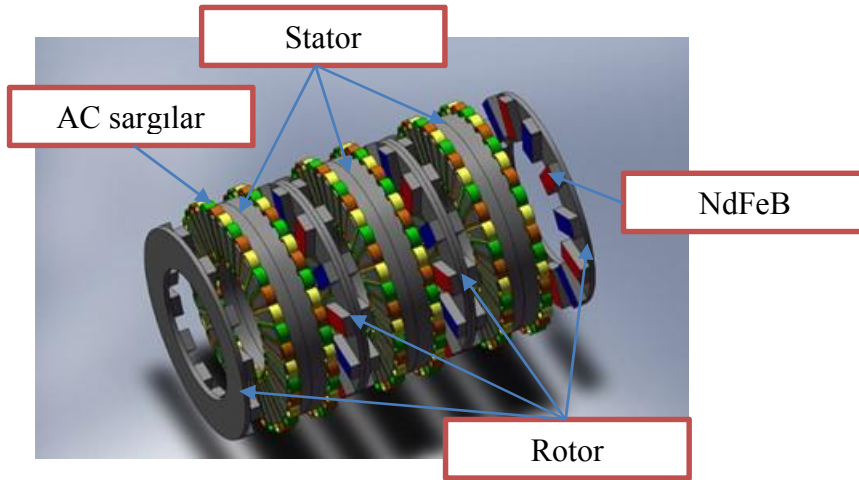
Şekil 2.14 a ve b’de çift rotorlu tek statorlu NN ve NS polariteli iki yapıdaki makinede görülen manyetik akı yolu gösterilmiştir [22]. NN polariteli yapıda N den çıkan manyetik akı stator nüvesi boyunca ilerler ve S den rotor nüvesine geri döner. NS polariteli yapıda ise, N kutbundan çıkan manyetik akı stator nüvesini geçerek karşısında bulunan diğer rotor nüvesinin S kutbundan girmektedir [20].



Şekil 2.14 : Çift rotorlu tek statorlu NN ve NS polariteli makine manyetik akı yolu.

#### 2.2.1.4 Çoklu stator çoklu rotorlu EASM makine

Bu yapıdaki makinede birden fazla stator ve rotor diskleri aynı eksen üzerine sandviç gibi sıralanır. En dışta rotor diskleri bulunur. Stator sayısı  $n$  ise rotor sayısı  $n+1$  veya  $n-1$  olur. Stator sargıları paralel veya seri sarıldığı gibi, çoklu makinelerde stator oluklu veya oluksuz, NN veya NS polariteli ve nüvesiz yapıda da üretilebilmektedir. Genellikle kullanım alanları, gemilerde, pompalarda, yüksek hızlı jeneratör uygulamaları vb.dir. Şekil 2.15’de çoklu statorlu çoklu rotorlu EASM makine yapısı gösterilmiştir [20].



Şekil 2.15 : Çoklu statorlu çoklu rotorlu EASM makine.



### **3. TASARIMINDA KULLANILAN MALZEMELER**

Elektrik makinelerinin tasarımında kullanılan malzemeler:

- 1-Manyetik malzemeler,
- 2-Elektriksel iletken malzemeler,
- 3-Yalıtkan malzemeler,

Olmak üzere üç temel grupta toplanırlar [24]. Manyetik malzemeler; yumuşak manyetik malzemeler ve sert manyetik malzemeler olmak üzere ikiye ayrılır. Elektrik makineleri nüveleri yumuşak manyetik malzemeler olup, manyetizasyonu ve demanyetizasyonu kolay olan malzemelerdir. Sürekli mıknatıslar sert manyetik malzemeler olup, manyetizasyonu ve demanyetizasyonu zor olan malzemelerdir [21]. Bu bölümde yumuşak manyetik malzemeler (nüveler), sert manyetik malzemeler (sürekli mıknatıslar), elektriksel iletken malzemeler ve yalıtkan malzemeler bahsedilecektir.

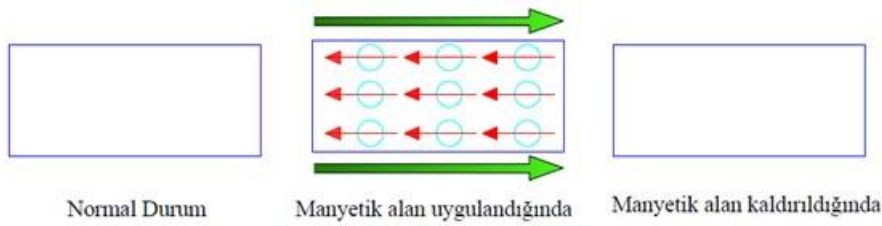
#### **3.1 Manyetik Malzeme**

Magnetik malzemeler manyetiklik türlerine göre beş grupta sınıflandırılmış olup; Diamagnetik, Ferromagnetik Ferrimagnetik, Paramagnetik ve Antiferromagnetikdir [1]. Maddelerin atomlarındaki elektronlar bu maddenin manyetik özelliklerini belirler. Maddelerin yapıtaşı olan atomların son yörüngesinde bulunan elektronların birbirine göre dönme yönleri maddelerin manyetik özelliğini belirler. Bu durum eşleşme kavramıyla açıklanmaktadır. Birbiriyle eşleşen (electron dönme yönü birbirinin tersi olan) atomlarda oluşan manyetik alanlar zıt olduğundan birbirini yok ederler. Birbiriyle eşleşmeyen (elektron dönme yönü birbiriyle aynı) atomlarda manyetik alanlar birbirini yok etmezler. Bir maddenin manyetik özelliği bu duruma bakılarak belirlenir [16, 24].

Bakır, gümüş, çinko diamanyetik malzemeler grubuna girer ve bu gruba giren malzemelerin genel özellikleri, atomic veya moleküler olarak net momente sahip

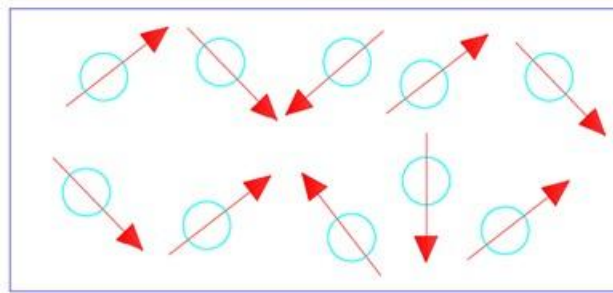
değillerdir. Eğer bu maddelere dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında, bu manyetik alan yönüne zıt electron hareketi meydana gelir. Ancak, uygulanan manyetik alan kaldırıldığında ise electron hareketi durmaktadır. Bu durumda bu gruba giren maddeler kalıcı mıknatıslanma özelliği kazanamazlar.

Yani bu gruba giren malzemelerin tamamında eşleşme olduğundan net manyetik alan meydana gelmez. Şekil 3.1’de diamanyetik malzemelerin yönelimleri gösterilmiştir [16].



**Şekil 3.1** : Diamanyetik yönelim.

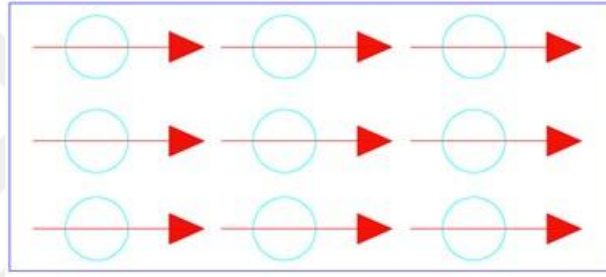
Paramanyetik özellikli malzemeler, çiftlenmemiş elektronları sebebiyle net manyetik momente sahiptirler. Ancak komşu momentler arasında etkileşim zayıftır. Bu malzemelere dışarıdan bir manyetik alan verildiğinde, aynı yönde sıralanmış olarak manyetik moment meydana getirirler. Ancak paramanyetik malzemelerde sıcaklık etkisi kalıcı mıknatıslanmayı önler. Alüminyum ve Titanyum paramanyetik malzemelere örnektir [1,16]. Şekil 3.2’de paramanyetik malzemelerin yönelimleri verilmiştir [16].



**Şekil 3.2** : Paramanyetik yönelim.

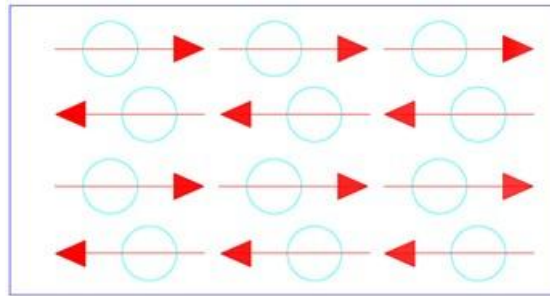
Ferromanyetik malzemeler, atomik olarak net bir manyetik momente sahip olan Ferromanyetik malzemeler, aynı zamanda komşu momentler arasında da güçlü etkileşim vardır. Bu kuplaj domenlerde momentlerin kendiliğinden aynı hizaya gelmelerini artırır. Dolayısı ile domenlere bir manyetik alan uygulandığında güçlü bir hizalanmaya yönelirler. Uygulanan manyetik alan zayıf olsa da, bu dipoller paralel

olarak yönlenme eğilimindedirler. Paralel hale gelen dipoller, dışarıdan uygulanan manyetik alan kaldırılmasına rağmen bu paralellenme ortadan kalkmaz ve sürekli mıknatıslanma oluşur. Sürekli mıknatıslanma olma durumu çok kuvvetli etkileşimde bulunan komşu manyetik momentlerden kaynaklanmaktadır. Zayıf bir manyetik alan içerisinde kalsalar dahi atomlarındaki manyetik dipoller birbirlerine paralel olarak yönlenmeye çalışırlar. Paralel hale gelen dipol momentler dış manyetik alan kaldırılrsa dahi ferromanyetik malzeme mıknatıslı olarak kalır. Sürekli mıknatıslı olma durumu komşu manyetik momentlerin kuvvetli etkileşiminden kaynaklıdır. Ferromanyetik malzemelerdeki bu özellikten faydalanarak, bu malzemelere dışarıdan manyetik veya ısı verilerek sürekli mıknatıs özelliği sağlanır. Şekil 3.3’da ferromanyetik özellikli malzemelerin yönelimleri verilmiştir [16].



**Şekil 3.3 :** Ferromanyetik yönelim.

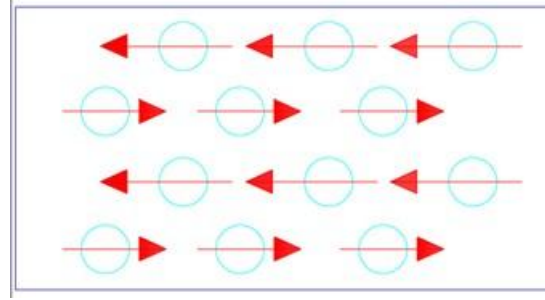
Antiferromanyetik malzemeler birbiriyle eşleşen (electron dönme yönü birbirinin tersi olan) atomlardan oluştuğundan, bu malzemelerde üretilen net manyetik alan sıfırdır [1]. Şekil 2.4’de antiferromanyetik malzemelerin manyetik yönelimleri gösterilmiştir [16].



**Şekil 3.4 :** Antiferromanyetik yönelim.

Ferrimanyetik malzemeler, antiferromanyetik malzemeler gibi komşu momentlerin birbirine ters ve paralel olarak yönlendirilmiş moleküler veya atomik momentlere sahiptirler. Antiferromanyetik malzemelerde komşu momentler eşitken, ferrimanyetik

malzemelerde komşu momentler eşit değildir. Dolayısı ile net bir momente sahiptirler [1,16]. Şekil 3.5’de ferrimanyetik malzemelerin manyetik yönelimleri verilmiştir [16].



Şekil 3.5 : Ferrimanyetik yönelim.

Manyetik parametreler;

Bir iletken içinden elektrik akımı geçirildiğinde manyetik alan(H) oluşur.Bu oluşan manyetik alan şiddeti dahada artar ve kuvvet çizgileri sıklaşır. Oluşan bu ek manyetik alan artışına, manyetik yoğunluk (B) denir. Aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$H = \frac{NI}{l} \quad (3.1)$$

$$B = \mu H \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (3.2)$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r \text{ (H/m)} \quad (3.3)$$

$$B_r = \mu_0 H + B_i = \mu_0 (H + M) = \mu_0 (1 + \chi_m) H = \mu_0 \mu_r H \quad (3.4)$$

Burada;

N:Sargı sayısı.

I: Akım

l:sargı uzunluğu

B<sub>r</sub>:Manyetik akı yoğunluğu

H: Manyetik alan şiddeti.

M: Manyetizasyon vektörü.

χ<sub>m</sub>: Manyetik hassasiyet.

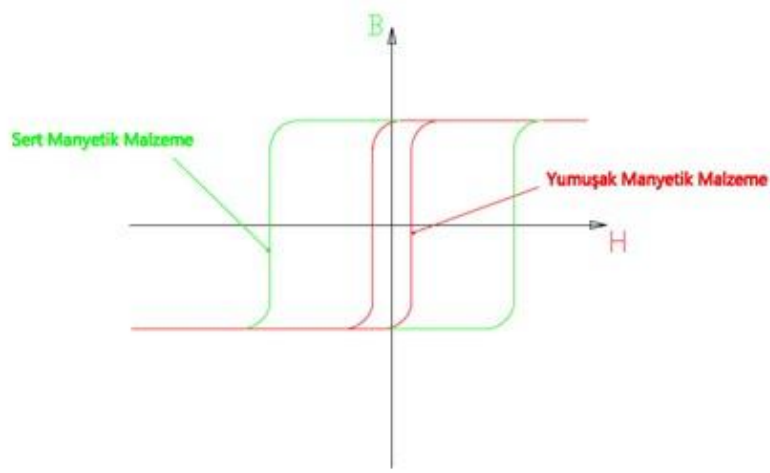
μ<sub>0</sub>: Boşluğun manyetik geçirgenliği.

μ<sub>r</sub>: Mıknatısın görelî manyetik geçirgenliği.

### 3.1.1 Yumuşak manyetik malzemeler (Nüveler)

Yıllarca yapılan çalışmalar sonucunda, ferromanyetik özellikli malzemelerin mekanik mukavemetinin artırılması ve manyetik özelliklerinde iyileştirilme yapılmıştır. Bu çalışmalar manyetik özellikler açısından iki farklı gruba ortaya çıkmıştır. Bunlara yumuşak ve sert manyetik malzemeler adı verilmiştir. Bir mıknatısın manyetik özelliği kolayca bozulabilen malzemelere yumuşak manyetik malzemeler denir. Manyetik özelliklerini uzun süre koruyan ve kolaylıkla kaybetmeyen malzemelere sert manyetik malzemeler adı verilir. Yumuşak mıknatısların manyetik özelliklerinin daha kalıcı olmasını sağlamak için bir takım ısı işlemlerinden geçirilir. Çelik mıknatıslar, ilk yapay mıknatıstır, bu mıknatıslar yumuşak mıknatıs grubundan olup, mekanik yönden de yumuşak mıknatıs sınıfına girerler [24]. Kolay bir şekilde manyetize veya demanyetize ettirilebilen, yumuşak manyetik malzemeler, yüksek geçirgenlikli koersivitelidirler ( $H_c < 1000 \text{ A/m}$ ). Elektrik makinelerinde magnetik devre olarak kullanılan yumuşak manyetik malzemeler, çekirdek kaybının en az, olabildiği en yüksek akı yoğunluğu ve geçirgenlik bu malzemelerden beklenen özelliklerdir. Yumuşak manyetik malzemeler bir bölgedeki akı yollarını sınırlayıcı ve akı yoğunluğunu arttırmak amacıyla kullanılır. Yumuşak demir, nikel-demir, demir-slikon alaşımları ve yumuşak ferritler en yaygın olarak kullanılan yumuşak malzemelerdir. Yumuşak manyetik malzemeler daha çok trafolar, röleler, motorlar, indüktörler ve elektro mıknatıslarda kullanılırlar. Yumuşak manyetik malzeme seçerken, geçirgenlik, doyma manyetizasyonu, direnç ve koersivite gibi özellikler ön plana çıkmaktadır. Yüksek geçirgenlik, manyetizasyon odaklama ve akı yükseltme amacıyla, direnç ve koersivite ise, yüksek frekans uygulamalarda önem kazanmaktadır. Histerisiz kayıplarını azaltmak için düşük koersivite, eddy akımlarını yüksek bir dirence sahip malzeme ile düşürülür. Bu malzemeler manyetik olarak doğrusal olduğu yerler, B-H eğrilerinin geçirgenliğinin sabit olduğu yerlerdir. Doğrusal olmayan yerler ise geçirgenliğin H'ya bağımlı olduğu ( $\mu = \mu_0 \mu_r$ ) diğer durumlardır.

Şekil 3.6'de B-H eğrileri yumuşak ve sert malzemeler için karşılaştırmalı olarak verilmektedir [16]. Doğru akım elektromıknatısların çekirdek malzemesi olarak ve elektromanyetik uygulamalarda kullanılmakta iken, Alternatif akım uygulamalarında düşük eddy akımı kayıpları sebebiyle yerini, yüksek dirençli malzemelere bırakmaktadır [21, 24].



**Şekil 3.6 : B-H egrileri.**

Yumuşak demire düşük yüzdelikte (%3) sikon eklenmesi ile demir alaşımını saf demire nispeten direnci 4 kat artış gösterir, manyetik kararlılığı gelişir, koersitif kuvveti azalır. %5 den daha fazla sikon eklenmesi demiri daha kırılğan yaptığından üzerinde çalışmak zorlaşır bu nedenle ticari üretimde bu oran %3,4 ile sınırlandırılmıştır.

Sikon demir yumuşak malzemelerde yüksek geçirgenlik ve düşük kayıplar elde etmek için aşağıda gerekli koşullar sıralanmıştır:

Eddy kayıplarını azaltma koşulları;

- İçeriğinde yüksek alaşım olması,
- Boyutunun küçük tanecikli olması,
- İnce malzeme kullanımı,
- İyi imalat yapma,

Histerisiz kayıplarını azaltma koşulları;

- İnce malzeme kullanımı,
- Az alaşım derecesi,
- Tanecik boyutunun büyük olması,
- Yüzey deformasyonun düşük olması,

Yüksek geçirgenlik için;

- İçeriğinde düşük alaşım olması,

- Düşük yüzey boyutu,
- İyi imalat yapma,
- Yüksek saflığının yüksek olması,

Pratikte, tek bir malzeme ile tüm bu özelliklerin aynı anda karşılanması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle bu özellikleri asgari düzeyde sağlayan %0 ile %3 arasında silikon içeren 1-3 metre genişliğe kadar ve 0,35 ve 0,8 mm arası kalınlıklarda şerit şeklinde üretilen elektrik mühendisliğinde lamine çelik olarak bilinen malzemeler olarak üretilirler [21].

### 3.1.2 Sert Manyetik Malzemeler (Mıknatıslar)

Yüksek koersivite ve düşük geçirgenlik özellikleri nedeni ile sert manyetik malzemelerin manyetize ne demanyetize olmaları zordur. Bu tür malzemeler sürekli mıknatıslar olarak adlandırılırlar çünkü bir kez mıknatıslandıktan sonra uzun bir süre mıknatıslanmalarını korumaktadırlar [1,25]. Sürekli mıknatıslar, manyetik alan üretmek için herhangi bir uyarma sargısına ihtiyaç duymazlar. Sürekli mıknatıslar diğer ferromanyetik malzemeler gibi, B-H histerisiz çevrimi ile tanımlanır.

Elektrik makinelerinde sürekli mıknatıslar üç gruba ayrılırlar.

- 1-Alnico mıknatıslar
- 2-Seramik mıknatıslar
- 3-Nadir toprak elementli mıknatıslar

Sürekli mıknatısın koersif alan kuvveti ( $H_c$ ) ve remenans akı yoğunluğu ( $B_r$ ) sıcaklık arttıkça azalır.  $B_r$  ve  $H_c$  değişimi 3.5 ve 3.6'de verilmiştir [21].

$$B_r = B_{r20} + \frac{T_{k,B_r}}{100} x (T_{mag} - 20) \quad (3.5)$$

$$H_c = H_{c20} + \frac{T_{k,H_c}}{100} x (T_{mag} - 20) \quad (3.6)$$

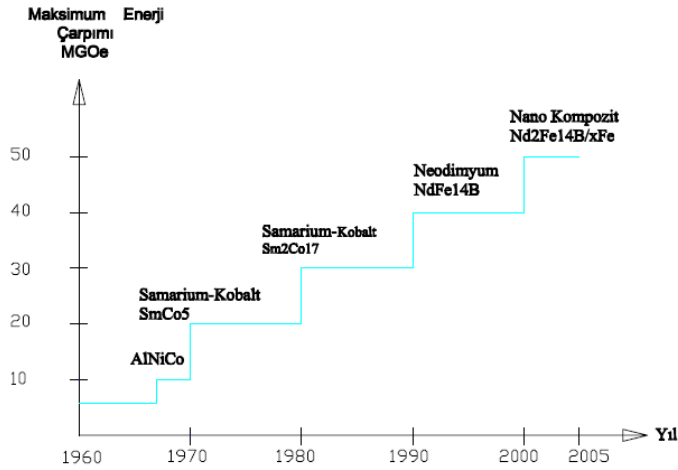
Burada;

$T_{k,B_r}$  : Artık manyetik akı yoğunluğu için sıcaklık katsayısı.

$T_{k,H_c}$  : Koersif kuvvet için sıcaklık katsayısı.

$T_{mag}$  : Mıknatısın sıcaklığı.

Sürekli mıknatısların tarihsel gelişimi şekil 3.7' de gösterilmiştir [16].



Şekil 3.7 : Sürekli mıknatısların gelişim süreci .

### 3.1.2.1 AlNiCo mıknatıslar (Alüminyum- nikel- kobalt mıknatıslar)

Demir, kobalt, nikel, aliminyum gibi temel bileşenlerden ve az miktarda bakır ve başka metallere oluşmuş AlNiCo alaşımların üretimleri 1930'lu yılların başlarına dayanır. Çeşitli oranlardaki birden fazla sıvı alaşım dökümü veya metal tozların preslenmesi yöntemleri ile üretilirler. Bu mıknatısların en önemli özellikleri yüksek artık mıknatısiyet ve düşük sıcaklık katsayılarına sahip olup maksimum işletme sıcaklığı 520 °C dir. Bu durum yüksek mıknatıs sıcaklığında yüksek manyetik akı yoğunluğuna izin vermekle birlikte koersif kuvvetleri düşük ve demanyetizasyon eğrileri yaklaşık olarak non-liner olmaktadır. Bu mıknatıslar genel olarak yüksek hava aralıklı sürekli mıknatıslı özelliklere sahip DC komütatör tipi makinelerde kullanılması daha uygundur [1,21]. 1100-1300 °C sıcaklıkta gerçek şeklini alır. 0.05-150 gr arasında ağırlığı olup diğer mıknatıslarla kıyaslandığında AlNiCo mıknatıslar şu özellikleri gösterirler. Çizelge 3.1 de farklı AlNiCo değerleri gösterilmiştir [21].

- A)Yüksek mekanik dayanımı.
- B)Yüksek sıcaklık kararlılığı.
- C)İyi korozyon dayanımı.
- D)İnce kristal metalik yapı.
- E)Tam yoğunluğa yakınlık.



**Çizelge 3.1 : Preslenmiş AlNiCo mıknatısların özellikleri.**

Meteryal	$B_r$ (T)	$H_c$ (Oe)	$H_{ci}$ (Oe)	$(BH)_{max}$ [MGOe(kj/m <sup>3</sup> )]
Alnico 5	1.27	640	645	5.5 (44.0)
Alnico 5-7	1.34	740	745	7.5 (60.0)
Alnico5DG	1.33	685	690	6.5 (52.0)
Alnico 8B	0.9	1600	1640	6.75 (54.0)
Alnico 9	1.05	1500	1515	10.5 (84.0)

### 3.1.2.2 Seramik (Ferrit) mıknatıslar

Ferrit mıknatısların gelişimi 1950'lerde olup en ucuz ve en yaygın olarak kullanılan sürekli mıknatıslardır. Baryum, stronyum ya da kurşundan birinin karbonatı ile birlikte ıslak ya da kuru olarak, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşiminin uygun oranda karıştırılmasıyla üretilir. Çok sert ve kırılğan olan ferrit mıknatıslar için özel makine teknikleri kullanılmalıdır. Bu mıknatıslar -400 °C ile 2500 °C çalışma yeteneğine sahip olup korozyon dayanımları mükemmeldir. Çizelge 3.2'de ferrit mıknatısların özellikleri verilmiştir [21]. Ferrit mıknatısların en önemli özellikleri:

- Sıcaklık katsayıları yüksektir
- Maliyetleri düşüktür
- Yüksek elektriksel dirence sahiptir
- Eddy kayıpları hemen hemen yoktur [21].

**Çizelge 3.2 : Ferrit mıknatısların manyetik özellikleri.**

Meteryal	$B_r$ (T)	$H_c$ (Oe)	$H_{ci}$ (Oe)	$(BH)_{max}$ [MGOe(kj/m <sup>3</sup> )]
Ferit 5	0.395	2200	2230	3.6 (29,0)
Ferit 7B	0.38	3250	3800	3.3 (26,0)
Ferit 8A	0.39	2950	3000	3.5 (28,0)
Ferit 8D	0.40	3100	3000	3.8 (30,0)
Ferit 8C	0.43	4100	2200	4.3 (34,0)

### 3.1.2.3 Nadir toprak elementi mıknatıslar

1960lı yıllarda bulunmuş olan bu mıknatısların ticari olarak üretimi 1970’li yıllarda başlanmıştır. Bu mıknatıslar;

- Yüksek koersif kuvvete,
- Yüksek enerji üretimine,
- Yüksek manyetik akı yoğunluğuna,
- Düşük sıcaklık katsayısına
- Lineer demanyetizasyon eğrisine sahiptirler.

Nadir toprak elementli mıknatıslar en yüksek enerji yoğunluğuna sahip olup maksimum işletme sıcaklığı 300 °C ile 350 °C arasındadır. Bu mıknatıslar diğer sürekli tip mıknatıslara oranla daha pahalı olmakla birlikte düşük hacimli ve yüksek güç yoğunluklu motorlar için uygun malzemelerdir. Nadir toprak elementli mıknatıslar iki alt gruba ayrılırlar.

1.Samaryum-kobalta dayalı toprak mıknatıslar(SmCo).

2.Neodyum-Demir-Bora dayalı toprak mıknatıslar (NdFeB)

SmCo mıknatıslar  $SmCo_5$  ve  $Sm_2Co_{17}$  iki çeşit gruba ayrılır. Basit bir alaşım olan  $SmCo_5$  mıknatıstan daha gelişmiş materyallerin alaşımı olan  $SmCo_{17}$  mıknatısı daha yüksek performansa sahiptir. Bu mıknatısların sürekli çalışma sıcaklığı 300 °C civarındadır. Çalışma sıcaklığının daha yükseklere çıkarılması (550 °C) samaryuma dayalı alaşım sınıfının gelişimiyle mümkün hale gelmiştir. Birçok uygulamada elektro mıknatısların yerine kullanılan SmCo alaşımlı sürekli mıknatıslar, elektromıknatıslardan daha maliyetlidirler [1.21]. Çizelge 3.3’ de SmCo mıknatısların manyetik özellikleri verilmiştir [21].

**Çizelge 3.3 : SmCo türü mıknatısların manyetik özellikleri.**

Malzeme	$B_r$ (T)	$H_c$ (Oe)	$H_{ci}$ (Oe)	$(BH)_{max}$ [MGOe(kj/m <sup>3</sup> )]
YMKO <sub>5</sub>	0.9	9	29	20.2/162
Sm <sub>2</sub> Co <sub>17</sub>	1.1.	10	33	37.5/300

En yaygın olarak kullanılan NdFeB sürekli mıknatıslar üretim yöntemlerine göre üç şekilde sınıflandırılırlar. Bu yöntemler polimer bağlama, ısı deformasyonu ve sinterlemedir. Üstün manyetik özelliklere, iyi maliyet performansına ve yüksek enerji verimliliğine sahip olan sinterlenmiş NdFeB mıknatısların maksimum enerji yoğunluğunun teorik değeri 512 kJ/m<sup>3</sup> dür. Polimer bağlı mıknatıs 80-145 kJ/m<sup>3</sup>, ısı deformeli mıknatıslar ise 120-370 kJ/m<sup>3</sup> enerji üretimine sahiptirler [21]. NdFeB mıknatısların gelişimi 1980 yıllarına kadar gider. Neodymium yeryüzünde cobalt'tan daha fazla bulunduğundan SmCo ya göre tercih sebebi olmuştur [1]. NdFeB mıknatısların en önemli avantajları, küçük boyut, düşük ağırlık, yüksek akı yoğunluğu, kalıcı indüksiyonları olup; sürekli mıknatıslı makine tasarımında önemli yer tutarlar. Buna karşılık bu mıknatısların maliyetinin yüksek olması ve düşük curie sıcaklığına sahip olması dezavantajları olmaktadır [16]. NdFeB mıknatısların maksimum çalışma sıcaklıkları 150 °C olup, çizelge 3.4'de NdFeB'nin manyetik özelliklerini, çizelge 3.5'de ise sürekli mıknatısların karşılaştırmalı olarak çeşitli sıcaklıktaki manyetizasyon değerleri verilmiştir [21].

**Çizelge 3.4 :** NdFeB mıknatıs çeşitlerinin manyetik özellikleri.

Mıknatıs	$B_r$ [T]	$H_{ci}$ [kOe]	$(BH)_{max}$ [MGOe(kj/m <sup>3</sup> )]
Sinterlenmiş VCM	1,31	14	42/336
Bağlı MQ1-B	0.69	9	10/80
Isı Baskılı MQ2-E	0.825	17,5	15/120
Die-Upset MQ3-F	1,31	16	42/336
Sinterlenmiş	1,31	8,68	55,8/445

**Çizelge 3.5 :** SMM Çeşitli sıcaklıklardaki manyetizasyon değerlerinin değişimi.

Mıknatıs	-600 °C	+1000 °C	+2000 °C	+3000 °C
AlNiCo	-1.45%	0.4%	0.8%	
Ferrit	-27%	0	0	1.1%
YMKo5	0	0.5%	1.7%	0
NdFeB	0	6.5%	65.0%	

### **3.2 Elektriksel İletken Malzemeler**

Elektriksel iletken malzemeler, en düşük direnç katsayısına, yüksek iletkenlik değerine ve mekanik dayanıma sahip olmalıdırlar. Bu malzemeler tel, bobin, komütatör dilimleri gibi düşük dirençli devrelerde kullanıldığı gibi, fırça olarak ta elektriksel karbon malzemeler kullanılmaktadır [26].

#### **3.2.1 Bakır alaşımlar**

İşlenmesi kolay bir element olan bakır, genel olarak elektrik makinelerinde dairesel tel olarak kullanıldığı gibi AC ve DC elektrik makinelerinin komütatör dilimlerinde kullanılırlar. Saf bakır içine belli oranda gümüş katılarak bakırın elektriksel ve termal iletkenliği artırılmaktadır. Ancak gümüş dışındaki tüm metallerle yapılan alaşımların iletkenlikleri gümüş alaşım karışımına göre düşük kalmaktadır. Berilyum, kalay, kadmiyum ve başka metallerin saf bakırla düşük yüzdelerle karışımı ile fiziki dayanıklılık sağlarken, elektriksel direnci ise saf bakıra göre yüksek olmaktadır [26].

#### **3.2.2 Alüminyum alaşımlar**

Bakırın pahalı ve az bulunması dolayısıyla alternatif iletken kaynağı olarak alüminyum kullanılmaktadır. Bakırdan daha hafif ve erime sıcaklığı daha sıcaktır. Bu özelliği daha kolay döküm sağlamaktadır. İletkenlik açısından karşılaştırıldığında bakırın iletkenliğinin ancak %60'ı kadar olmaktadır. Bu nedenle bakırla aynı iletkenliği yakalamak için daha yüksek kesitte üretilmesi gerekir. Çok ince iletken uygulamalarında mekanik dayanımı düşük olduğundan kullanılmazlar. Daha çok küçük elektrik makinelerin kafes çubuklarında kullanılmakla birlikte son dönemlerde daha ucuz olması dolayısıyla trafo sargılarında çok sık kullanılmaktadır [1,26].

### **3.3 Yalıtkan Malzemeler**

Dielektrik, direnç ve ısı iletkenlik özelliklerinin yüksek olduğu, elektrik makinelerinin farklı kısımları arasında çeşitli gerilim ve akım taşıyan farklı kısımlar arasındaki ısı dağılımını engellemeyecek şekilde yalıtımı sağlayan malzemelere denir. Enerji dönüşümünü sağlayan makinelerde enerji %100 olarak farklı bir enerjiye dönüştürülemez. Bu dönüşüm esnasında bir miktar enerji kaybı oluşmaktadır. Bu kayıplar; manyetik devresi olan, makinenin aktif kısmında demir veya çekirdek kayıpları olarak, elektrik devresini oluşturan kısımlarda ise, bakır kaybı olarak

karşımıza çıkar. Bu kayıplar ısı enerjisine dönüştüğünden, makinenin demir ve bakır kısımlarında sıcaklığın artmasına sebep olur. Bu kayıpları makinenin verimini azalttığı gibi, sargılardaki sıcaklığının yükselmesinde neden olur. Yalıtkan malzemeler, demir ve bakır kadar yüksek sıcaklığa dayanıklı değildir. Bu durum göz önünde bulundurularak, yani makinede oluşan ısı kaybını azaltmak için elektriksel ve manyetik yüklerde düşük değerlerle çalışmak bir yöntem olsada, bu durum ekonomik olmamaktadır. Bunun yerine oluşan ısı etkisini azaltmak için, daha iyi yalıtım malzemesi ve soğutma sistemi entegre etmek daha iyi bir tasarım için gereklidir. Yalıtım malzemesi olarak reçine ve plastik malzemeler kullanılması sonucu makine ebatlarında önemli oranda küçülmelere sebep olmuştur [24].





## 4. VURUNTU MOMENTİ

### 4.1 Vuruntu Momenti Teorisi

Vuruntu momenti, SM makinelerde rotor yüzeyine ya da rotora gömülü olarak yerleştirilen mıknatıslarla, stator olukları arasındaki etkileşim sonrası oluşan ve ortalama momente olumsuz etki yapan bir kuvvettir [14]. EASM motorların birçok üstünlüğü yanında, çıkış moment kalitesindeki sorunlar nedeniyle olumsuzluklar yaşanabilmektedir [27]. Özellikle düşük hızlarda ve hafif yüklerde vuruntu momenti, motor performansına etki ederken, Sistem eylemsizliğinin büyük olduğu uygulamalarda bu önemsiz olmaktadır [27,28]. Yüksek hızlarda moment dalgalanmaları sistemin eylemsizliği sayesinde süzülebilmesine karşın, hızda istenmeyen büyüklüklerde değişimlere, titreşimlere ve akustik gürültülere neden olan moment dalgalanmaları, düşük hızlarda meydana gelir. Düşük hızlı hassas uygulamalarda, önemli problem oluşturan ve moment dalgalanmasının en önemli nedenlerinden olan vuruntu momentinin SM makinelerinde istenilen seviyelere indirilmesi çok önemlidir. Büyük eylemsizliğin görüldüğü, vinçe ve benzeri uygulamalarda, vuruntu momenti önemli sorun oluşturmazken, hassas kontrolün olduğu elektrikli taşıtlar ve askeri uygulamalarında sistem eylemsizliğinin küçük olması dolayısıyla, momentteki dalgalanmalar makine performansında önemli olmaktadır. Motorun tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli bir konu olan vuruntu momenti, SM makinelerin performansını çıkış momentinin kalitesi belirlemektedir. Elektrik motorlarında moment dalgalanmalarına sebep olarak PWM (Puls Width Modulation) akım harmonileri, ideal olmayan zıt EMK dalga şekli, DC baradaki dalgalanmalar gibi birçok kaynağı mevcut olmakla birlikte en önemli etki vuruntu momentidir [14,30,31].

EASM makinelerinde düşük hızlarda oluşan moment dalgalanmaları, kabul edilemez derecede hız değişimlerine, titreşimlere ve gürültüye sebep olmaktadır. Bu nedenle makine üzerinde ciddi sorunlar oluşturan vuruntu momentinin azaltılması, elektrik makinasının çalışması ve verimi için oldukça önemlidir. Endüstriyel uygulamalarda, EASM makineleri için vuruntu momenti değer aralığı %2-5 arasında olmalıdır [14,30,31].

## 4.2 Vuruntu Momentinin Hesaplanması

Üç aşamada vuruntu momenti hesabı yapılmaktadır.

1-Bu aşamada ideal oluksuz yapı için hava aralığındaki akı dağılımı formüle edilir [14,29].

$$B_{r1}(\theta) = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} 2 \frac{\mu_0 M_n}{\mu_r (np)^2 - 1} \left( \frac{R_m}{R_s} \right)^{np+1} \left( \frac{(np-1) + 2 \left( \frac{R_m}{R_s} \right)^{np+1} - (np+1) \left( \frac{R_m}{R_s} \right)^{2np}}{\frac{\mu_r+1}{\mu_r} \left[ 1 - \left( \frac{R_r}{R_s} \right)^{2np} \right] - \frac{\mu_r-1}{\mu_r} \left[ \left( \frac{R_m}{R_s} \right)^{2np} - \left( \frac{R_r}{R_m} \right)^{2np} \right]} \right) \cos(np\theta) \quad (3.4)$$

$$M_n = 2 \left( \frac{B_r}{\mu_0} \right) \alpha_p \frac{\sin \left( \frac{n\pi\alpha_p}{2} \right)}{\frac{n\pi\alpha_p}{2}} \quad (3.5)$$

Burada;  $\mu_0$ :Boşluktaki manyetik geçirgenlik,  $\mu_r$ :ortamın manyetik geçirgenliği,  $R_m$ : Mıknatısın dış yarıçapı,  $R_s$  Stator dış yarıçapı,  $R_r$ : rotor yarıçapı,  $p$ : çift kutup sayısı,  $\alpha_p$  kutup adımı,  $B_r$  kalıcı akı yoğunluğu,  $M_n$  modifiye edilmiş hava akı yoğunluğudur.

2-Oluc etkisini hesaba katmak için performans hesaplanır [14,29].

$$\lambda_{rel} = \frac{g + \frac{l_m}{\mu_r}}{g + \frac{\pi}{2} w_1} + \frac{l_m}{\mu_r} \quad (3.6)$$

Burada;  $\lambda_{rel}$  manyetik iletkenlik,  $g$  hava aralığı,  $l_m$  mıknatıs uzunluğudur.

3-üçüncü aşama olarak vuruntu momenti;

$$T_{cog}(\theta_1) = \frac{L}{2\mu_0} \sum_{m=1}^{N_s} \left[ \int_0^{\frac{w_r}{2}} B_{PM}^2(w_1)(R_s + w_1)dw_1 - \int_{\frac{w_r}{2}}^{w_s} B_{PM}^2(w_2)(R_s + w_2)dw_2 \right] \quad (3.7)$$

Burada;  $w_1, w_2$  açısal hız,  $B_{PM}$  mıknatısın manyetik akı yoğunluğudur. Vuruntu momenti elde edilir [14,29].

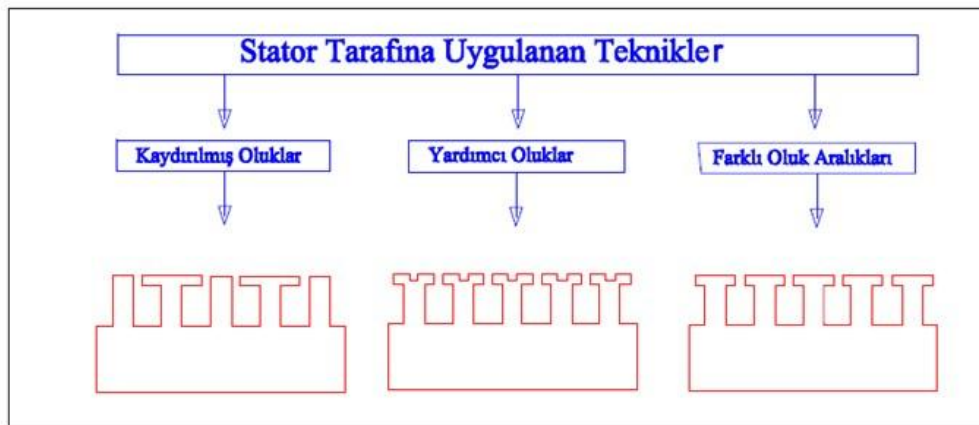


### 4.3 Vuruntu Momentini Azaltıcı Teknikler

SM makinelerinde vuruntu momenti minimizasyonu, iki ana grupta olmak üzere stator ve rotor tarafında yapılmaktadır. Stator tarafında yapılan değişiklikler ciddi maliyet getireceği için pek tercih edilmemektedir.

#### 4.3.1 Stator tarafında yapılan teknikler

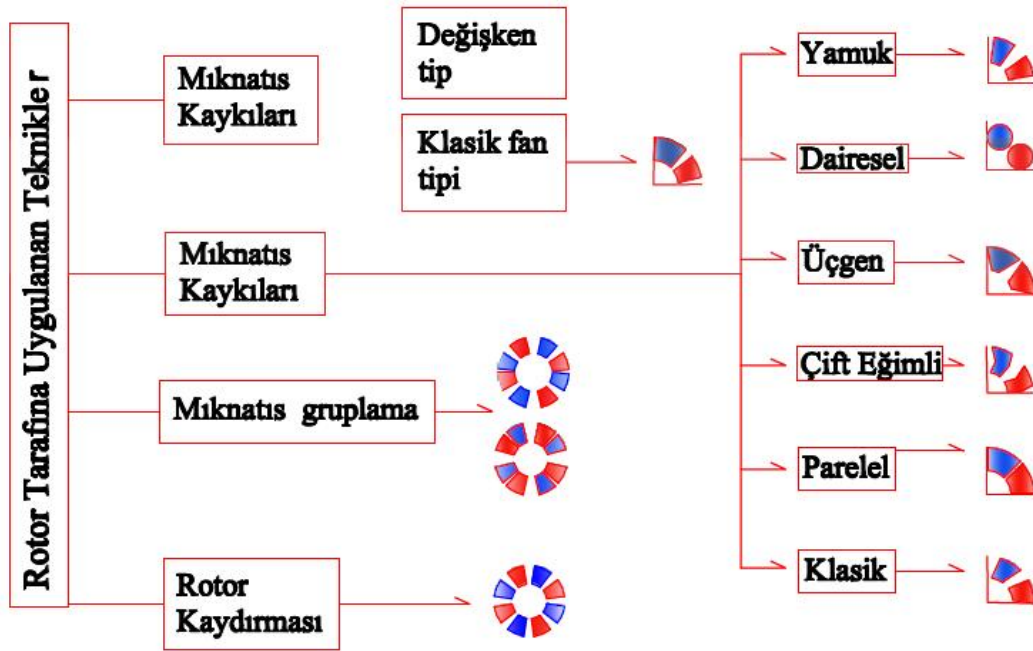
SM motorlarda sıkça kullanılan tekniklerden biri de, uygun stator oluk sayısının kutup sayısına oranı RASM motorlarında olduğu gibi EASM motorlarında da vuruntu momentini azaltıcı etki yaratır. Stator dişlerinde yardımcı oluklar açarak, vuruntu momentinin frekansı artırılarak tepe değeri azaltılmış olur, böylece vuruntu momenti azaltılır. Ancak bu teknikte EASM makinelerin karmaşık olan stator yapısını daha karmaşık hale getirmekte ve maliyeti artıracağından pek tercih edilen yöntem olmamaktadır. Bunlara ek olarak stator tarafında yapılan yöntemler olarak; oluk açıklığı ve kaydırılmış oluk açıklığı yöntemleri kullanılmaktadır. Burada oluk açıklığı azaltılarak, vuruntu momentinin tepe değerinin azaltılması, karşılıklı oluklarda kaydırılmış oluk açıklığında ise, her bir hava aralığındaki vuruntu moment dalganmalarının kaydırılarak toplam vuruntu momentinin ortadan kaldırılması ilkesine dayanmaktadır. EASM makinelerinde stator tarafında uygulanan teknikler zor ve pahalı olması dolayısıyla vuruntu momentini azaltıcı teknik olarak pek tercih edilmemektedir [14,16,30,31]. Şekil 4.1’de stator tarafında yapılan teknikler gösterilmiştir [16].



Şekil 4.1 : Stator tarafında yapılan teknikler.

### 4.3.2 Rotor tarafında yapılan teknikler

EASM makinelerinde vuruğu momentini azaltıcı teknik olarak genellikle rotor tarafında uygulanmasının sebebi daha kolay ve düşük maliyetli olması dolayısıyla daha çok rotor tarafına yapılan teknikler uygulanmaktadır [14,16,30,31]. Şekil 4.2’de rotor tarafında yapılan teknikler gösterilmiştir [16].



Şekil 4.2 : Rotor tarafında yapılan teknikler.

Vuruğu momentini oluşumu, sürekli mıknatısların kenarları ile stator olukları arasındaki etkileşimdir. Bu sebeple EASM makinelerinde vuruğu momentini azalmanın en etkin metodu, uygun değerde seçilmiş mıknatıs adımının kutup adımına oranıdır. Vuruğu momentini dalga şekli ve tepe değeri mıknatıs adımına göre değiştiği görülmüştür. Mıknatıs adımını azaltmak vuruğu momentini düşürdüğü gibi, ortalama momentinde düşürmektedir. Bu sebeple mıknatıs adımı uygun seçilerek vuruğu momentini istenen seviyelere çekildiği gibi ortalama momentte de ciddi bir azalmaya sebep olmaz. Rotor tarafında uygulanan vuruğu momentini azaltıcı teknikler olarak;

1-Rotor kaydırması,

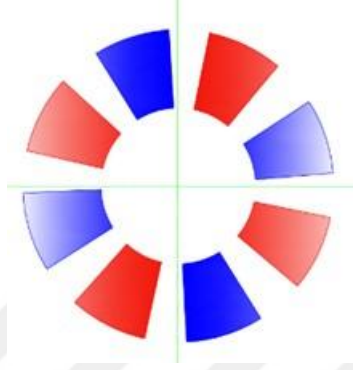
2-Mıknatıs kaydırması veya gruplama,

3-Mıknatıs kaykıları,

Kullanılmaktadır [14].

#### 4.3.2.1 Rotor kaydırması

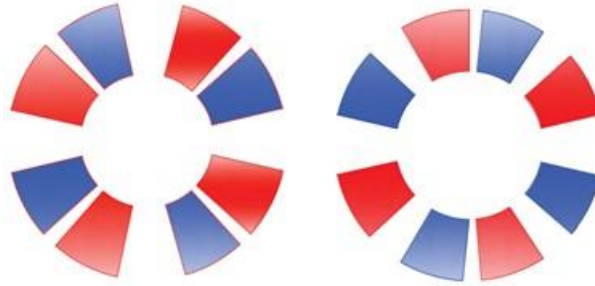
İki rotor ve tek stator yapıdaki EASM makinelerinde uygulanan bir yöntem olup, bir rotor diğerine göre bir miktar ötelenerek yapılan bir tekniktir. Şekil 4.3'de gösterilmiştir [16]. Böylece çift hava aralıklı EASM makinelerde her bir hava aralığındaki vuruntu momentleri toplamı, toplam vuruntu momentini vermektedir. Bu kaydırma yöntemiyle toplam vuruntu momentinin tepe değeri aşağıya indirilebilir [30,31].



Şekil 4.3 : Rotor kaydırması.

#### 4.3.2.2 Mıknatıs kaydırması ve gruplama

Vuruntu moment azaltıcı tekniklerinden biri olan mıknatıs kaydırma yöntemi, mıknatısın bir kenarı diğer mıknatısa uzaklaştırırken diğer kenarı yakınlaştırılmaktadır. Böylece bir tarafta kaçak akı artarken, diğer tarafta azalmaktadır. Böylece toplam vuruntu momentte azalma görülmüştür. Yapılan deneylerde 3.75 derece kaydırmada %56,2 oranında referans makineye göre azalma olurken, 7,5 derece kaydırma sonrası % 76,2 oranında vuruntu momentinde azalma görülmüştür [30,31]. Şekil 4.4'de mıknatıs kaydırma yöntemi gösterilmiştir [16].



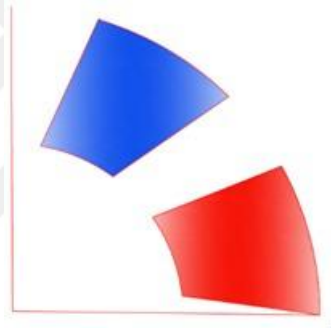
Şekil 4.4 : Mıknatıs kaydırma.

### 4.3.2.3 Mıknatıs kaykuları

Radyal akıllı makinelerde mıknatıs yüzeyi düzlemsel olmadığından, kaykú yöntemi bu makinelerde mıknatıslara değil, stator oluklarına verilerek yapılır. Ancak EASM makinelerinde mıknatıs yüzeyi düzlemsel olduğundan, rotorda kullanılan mıknatıslara kaykú yöntemi kolaylıkla ve ucuz olarak uygulanabilir. Bu yöntemde genellikle, klasik, üçgen, paralel kenar, yamuk, dairesel, çift kaykú..., vb. kullanılmaktadır [30,31].

#### A- Klasik kaykú:

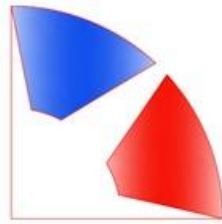
EASM makinelerde sıkça kullanılan vurutu momentini azaltıcı tekniklerden biridir. Bu uygulamada, vurutu momentini minimum yapan kaykú açısına optimum açı denir. pahalı ve karmaşık oluşu, momentte düşüş ve kaçak endüktanstaki artışın olması klasik kaykú yönteminin dezavantajlarıdır [30,31]. Şekil 4.5’de klasik kaykú yönteminde kullanılan mıknatıs yapısı gösterilmiştir [16].



Şekil 4.5 : Klasik kaykú.

#### B- Üçgen şekilli kaykú:

Bu yöntemde mıknatısın rotorun dış kenarına gelen kısmının uçlarının yakınlaştırılması, rotorun iç kenarına gelen mıknatısın uçlarının uzaklaştırılması ile yapılan bir tekniktir. Bu yöntemle %84,3 lük bir vurutu momentini azaltımına gidilebilmektedir [30,31]. Şekil 4.6’da üçgen kaykú yönteminde kullanılan mıknatıs yapısı gösterilmiştir [16].



Şekil 4.6 : Üçgen şekilli kaykú.

#### C- Parelelkenarlı kaykık:

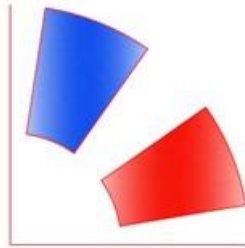
Bu yöntemde birbirine bakan iki mıknatıs kenarının paralel yapılması esasına dayanır. Bu yöntemde çok kutuplu aksenal akıllı makinelerde vurutu momentini azaltmak, az kutuplu aksenal akıllı makinelerde göre daha etkilidir. Bu yöntemle 8 kutuplu aksenal akıllı bir makine için %34 lük bir azalma sağlamaktadır [30,31]. Şekil 4.7’de paralel kenar kaykık yönteminde kullanılan mıknatıs yapısı gösterilmiştir [16].



Şekil 4.7 : Paralelkenarlı kaykık.

#### D- Yamuk biçimli kaykık:

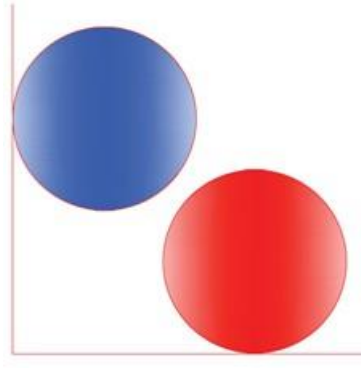
Bu yöntemde mıknatısın rotorun dış kenarına gelen kısmının uçlarının uzaklaştırılması, rotorun iç kenarına gelen mıknatısın uçlarının yakınlaştırılması ile yapılan bir tekniktir. Bu yöntemle %62 lik bir vurutu momentini azaltımına gidilebilmektedir [30,31]. Şekil 4.8’de yamuk kaykık yönteminde kullanılan mıknatıs yapısı gösterilmiştir [16].



Şekil 4.8 : Yamuk biçimli kaykık.

#### E- Dairesel Biçimli Kaykık:

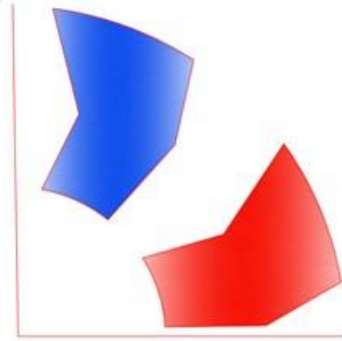
Bu yöntemde mıknatıslar daire şeklinde olup, EASM makinelerde vurutu momentini düşürmenin başka bir yöntemidir. Pratikte sıkça kullanılan bir yöntemdir. Referans motora göre %93 oranında vurutu momentini düşürdüğü görülmüştür [30,31]. Şekil 4.9’da dairesel kaykık yönteminde kullanılan mıknatıs yapısı gösterilmiştir [16].



**Şekil 4.9 :** Dairesel kayk.

**F- Çift Eğimli Kayk:**

RASM makinelerde aksel kuvvetleri yok ederek vuru momentini çok düşük değerlere düşürdüğü görülmüş olup, EASM makinelerde bu yöntem kolaylıkla uygulanmıştır. Bu çift eğimli mıknatısların en büyük dezavantajı pahalı ve karmaşık olmasıdır. Referans makineye göre %57.5 oranında vuru momentini azalttığı görülmüştür [30,31]. Şekil 4.10'da çift kayk yönteminde kullanılan mıknatıs yapısı gösterilmiştir [16].



**Şekil 4.10 :** Çift eğimli kayk.

## 5. TASARIMIN UYGULANMASI

Tasarımda kullanılan alternatör üç ayrı ana parçadan yapılmıştır. Bu parçalar, rotor, stator ve gövde-kapaklardan oluşmaktadır. Mıknatıs gruplama tekniğinde kullanılan açık oluklu aksenal akılı sürekli mıknatıslı (AOEASM) alternatörün parçaları aşağıda tanıtılmıştır.

### 5.1 Stator

Mıknatıs gruplama tekniğinde kullanılan AOEASM alternatörün statoru toroidal yapıdadır. Açık oluklu yapıya sahip olup 42 adet oluk vardır. Statorun sarım yapılmamış hali şekil 5.1’de verilmiştir.



**Şekil 5.1** : Statorun sargısız hali.

Şekil 5.1’deki statorun şekil 5.3’deki sarım şemasına uygun yapılan sarım sonrası ise şekil 5.2’de verilmiştir. Kullanılan AOEASM alternatörün stator faz-faz direnci 10 ohm, faz-nötr direnci ise 5,2 ohm’dur.



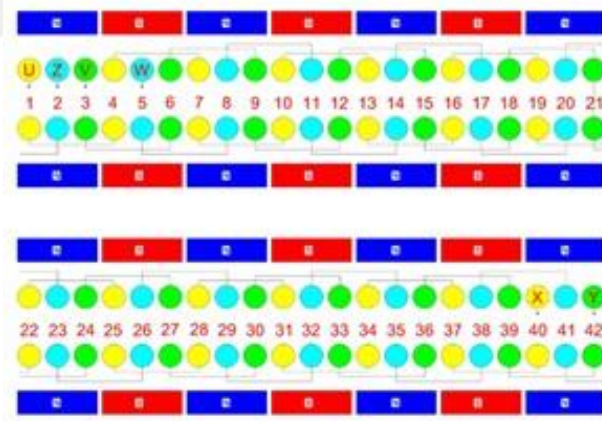
**Şekil 5.2** : Statorun sargılı hali.

Kullanılan AOEASM alternatörün sargı modeli toroidal olup sarım şeması için değerler çizelge 5.1’de verilmiştir.

**Çizelge 5.1 :** AOEASM makina için gerekli sarım sayıları.

Faz başına düşen sargı sayısı ( $n_c$ )	14
Faz sayısı (m)	3
Oluk sayısı (x)	42
Kutup sayısı (2P)	14
Adım katsayısı ( $Y_x$ )	1-4
Bir fazın bir kutup altındaki oluk sayısı (c)	1
İki sargı arasındaki elektriki açı ( $\alpha$ )	60 derece

Mıknatıs gruplama tekniği için kullanılan AOEASM alternatörün çizelge 5.1’de verilen değerlere göre sarım şeması şekil 5.3’de verilmiştir. Kullanılan AOEASM alternatör toroidal yapıdadır. Sarım şemasında giriş girişe, çıkış çıkışa bağlanarak sarım şeması çizilmiştir.

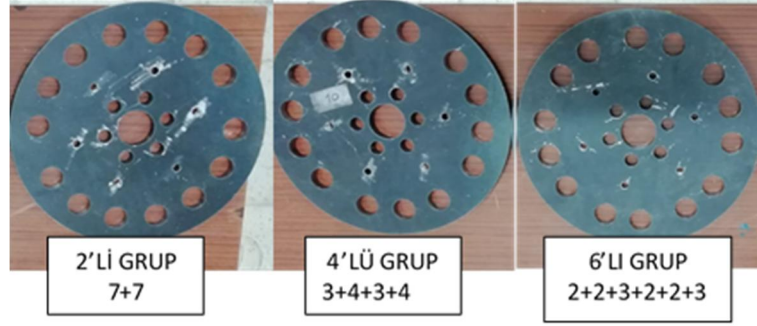


**Şekil 5.3 :** Stator sargı şeması.

## 5.2 Rotor

Mıknatıs gruplama tekniğinde kullanılan rotor şekil 5.4’de verilmiştir. Şekil 5.4’de görüldüğü gibi her bir kutup için açılan daire kesit alanlarda tasarlanan aparatlar yerleştirilerek mıknatıs gruplama için istenilen açı değerleri elde edilmektedir. Her gruplama tekniğinde mıknatısların arasındaki açı değerleri farklı olduğu için şekil 5.4’de verilen demir rotorlar ayrı olarak üretilmiştir.





**Şekil 5.4 :** Kutuplar için açılan daireler.

Mıknatıs gruplama tekniği için şekil 5.4’de verilen rotordan 2’li gruplama için gruplar arasındaki açı  $28^0$  den  $44^0$  ye kadar toplamda 9 adet ayrı kalıp üretilmiştir. 4’lü gruplama için  $28^0$  den  $38^0$  ye kadar toplam 6 kalıp, 6’lı gruplama için ise  $28^0$  den  $34^0$  ye kadar toplam 5 kalıp üretilmiştir. Dolayısıyla 3 farklı mıknatıs gruplama tekniği için toplam 20 adet kalıp rotor demiri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Özellikle 4’lü ve 6’lı gruplamalarda üst açılarının kullanılmamasının sebebi geometrik olarak mıknatısların yerleştirilemeyecek kadar birbirine yaklaşmasıdır.

### 5.3 Mıknatıs Tutma Aparatı

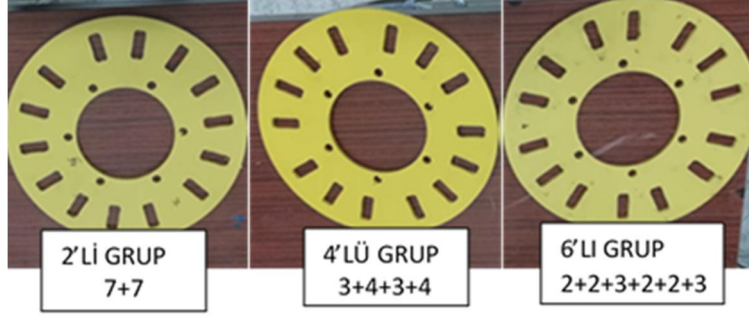
Şekil 5.5’de mıknatısların yapıştırıldığı ayaklar verilmiştir. Herbir kutbu oluşturan mıknatıs epoxy içerikli demir yapıştırıcısı ile aparatlara sabitlenmiştir. Böylelikle her bir grupta aynı mıknatıslar kullanılmıştır.



**Şekil 5.5 :** Mıknatıs tutma aparatı.

### 5.4 Pleksi Kalıplar

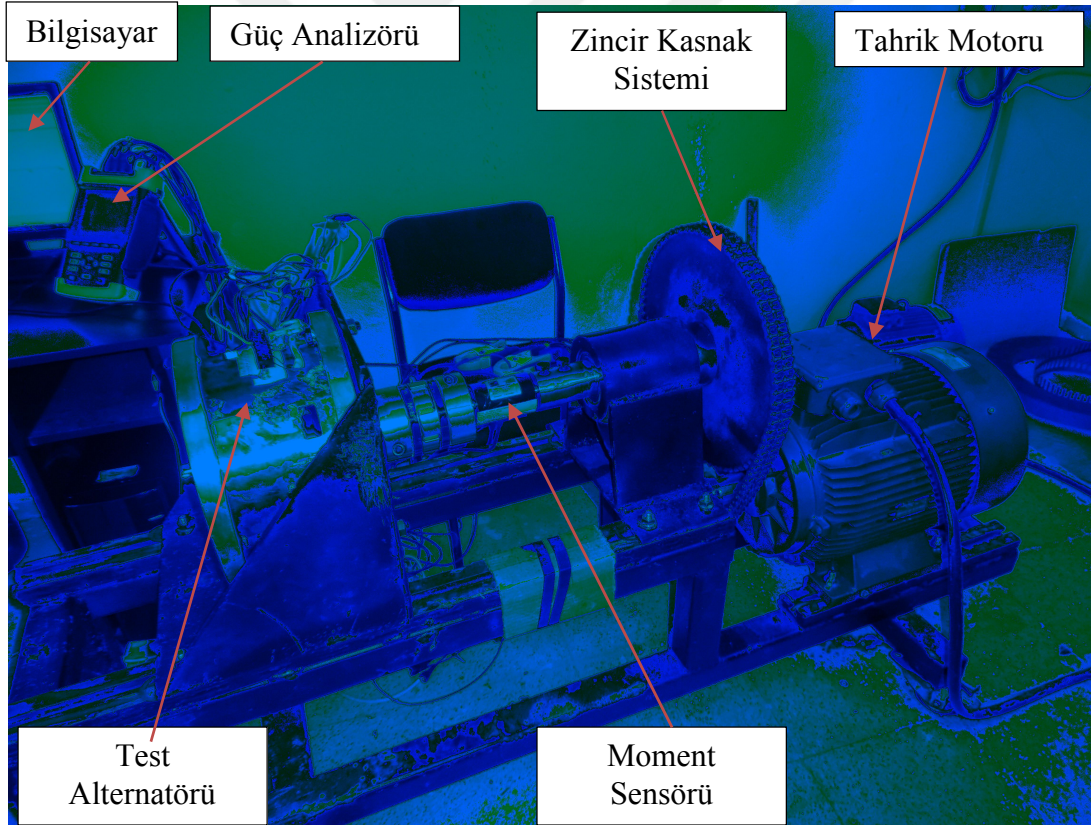
Şekil 5.6’da pleksi kalıplardan iki adet örnek verilmiştir. Demir rotorlarda mıknatısları sabitlemek için pleksi kalıplar kullanılmıştır. Pleksi kalıplar ile sabitlenen mıknatısların statora yapışmaması için kullanılan vidalı aparat ile yerinden oynamaması sağlanmaktadır.



Şekil 5.6 : Pleksi kalıplar.

### 5.5 DeneY DüzenEği

Mıknatis grUplama tekniğinin deneysel çalışmaları için Şekil 5.7'de verilen dUzenek hazırlanmıştır. DÜzenekte testlerde kullanılan AOEASM alternatÖr, değerleri toplanmasında kullanılan bilgisayar, tork sensÖrÜ, tahrik makinası (3 fazlı 22kW gÜcÜnde asenkron makine) ve sÜrÜcÜsÜ bulunmaktadır.



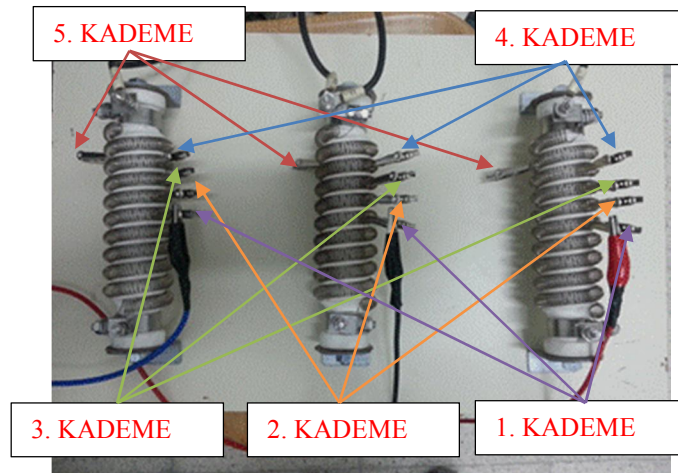
Şekil 5.7 : DeneY dUzenEđi.

## 6. DENEY SONUÇLARI

Son yıllarda EASM alternatörler üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Özellikle bu tip makinalarda en büyük problem vuru momentidir. Bunu gidermek için literatürde mıknatıslara kaykı verme, farklı şekilde mıknatıslar kullanma, rotor kaydırma gibi teknikler kullanılmıştır. Bununla birlikte mıknatıs gruplama tekniğinde faydalı olabileceği yönünde açıklamalar vardır. Fakat mıknatıs gruplama tekniği ile ilgili yapılan çalışma yoktur. Bu bağlamda gerçekleştirilen bu çalışma literatüre 2'li, 4'lü ve 6'lı gruplama tekniklerinin nominal duruma göre alternatör performansı açısından deneysel olarak bir fikir vermesi açısından önemlidir.

### 6.1 Alternatörün Yük Ayarları

Yapılan tasarımda alınan sonuçlar sırasıyla grupsuz, 2'li grup (28-30-32-34-36-38-40-42-44 derece), 4'lü grup (28-30-32-34-36-38 derece), 6'lı grup (28-30-32-34 derece) mıknatıs gruplamasına ve gruplar arası açılara bağlı olarak elde edilmiştir. Bu gruplar ve gruplar arası açılarla elde edilen rotor düzeneği, yüksüz ve 5 kademedan oluşan yük altında çalıştırılmıştır. Alternatörün yüklü çalıştırılabilmesi için her faz başına olmak üzere 3 adet, her bir rezistans değeri 60,5 ohm olan direnç kullanılmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 : Yük kademeleri

Farklı direnç değerleri oluşturularak bu değerlerin ölçüldüğü yerlerden prob bağlantısı yapılarak yük kademeleri oluşturulmuştur. Birinci kademe:60,5 ohm, ikinci kademe:29,1 ohm, üçüncü kademe:22,6 ohm, dördüncü kademe:16,4 ohm, beşinci kademe:10,8 ohm değerleri olup, alternatör çıkışları bu kademelere problemlerle bağlanarak farklı yüklerde çalışma sağlandı. Deneyde farklı açılar ve farklı gruplardan oluşturulan rotorlar sırayla alternatöre takılarak, önce yüksüz daha sonra 5 farklı yükten oluşan direnç gruplarına tekniğinde oluşan değişimler ölçüldü ve grafik üzerinden gösterildi. Her mıknatıs grubu ve açısı için, vuruğu momenti eğrileri, 3 fazlı hat gerilim eğrileri ve gerilim harmoniği olmak üzere 3 farklı değer alınmıştır. Çizelge 6.1’de deneyde kullanılan tüm cihazlar ve ne amaçla kullanıldığı verilmektedir.

**Çizelge 6.1 : Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar.**

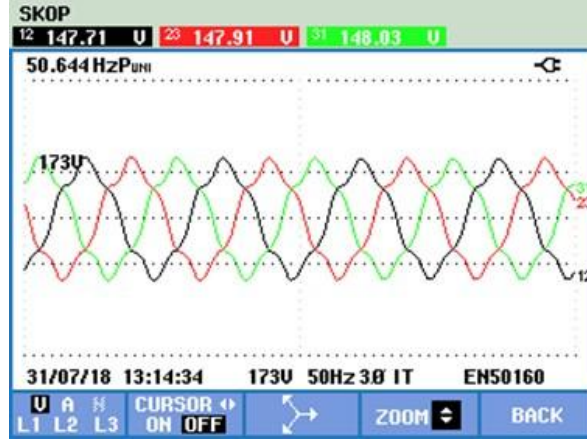
Ölçü Aleti ve Cihaz	Kullanım Amacı
Fluke 434 Güç Analizörü	Gerilim grafiği ve harmonik ölçümü
8645 Moment Sensörü	Vuruğu momenti ölçümü
22 kW Asenkron Motor	Tahrik motoru olarak
ABB ACS850 sürücü ve usb bağlantı kiti	Bilgisayardan tahrik motorunu kontrolü etmek için

## 6.2 0’lı Grup 0 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapılmadığı durumdur. Alınan değerler açı verilmediği bu deneyden alınan sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

### 6.2.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

0’lı grup 0 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.2’de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=147,71 \text{ V}$  ve  $f=50,6 \text{ Hz}$ ’ dir.



Şekil 6.2 : 3 Faz hat gerilimi (0° yüksüz).

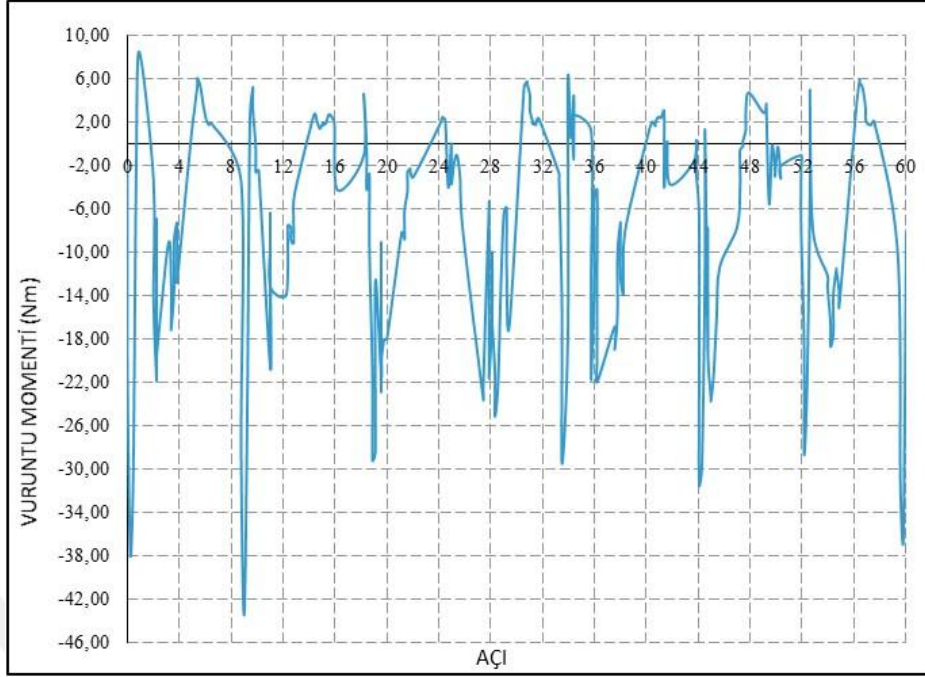
3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.3'de verilmektedir. Şekil 6.3'e incelendiğinde %11,3 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.3 : 3 Faz gerilim harmonik (Thdv) değerleri (0° yüksüz).

0 derece için vuru mu momenti değeri şekil 6.4' de verilmiştir. Bu şekil 6.4'e bakıldığında momentin (-43,5530) - (8,5160) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 52,069 Nm dir.

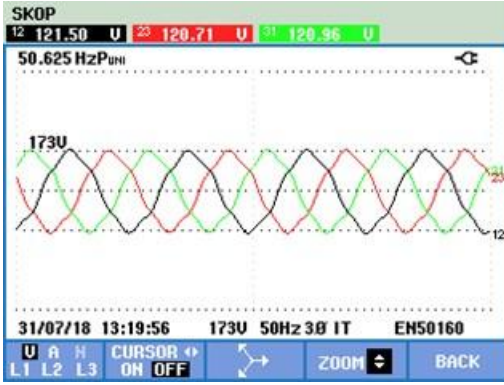




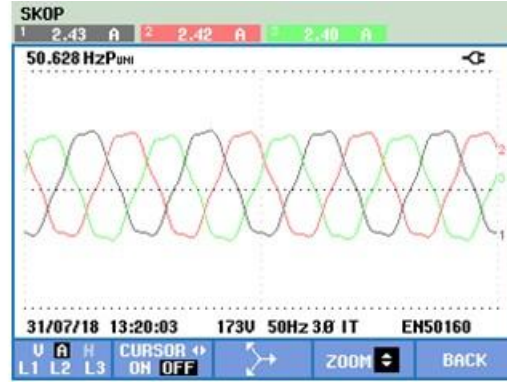
Şekil 6.4 : Vuruntu momenti ( $0^{\circ}$ )

### 6.2.2 1. Kademe alinan değerler

Birinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.5.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=121,5$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,43$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)



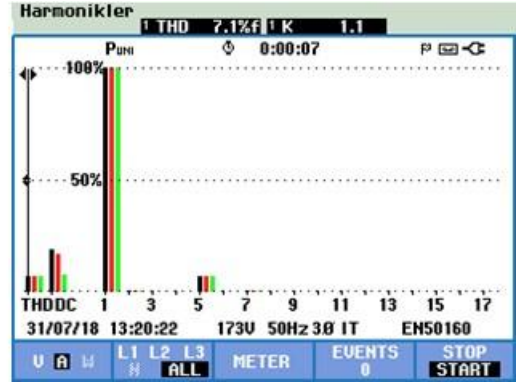
(b)

Şekil 6.5 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $0^{\circ}$  1. kademe).

Şekil 6.6' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.6.a' da %7,1 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.6.b'de ise %7,1 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

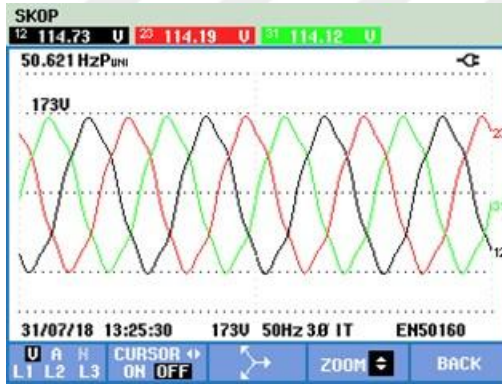


(b)

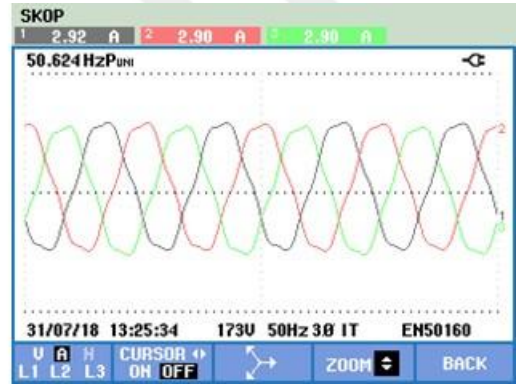
Şekil 6.6 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_v$  b)  $Thd_A$  ( $0^0$  1. kademe).

### 6.2.3 2. Kademe alınan sonuçlar

İkinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.7.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=114,7$  Volt,  $I_{hat}= 2,92$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



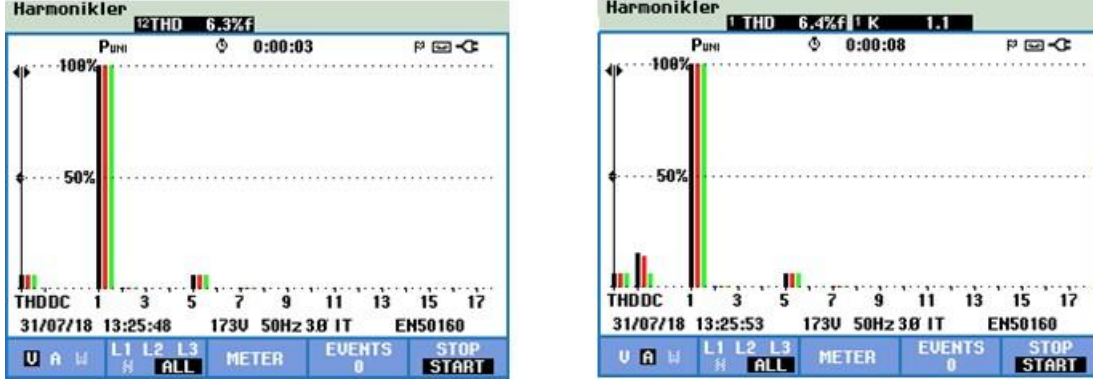
(a)



(b)

Şekil 6.7 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $0^0$  2. kademe).

Şekil 6.8' de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.8.a' da %6,3 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.8.b' de ise %6,4 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



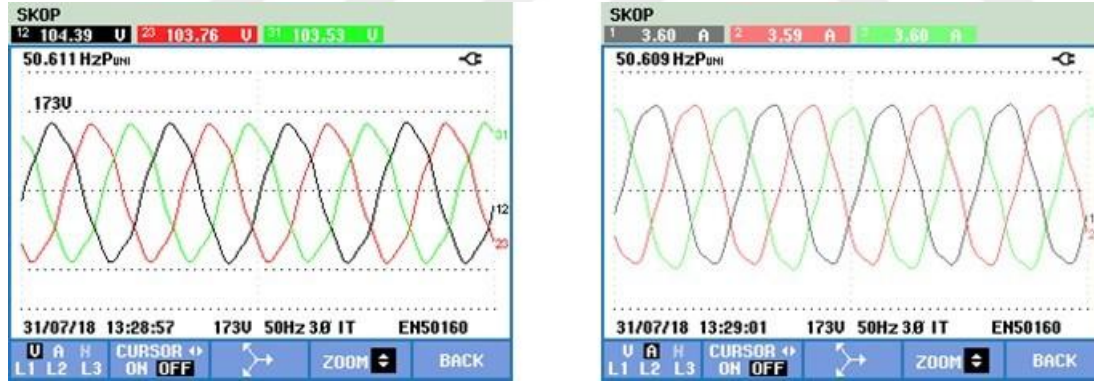
(a)

(b)

Şekil 6.8 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thdv b) Thd<sub>A</sub> (0<sup>0</sup> 2. kademe).

### 6.2.4 3. Kademe alinan sonuçlar

Üçüncü kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.9.a ve b' de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=104,39$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 3,6$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



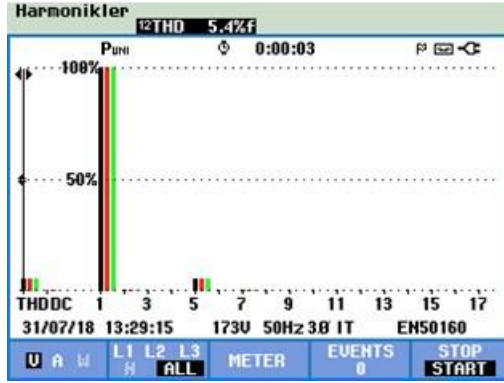
(a)

(b)

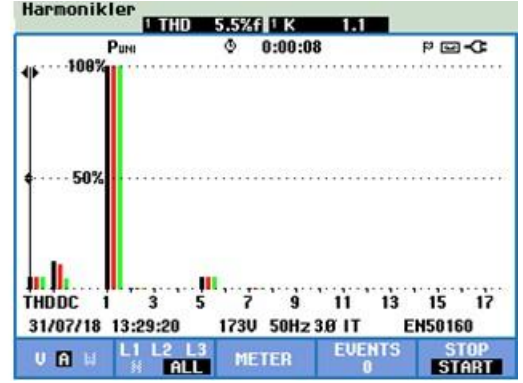
Şekil 6.9 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (0<sup>0</sup> 3. kademe).



Şekil 6.10' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.10.a' da %5,4 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.10.b' de ise %5,5 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

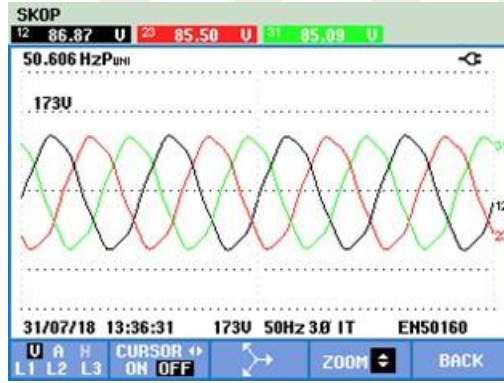


(b)

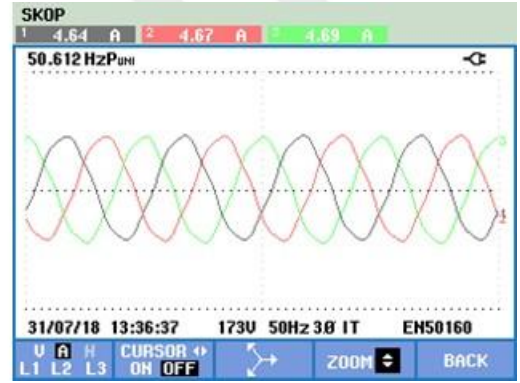
Şekil 6.10 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>V</sub> b) Thd<sub>A</sub> (0<sup>0</sup> 3. kademe).

#### 6.2.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Dördüncü kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.11.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=86,87$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,64$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



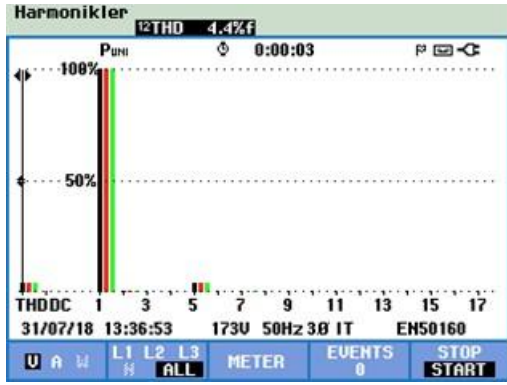
(a)



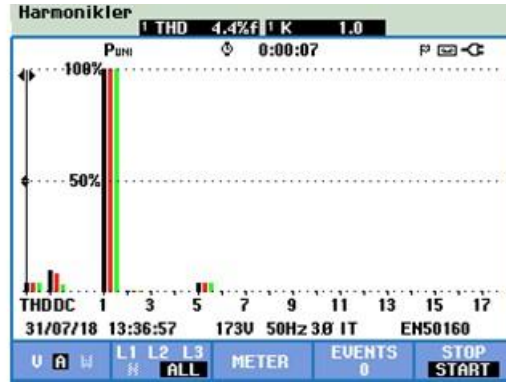
(b)

Şekil 6.11 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (0<sup>0</sup> 4. kademe).

Şekil 6.12' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.12.a' da %4,4 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.12.b' de ise %4,4 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

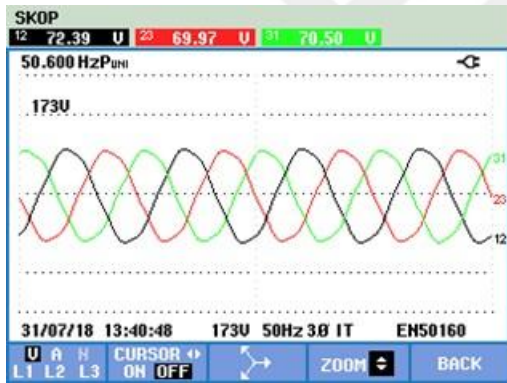


(b)

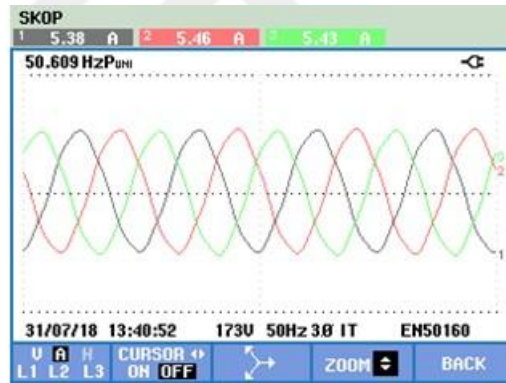
Şekil 6.12 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $0^0$  4. kademe).

### 6.2.6 5. Kademe alınan sonuçlar

Beşinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.13.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=72,39$  Volt,  $I_{hat}=5,38$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



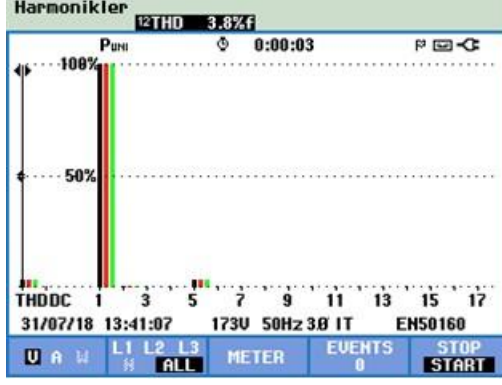
(a)



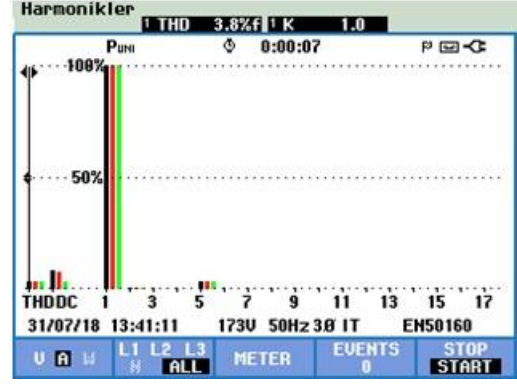
(b)

Şekil 6.13 : Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $0^0$  5 kademe).

Şekil 6.14' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.14.a' da %3,8 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.14.b'de ise %3,8 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)



(b)

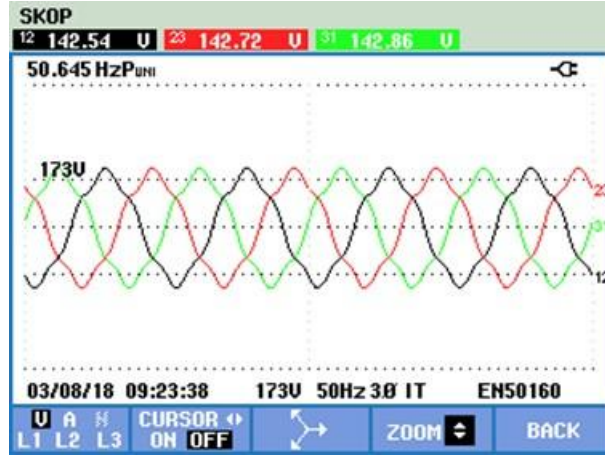
Şekil 6.14 : Faz harmonik değerleri a)  $Th_{dv}$  b)  $Th_{dA}$  ( $0^0$  5. kademe).

### 6.3 2'li Grup 28 Derece Miknatis Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 28 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

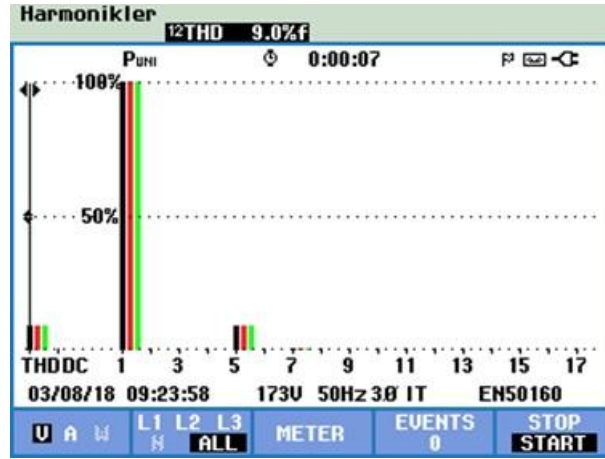
#### 6.3.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

2'li grup 28 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.15'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=142,54$  V ve  $f=50,6$  Hz' dir.



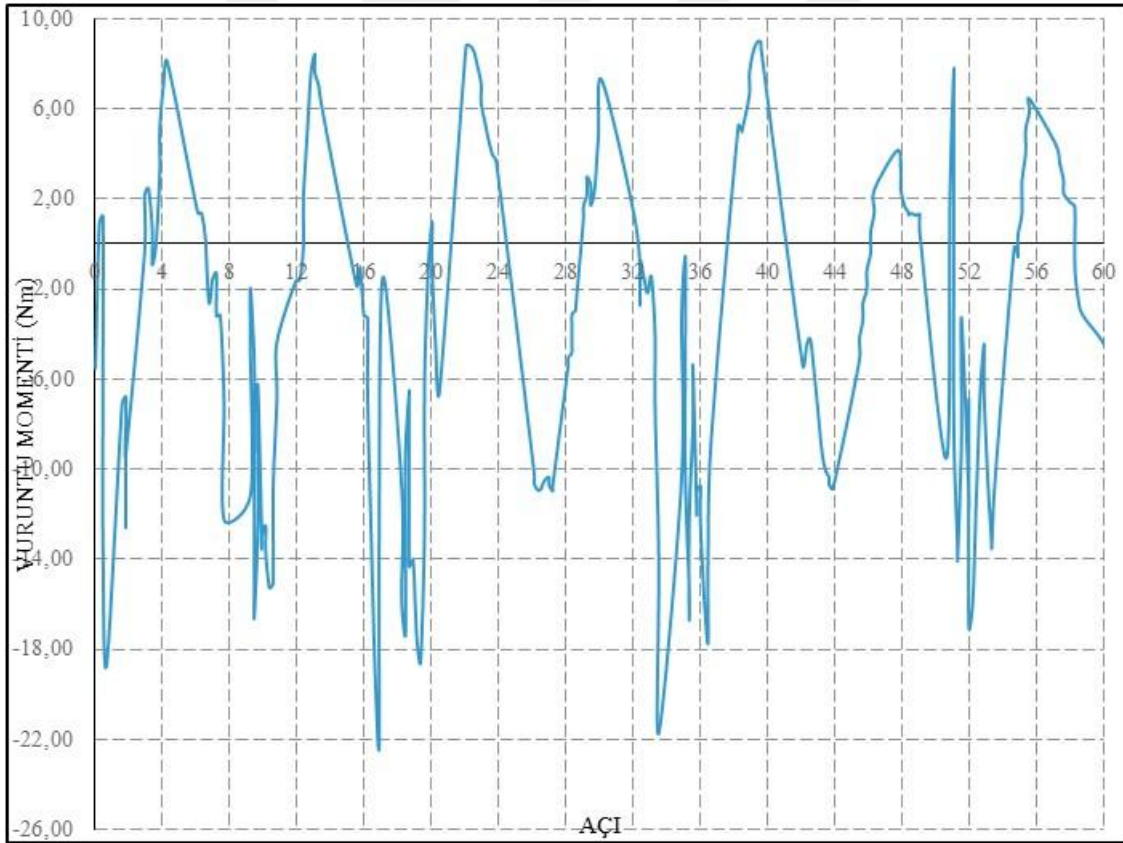
Şekil 6.15 : 3 Faz hat gerilimi ( $28^0$  yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.16' de verilmektedir. Şekil 6.16' e incelendiğinde %9,0 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.16 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd<sub>v</sub>) değerleri (28<sup>0</sup> yüksüz).

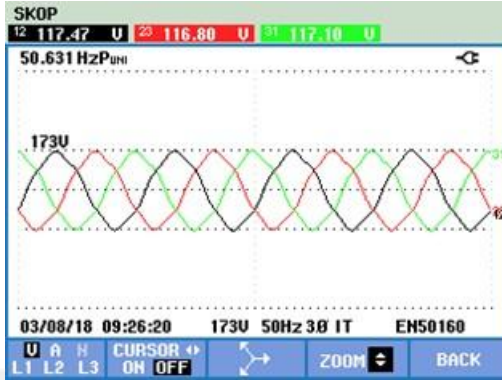
28 derece için vuru mu momenti değeri şekil 6.17’de verilmiştir. Bu şekil 6.17’e bakıldığında momentin (-22,3020) - (8,9460) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 31,248 Nm dir.



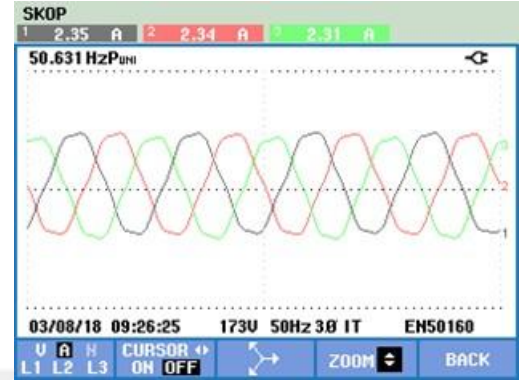
Şekil 6.17 : Vuru mu momenti (28<sup>0</sup>).

### 6.3.2 1. Kademe alinan sonuçlar

Birinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.18.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=117,47$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,35$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



(a)



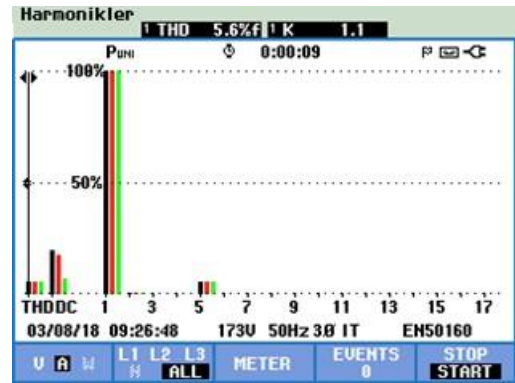
(b)

Şekil 6.18 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (28<sup>0</sup> 1. kademe).

Şekil 6.19’ da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.19.a’ da %5,5 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.19.b’de ise %5,6 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



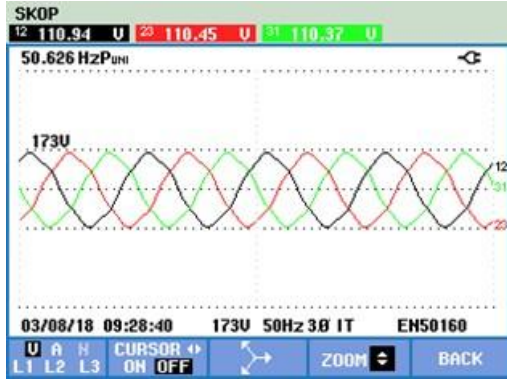
(b)

Şekil 6.19 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>V</sub> b) Thd<sub>A</sub> (28<sup>0</sup> 1. kademe).

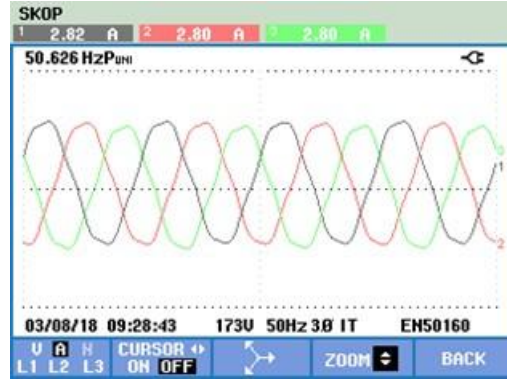
### 6.3.3 2. Kademe alinan sonuçlar

İkinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.20.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=110,94$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,82$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.





(a)



(b)

Şekil 6.20 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (28<sup>0</sup> 2. kademe).

Şekil 6.21’da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.21.a’ da %4,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.21.b’de ise %5,0 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

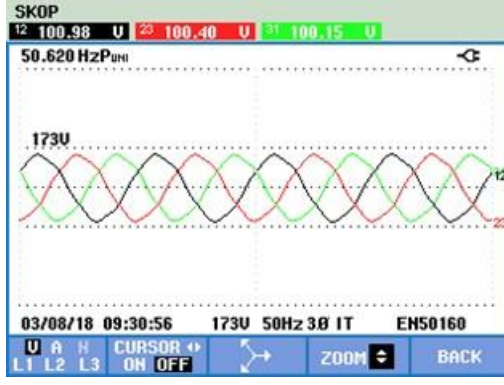


(b)

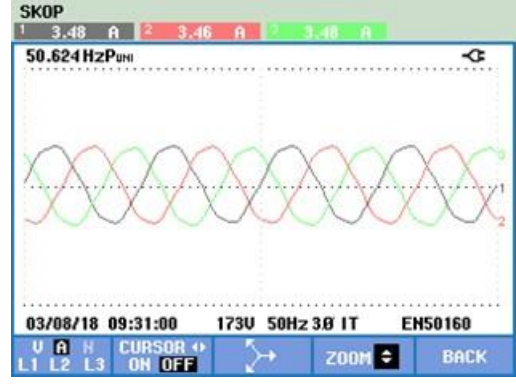
Şekil 6.21 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>V</sub> b) Thd<sub>A</sub> (28<sup>0</sup> 2. kademe).

### 6.3.4.3. Kademede alınan sonuçlar

Üçüncü kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.22.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=100,98$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 3,48$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



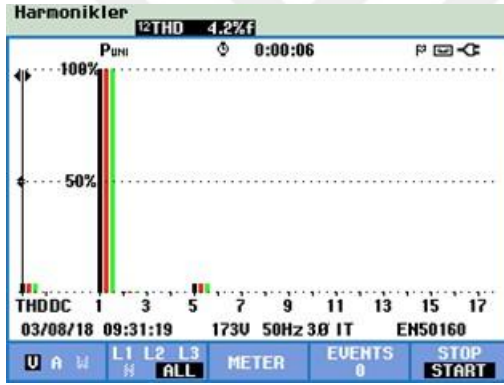
(a)



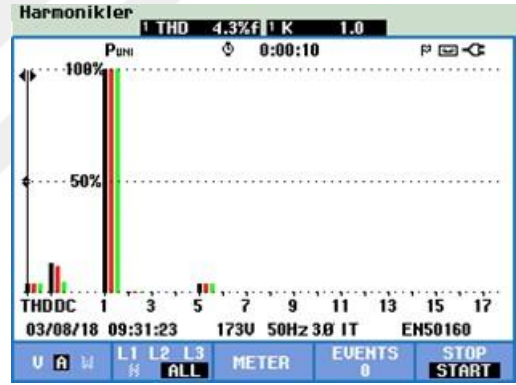
(b)

Şekil 6.22 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (28<sup>0</sup> 3. kademe).

Şekil 6.23' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.23.a' da %4,2 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.23.b'de ise %4,3 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

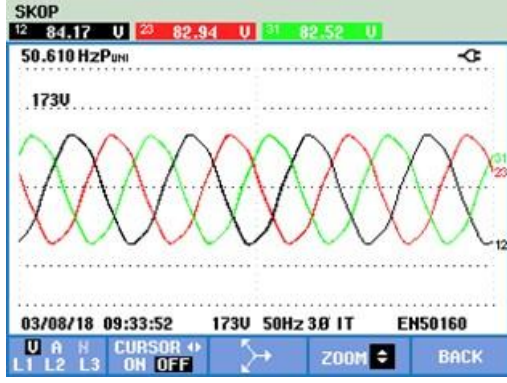


(b)

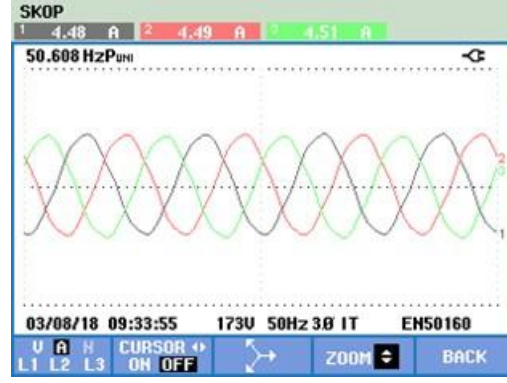
Şekil 6.23 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>V</sub> b) Thd<sub>A</sub> (28<sup>0</sup> 3. kademe).

#### 6.3.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Dördüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.23 a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=84,17$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,48$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



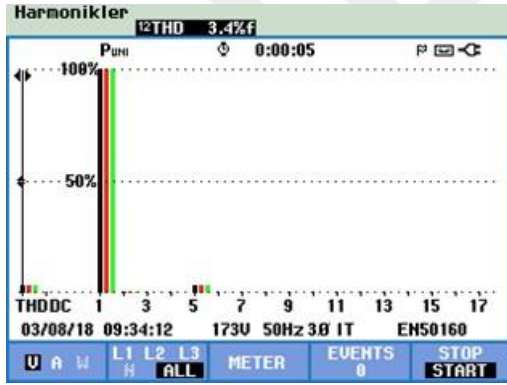
(a)



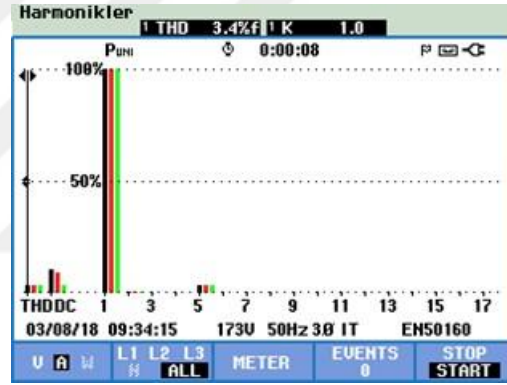
(b)

Şekil 6.24 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (28<sup>0</sup> 4. kademe).

Şekil 6.25' de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.25.a' da %3,4 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.25.b'de ise %3,4 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



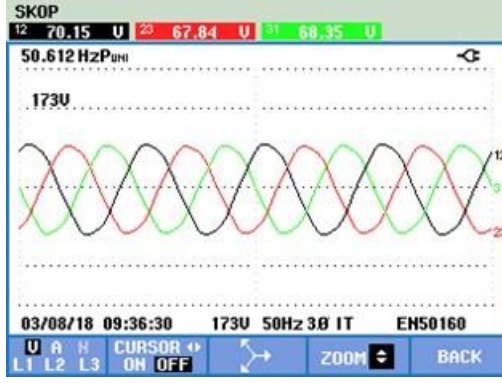
(b)

Şekil 6.25 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (28<sup>0</sup> 4. kademe).

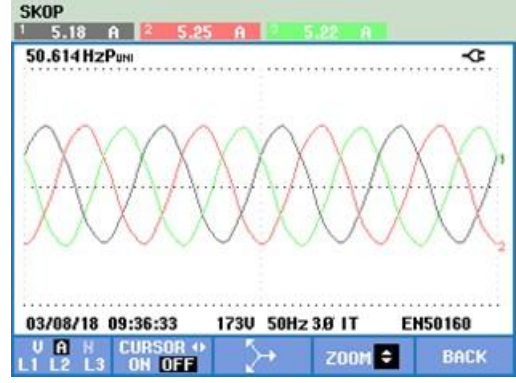
### 6.3.6 5. Kademe Alınan Sonuçlar

Beşinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.26.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=70,15$  Volt,  $I_{\text{hat}}=5,18$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.





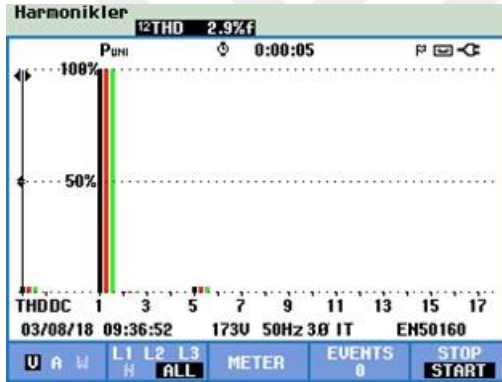
(a)



(b)

Şekil 6.26 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (28<sup>0</sup> 5. kademe).

Şekil 6.27' de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.27.a' da %2,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.27.b'de ise %3,0 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)



(b)

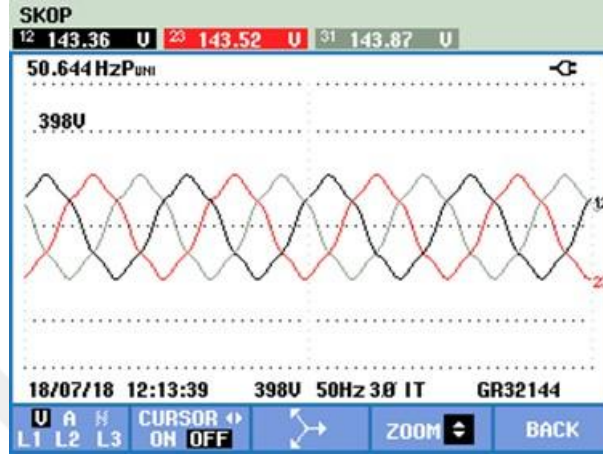
Şekil 6.27 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>V</sub> b) Thd<sub>A</sub> (28<sup>0</sup> 5. kademe).

#### 6.4 2'li Grup 30 derece mıknatıs açısı

Kutuplar arası grüplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 30 derecedir. Grüplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

### 6.4.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

2'lı grup 30 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.28' de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=143,2$  V ve  $f=50,6$  Hz' dir.



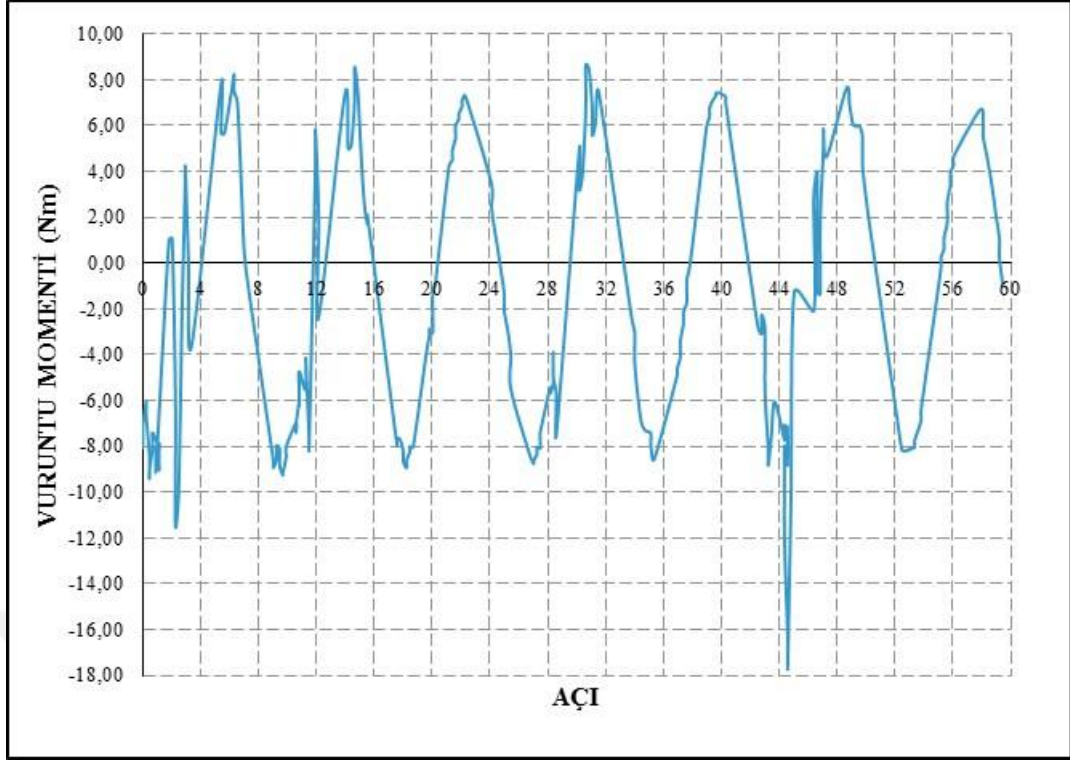
Şekil 6.28 : 3 Faz hat gerilimi (30<sup>0</sup> yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.29' de verilmektedir. Şekil 6.29' e incelendiğinde %7,5 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.29 : 3 Faz gerilim harmonik (Thdv) değerleri (30<sup>0</sup> yüksüz).

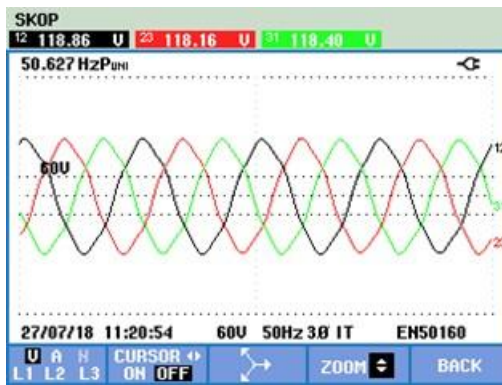
30derece için vuru mu momenti değeri şekil 6.30' de verilmiştir. Bu şekil 6.30'e bakıldığında momentin (-9,265) - (8,421) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 17,686 Nm dir.



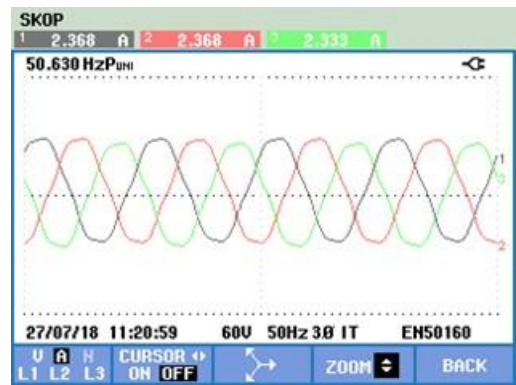
Şekil 6.30 : Vuruntu momenti ( $30^0$ ).

#### 6.4.2 1. Kademede alınan sonuçlar

Birinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.31.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=118,86$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,368$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



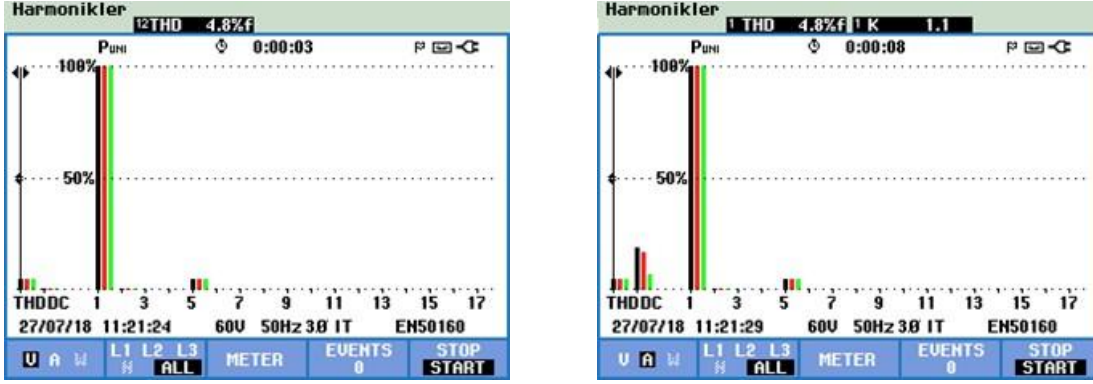
(a)



(b)

Şekil 6.31 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$  1. kademe).

Şekil 6.32’ da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.32.a’ da %4,8 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.32.b’de ise %4,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



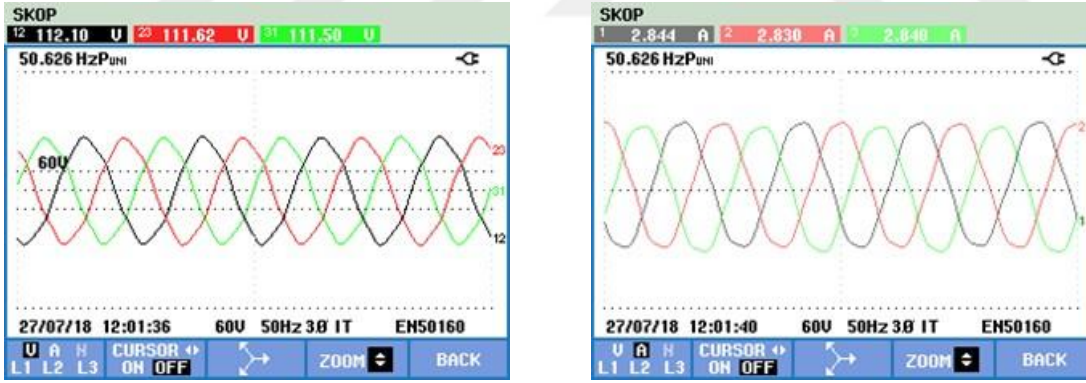
(a)

(b)

Şekil 6.32 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thdv b) Thd<sub>A</sub> (30<sup>0</sup> 1. kademe).

#### 6.4.3 2. Kademe alınan sonuçlar

İkinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.33.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=112,10$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,844$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.

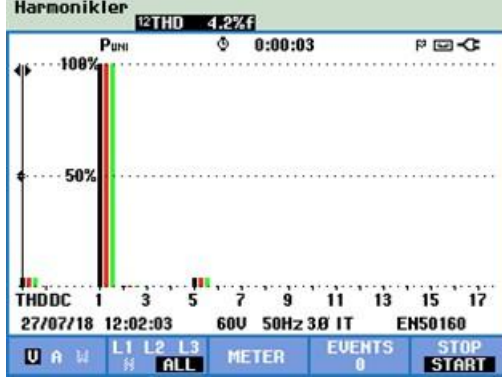


(a)

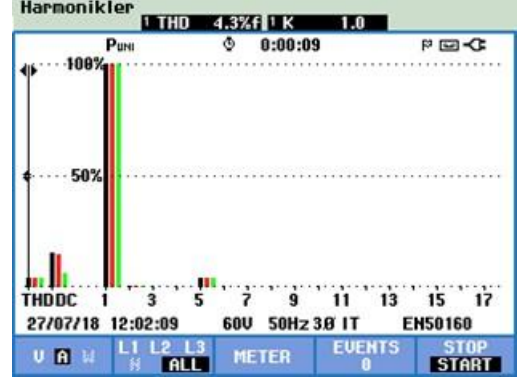
(b)

Şekil 6.33 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30<sup>0</sup> 2. kademe).

Şekil 6.34’ da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.34.a’ da %4,2 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.34.b’de ise %4,3 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

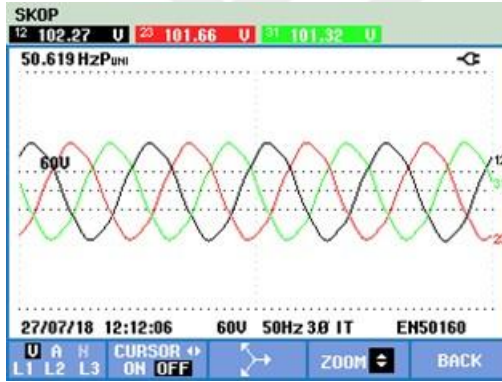


(b)

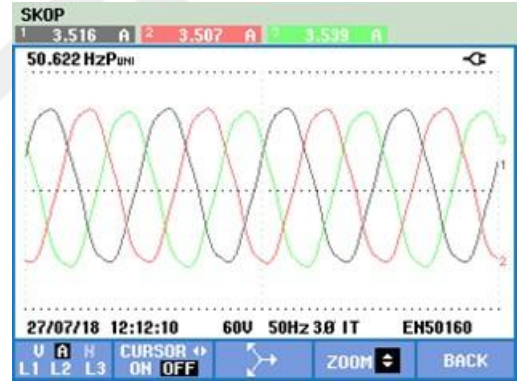
Şekil 6.34 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $30^0$  2. kademe).

### 6.4.4 3. Kademe alınan sonuçlar

Üçüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.35.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=102,27$  Volt,  $I_{hat}= 3,516$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)

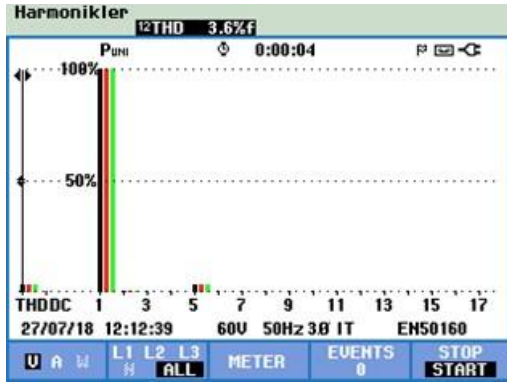


(b)

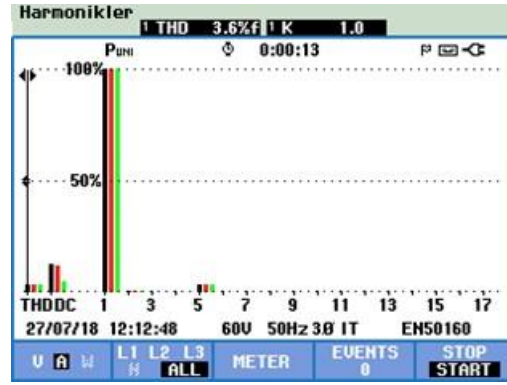
Şekil 6.35 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$  3. kademe).

Şekil 6.36' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.36.a' da %3,6 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.36.b'de ise %3,6 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.





(a)

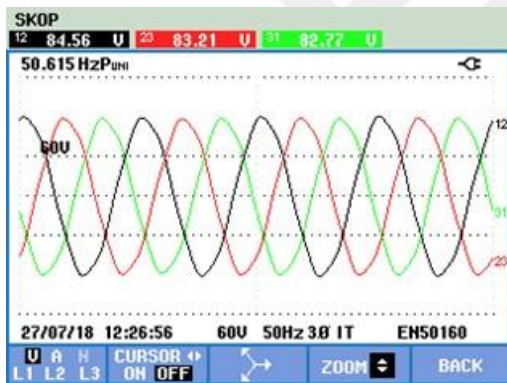


(b)

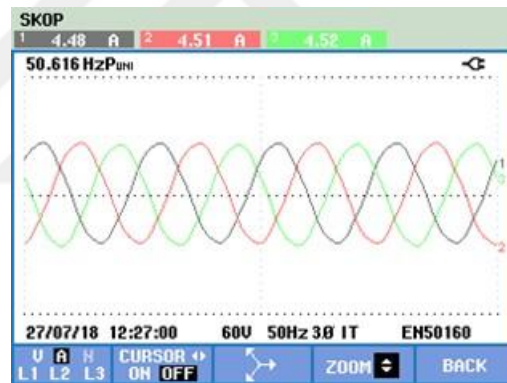
Şekil 6.36 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (30<sup>0</sup> 3. kademe).

#### 6.4.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Birinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.37.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=84,56$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,48$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



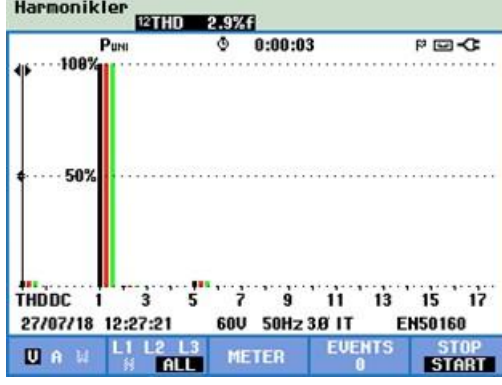
(a)



(b)

Şekil 6.37 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30<sup>0</sup> 4. kademe) .

Şekil 6.38' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.38.a' da %2,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.38.b'de ise %2,9 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

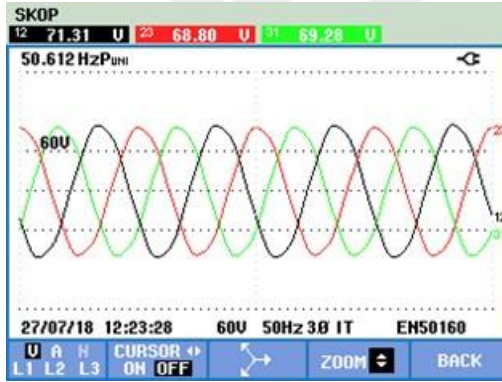


(b)

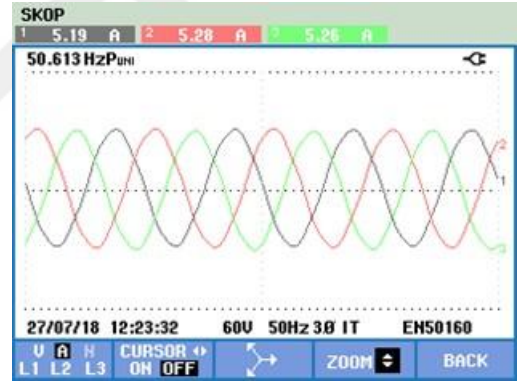
Şekil 6.38 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  (30<sup>0</sup> 4. kademe).

#### 6.4.6 5. Kademe alinan sonuçlar

Birinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.39.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=71,31$  Volt,  $I_{hat}=5,19$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



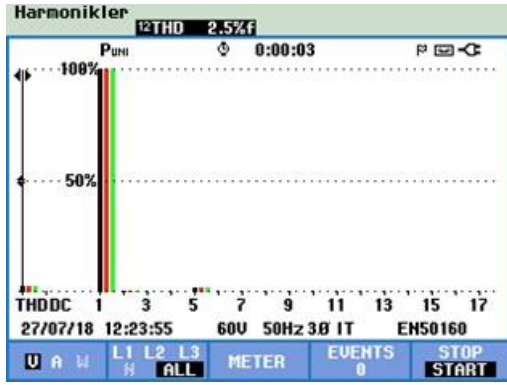
(a)



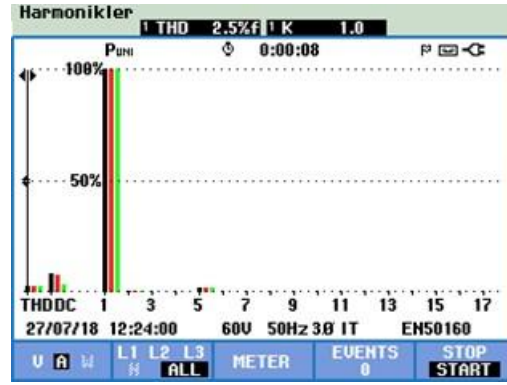
(b)

Şekil 6.39 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30<sup>0</sup> 5. kademe).

Şekil 6.40' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz için şekil 6.40.a' da %2,5 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.40.b'de ise %2,5 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)



(b)

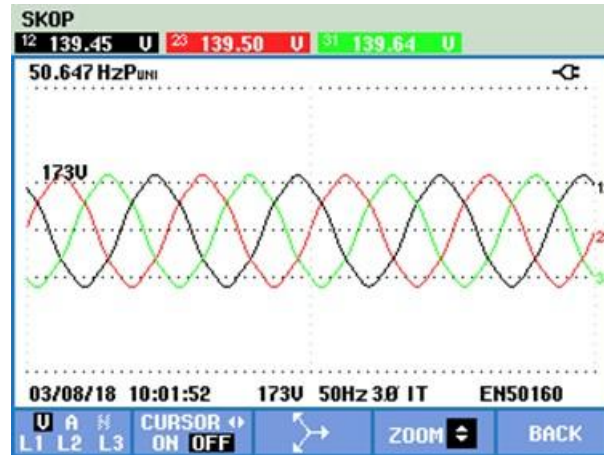
Şekil 6.40 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (30<sup>0</sup> 5. kademe).

## 6.5 2'li Grup 32 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 32 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

### 6.5.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

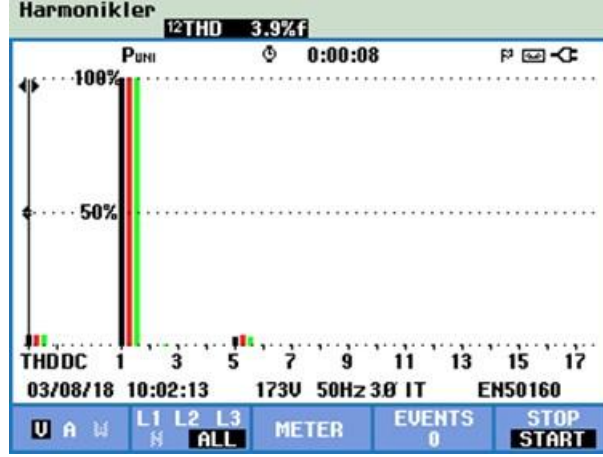
2'li grup 32 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.41'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=139,45$  V ve  $f=50,6$  Hz' dir.



Şekil 6.41 : 3 Faz hat gerilimi (30<sup>0</sup> yüksüz).

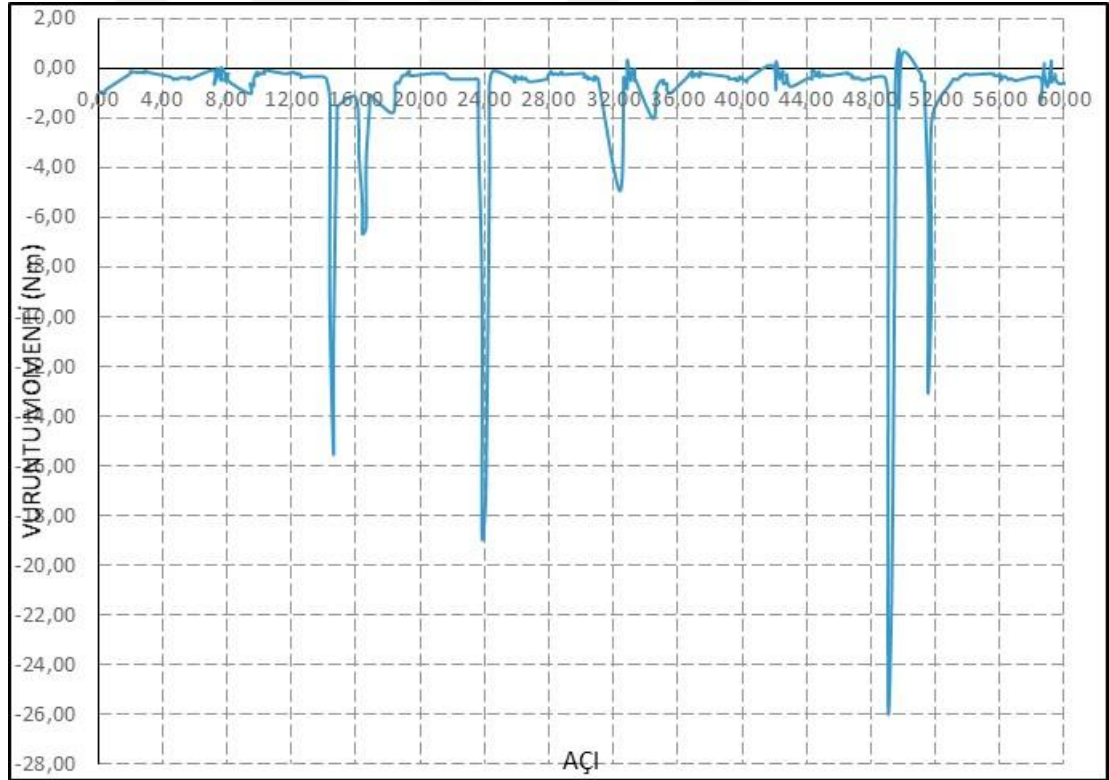
3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.42' de verilmektedir. Şekil 6.42' e incelendiğinde %3,9 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.





Şekil 6.42 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd<sub>v</sub>) değerleri ( 32<sup>0</sup> yüksüz).

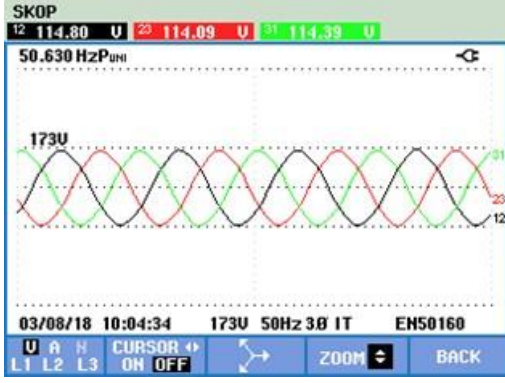
32 derece için vuru mu momenti değeri şekil 6.43' de verilmiştir. Bu şekil 6.43'e bakıldığında momentin (-25,8120) - (0,7800) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 26,5920 Nm dir.



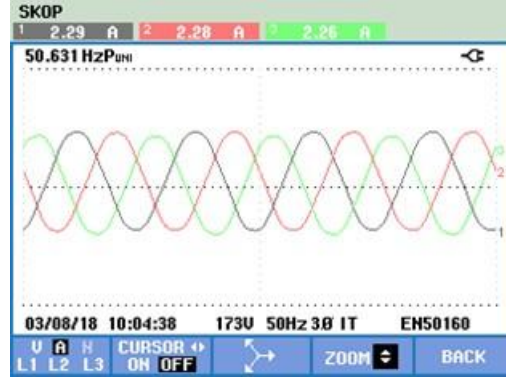
Şekil 6.43 : Vuru mu momenti (32<sup>0</sup>).

### 6.5.2 1. Kademede alınan sonuçlar

Birinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.44.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=114,80$  Volt,  $I_{hat}= 2,29$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)



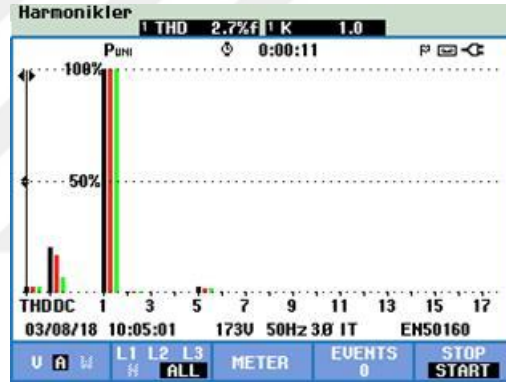
(b)

Şekil 6.44 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 32<sup>0</sup> 1. kademe).

Şekil 6.45' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.6.a' da %2,6 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.45.b'de ise %2,7 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

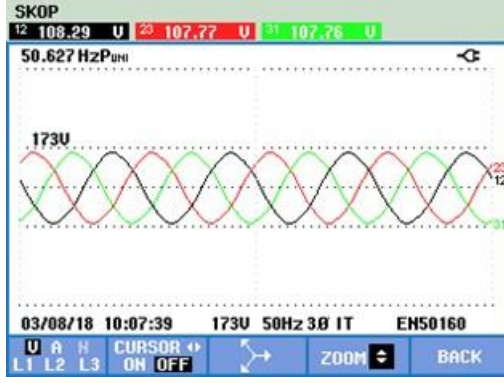


(b)

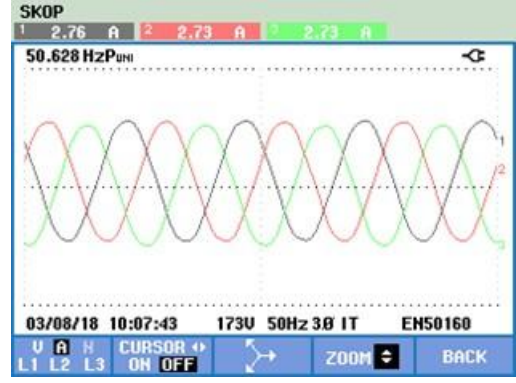
Şekil 6.45 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 32<sup>0</sup> 1. kademe).

### 6.5.3 2. Kademe alınan sonuçlar

İkinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.46.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=108,29$  Volt,  $I_{\text{hat}}=2,76$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



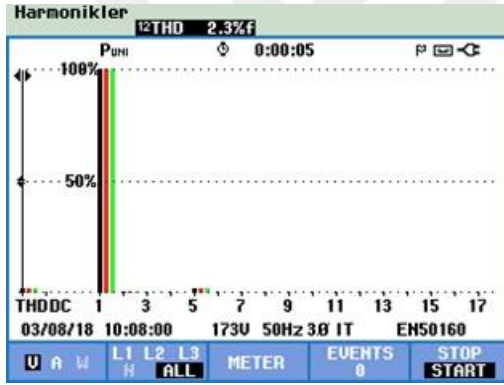
(a)



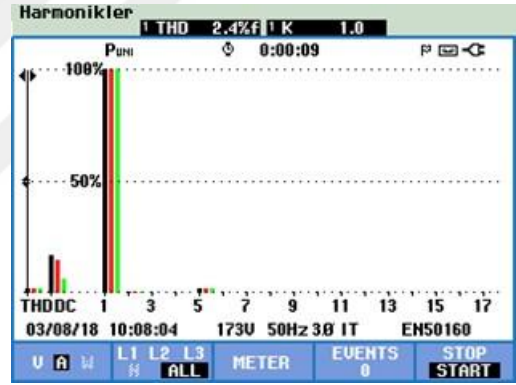
(b)

**Şekil 6.46 :** 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 32<sup>0</sup> 2. kademe).

Şekil 6.47' de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.47.a' da %2,3 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.47.b'de ise %2,4 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

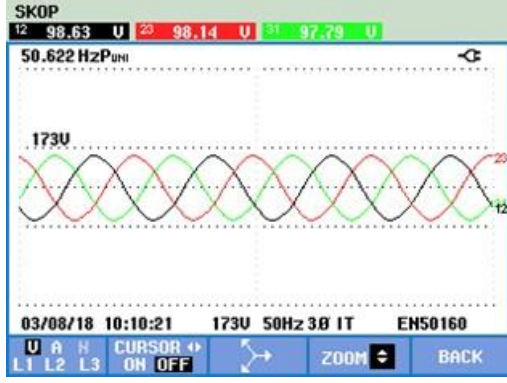


(b)

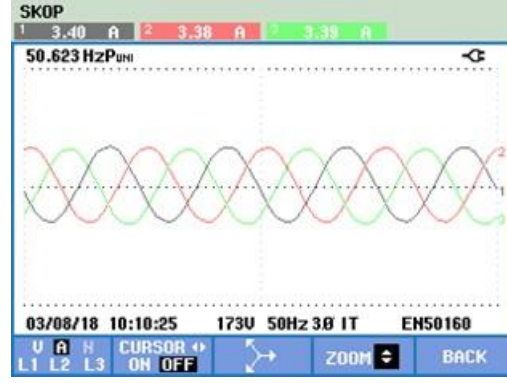
**Şekil 6.47 :** 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 32<sup>0</sup> 2. kademe).

### 6.5.4 3. Kademe alınan sonuçlar

Üçüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.48.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=98,63$  Volt,  $I_{\text{hat}}=3,40$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)



(b)

Şekil 6.48 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 32<sup>0</sup> 3. kademe).

Şekil 6.49' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.49.a' da %1,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.49.b'de ise %2,0 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

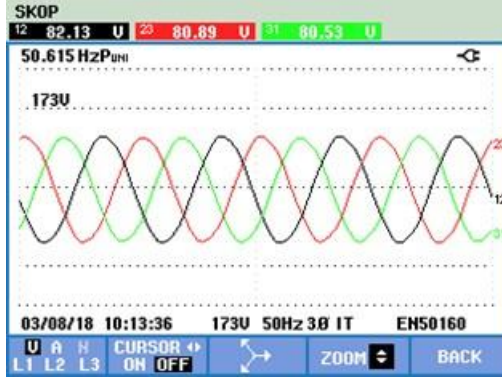


(b)

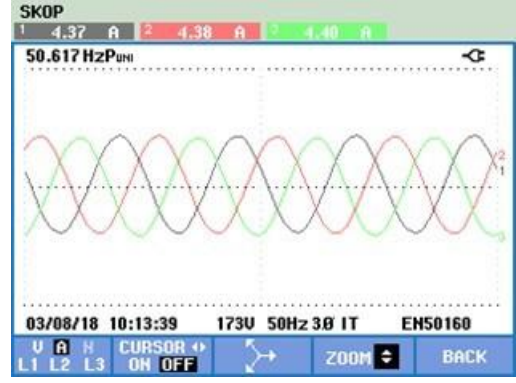
Şekil 6.49 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 32<sup>0</sup> 3. kademe).

#### 6.5.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Dördüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.50.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=82,13$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,37$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



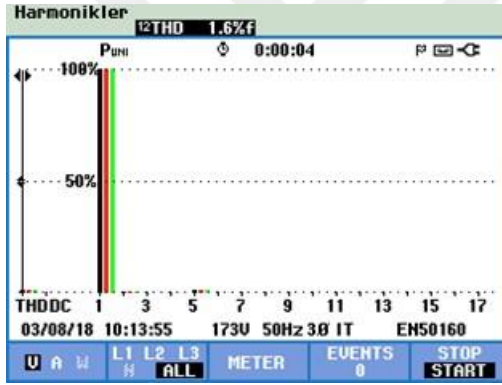
(a)



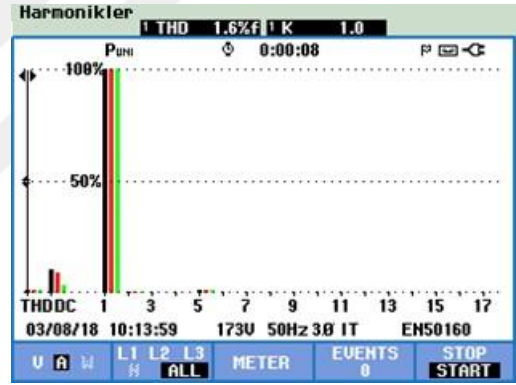
(b)

Şekil 6.50 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 32<sup>0</sup> 4. kademe) .

Şekil 6.51' de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.51.a' da %1,6 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.51.b'de ise %1,6 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



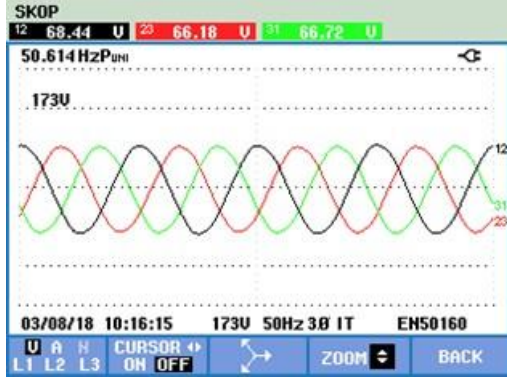
(b)

Şekil 6.51 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 32<sup>0</sup> 4. kademe).

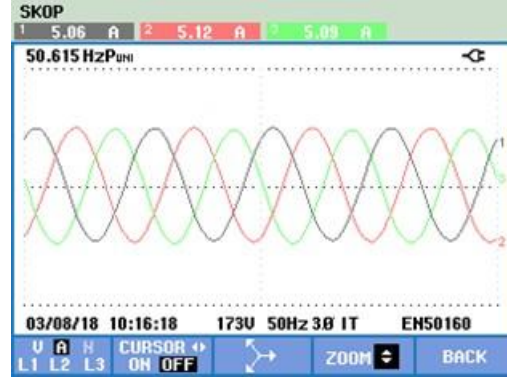
### 6.5.6 5. Kademede alınan sonuçlar.

Birinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.52.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=68,44$  Volt,  $I_{\text{hat}}=5,06$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.





(a)



(b)

Şekil 6.52 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 32<sup>0</sup> 5. kademe).

Şekil 6.53' de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.53.a' da %1,4 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.53.b'de ise %1,4 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

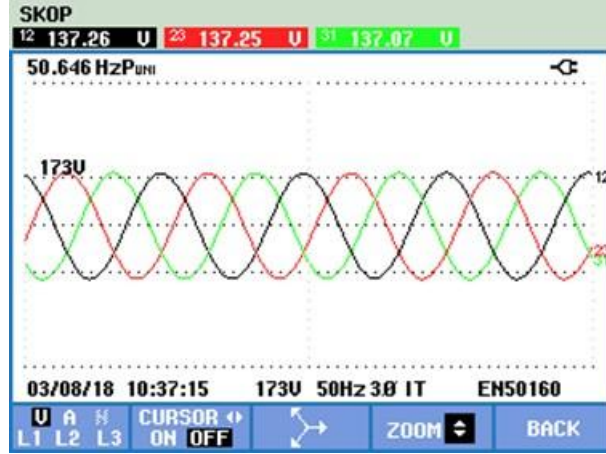
Şekil 6.53 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 32<sup>0</sup> 5. kademe).

## 6.6 2'li Grup 34 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 34 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

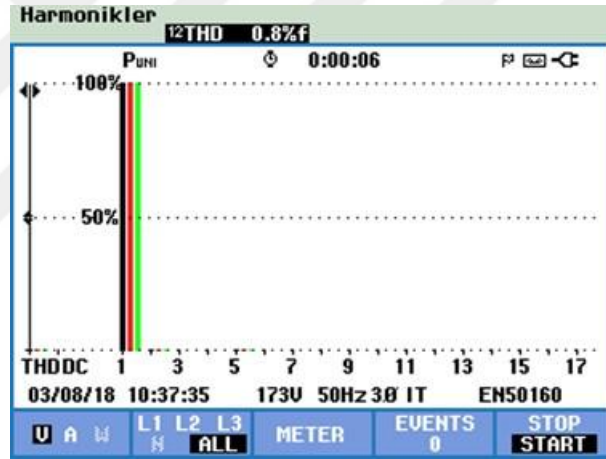
### 6.6.1 Yüksüz durumda alına sonuçlar

2'li grup 34 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.54' de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=137,26$  V ve  $f=50,6$  Hz' dir.



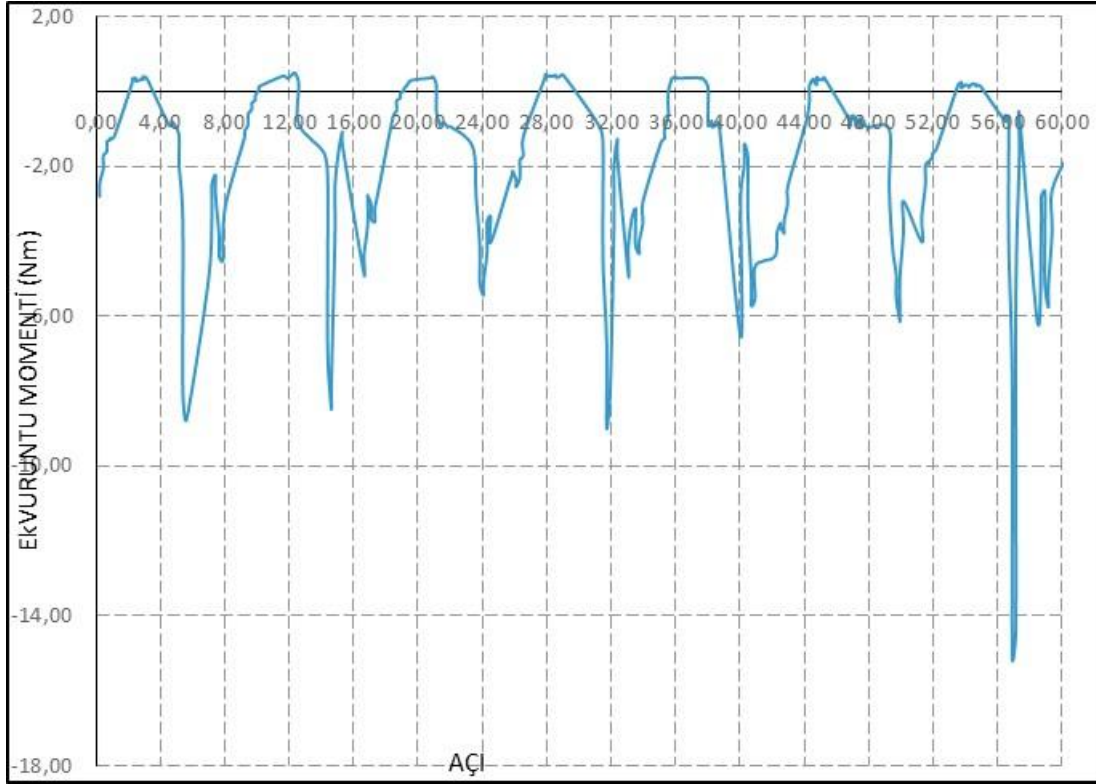
Şekil 6.54 : 3 Faz hat gerilimi ( 34<sup>0</sup> yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.55’ de verilmektedir. Şekil 6.55’ e incelendiğinde %0,8 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir..



Şekil 6.55 : 3 Faz gerilim harmonik (Thdv) değerleri ( 34<sup>0</sup> yüksüz).

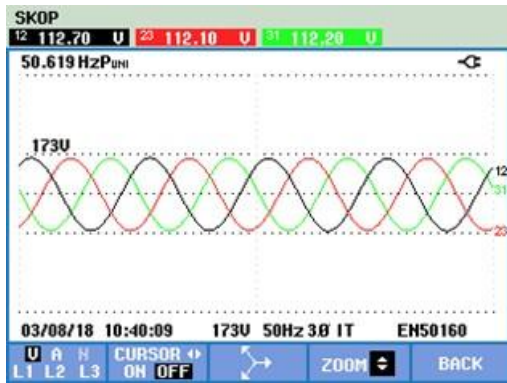
34 derece için vuru mu momenti değeri şekil 6.56’ de verilmiştir. Bu şekil 6.56’e bakıldığında momentin (-15,1230) - (0,4930) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 15,246 Nm dir.



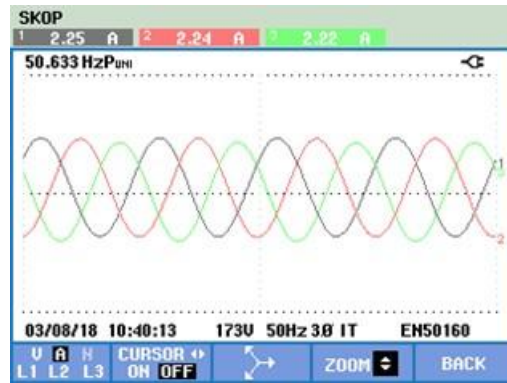
Şekil 6.56 : Vuruntu momenti ( $34^0$ ).

### 6.6.2 1. Kademe alınan sonuçlar

Birinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.57.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=112,70$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,25$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)

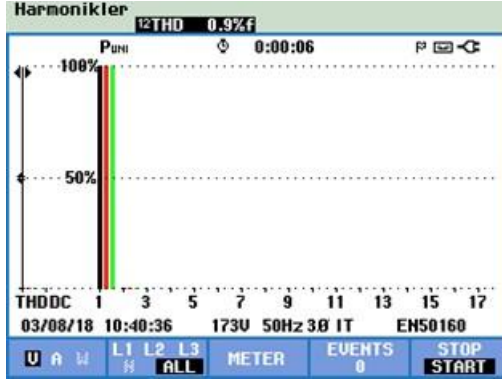


(b)

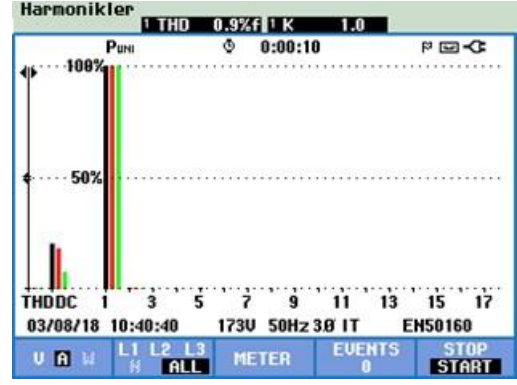
Şekil 6.57 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$  1. kademe).

Şekil 6.58' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.58.a' da %0,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.58.b'de ise %0,9 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.





(a)

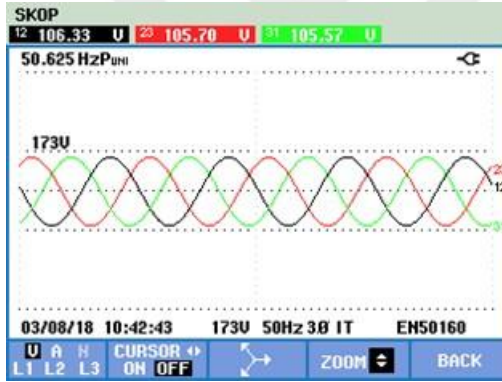


(b)

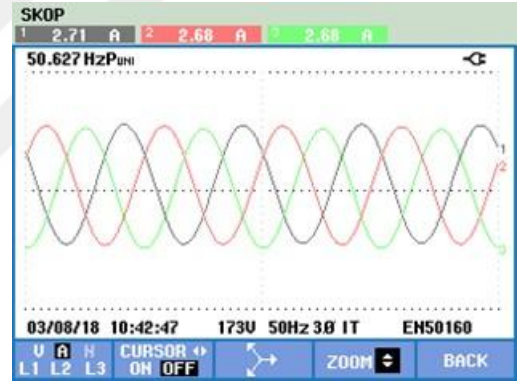
Şekil 6.58 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 34<sup>0</sup> 1. kademe).

### 6.6.3 2. Kademede alınan sonuçlar

İkinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.59.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=106,33$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,71$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



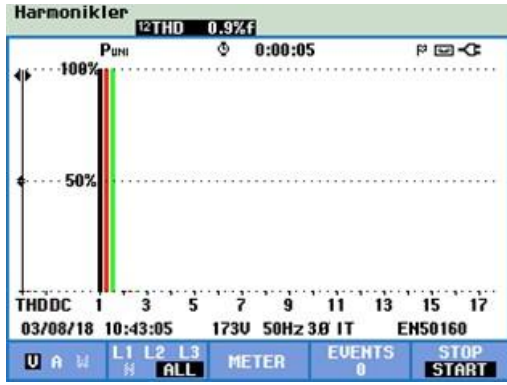
(a)



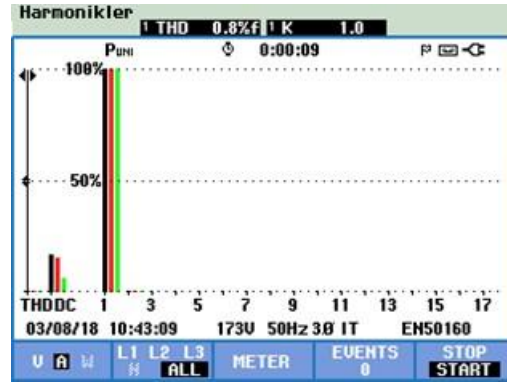
(b)

Şekil 6.59 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 34<sup>0</sup> 2. kademe).

Şekil 6.60’ da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.60.a’ da %0,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.60.b’de ise %0,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

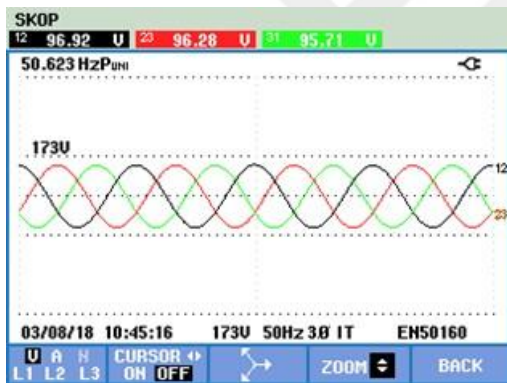


(b)

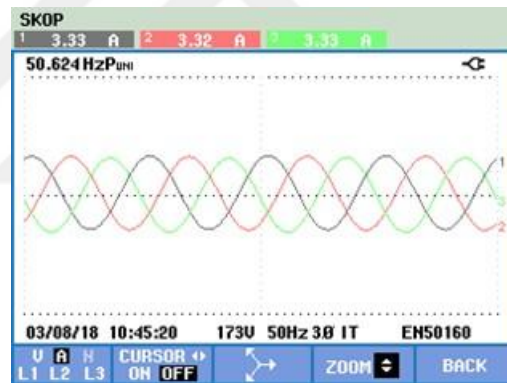
Şekil 6.60 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 34<sup>0</sup> 2. kademe).

### 6.6.4 3. Kademe alınan sonuçlar

Birinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.61.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=96,92$  Volt,  $I_{\text{hat}}=3,33$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



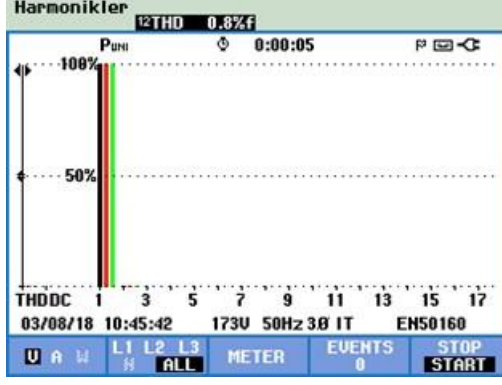
(a)



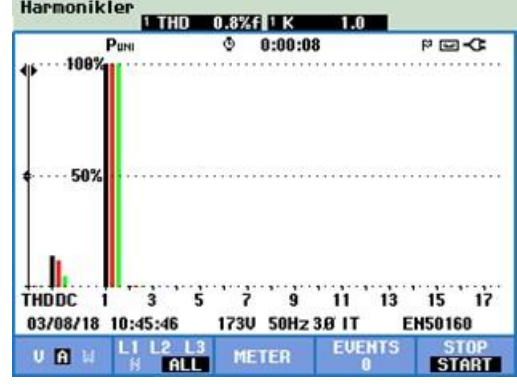
(b)

Şekil 6.61 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 34<sup>0</sup> 3. kademe).

Şekil 6.6' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.62.a' da %0,8 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.62.b'de ise %0,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

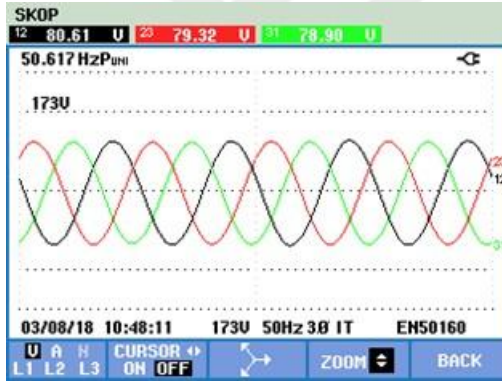


(b)

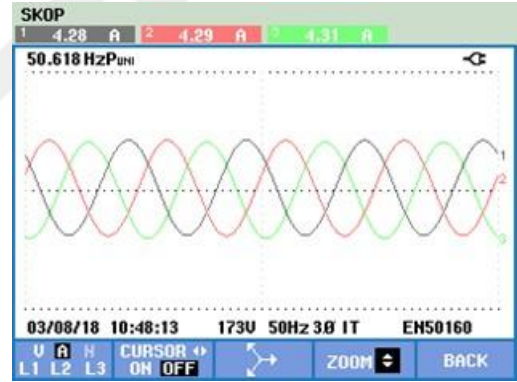
Şekil 6.62 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( 34<sup>0</sup> 3. kademe).

#### 6.6.5 4. Kademe alinan somuçlar

Birinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.63.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=80,61$  Volt,  $I_{hat}=4,28$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



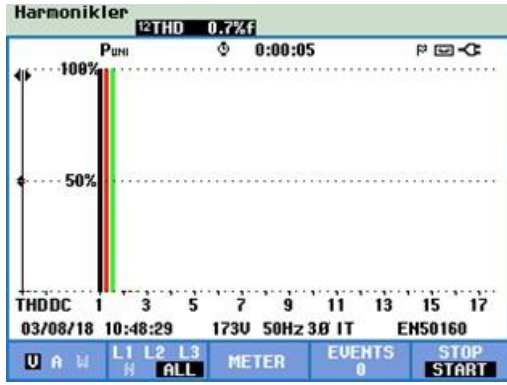
(a)



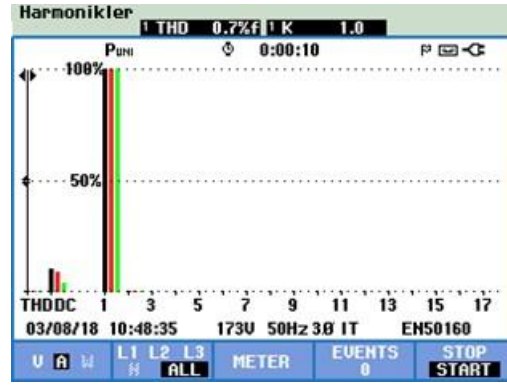
(b)

Şekil 6.63 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 34<sup>0</sup> 4. kademe).

Şekil 6.64' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.64.a' da %0,7 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.64.b'de ise %0,7 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

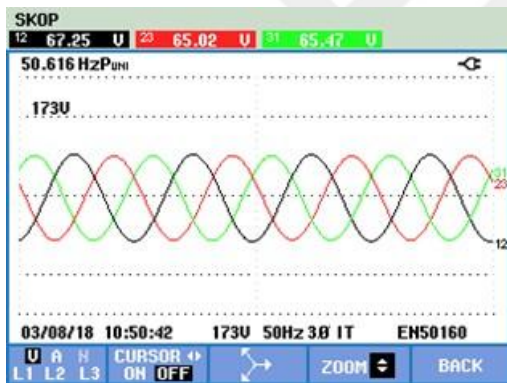


(b)

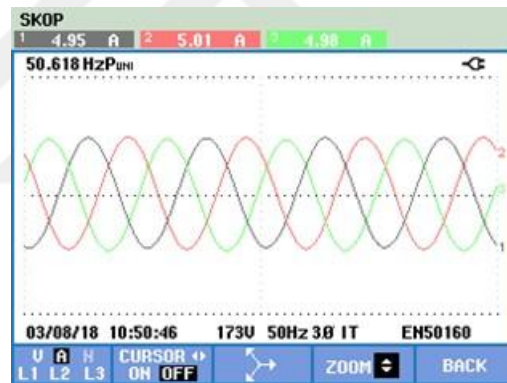
Şekil 6.64 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( 34<sup>0</sup> 4. kademe).

### 6.6.6 5. Kademe alınan sonuçları

Birinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.65.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=67,25$  Volt,  $I_{hat}=4,95$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)



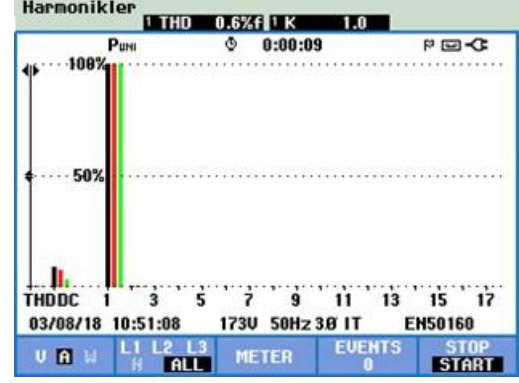
(b)

Şekil 6.65 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 34<sup>0</sup> 5. kademe).

Şekil 6.66' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.66.a' da %0,7 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.66.b'de ise %0,6 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)



(b)

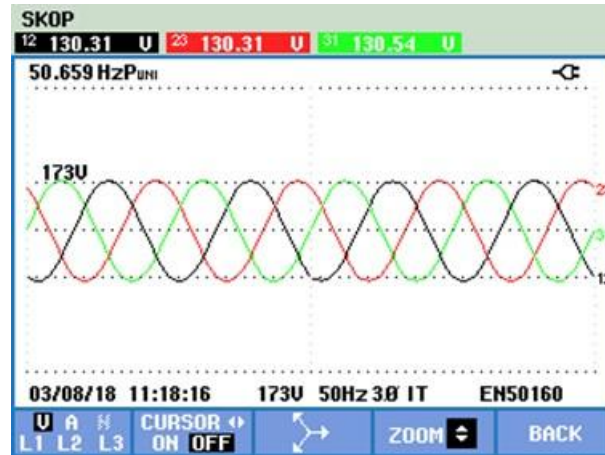
Şekil 6.66 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_v$  b)  $Thd_A$  ( 34<sup>0</sup> 5. kademe).

### 6.7 2'li Grup 36 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 36 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

#### 6.7.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

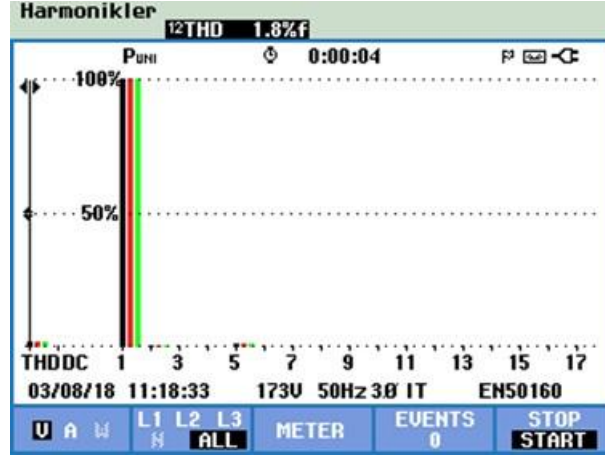
2'li grup 36 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.67'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=130,31$  V ve  $f=50,6$  Hz' dir.



Şekil 6.67 : 3 Faz hat gerilimi ( 36<sup>0</sup> yüksüz).

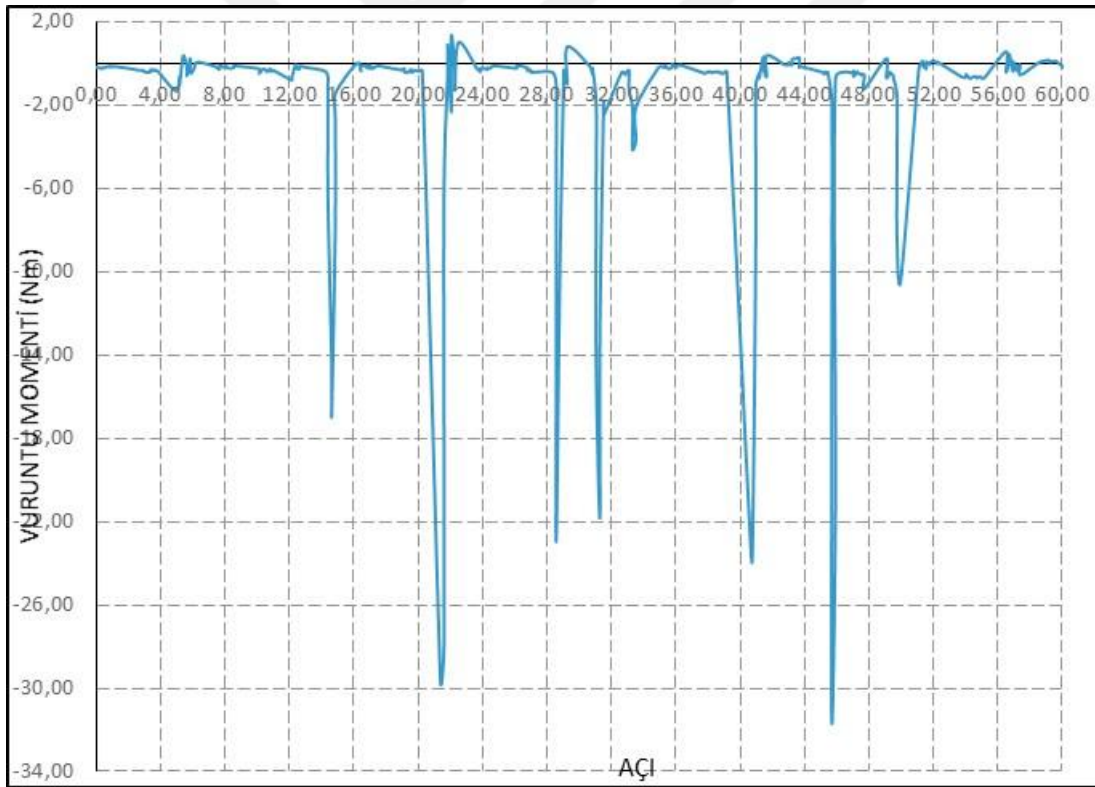
3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için, şekil 6.68'de verilmektedir. Şekil 6.68'e incelendiğinde %1,8 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.





Şekil 6.68 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd<sub>v</sub>) değerleri ( 36<sup>0</sup> yüksüz).

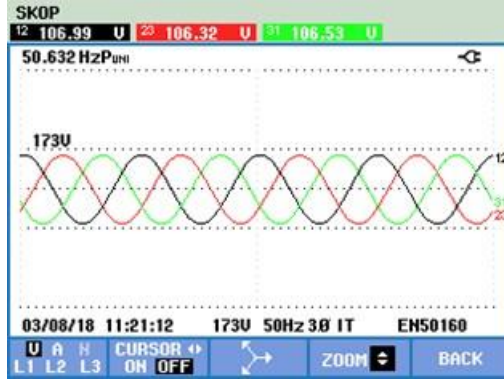
36 derece için vuruğu momenti değeri şekil 6.69'de verilmiştir. Bu şekil 6.69'e bakıldığında momentin (-31,6300) - (1,3210) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 33,9510 Nm dir.



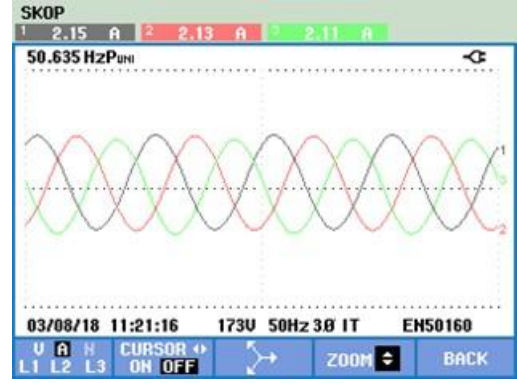
Şekil 6.69 : Vuruğu momenti (36<sup>0</sup>).

### 6.7.2 1. Kademede alınan sonuçlar

Birinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.70.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=106,99$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,15$ A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



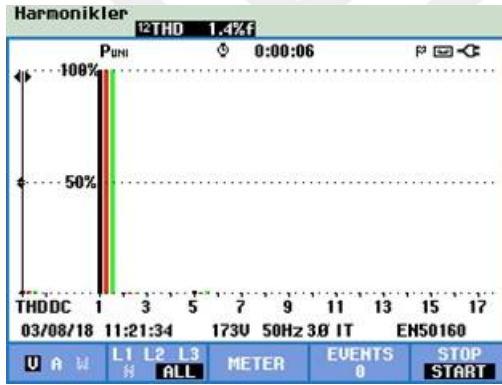
(a)



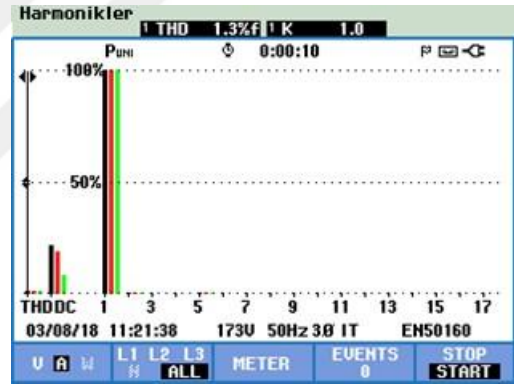
(b)

Şekil 6.70 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 36<sup>0</sup> 1.kademe).

Şekil 6.71' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.71.a' da %1,4 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.71.b'de ise %1,3 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

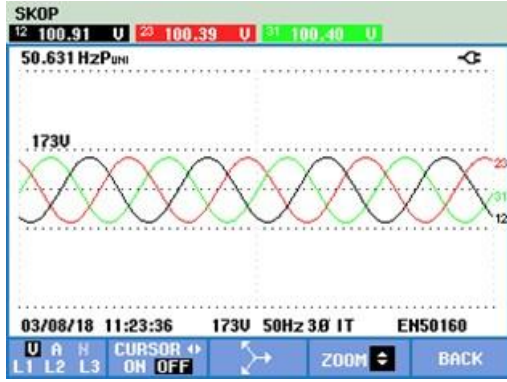


(b)

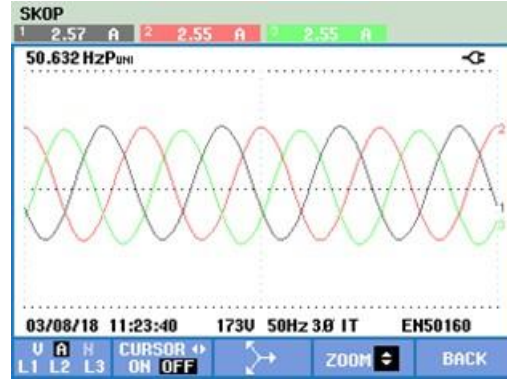
Şekil 6.71 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thdv b) Thd<sub>A</sub> ( 36<sup>0</sup> 1. kademe).

### 6.7.3 2. Kademe alınan sonuçlar

Birinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.72.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=100,91$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,57$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)



(b)

Şekil 6.72 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 36<sup>0</sup> 2. kademe).

Şekil 6.73'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.73.a'da %1,3 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.73.b'de ise %1,2 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



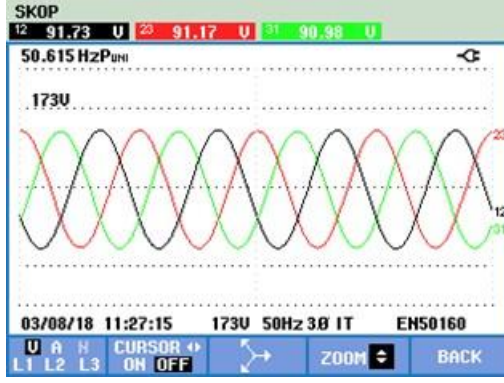
(b)

Şekil 6.73 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 36<sup>0</sup> 2. kademe).

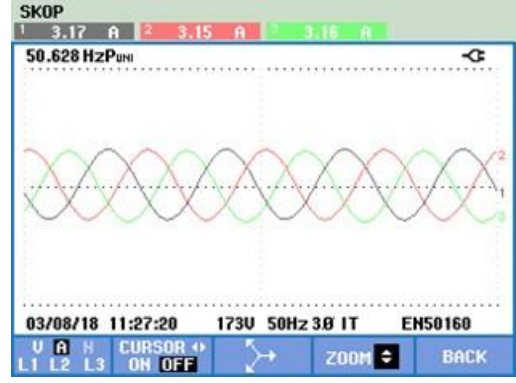
### 6.7.4 3. Kademe alınan sonuçlar

Birinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.74.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=91,73$  Volt,  $I_{hat}=3,17$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.





(a)



(b)

Şekil 6.74 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 36<sup>0</sup> 3. kademe).

Şekil 6.75’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.75.a’da %1,2 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.75.b’de ise %1,0 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

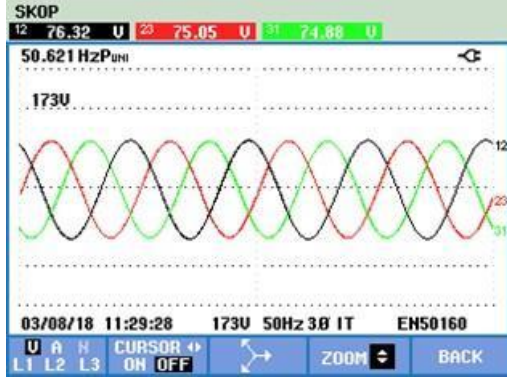


(b)

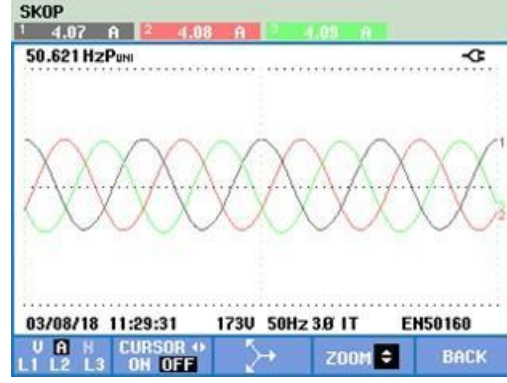
Şekil 6.75 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 36<sup>0</sup> 3. kademe).

#### 6.7.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Dördüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.76.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=76,32$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,07$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



(a)



(b)

Şekil 6.76 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 36<sup>0</sup> 4. kademe).

Şekil 6.77'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.77.a'da %1,0 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.77.b'de ise %0,9 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

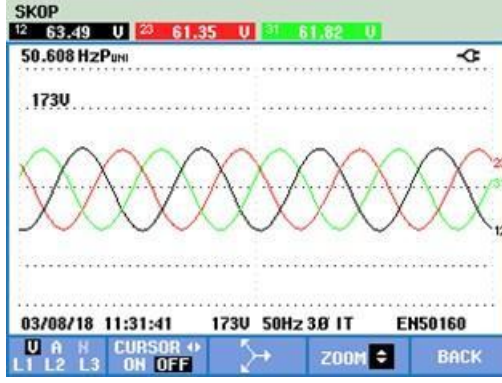


(b)

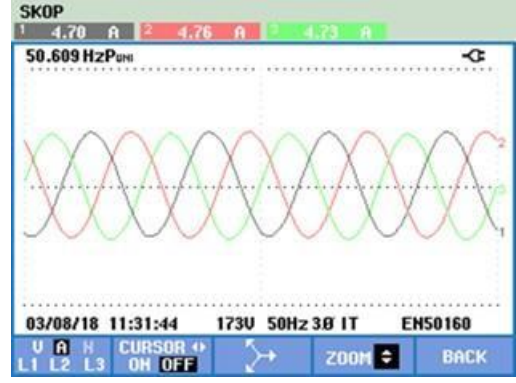
Şekil 6.77 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 36<sup>0</sup> 4. kademe).

#### 6.7.6 5. Kademe alınan sonuçlar

Beşinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.78.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=63,49$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 4,70$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



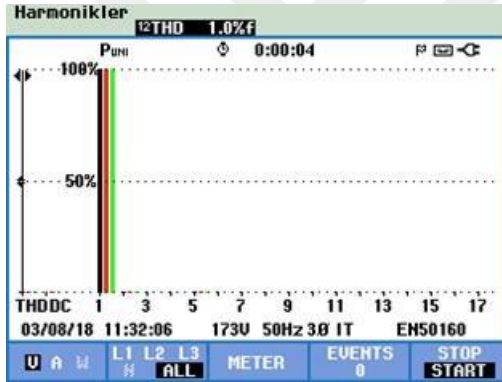
(a)



(b)

Şekil 6.78 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 36<sup>0</sup> 5. kademe).

Şekil 6.79'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.79.a'da %1,0 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.79.b'de ise %0,9 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)



(b)

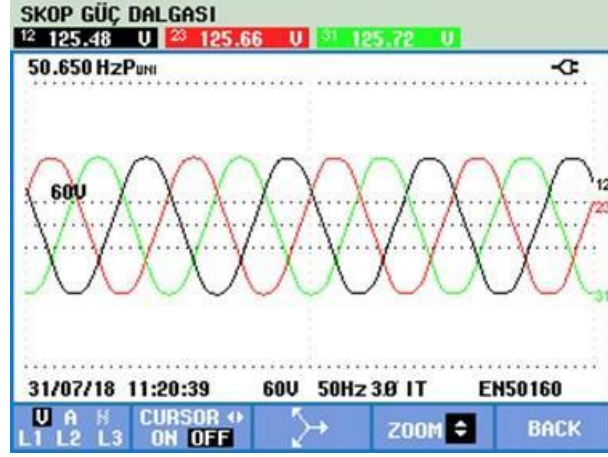
Şekil 6.79 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 36<sup>0</sup> 5. kademe).

## 6.8 2'li Grup 38 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 38 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

### 6.8.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

2'li grup 38 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.80'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=125,48 \text{ V}$  ve  $f=50,6 \text{ Hz}$ ' dir.



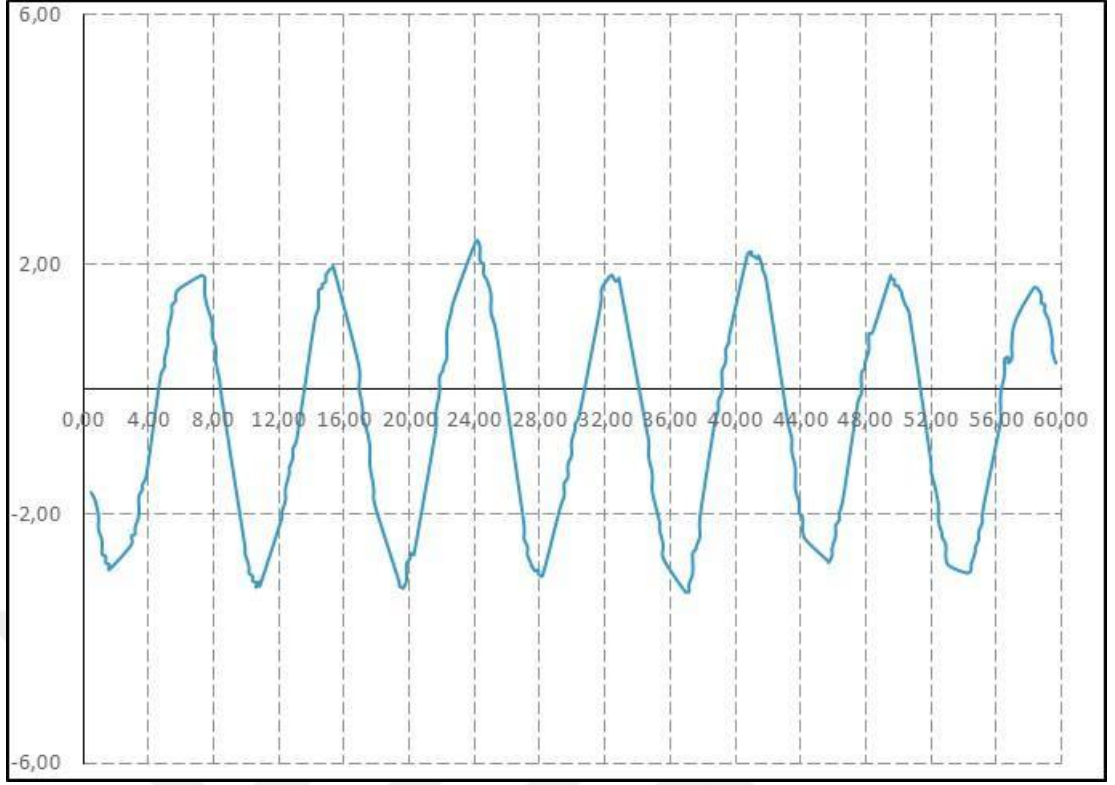
**Şekil 6.80** : 3 Faz hat gerilimi ( 38<sup>0</sup> yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.81’de verilmektedir. Şekil 6.81’e incelendiğinde %2,9 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 6.81** : 3 Faz gerilim harmonik (Thdv) değerleri ( 38<sup>0</sup> yüksüz).

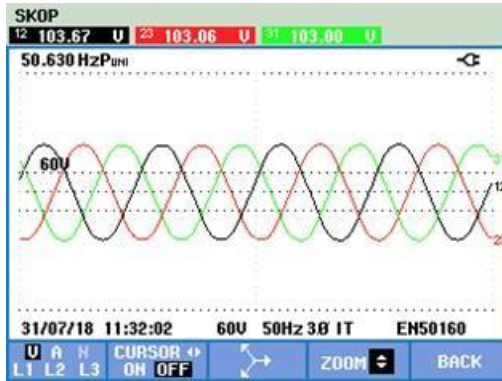
38 derece için vurutu momenti değeri şekil 6.82’de verilmiştir. Bu şekil 6.82’e bakıldığında momentin (-3,2550) - (2,3880) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 5,6430 Nm dir.



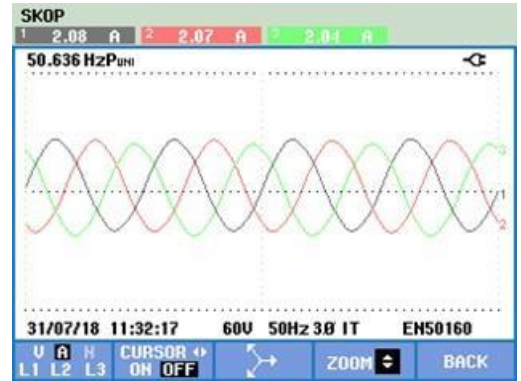
Şekil 6.82 : Vuruntu momenti ( $38^0$ ).

### 6.8.2 1. Kademe alınan sonuçlar

Birinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.83.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=103,67$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,08$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)

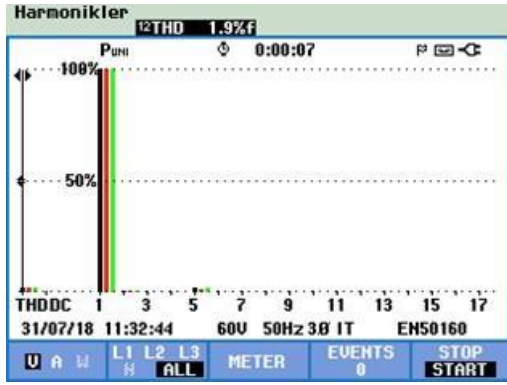


(b)

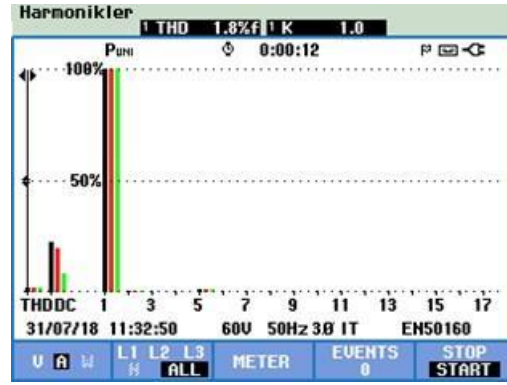
Şekil 6.83 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$  1. kademe).

Şekil 6.84'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.84.a'da %1,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.84.b'de ise %1,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.





(a)

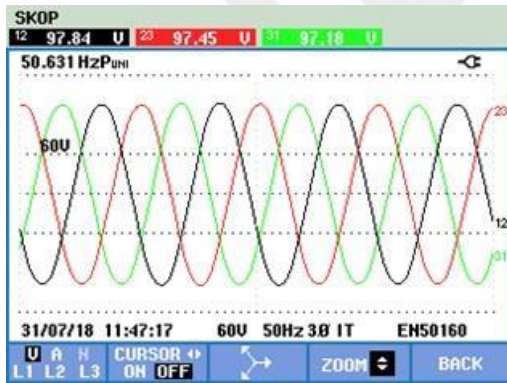


(b)

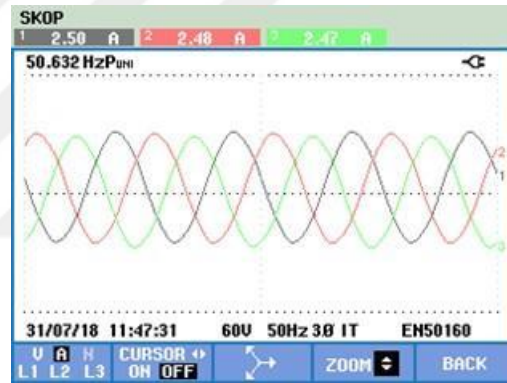
Şekil 6.84 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 38<sup>0</sup> 1. kademe).

### 6.8.3 2. Kademe alınan sonuçlar

İkinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.85.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=97,84$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,50$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



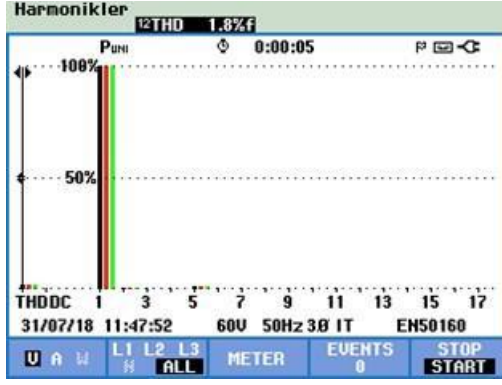
(a)



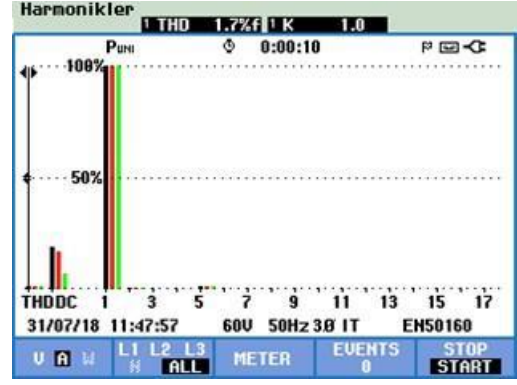
(b)

Şekil 6.85 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 38<sup>0</sup> 2. kademe).

Şekil 6.86’da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.86.a’da %1,8 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.86.b’de ise %1,7 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

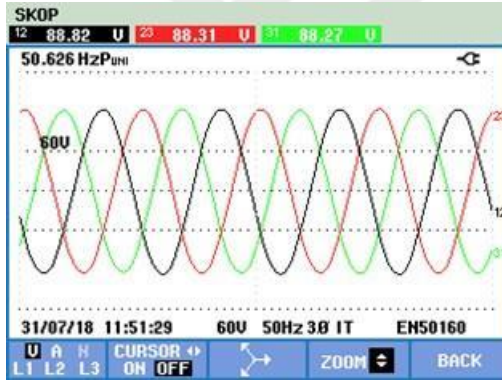


(b)

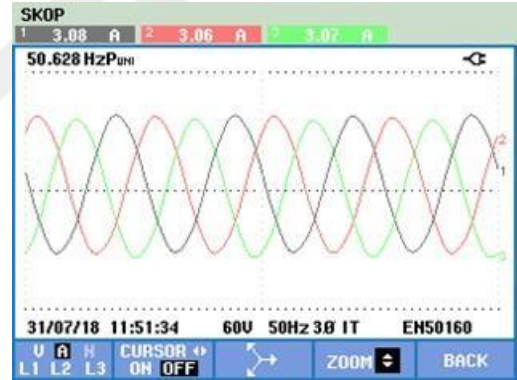
Şekil 6.86 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( 38<sup>0</sup> 2. kademe).

### 6.8.4 3. Kademe alinan sonuçlar

Üçüncü kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.87.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=88,82$  Volt,  $I_{hat}=3,08$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



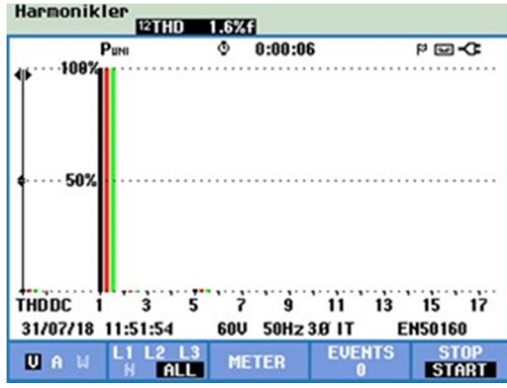
(a)



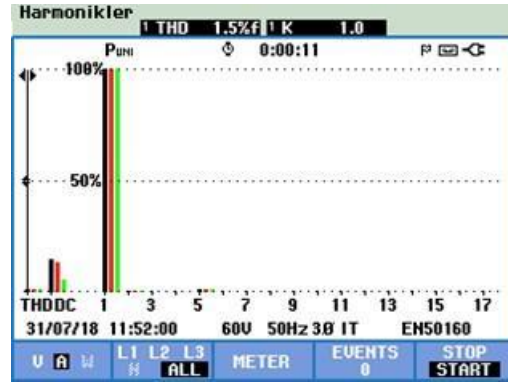
(b)

Şekil 6.87 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 38<sup>0</sup> 3. kademe).

Şekil 6.88'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.88.a'da %1,6 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.88.b'de ise %1,5 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

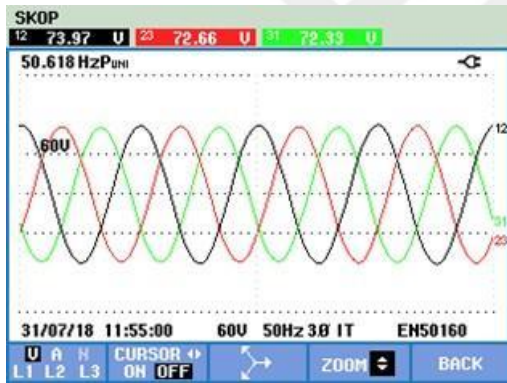


(b)

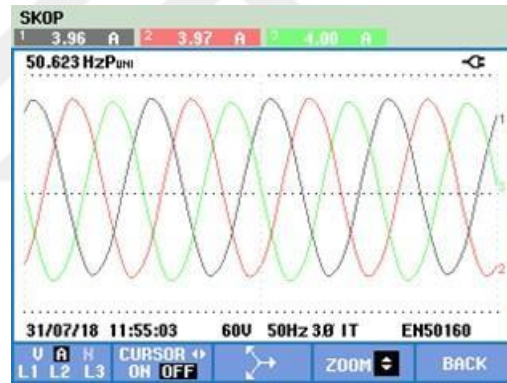
Şekil 6.88 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 38<sup>0</sup> 3. kademe).

#### 6.8.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Dördüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.89.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=73,97$  Volt,  $I_{\text{hat}}=3,96$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)

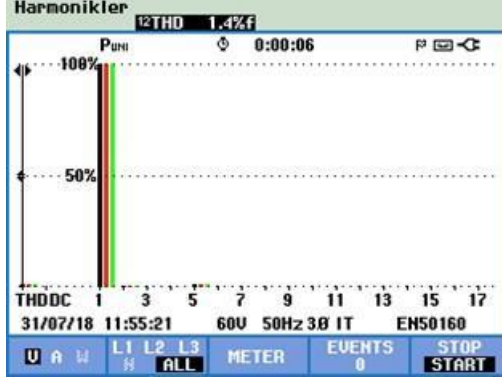


(b)

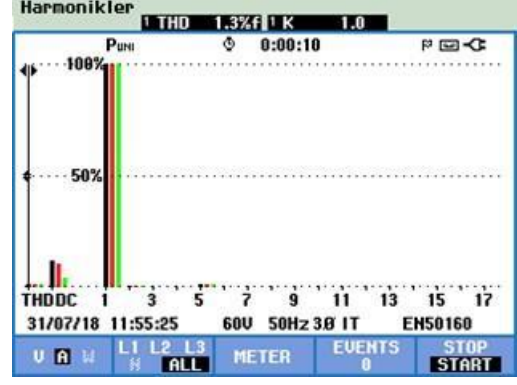
Şekil 6.89 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 38<sup>0</sup> 4. kademe).

Şekil 6.90'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.90.a'da %1,4 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.90.b'de ise %1,3 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.





(a)

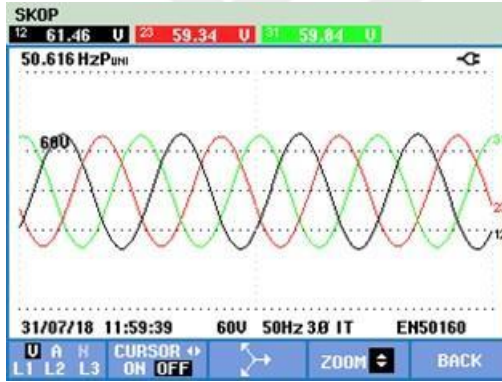


(b)

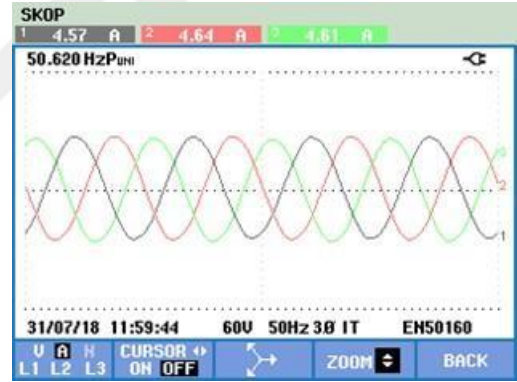
Şekil 6.90 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( 38<sup>0</sup> 4. kademe).

### 6.8.6 5. Kademe alinan sonuçlar

Beşinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.91.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=61,46$  Volt,  $I_{hat}=4,57$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



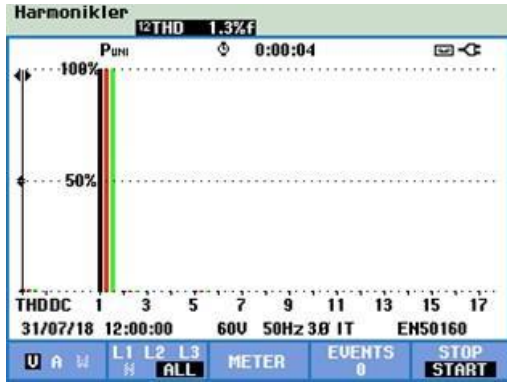
(a)



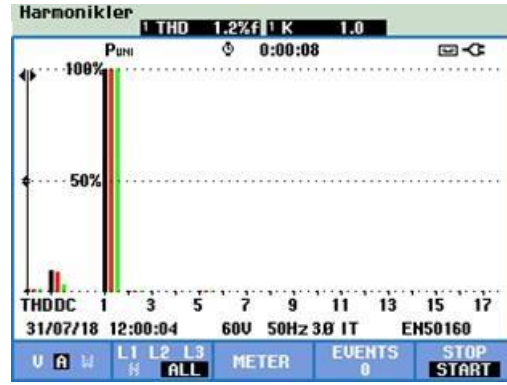
(b)

Şekil 6.91 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 38<sup>0</sup> 5. kademe).

Şekil 6.92'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.92.a'da %1,3 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.92.b'de ise %1,2 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)



(b)

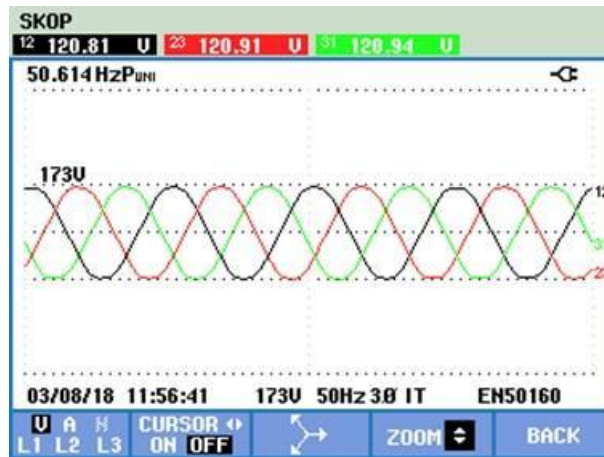
Şekil 6.92 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 38<sup>0</sup> 5. kademe).

## 6.9 2'li Grup 40 Derece Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 40 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

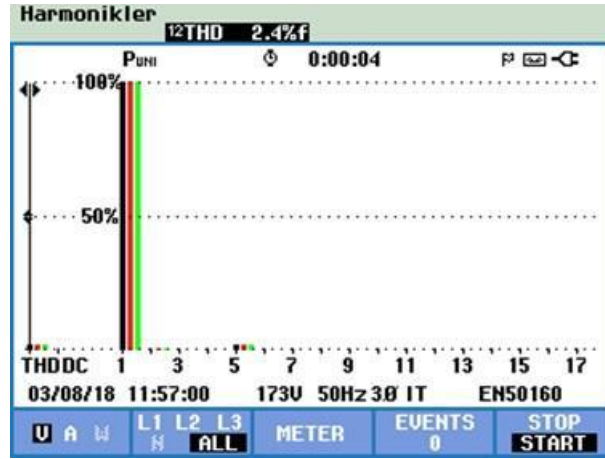
### 6.9.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

2'li grup 40 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.93'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=120,81$  V ve  $f=50,6$  Hz' dir.



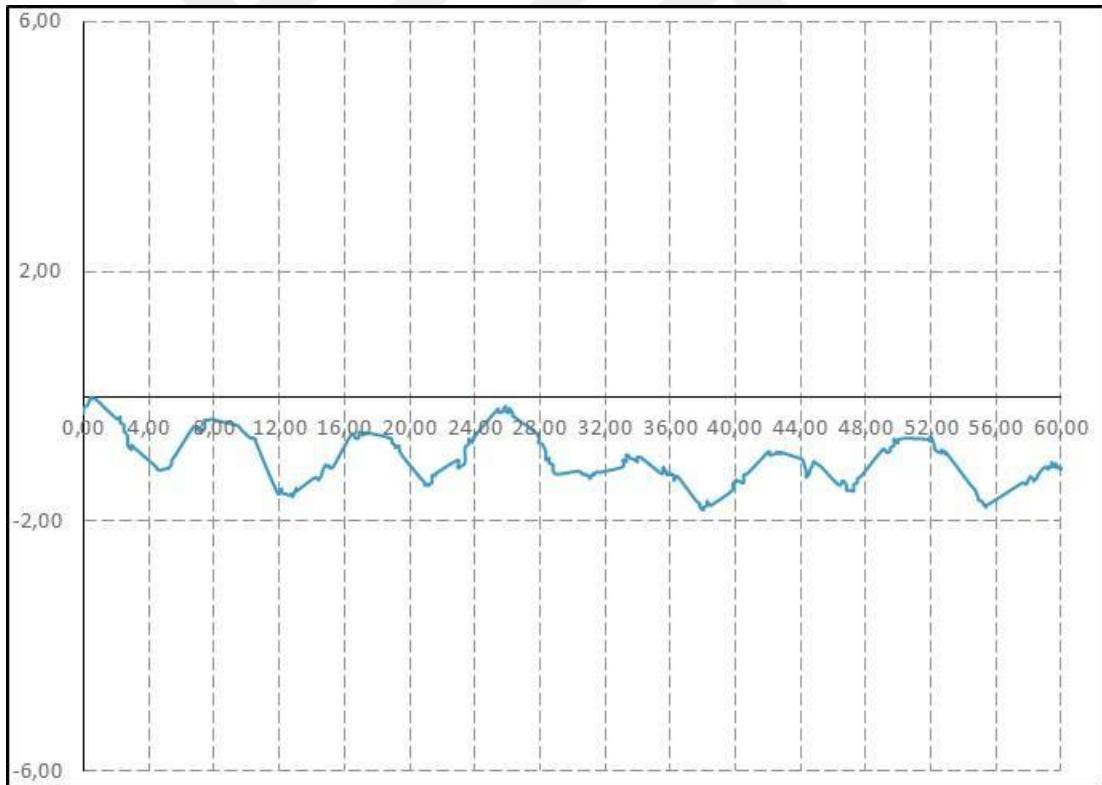
Şekil 6.93 : 3 Faz hat gerilimi ( 40<sup>0</sup> yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.94'de verilmektedir. Şekil 6.94'e incelendiğinde %2,4 oranında her faz için gerilim harmoniğinin olduğu görülmektedir.



Şekil 6.94 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd<sub>v</sub>) değerleri ( 40<sup>0</sup> yüksüz).

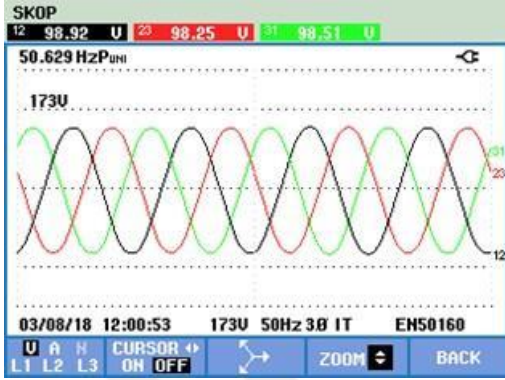
40 derece için vuruğu momenti değeri şekil 6.95’de verilmiştir. Bu şekil 6.95’e bakıldığında momentin (-1,8070) - (-0,0080) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 1,7990 Nm dir.



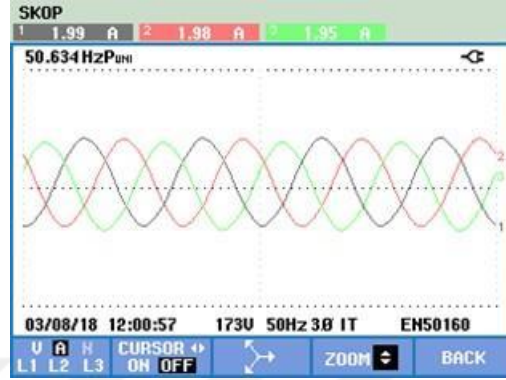
Şekil 6.95 : Vuruğu momenti (40<sup>0</sup>).

### 6.9.2 1. Kademe alınan sonuçlar

Birinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.96.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=98,92$  Volt,  $I_{\text{hat}}=1,99$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)



(b)

Şekil 6.96 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 40<sup>0</sup> 1. kademe).

Şekil 6.97'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.97.a'da %1,7 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.97.b'de ise %1,6 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

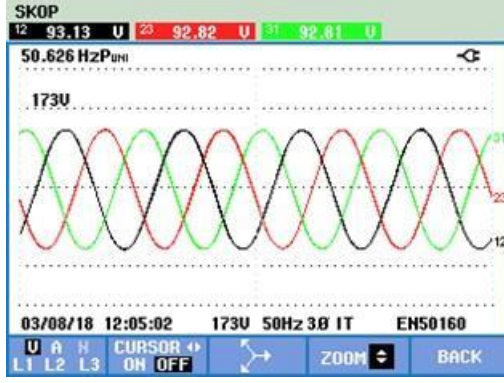


(b)

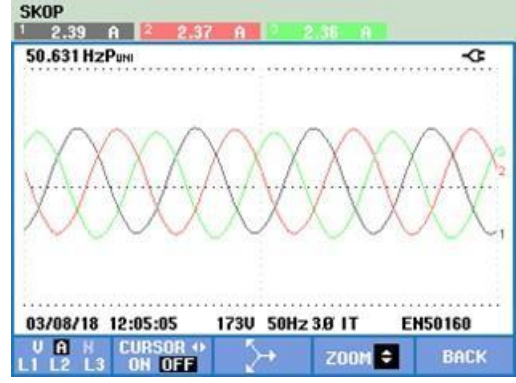
Şekil 6.97 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 40<sup>0</sup> 1. kademe).

### 6.9.3 2. Kademe alınan sonuçlar

İkinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.98.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=93,13$  Volt,  $I_{\text{hat}}=2,39$  A ve  $f=50,6$  Hz'dir.



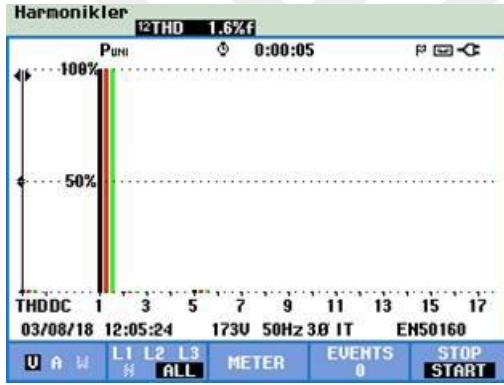
(a)



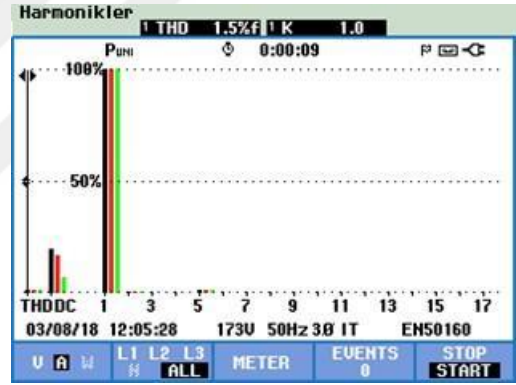
(b)

**Şekil 6.98 :** 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 40<sup>0</sup> 2. kademe).

Şekil 6.99'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.99.a'da %1,6 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.99.b'de ise %1,5 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)



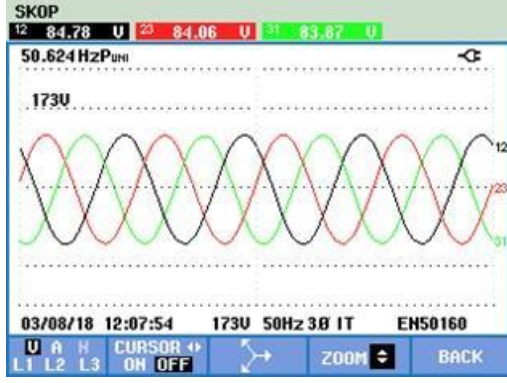
(b)

**Şekil 6.99 :** 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 40<sup>0</sup> 2. kademe).

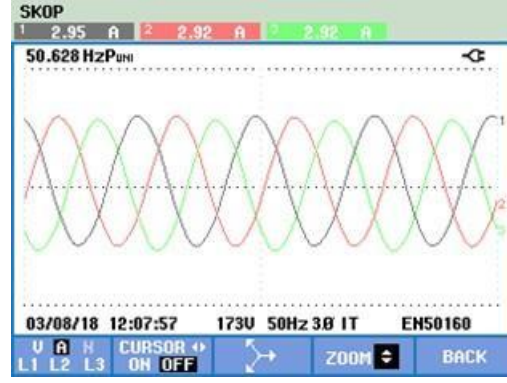
### 6.9.4 3. Kademede alınan sonuçlar

Üçüncü kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.100.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=84,78$  Volt,  $I_{\text{hat}}=2,95$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.





(a)



(b)

Şekil 6.100 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 40<sup>0</sup> 3. kademe).

Şekil 6.101'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.101.a'da %1,5 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.101.b'de ise %1,4 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

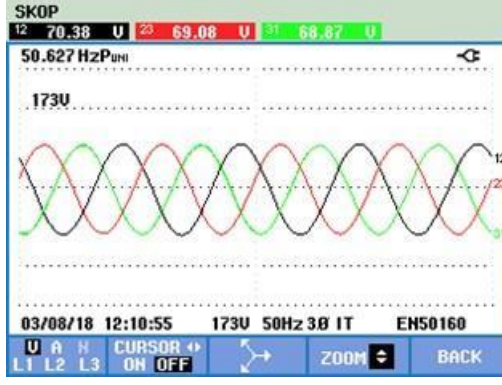


(b)

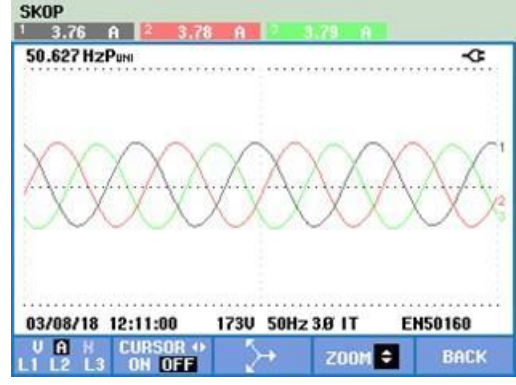
Şekil 6.101 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 40<sup>0</sup> 3. kademe).

#### 6.9.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Dördüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.102.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=70,38$  Volt,  $I_{\text{hat}}=3,76$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



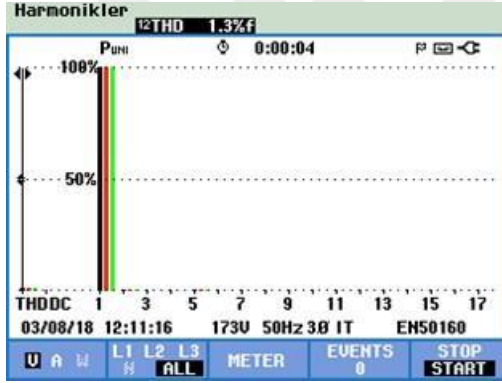
(a)



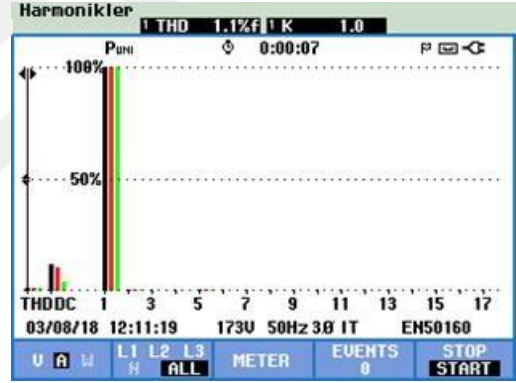
(b)

Şekil 6.102 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 40<sup>0</sup> 4. kademe).

Şekil 6.103'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.103.a'da %1,3 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.103.b'de ise %1,1 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

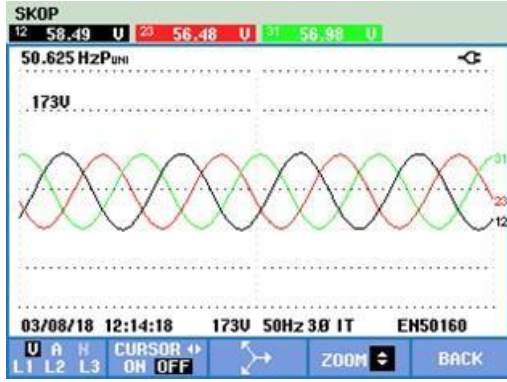


(b)

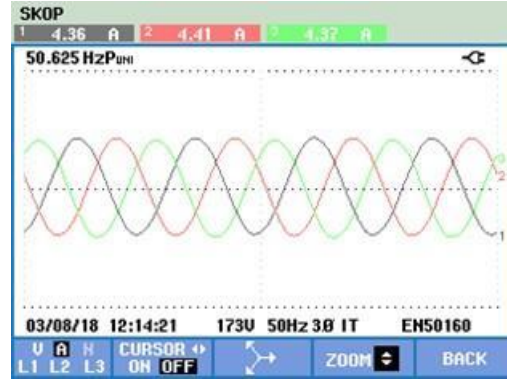
Şekil 6.103 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 40<sup>0</sup> 4. kademe).

#### 6.9.6 5. Kademede alınan sonuçlar

Beşinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.104.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=58,49$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,36$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)



(b)

Şekil 6.104 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (  $40^0$  5. kademe).

Şekil 6.105’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.105.a’da %1,1 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.105.b’de ise %1,1 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 6.105 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  (  $40^0$  5. kademe).

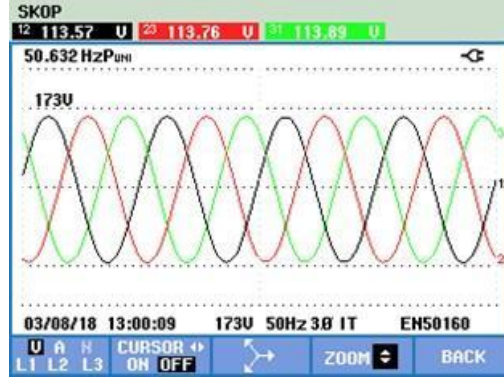
## 6.10 2’li Grup 42 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası aç değeri 42 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki aç değeri ise 25,71 derecedir.

### 6.10.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

2’li grup 42 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.106’de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=113,57$  V ve  $f=50,6$  Hz’ dir.





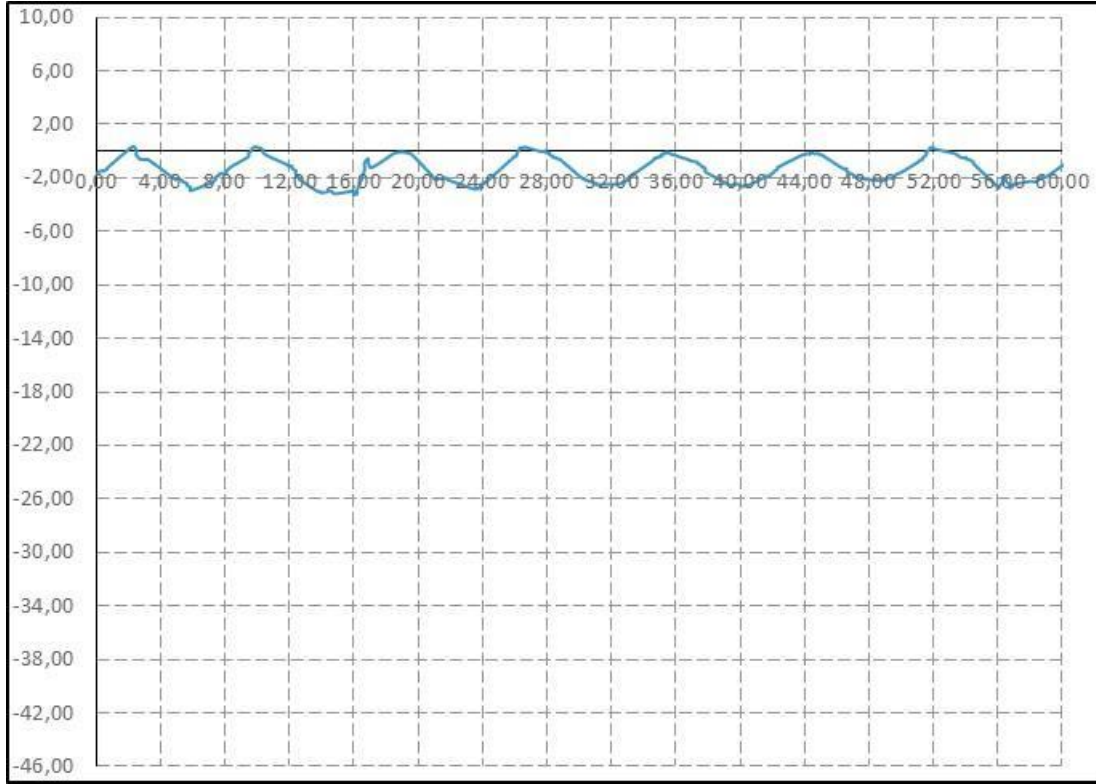
**Şekil 6.106 :** 3 Faz hat gerilimi( 42<sup>0</sup> yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.107’de verilmektedir. Şekil 6.107’e incelendiğinde %0,9 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.



**Şekil 6.107 :** 3 Faz gerilim harmonik (Thd<sub>v</sub>) değerleri ( 42<sup>0</sup> yüksüz).

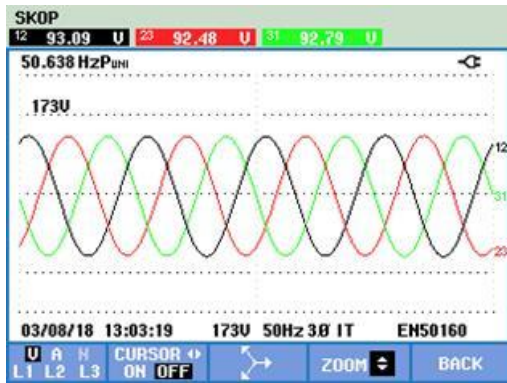
42 derece için vuru mu momenti değeri şekil 6.107’de verilmiştir. Bu şekil 6.107’e bakıldığında momentin (-3,2550) - (0,3500) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 3,6050 Nm dir.



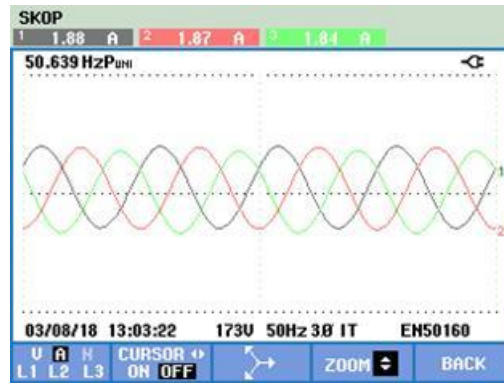
Şekil 6.108 : Vuruntu momenti ( $42^0$ ).

### 6.10.2 1. Kademe alinan sonuçlar

Birinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.109.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=93,09$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 1,88$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



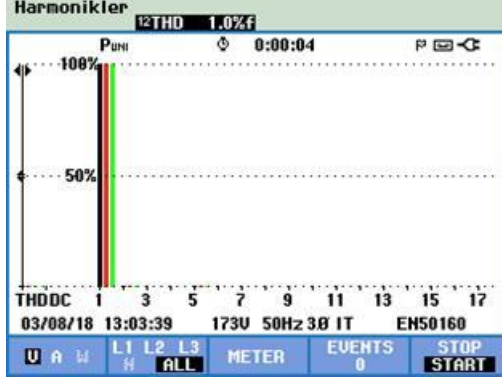
(a)



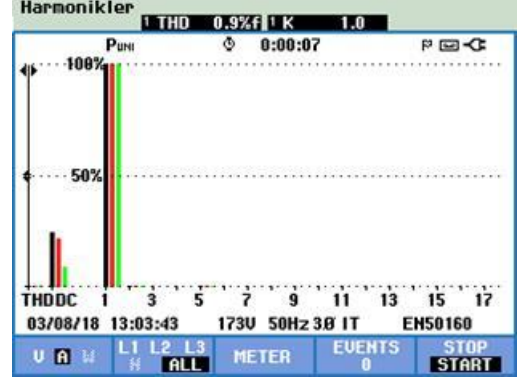
(b)

Şekil 6.109 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (  $42^0$  1. kademe).

Şekil 6.110'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.110.a'da %1,0 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.110.b'de ise %0,9 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

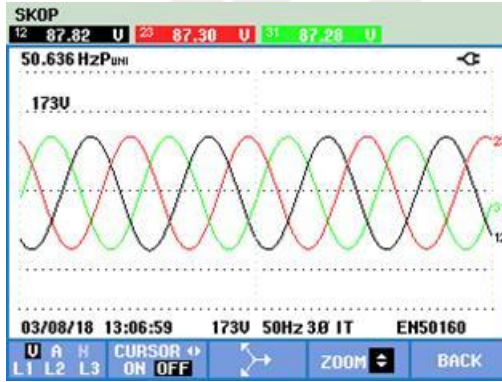


(b)

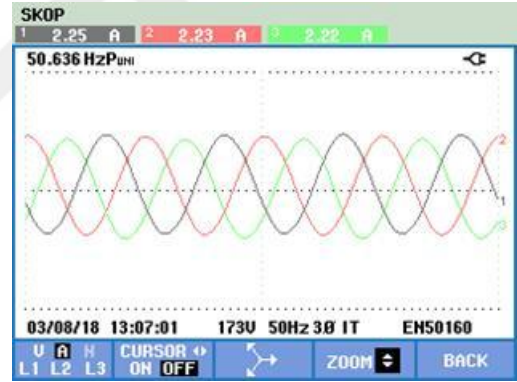
Şekil 6.110 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( 42<sup>0</sup> 1. kademe).

### 6.10.3 2. Kademe alınan sonuçlar

İkinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.111.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=87,82$  Volt,  $I_{hat}=2,25$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



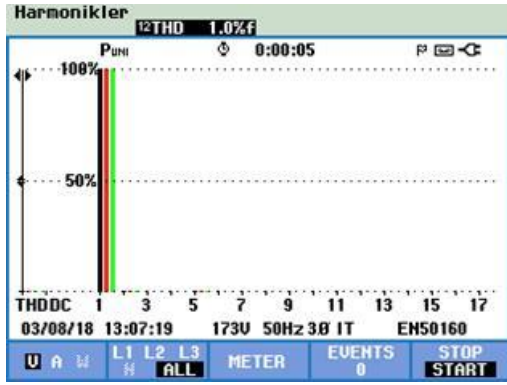
(a)



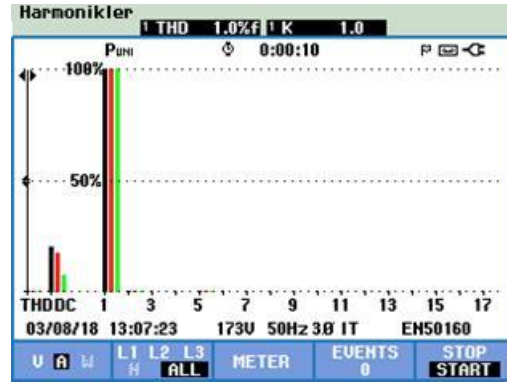
(b)

Şekil 6.111 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 42<sup>0</sup> 2. kademe).

Şekil 6.112' de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.112.a' da %1,0 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.112.b'de ise %1,0 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

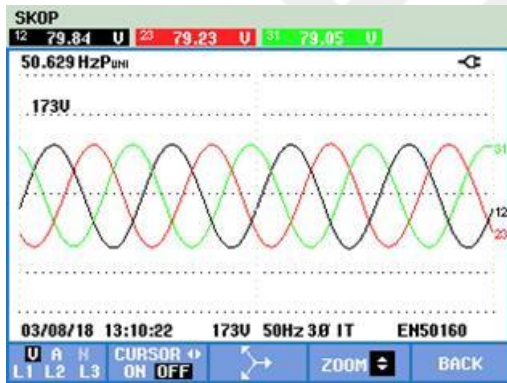


(b)

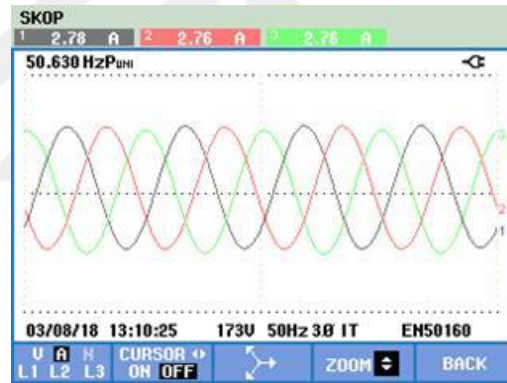
Şekil 6.112 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( 42<sup>0</sup> 2. kademe).

### 6.10.4 3. Kademe alınan sonuçlar

Üçüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.113.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=79,84$  Volt,  $I_{hat}=2,78$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



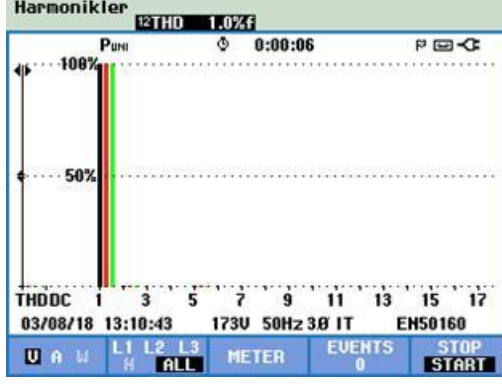
(a)



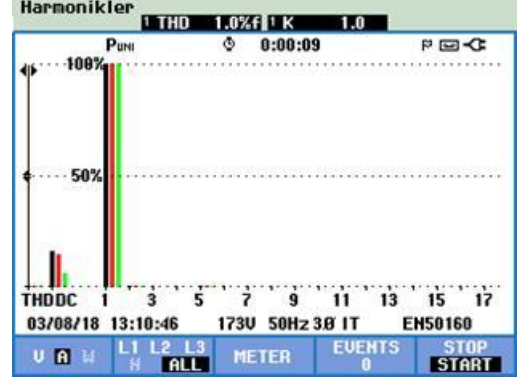
(b)

Şekil 6.113 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 42<sup>0</sup> 3. kademe).

Şekil 6.114'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.114.a da %1,0 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.114.b'de ise %1,0 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

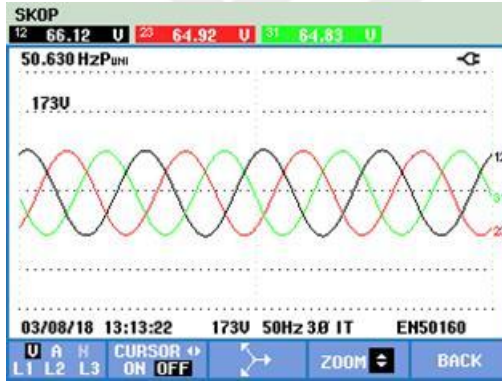


(b)

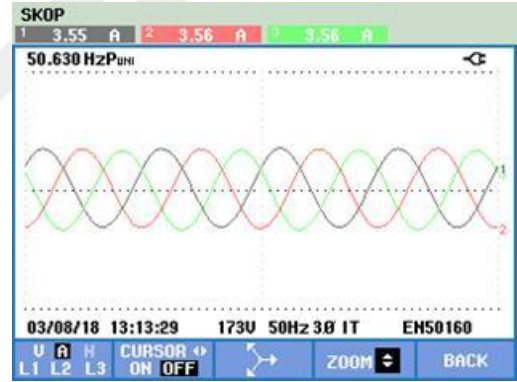
Şekil 6.114 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  (  $42^0$  3. kademe).

#### 6.10.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Dördüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.115.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=66,12$  Volt,  $I_{hat}=3,55$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)

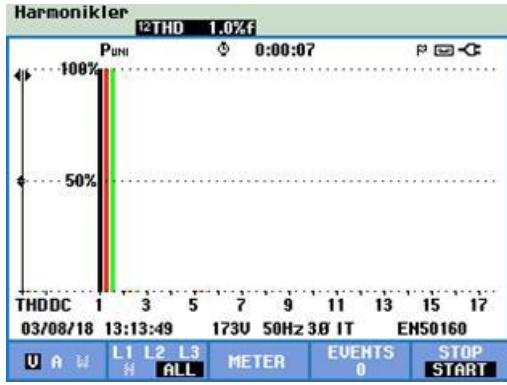


(b)

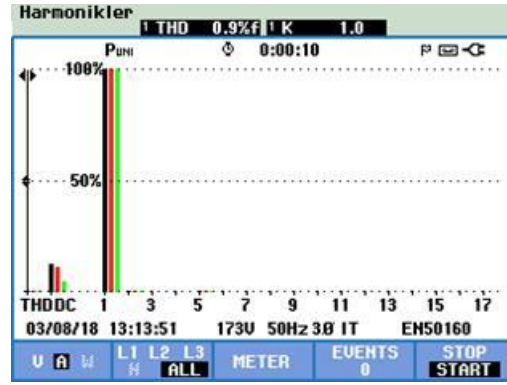
Şekil 6.115 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (  $42^0$  4. kademe).

Şekil 6.116'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.116.a'da %1,0 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.116.b'de ise %0,9 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.





(a)

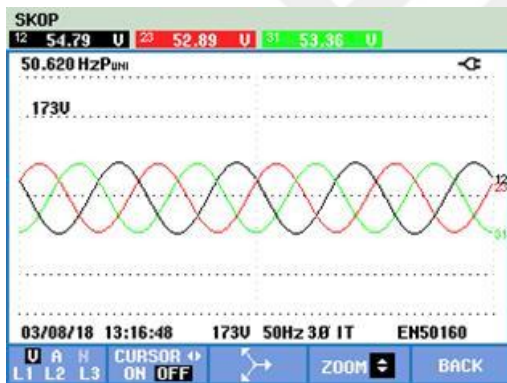


(b)

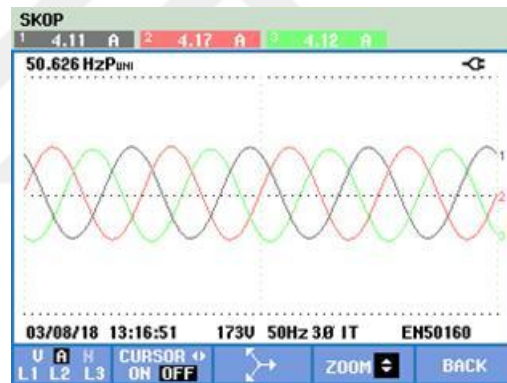
Şekil 6.116 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  (42<sup>0</sup> 4. kademe).

### 6.10.6 5. Kademe alınan sonuçlar

Beşinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.117.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=54,79$  Volt,  $I_{hat}=4,11$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



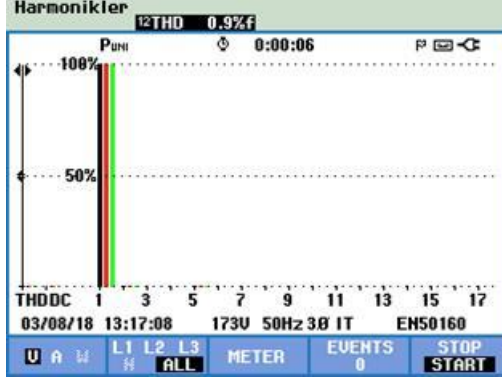
(a)



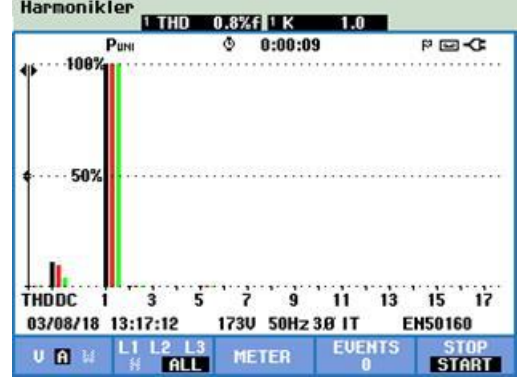
(b)

Şekil 6.117 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (42<sup>0</sup> 5. kademe).

Şekil 6.118'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.118.a'da %0,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.118.b'de ise %0,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

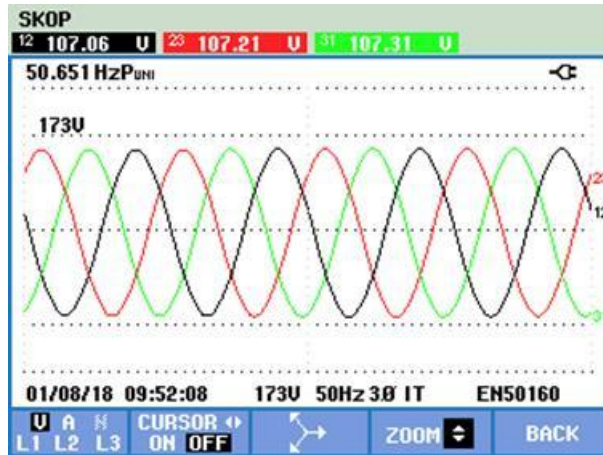
Şekil 6.118 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  (  $42^0$  5. kademe).

### 6.11 2'li Grup 44 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 44 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

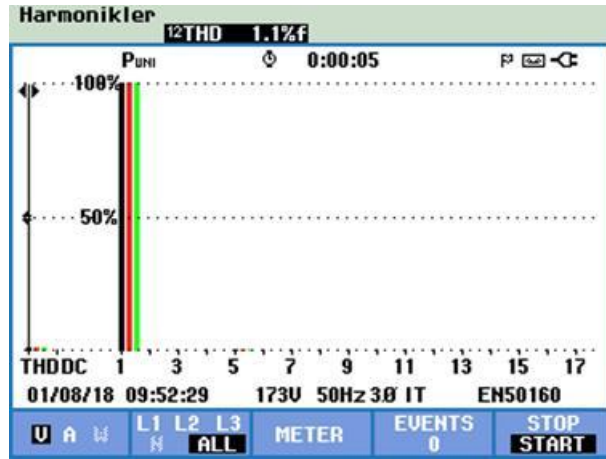
#### 6.11.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

2'li grup 44 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.119'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=107,06$  V ve  $f=50,6$  Hz' dir.



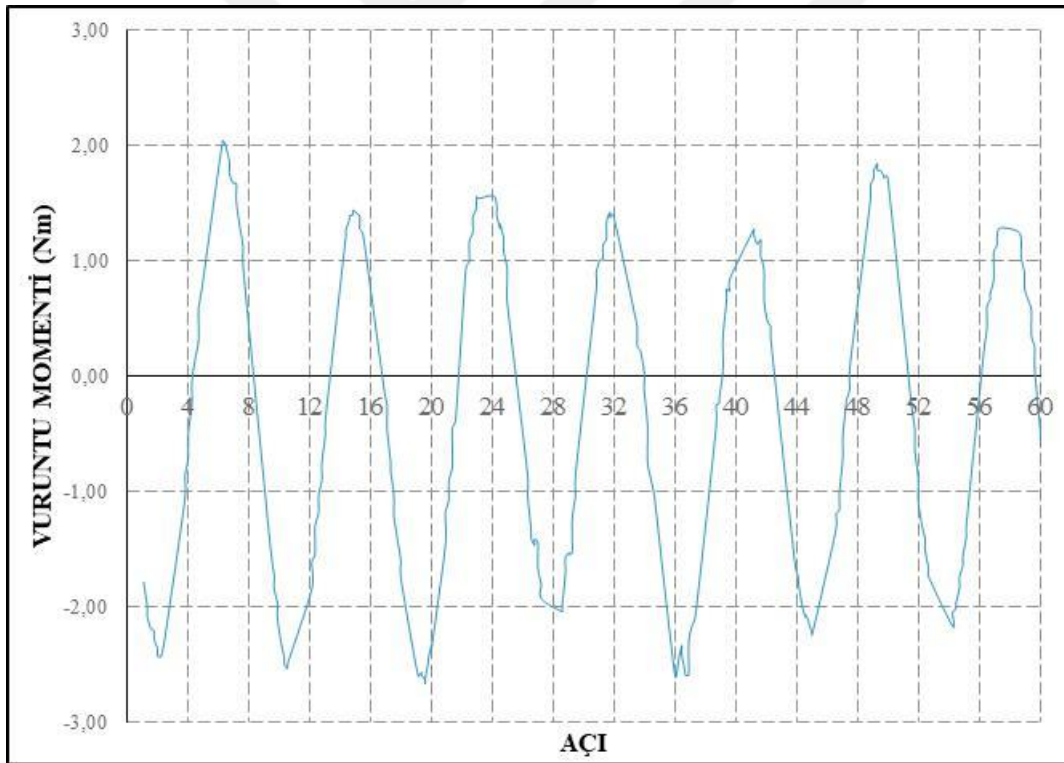
Şekil 6.119 : 3 Faz hat gerilimi (  $44^0$  yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için, şekil 6.120'de verilmektedir. Şekil 6.120'e incelendiğinde %1,1 oranında her faz için gerilim harmoniğinin olduğu görülmektedir.



Şekil 6.120 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd<sub>v</sub>) değerleri ( 44<sup>0</sup> yüksüz).

44 derece için vuruğu momenti değeri şekil 6.121’de verilmiştir. Bu şekil 6.121’e bakıldığında momentin (-2,6740) - (2,0300) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 4,7040 Nm dir.

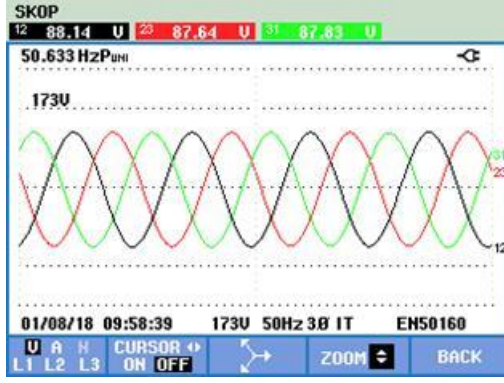


Şekil 6.121 : Vuruğu momenti (44<sup>0</sup>).

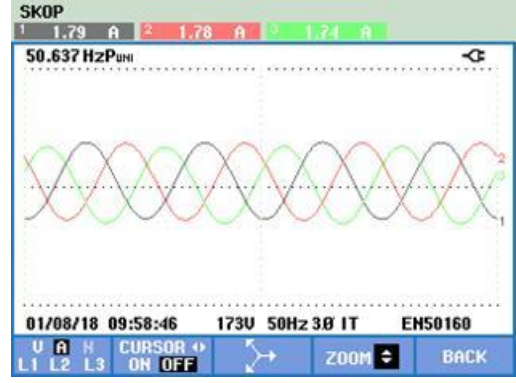
### 6.11.2 1. Kademe de alınan sonuçlar

Birinci kademe de alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.122.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=88,14$  Volt,  $I_{hat}= 1,79$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.





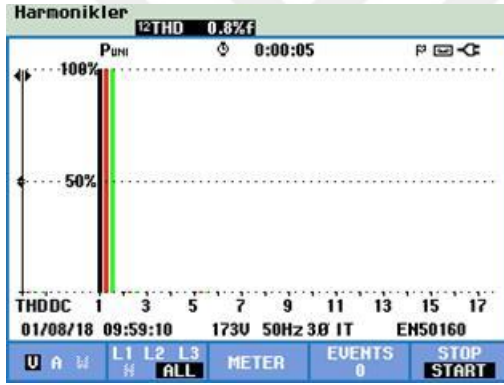
(a)



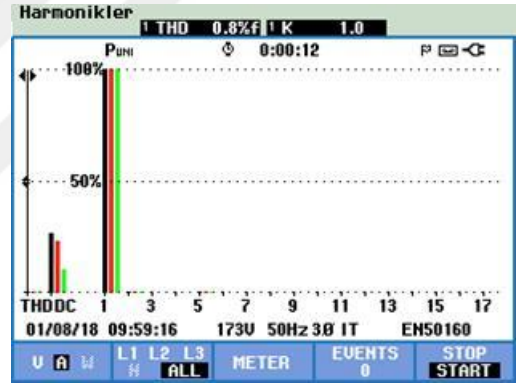
(b)

Şekil 6.122 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 44<sup>0</sup> 1. kademe).

Şekil 6.123'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.123.a'da %0,8 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.123.b'de ise %0,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

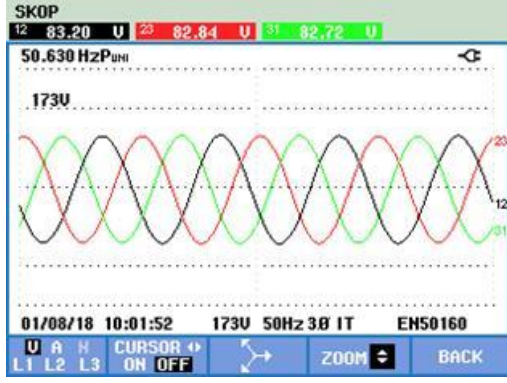


(b)

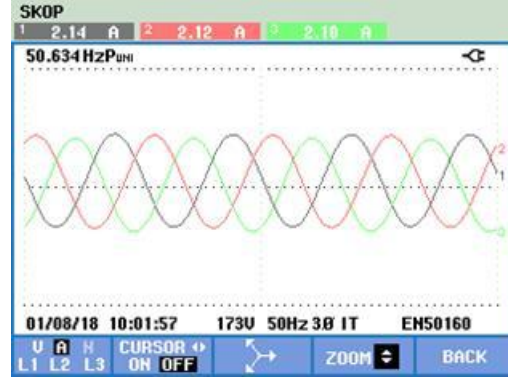
Şekil 6.123 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 44<sup>0</sup> 1. kademe).

### 6.11.3 2. Kademe alınan sonuçlar

İkinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.124.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=83,20$  Volt,  $I_{\text{hat}}=2,14$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



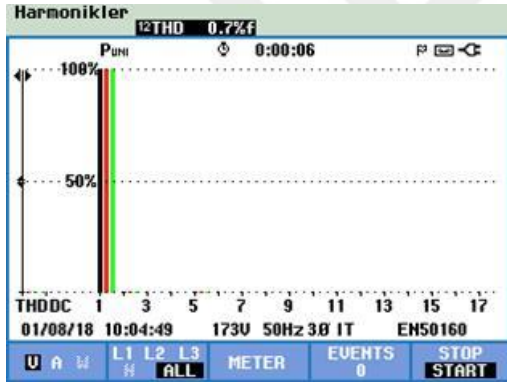
(a)



(b)

Şekil 6.124 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 44<sup>0</sup> 2. kademe).

Şekil 6.125’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.125.a’da %0,7 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.125.b’de ise %0,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

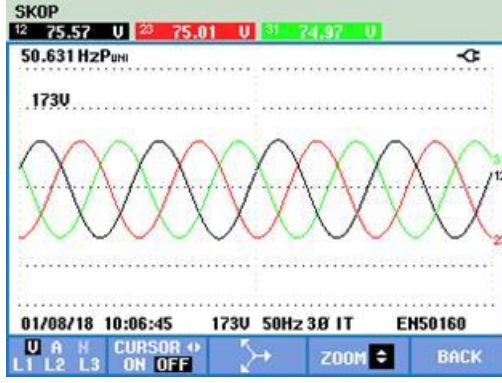


(b)

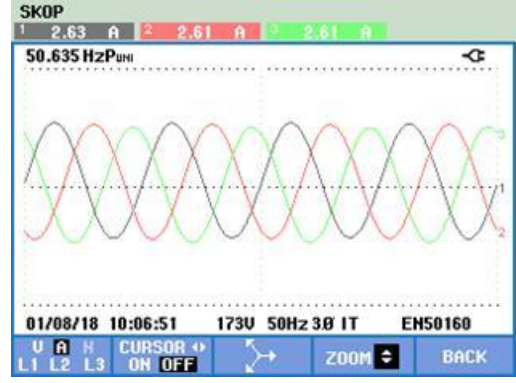
Şekil 6.125 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>V</sub> b) Thd<sub>A</sub>( 44<sup>0</sup> 2. kademe).

### 6.11.4 3. Kademede alınan sonuçlar

Üçüncü kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.126.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=75,57$  Volt,  $I_{\text{hat}}=2,63$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



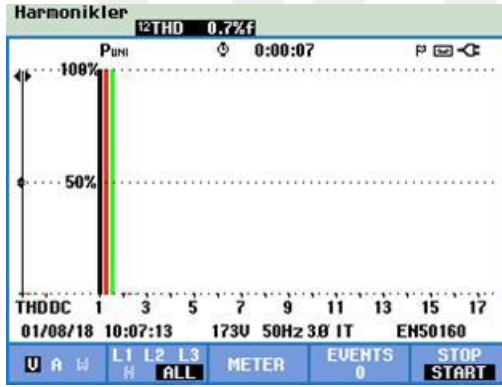
(a)



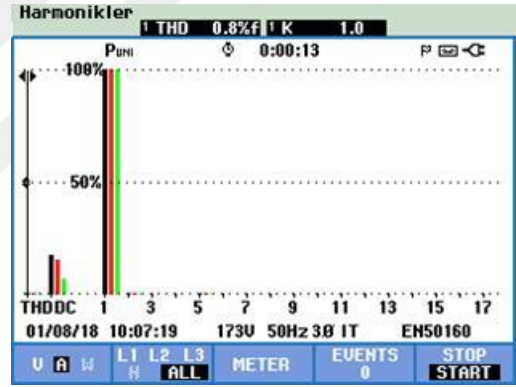
(b)

Şekil 6.126 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 44<sup>0</sup> 3. kademe).

Şekil 6.127’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.127.a’da %0,7 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.127.b’de ise %0,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

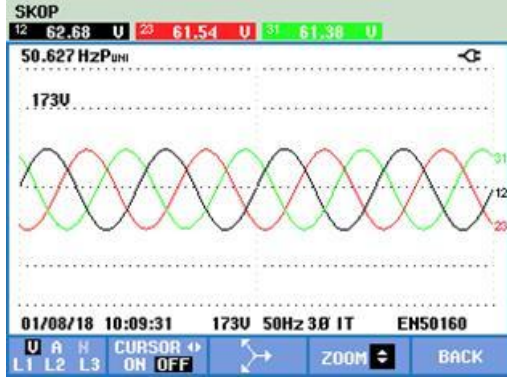


(b)

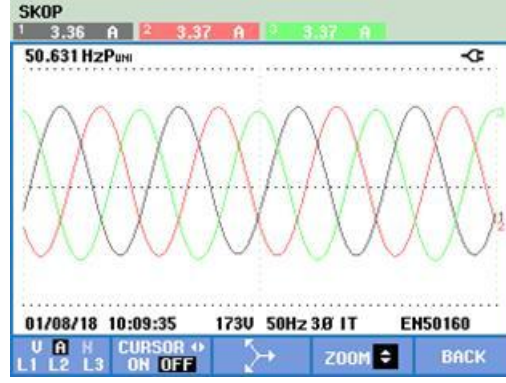
Şekil 6.127 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 44<sup>0</sup> 3. kademe).

#### 6.11.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Dördüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.128.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=62,68$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 3,36$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



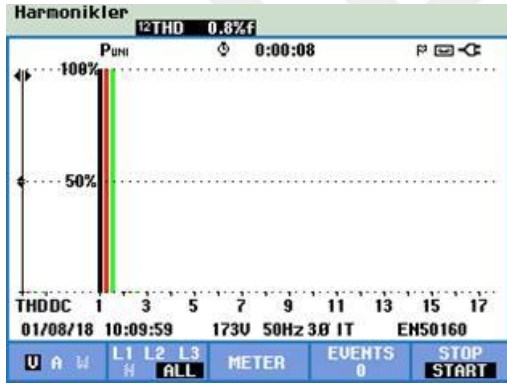
(a)



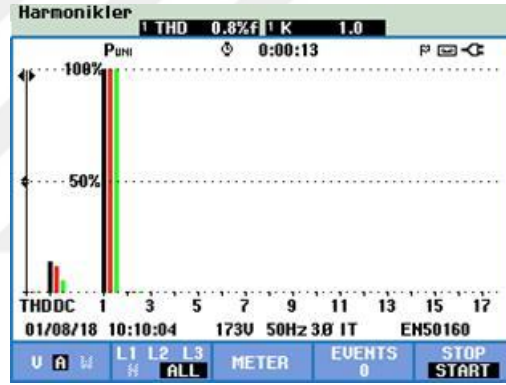
(b)

Şekil 6.128 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 44<sup>0</sup> 4. kademe).

Şekil 6.129'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.129.a'da %0,8 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.129.b'de ise %0,8 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

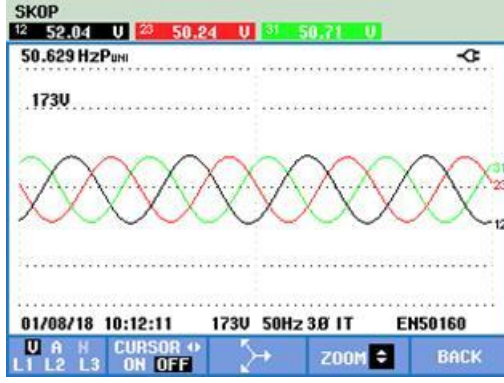


(b)

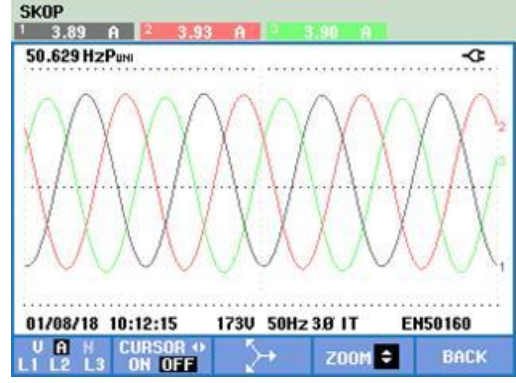
Şekil 6.129 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 44<sup>0</sup> 4. kademe).

#### 6.11.6 5. Kademede alınan sonuçlar

Beşinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.130.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=52,04$  Volt,  $I_{\text{hat}}=3,89$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



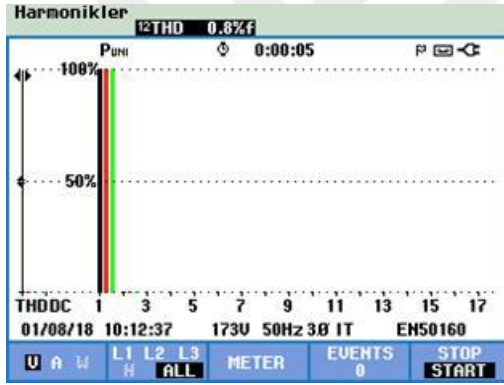
(a)



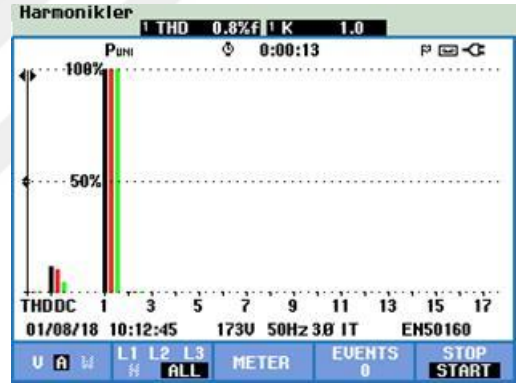
(b)

**Şekil 6.130 :** 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 44<sup>0</sup> 5. kademe).

Şekil 6.131'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.131.a'da %0,8 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.131.b'de ise %0,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

**Şekil 6.131 :** 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( 44<sup>0</sup> 5. kademe).

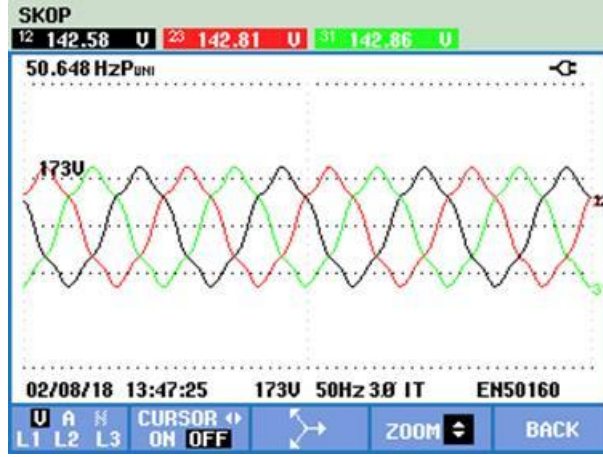
## 6.12 4'lü Grup 28 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 28 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

### 6.12.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

4'lü grup 28 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.132'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=142,58 \text{ V}$  ve  $f=50,6 \text{ Hz}$ ' dir.





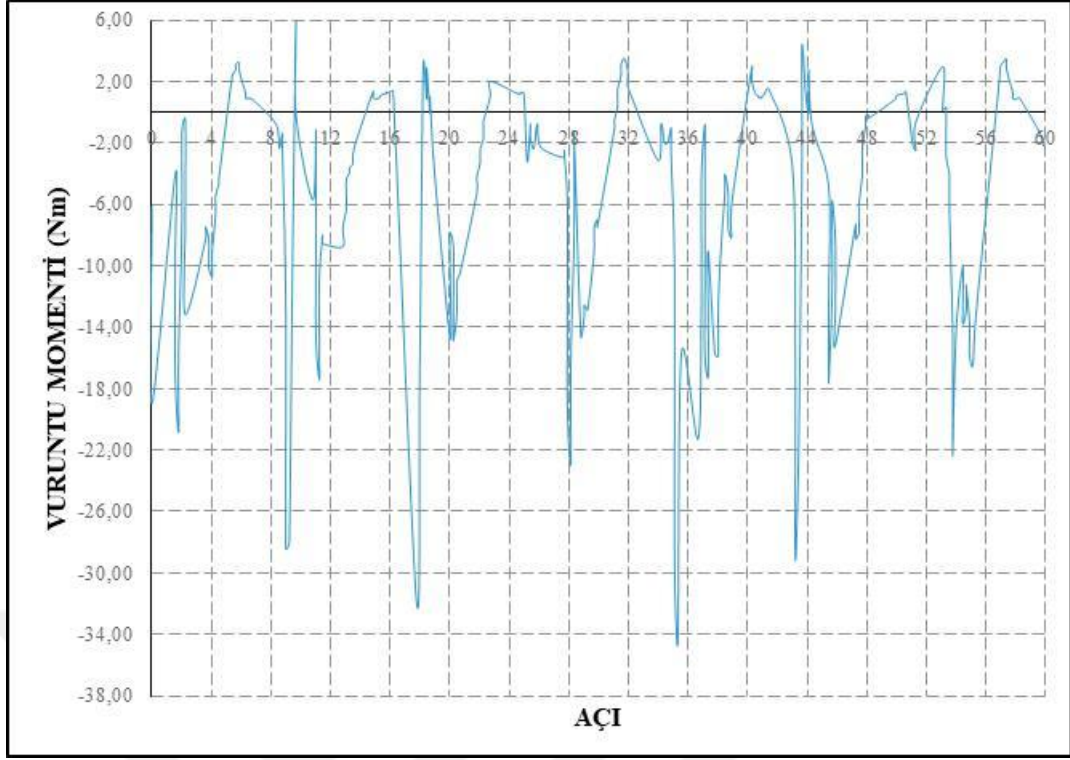
Şekil 6.132 : 3 Faz hat gerilimi ( 28<sup>0</sup> yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.133’ de verilmektedir. Şekil 6.133’e incelendiğinde %9,0 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.133 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd<sub>v</sub>) değerleri ( 28<sup>0</sup> yüksüz).

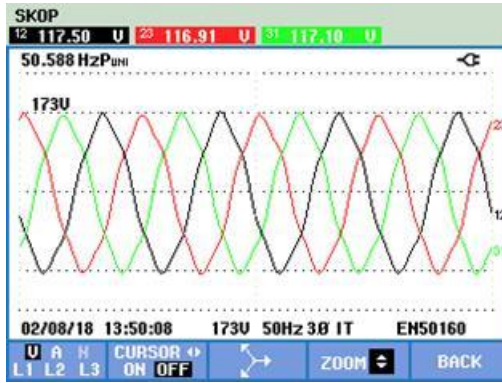
28 derece için vuru mu momenti değeri şekil 6.134’de verilmiştir. Bu şekil 6.134’e bakıldığında momentin (-34,4480) - (5,6750) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 40,1230 Nm dir.



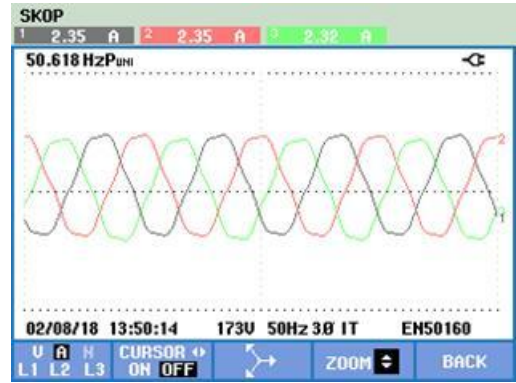
Şekil 6.134 : Vuruntu momenti ( $28^\circ$ ).

#### 6.12.2 1. Kademe alinan sonuçlar

Birinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.135.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=117,50$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,35$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



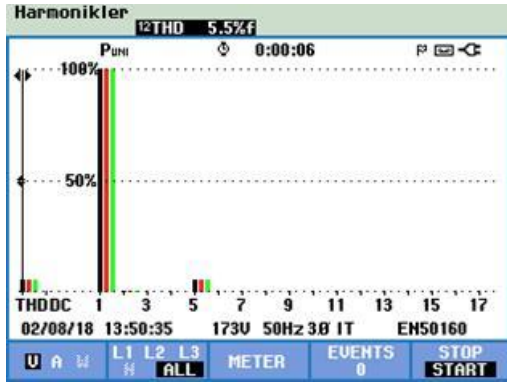
(a)



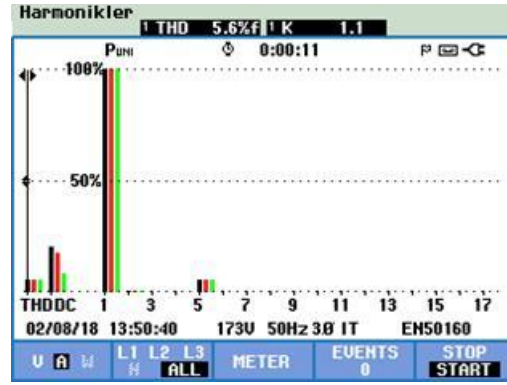
(b)

Şekil 6.135 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^\circ$  1. kademe).

Şekil 6.136'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.136.a'da %5,5 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.136.b'de ise %5,6 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

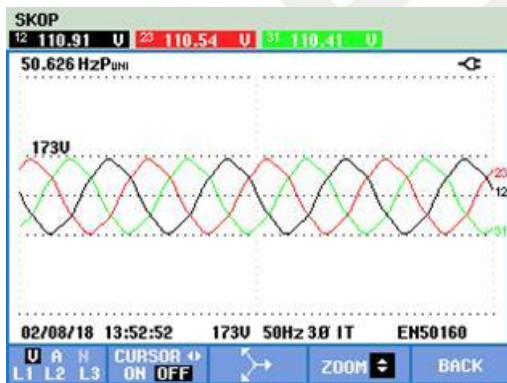


(b)

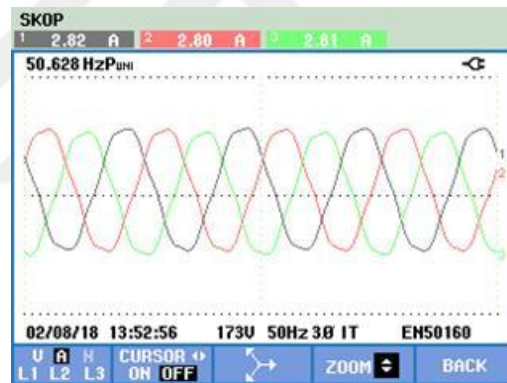
Şekil 6.136 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $28^0$  1. kademe).

### 6.12.3 2. Kademe alınan sonuçlar

İkinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.137.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=110,91$  Volt,  $I_{hat}= 2,82$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)

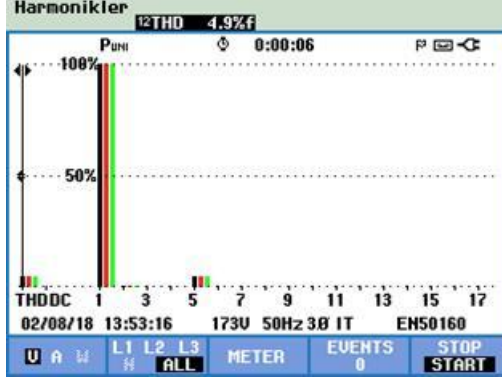


(b)

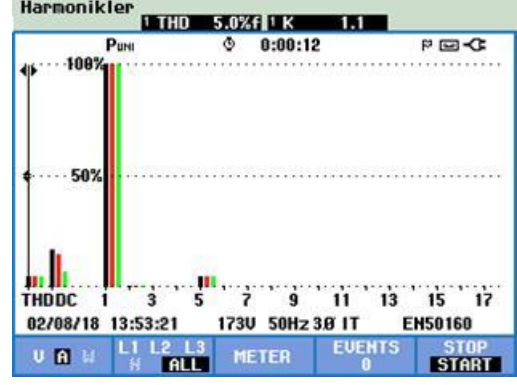
Şekil 6.137 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$  2. kademe).

Şekil 6.138'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.138.a'da %4,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.138.b'de ise %5,0 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.





(a)

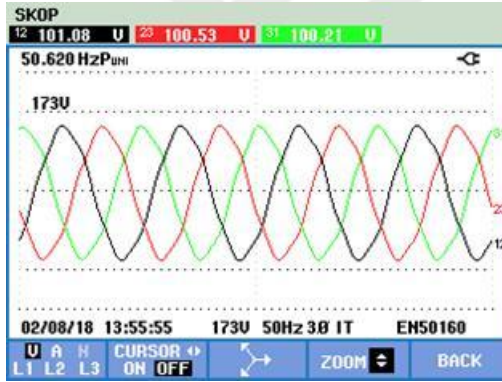


(b)

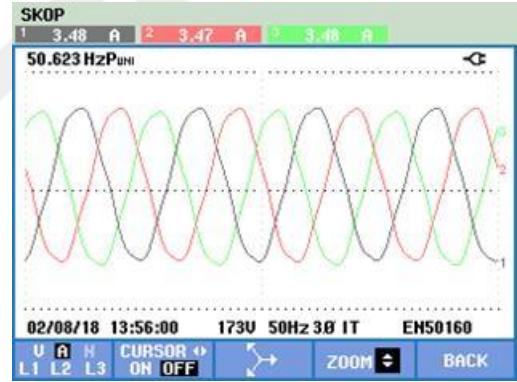
Şekil 6.138 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( 28<sup>0</sup> 2. kademe).

### 6.12.4 3. Kademe alinan sonuçlar

Birinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.139.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=101,8$  Volt,  $I_{hat}= 3,48$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



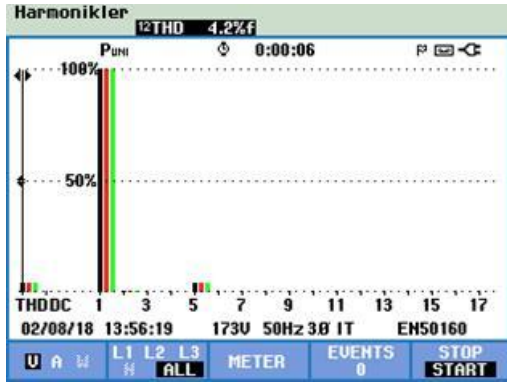
(a)



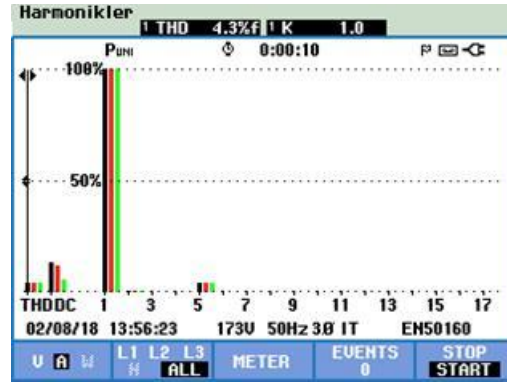
(b)

Şekil 6.139 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 28<sup>0</sup> 3. kademe).

Şekil 6.140'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.140.a'da %4,2 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.140.b'de ise %4,3 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

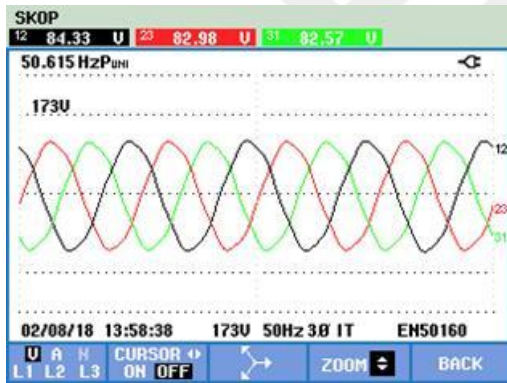


(b)

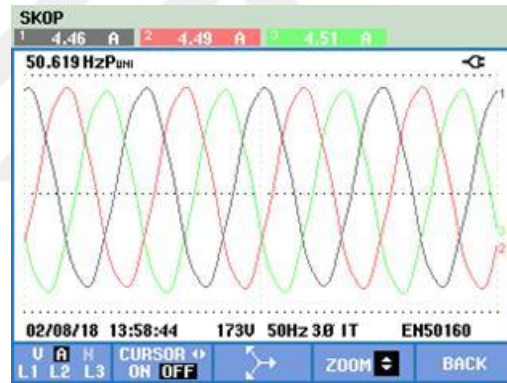
Şekil 6.140 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( 28<sup>0</sup> 3. kademe).

#### 6.12.5 4. Kademe alinan sonuçlar

Dördüncü kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.141.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=84,33$  Volt,  $I_{hat}=4,46$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



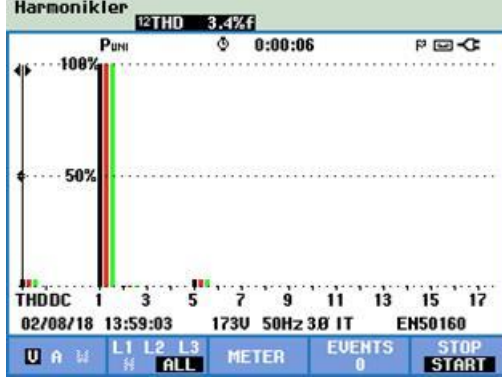
(a)



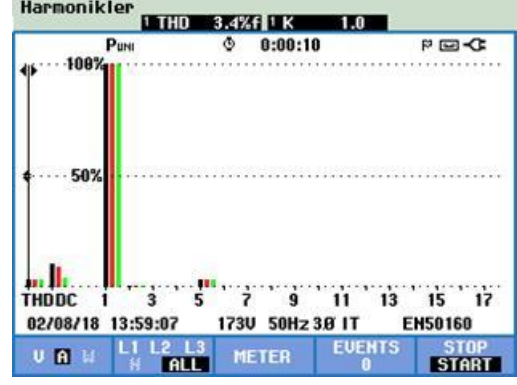
(b)

Şekil 6.141 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 28<sup>0</sup> 4. kademe).

Şekil 6.142'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.142.a'da %3,4 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.142.b'de ise %3,4 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

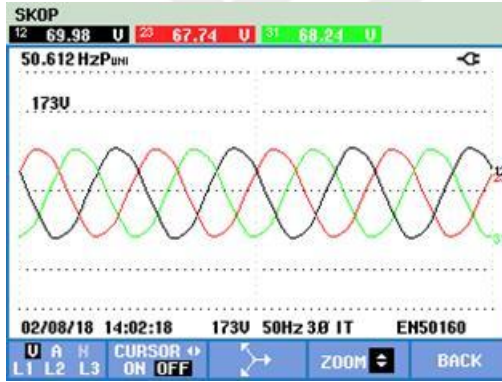


(b)

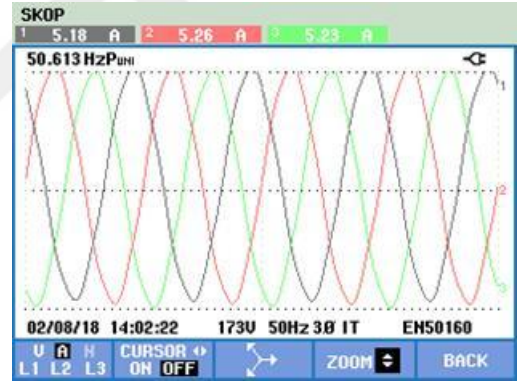
Şekil 6.142 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( 28<sup>0</sup> 4. kademe).

### 6.12.6 5. Kademe alinan sonuçlar

Beşinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.143.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=69,98$  Volt,  $I_{hat}=5,18$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



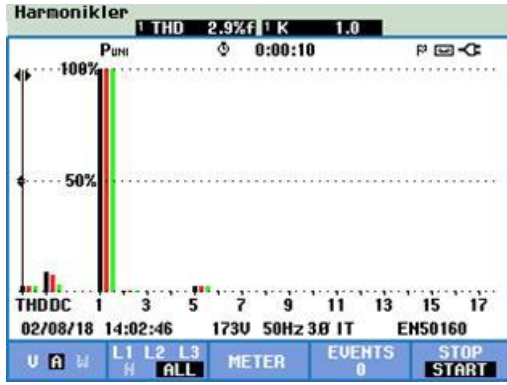
(a)



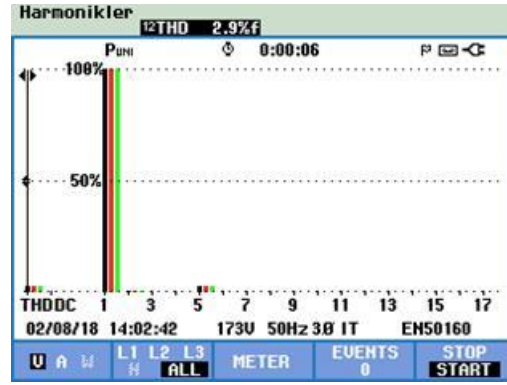
(b)

Şekil 6.143 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( 28<sup>0</sup> 5. kademe).

Şekil 6.144'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.144.a'da %2,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.144.b'de ise %2,9 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

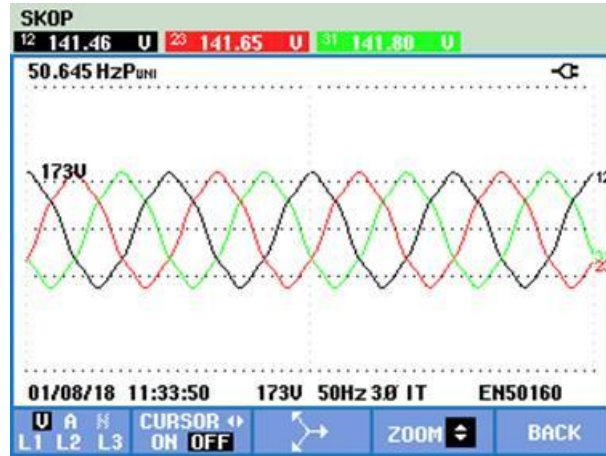
Şekil 6.144 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_v$  b)  $Thd_A$  ( $28^0$  5. kademe).

### 6.13 4'lü Grup 30 Derece Miknatis Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 30 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

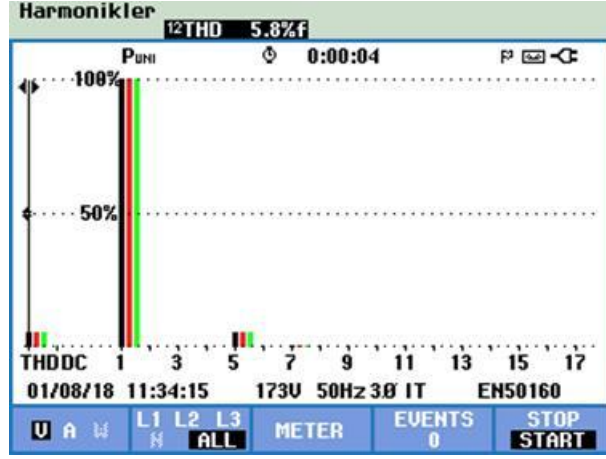
#### 6.13.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

4'lü grup 30 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.145'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=141,46$  V ve  $f=50,6$  Hz' dir.



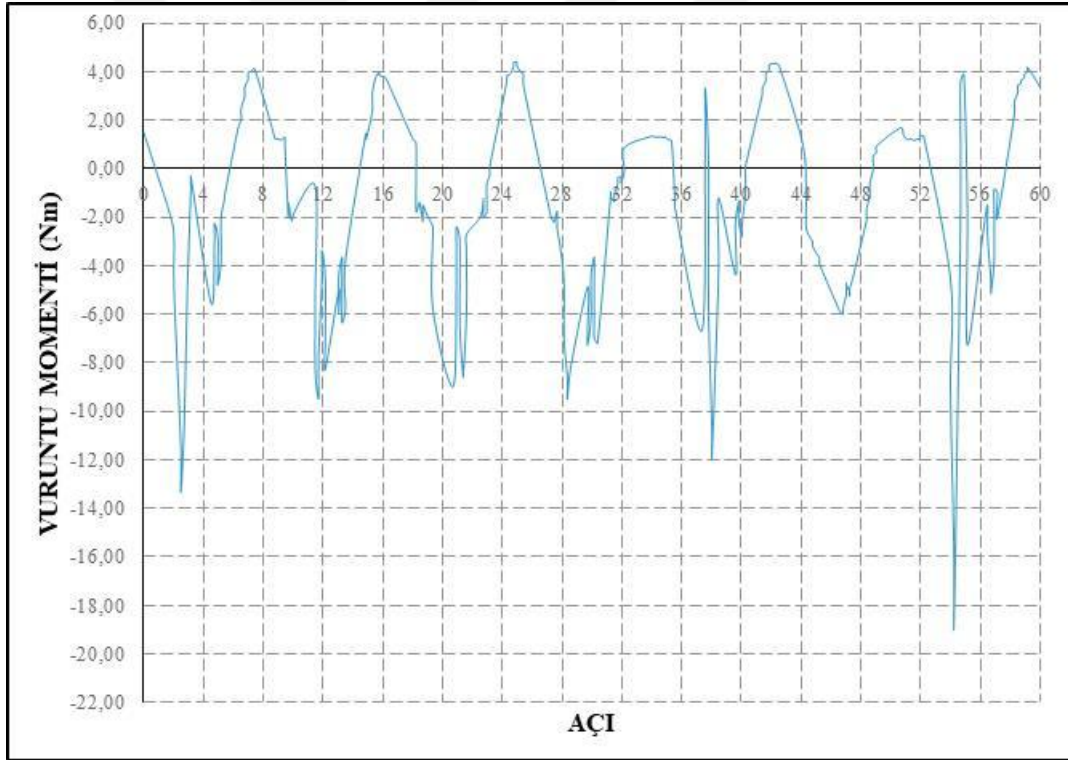
Şekil 6.145 : 3 Faz hat gerilimi ( $30^0$  yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.146' de verilmektedir. Şekil 6.146'e incelendiğinde %5,8 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.146 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd<sub>v</sub>) değerleri (30<sup>0</sup> yüksüz).

30 derece için vuruntu momenti değeri şekil 6.147’de verilmiştir. Bu şekil 6.147’e bakıldığında momentin (-18,8870) - (4,3950) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 23,8820 Nm dir.

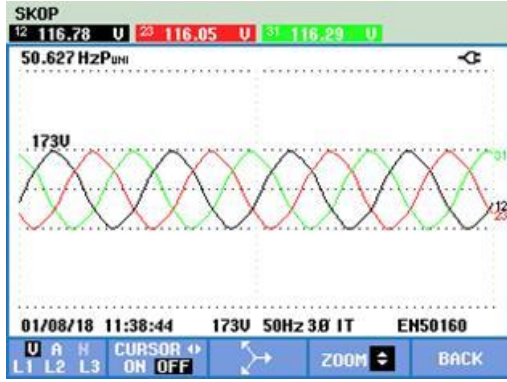


Şekil 6.147 : Vuruntu momenti (30<sup>0</sup>).

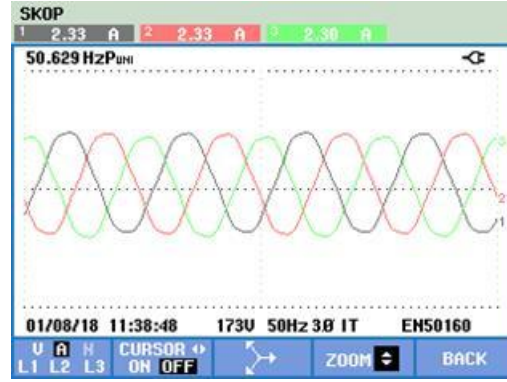
### 6.13.2 1. Kademedeki alınan sonuçlar

Birinci kademedeki alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.148.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=116,78$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,33$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.





(a)



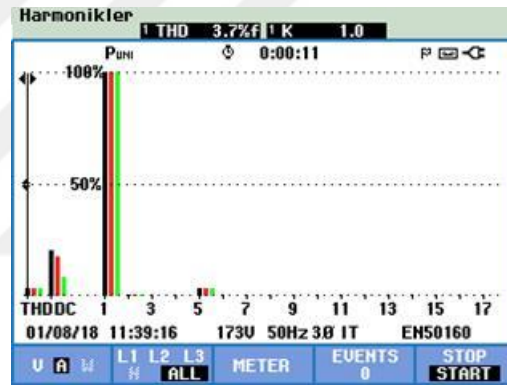
(b)

**Şekil 6.148 :** 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$  1.kademe).

Şekil 6.149'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.149.a'da %3,6 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.149.b'de ise %3,7 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

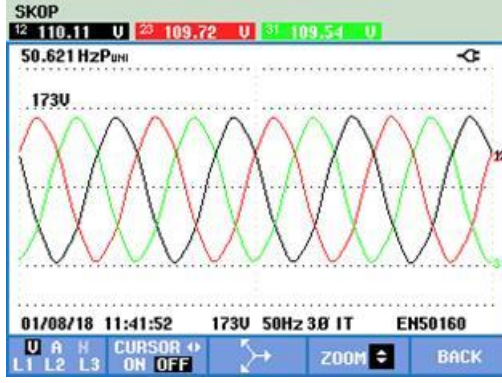


(b)

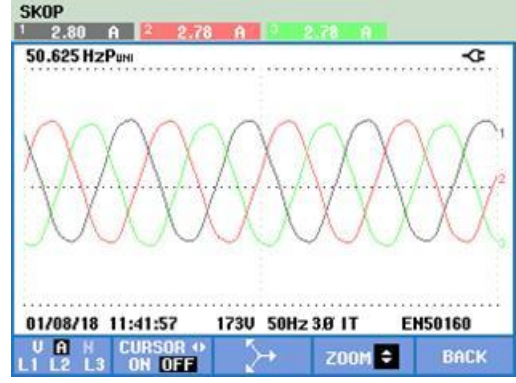
**Şekil 6.149 :** 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_v$  b)  $Thd_A$  ( $30^0$  1.kademe).

### 6.13.3 2. Kademe alınan sonuçlar

İkinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.150.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=110,11$  Volt,  $I_{hat}= 2,80$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



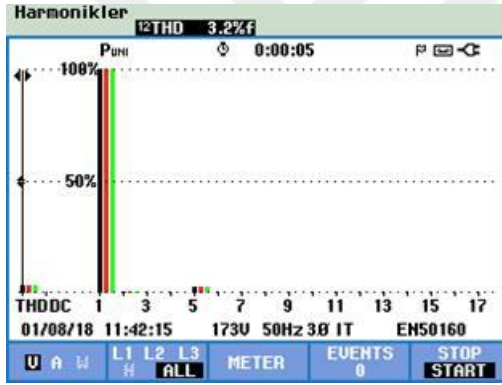
(a)



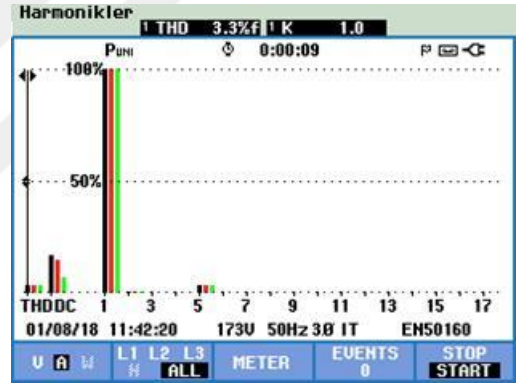
(b)

Şekil 6.150 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30<sup>0</sup> 2.kademe).

Şekil 6.151’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.151.a’da %3,2 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.151.b’de ise %3,3 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



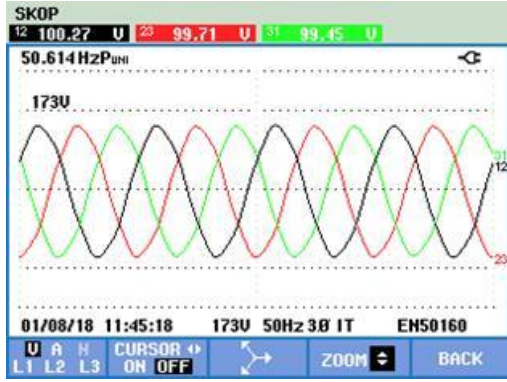
(b)

Şekil 6.151 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (30<sup>0</sup> 2.kademe).

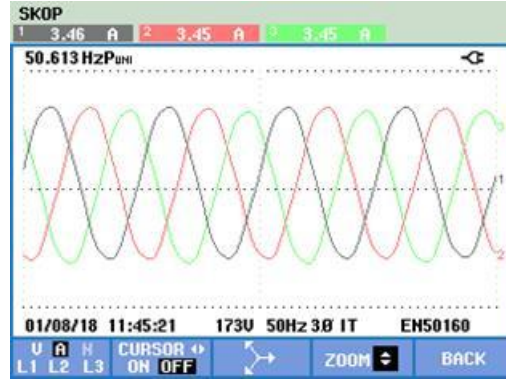
### 6.13.4 3. Kademe alınan sonuçlar

Üçüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.152.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=100,27$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 3,46$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.





(a)



(b)

Şekil 6.152 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^0$  3.kademe).

Şekil 6.153'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.153.a'da %2,7 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.153.b'de ise %2,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

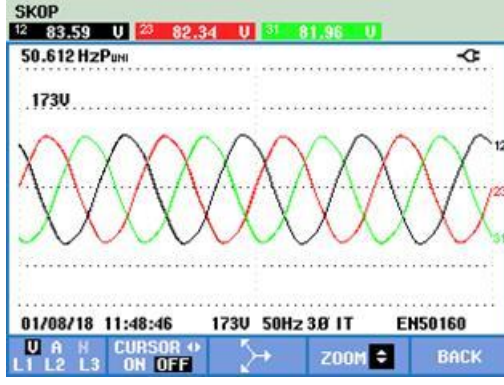


(b)

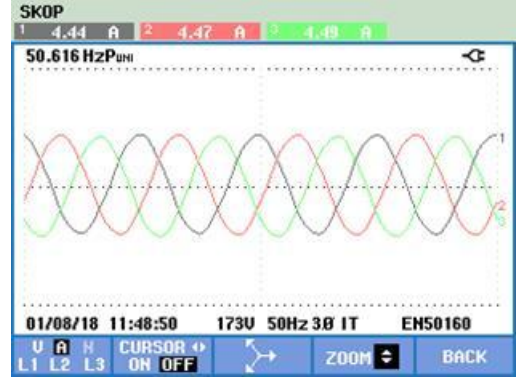
Şekil 6.153 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( $30^0$  3.kademe).

#### 6.13.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Dördüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.154.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=83,59$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 4,44$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



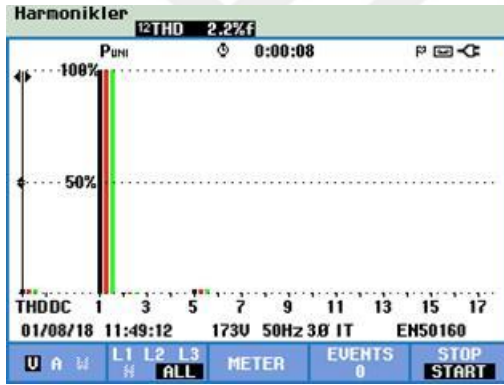
(a)



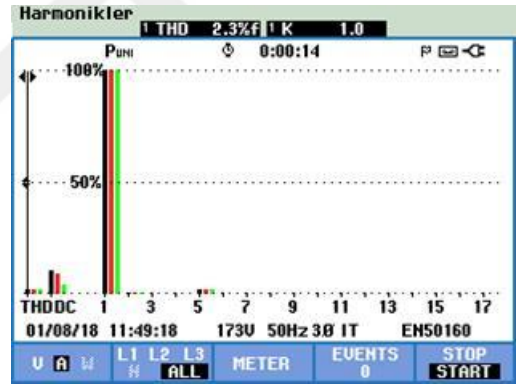
(b)

Şekil 6.154 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30<sup>0</sup> 4.kademe).

Şekil 6.155’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.155.a’da %2,2 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.155.b’de ise %2,3 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

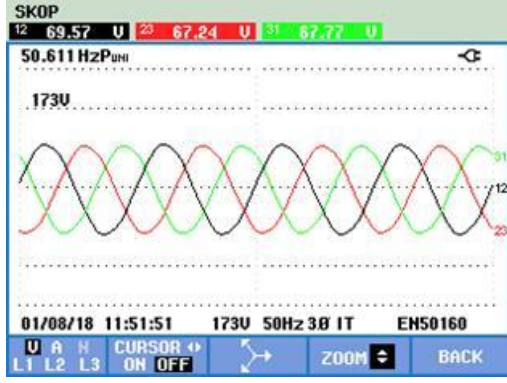


(b)

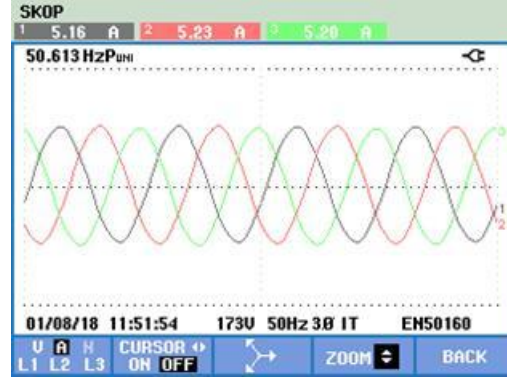
Şekil 6.155 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (30<sup>0</sup> 4.kademe).

### 6.13.6 5. Kademe alınan sonuçlar

Beşinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.156.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=69,57$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 5,16$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



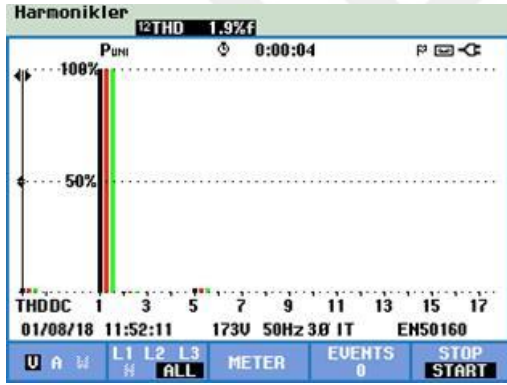
(a)



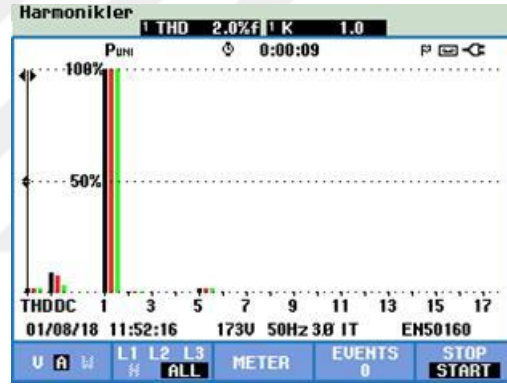
(b)

Şekil 6.156 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $30^\circ$  5.kademe).

Şekil 6.157’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.157.a’da %1,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.157.b’de ise %2,0 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

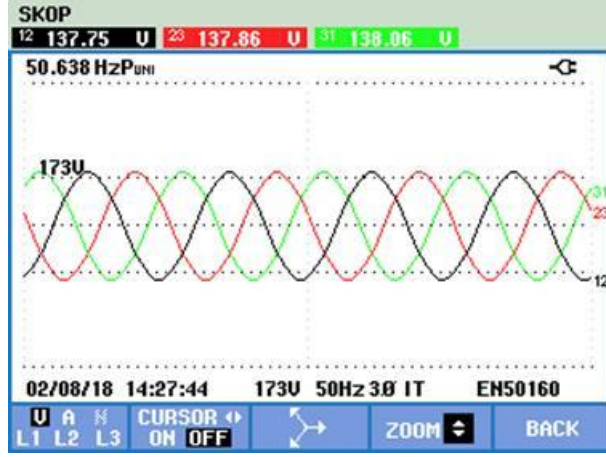
Şekil 6.157 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>V</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( $30^\circ$  5.kademe).

#### 6.14 4’lü Grup 32 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası aç değeri 32 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki aç değeri ise 25,71 derecedir.

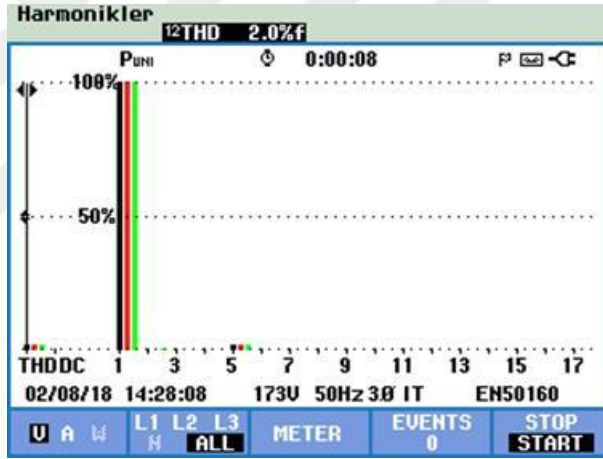
##### 6.14.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

4’lü grup 32 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.158’ de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=137,75 \text{ V}$  ve  $f=50,6 \text{ Hz}$ ’ dir.



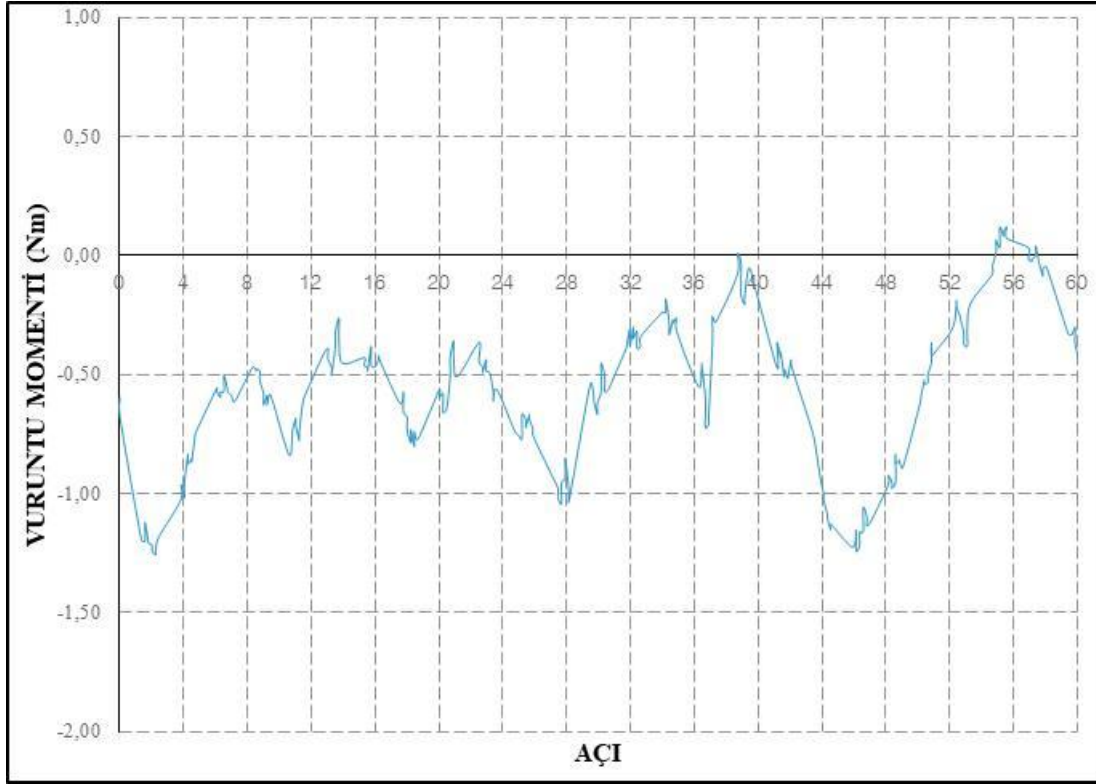
Şekil 6.158 : 3 Faz hat gerilimi (32<sup>0</sup> yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.158’de verilmektedir. Şekil 6.158’e incelendiğinde %2,0 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.159 : 3 Faz gerilim harmonik (Thdv) değerleri (32<sup>0</sup> yüksüz).

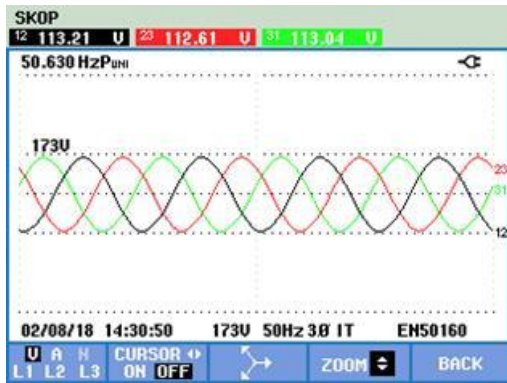
32 derece için vuru mu momenti değeri şekil 6.160’da verilmiştir. Bu şekil 6.160’a bakıldığında momentin (-1,2580) - (0,1190) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 1,3770 Nm dir.



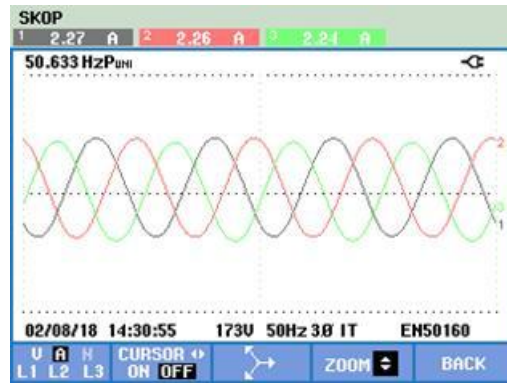
Şekil 6.160 : Vuruntu momenti ( $32^0$ ).

#### 6.14.2 1. Kademede alınan sonuçlar

Birinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.161.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=113,21$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,27$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



(a)

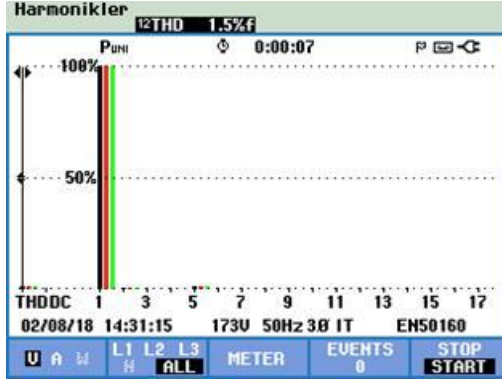


(b)

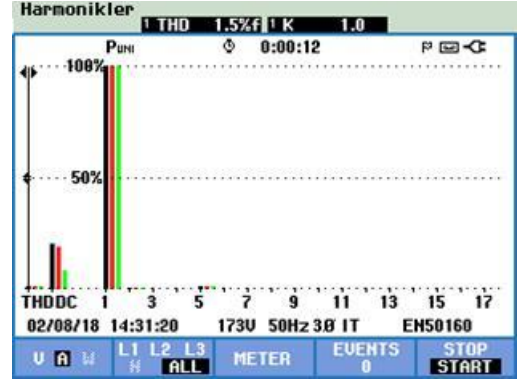
Şekil 6.161 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$  1.kademe).

Şekil 6.162’da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.162.a’da %1,5 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.162.b’de ise %1,5 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.





(a)

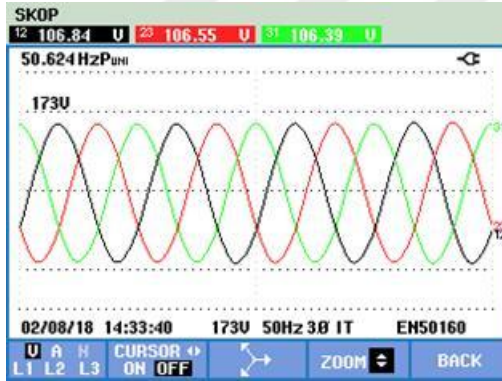


(b)

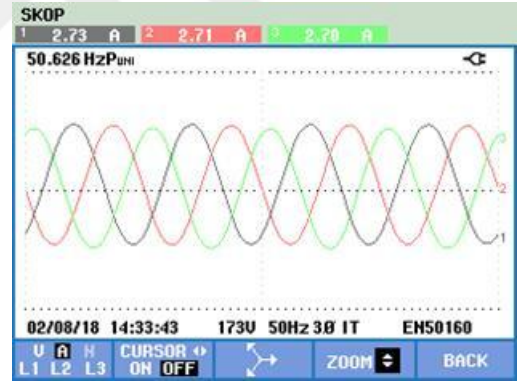
Şekil 6.162 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_v$  b)  $Thd_A$  ( $32^0$  1.kademe).

### 6.14.3 2. Kademe alınan sonuçlar

İkinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.163.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=106,84$  Volt,  $I_{hat}= 2,73$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



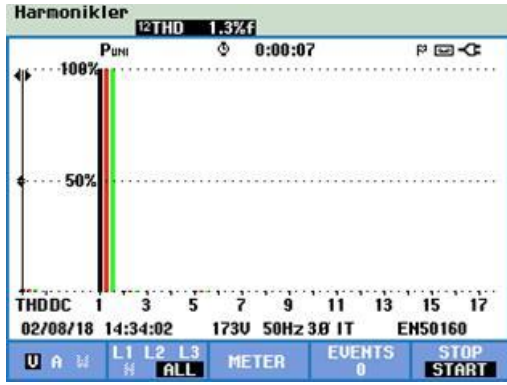
(a)



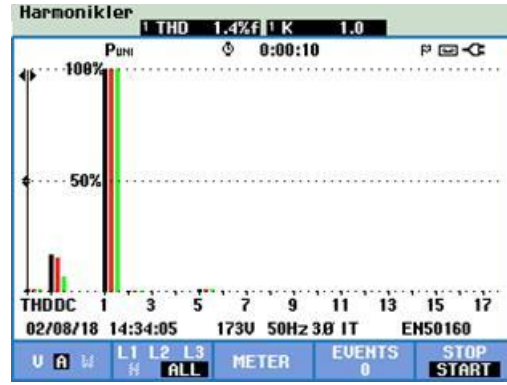
(b)

Şekil 6.163 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$  2.kademe).

Şekil 6.164'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.164.a'da %1,3 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.164.b'de ise %1,4 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

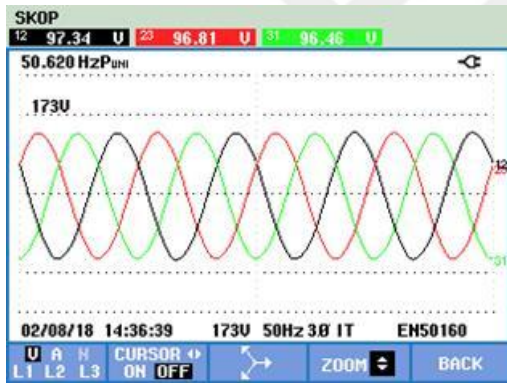


(b)

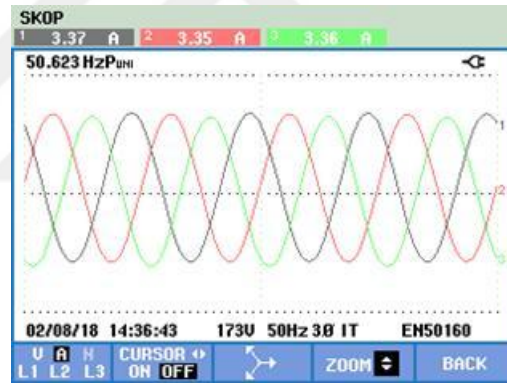
Şekil 6.164 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $32^0$  2.kademe).

### 6.14.4 3. Kademe alınan sonuçlar

Üçüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.165.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=97,34$  Volt,  $I_{hat}=3,37$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



(a)



(b)

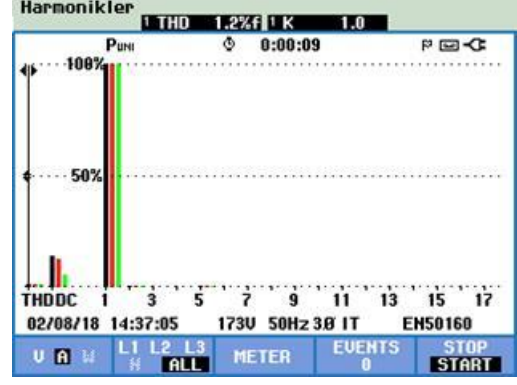
Şekil 6.165 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$  3.kademe).

Şekil 6.166’da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.166.a’da %1,1 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.166.b’de ise %1,2 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.





(a)

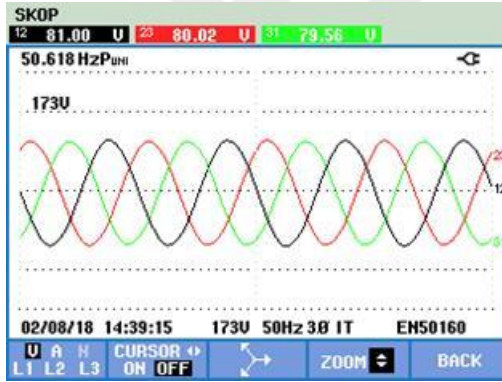


(b)

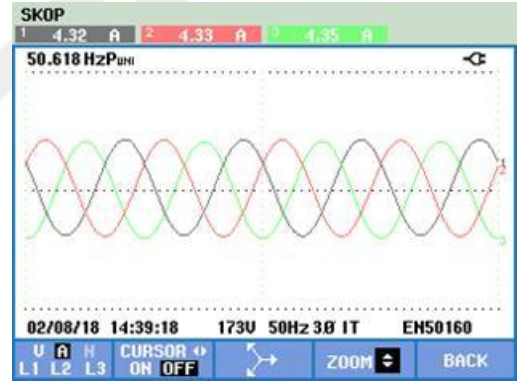
Şekil 6.166 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (32<sup>0</sup> 3.kademe).

#### 6.14.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Dördüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.167.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=81,00$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,32$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



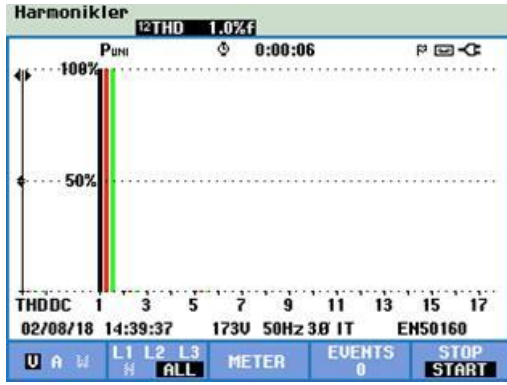
(a)



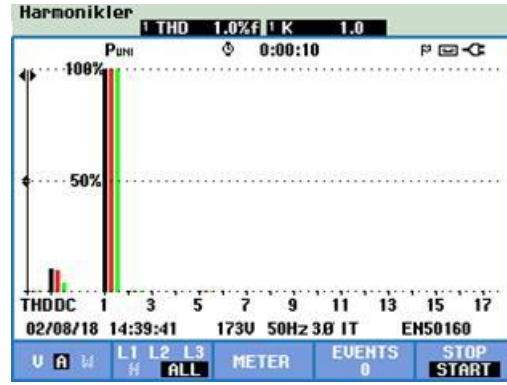
(b)

Şekil 6.167 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (32<sup>0</sup> 4.kademe).

Şekil 6.168' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.168.a' da %1,0 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.168.b'de ise %1,0 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

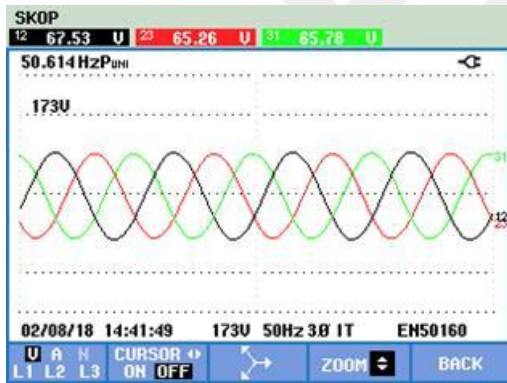


(b)

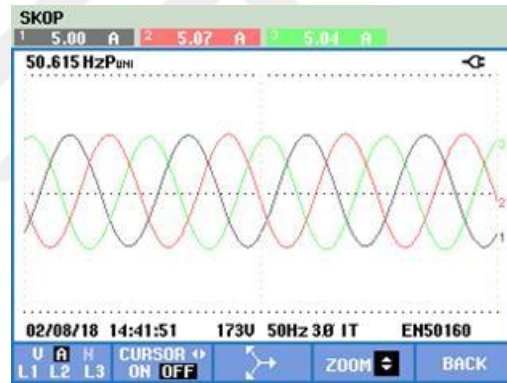
Şekil 6.168 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $32^0$  4.kademe).

### 6.14.6 5. Kademe alinan sonuçlar

Beşinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.169.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=67,53$  Volt,  $I_{hat}=5,00$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



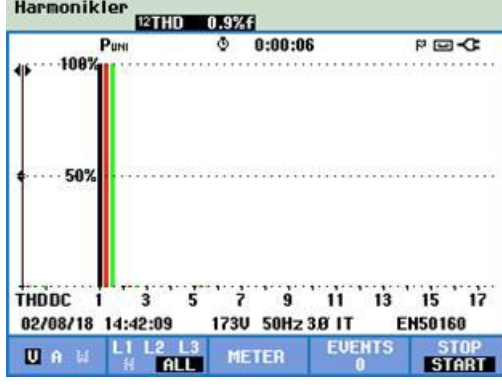
(a)



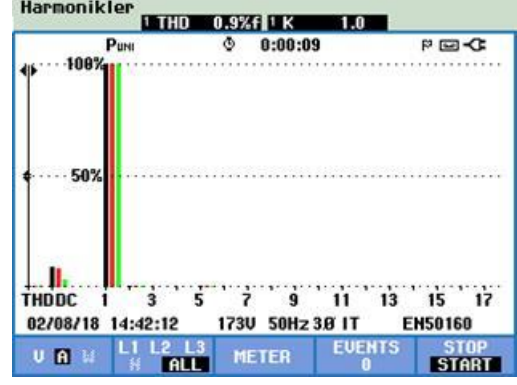
(b)

Şekil 6.169 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$  5.kademe).

Şekil 6.170’da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.170.a’ da %0,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.170.b’de ise %0,9 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

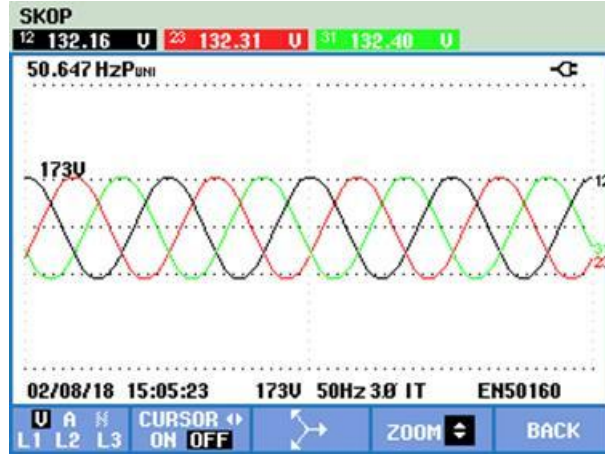
Şekil 6.170 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_v$  b)  $Thd_A$  ( $32^0$  5.kademe).

### 6.15 4'lü Grup 34 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 34 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

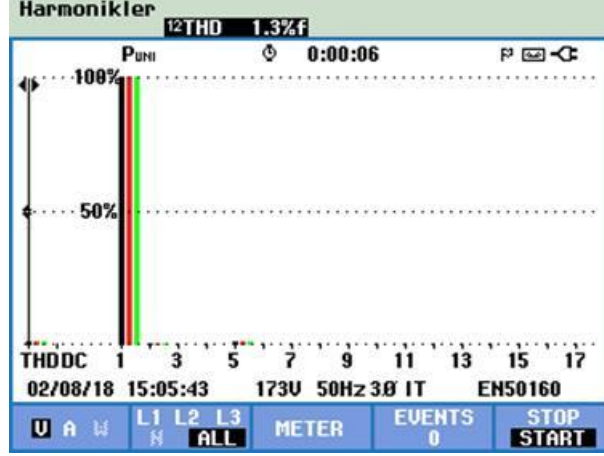
#### 6.15.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

4'lı grup 34 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.171'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=132,16$  V ve  $f=50,6$  Hz' dir.



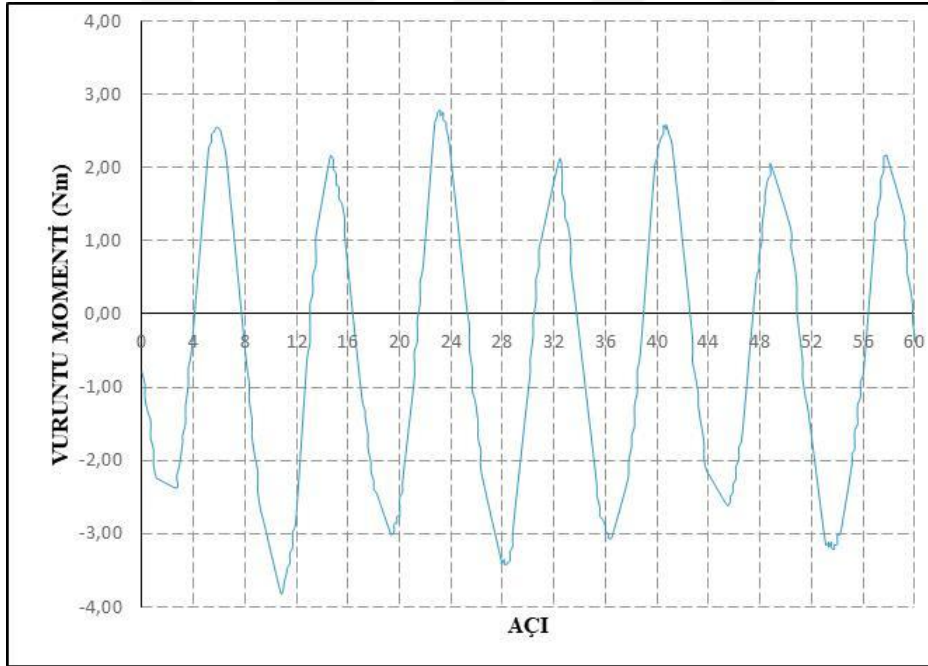
Şekil 6.171 : 3 Faz hat gerilimi ( $34^0$  yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.172' de verilmektedir. Şekil 6.172' e incelendiğinde %1,3 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.172 : 3 Faz gerilim harmonik ( $Thd_v$ ) değerleri ( $34^0$  yüksüz).

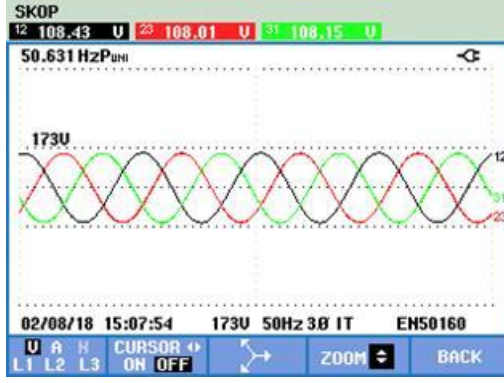
34 derece için vuru mu momenti değeri şekil 6.173’de verilmiştir. Bu şekil 6.173’e bakıldığında momentin (-3,8180) - (2,7860) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 6,5980 Nm dir.



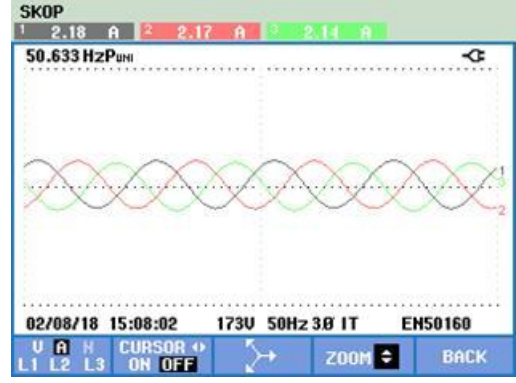
Şekil 6.173 : Vuru mu momenti ( $34^0$ ).

#### 6.15.2 1. Kademe de alınan sonuçlar

Birinci kademe de alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.174.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=108,43$  Volt,  $I_{hat}= 2,18$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



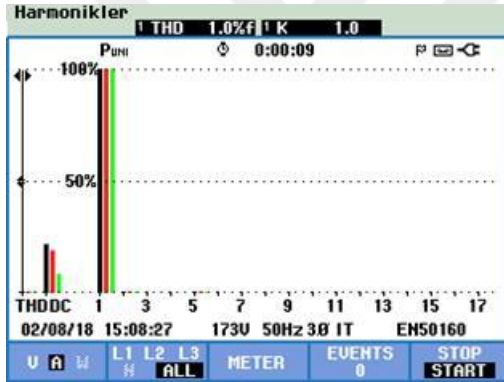
(a)



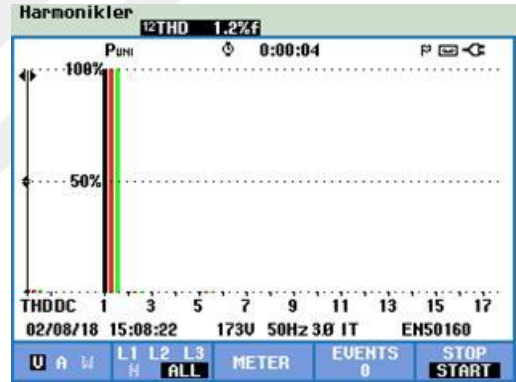
(b)

Şekil 6.174 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (34<sup>0</sup> 1.kademe).

Şekil 6.175’de harmoniklerdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.175.a’ da %1,2 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.175.b’de ise %1,0 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



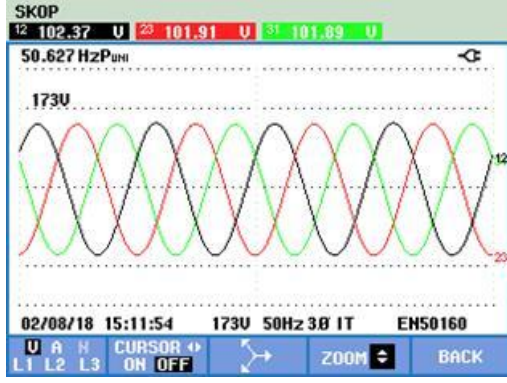
(b)

Şekil 6.175 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (34<sup>0</sup> 1.kademe).

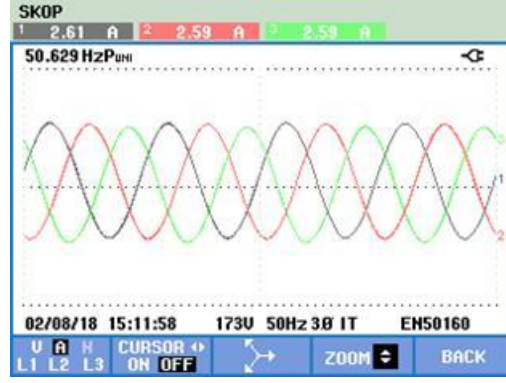
### 6.15.3 2. Kademe alınan sonuçlar

İkinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.176.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=102,37$  Volt,  $I_{hat}= 2,61$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.





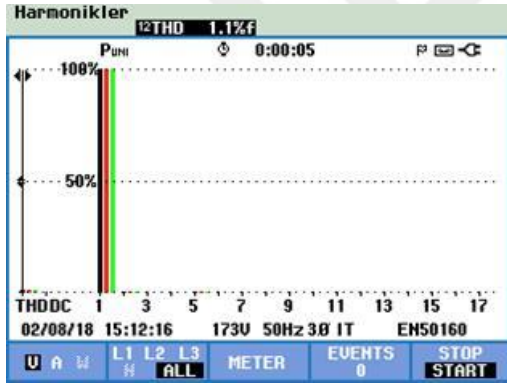
(a)



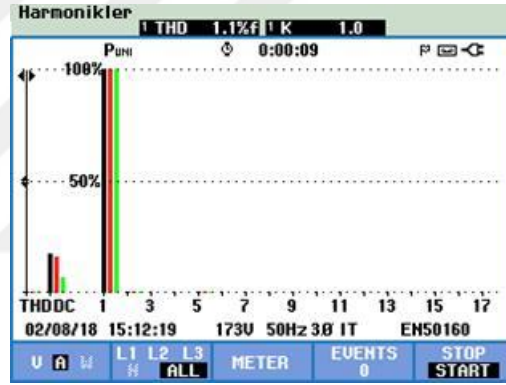
(b)

Şekil 6.176 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$  2.kademe).

Şekil 6.177'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.177.a'da %1,1 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.177.b'de ise %1,1 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



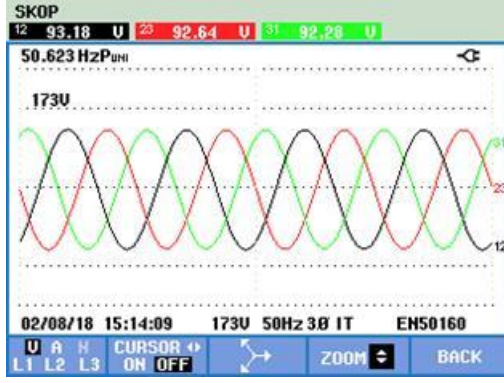
(b)

Şekil 6.177 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>V</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( $34^0$  2.kademe).

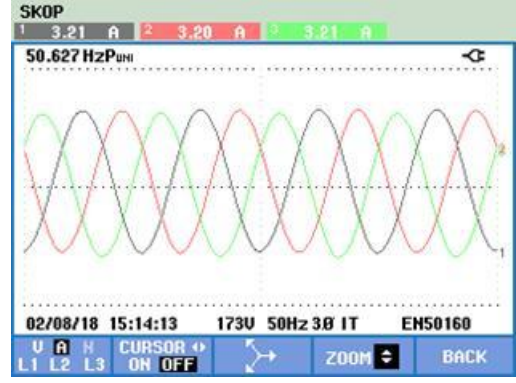
### 6.15.4 3. Kademede alınan sonuçlar

Üçüncü kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.178.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=93,18$  Volt,  $I_{\text{hat}}=3,21$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.





(a)



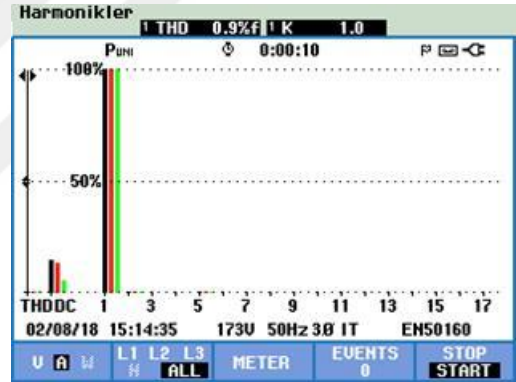
(b)

Şekil 6.178 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (34<sup>0</sup> 3.kademe).

Şekil 6.179'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.179.a'da %1,0 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.179.b'de ise %0,9 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

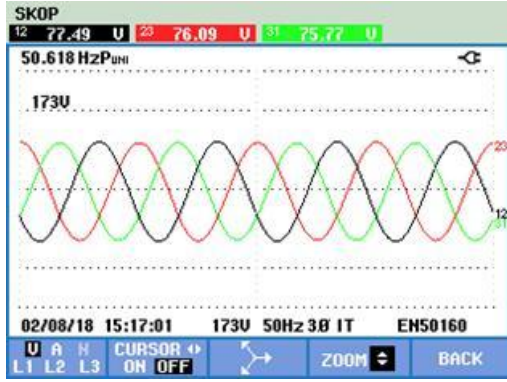


(b)

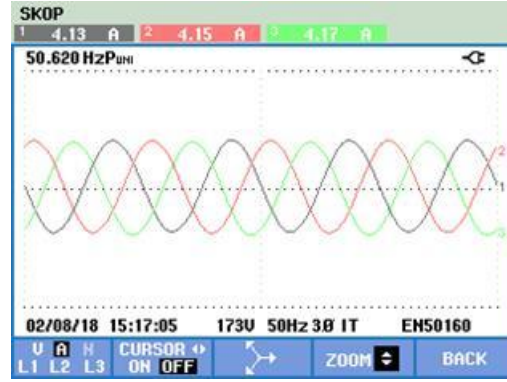
Şekil 6.179 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (34<sup>0</sup> 3.kademe).

#### 6.15.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Dördüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.180.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=77,49$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,13$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)



(b)

Şekil 6.180 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (34<sup>0</sup> 4.kademe).

Şekil 6.181’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.181.a’ da %0,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.181.b’de ise %0,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

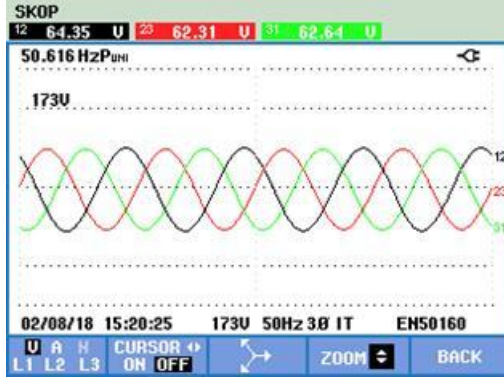


(b)

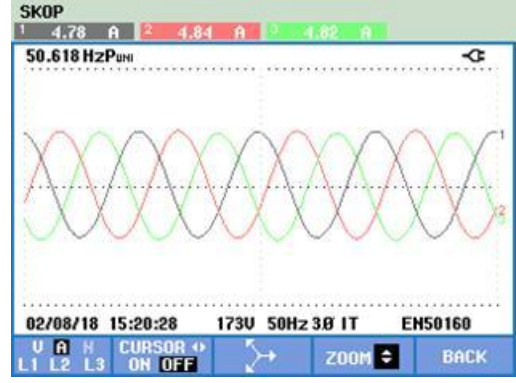
Şekil 6.181 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (34<sup>0</sup> 4.kademe).

#### 6.15.6 5. Kademe alinan sonuçlar

Beşinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.182.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=64,35$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,78$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



(a)



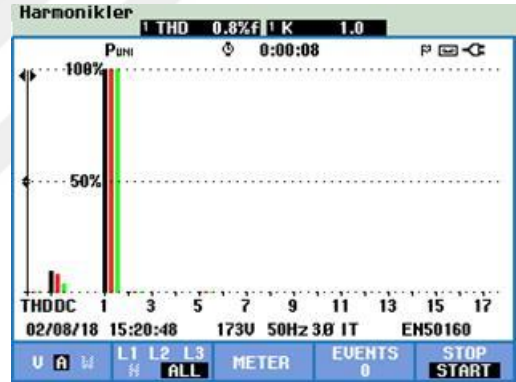
(b)

Şekil 6.182 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (34<sup>0</sup> 5.kademe).

Şekil 6.183'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.183.a' da %0,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.183.b'de ise %0,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

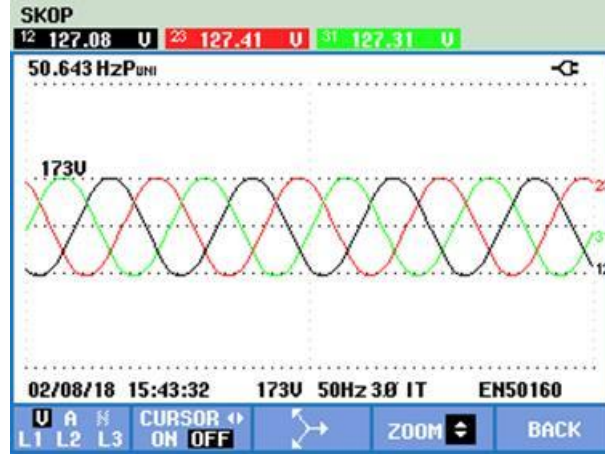
Şekil 6.183 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (34<sup>0</sup> 5.kademe).

### 6.16 4'lü Grup 36 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 36 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

#### 6.16.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

4'lü grup 36 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.184'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=127,08 \text{ V}$  ve  $f=50,6 \text{ Hz}$  dir.



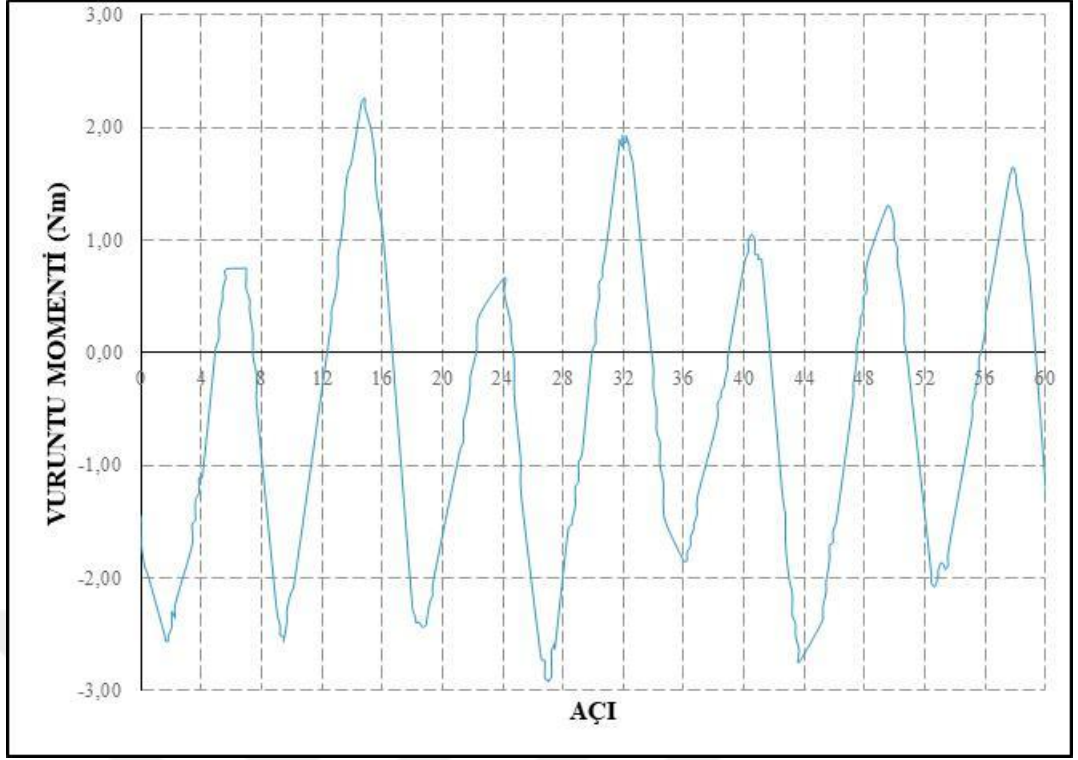
Şekil 6.184 : 3 Faz hat gerilimi (36<sup>0</sup> yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.185’de verilmektedir. Şekil 6.185’e incelendiğinde %1,9 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.185 : 3 Faz gerilim harmonik (Thdv) değerleri (36<sup>0</sup> yüksüz).

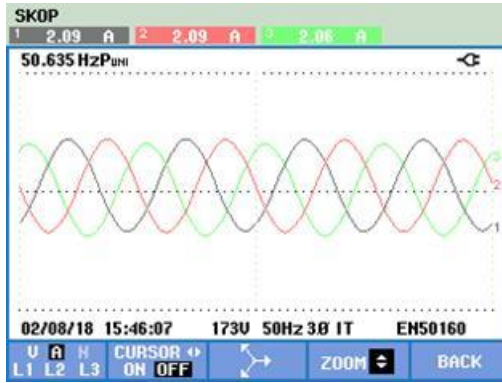
36 derece için vuru mu momenti değeri şekil 6.186’da verilmiştir. Bu şekil 6.186’ya bakıldığında momentin (-2,9210) - (2,2600) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 5,1810 Nm dir.



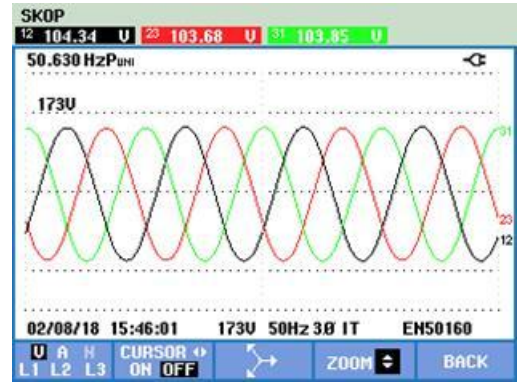
Şekil 6.186 : Vuruntu momenti ( $36^0$ ).

#### 6.16.2 1. Kademe alinan sonuçlar

Birinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.187.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=104,34$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,09$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)

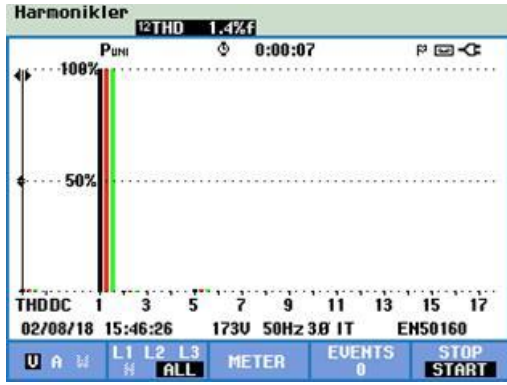


(b)

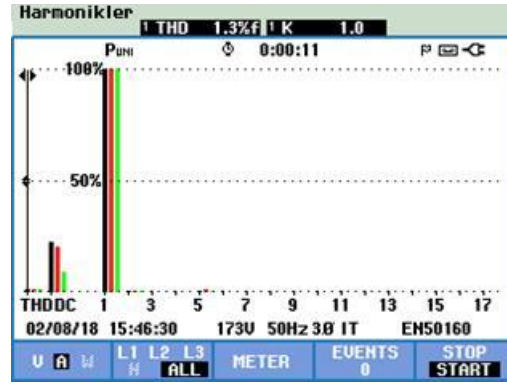
Şekil 6.187 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$  1.kademe).

Şekil 6.188'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.188.a' da %1,4 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.188.b'de ise %1,3 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.





(a)

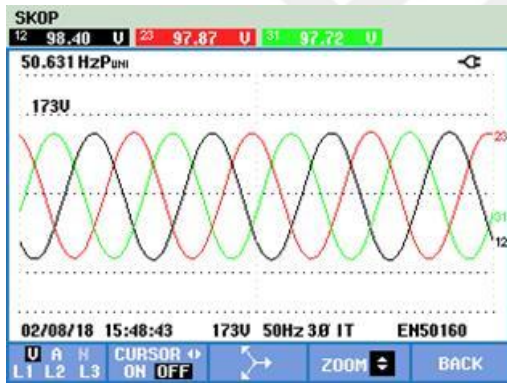


(b)

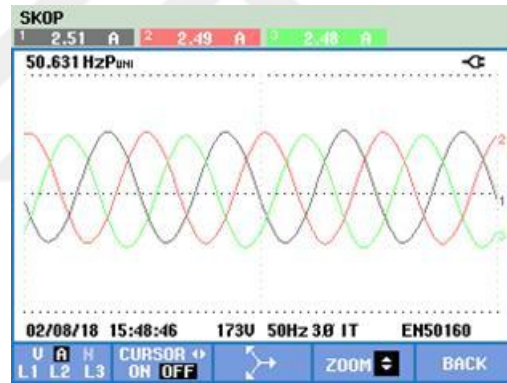
Şekil 6.188 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $36^0$  1.kademe).

### 6.16.3 2. Kademe alinan sonuçlar

İkinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.189.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=98,40$  Volt,  $I_{hat}=2,51$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)

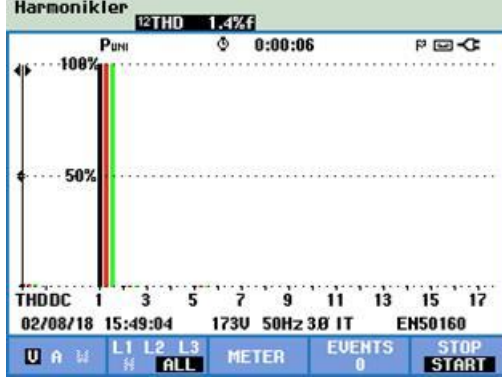


(b)

Şekil 6.189 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$  2.kademe).

Şekil 6.190'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.190.a'da %1,4 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.190.b'de ise %1,3 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.





(a)

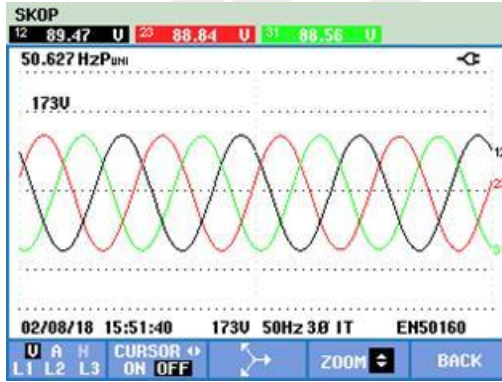


(b)

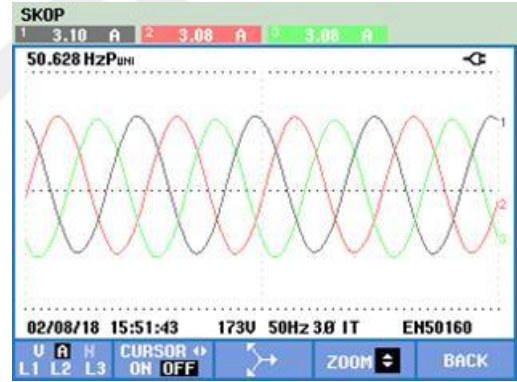
Şekil 6.190 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (36<sup>0</sup> 2.kademe).

### 6.16.4 3. Kademe alınan sonuçlar

Üçüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.191.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=89,47$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 3,10$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



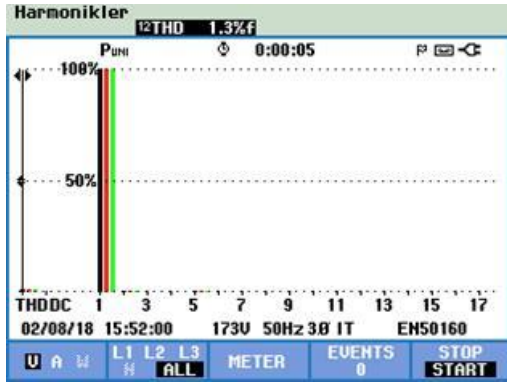
(a)



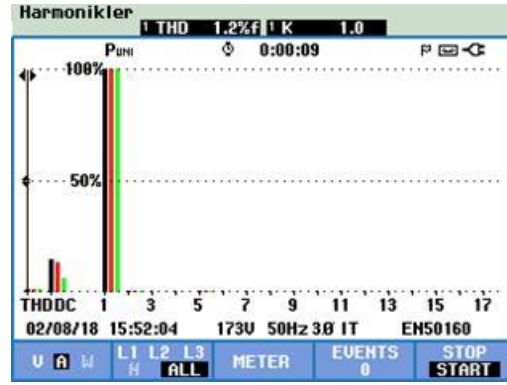
(b)

Şekil 6.191 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (36<sup>0</sup> 3.kademe).

Şekil 6.192'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.192.a'da %1,3 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.192.b'de ise %1,2 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

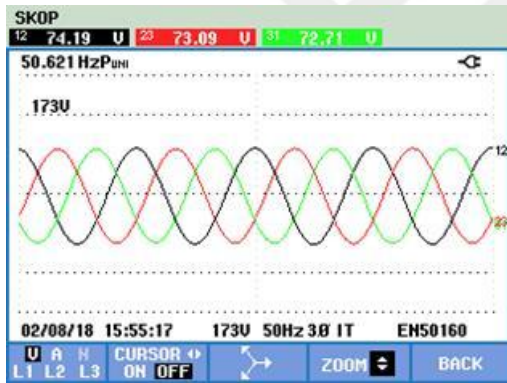


(b)

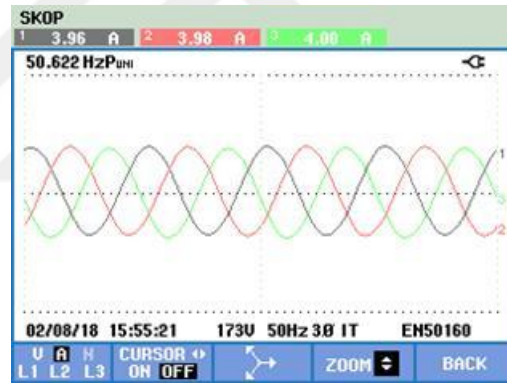
Şekil 6.192 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $36^0$  3.kademe).

#### 6.16.5 4. Kademe alinan sonuçlar

Dördüncü kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.193.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=74,19$  Volt,  $I_{hat}=3,96$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



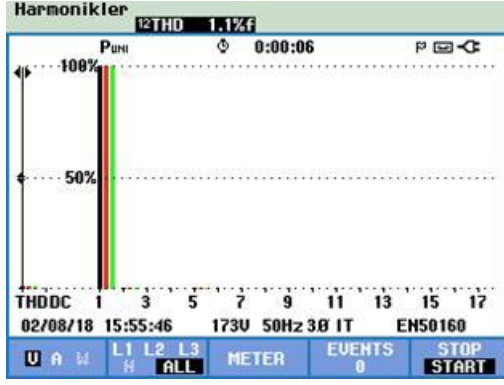
(a)



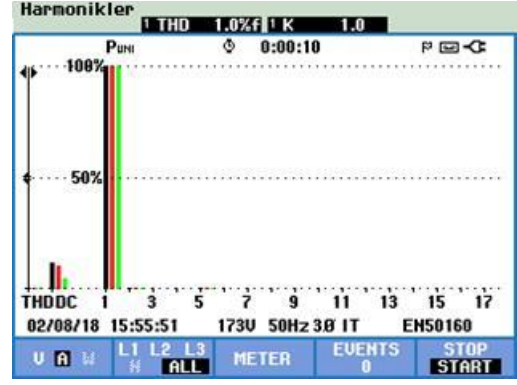
(b)

Şekil 6.193 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $36^0$  4.kademe).

Şekil 6.194’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.194.a’da %1,1 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.194.b’de ise %1,0 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

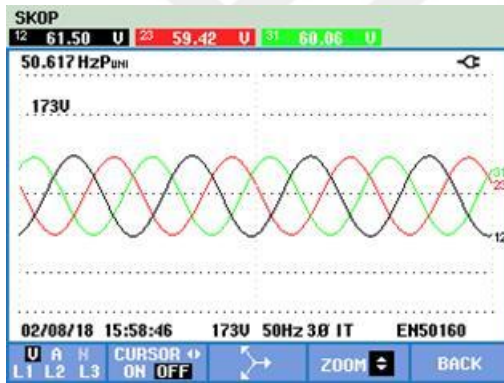


(b)

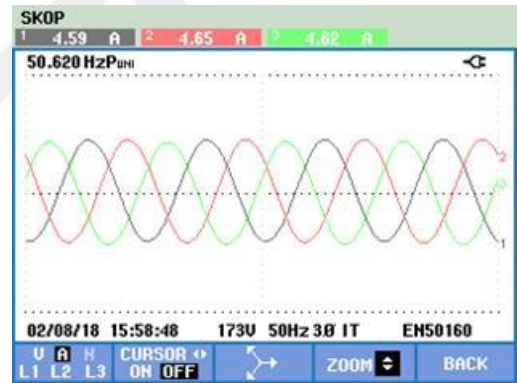
Şekil 6.194 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (36<sup>0</sup> 4.kademe).

### 6.16.6 5. Kademe alınan sonuçlar

Beşinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.195.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=61,50$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,59$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



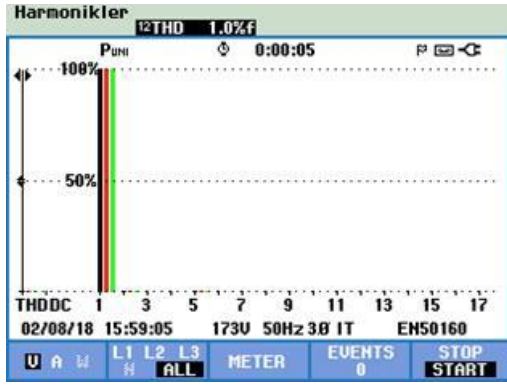
(a)



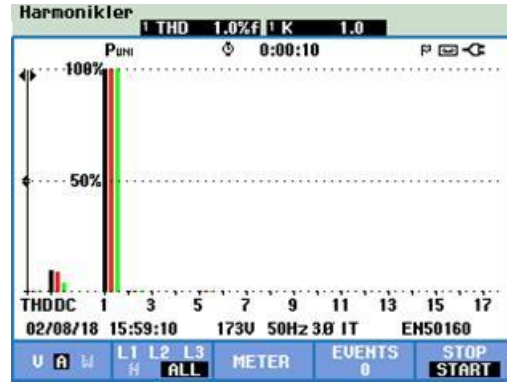
(b)

Şekil 6.195 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (36<sup>0</sup> 5.kademe).

Şekil 6.196'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.196.a'da %1,0 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.196.b'de ise %1,0 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)



(b)

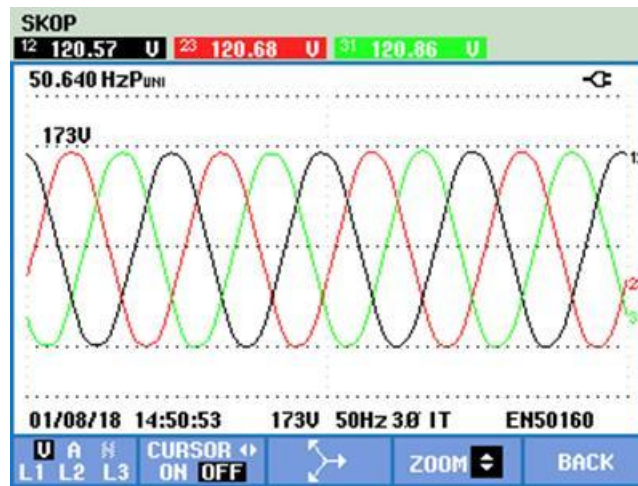
Şekil 6.196 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $36^0$  5.kademe).

### 6.17 4'lü Grup 38 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 38 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

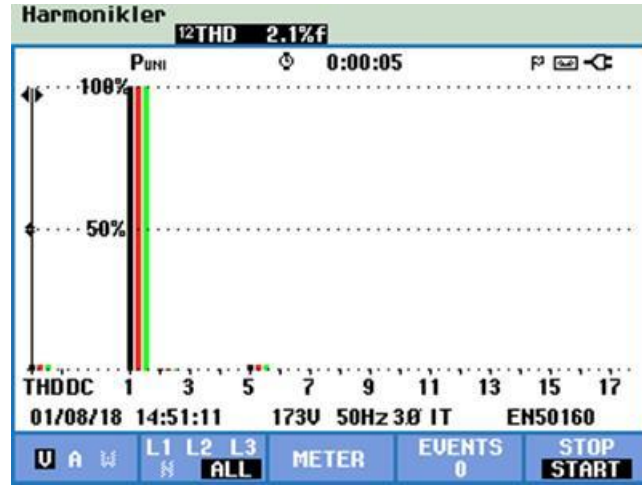
#### 6.17.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

4'lü grup 38 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.197'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=120,57$  V ve  $f=50,6$  Hz' dir.



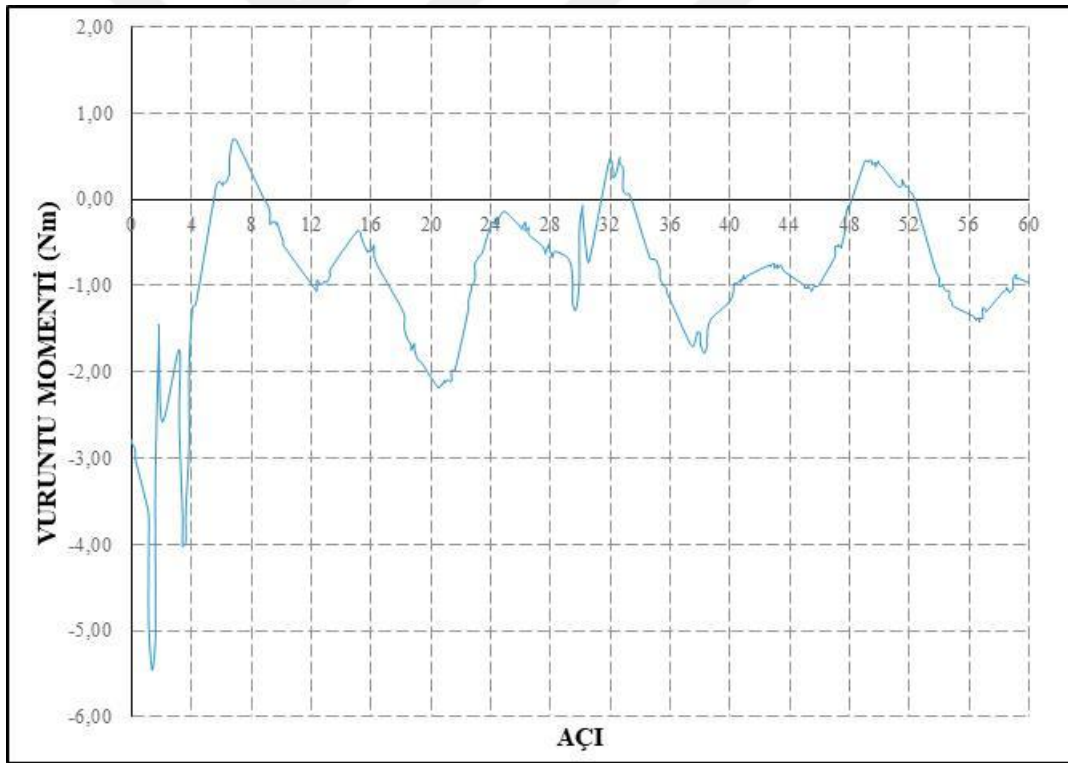
Şekil 6.197 : 3 Faz hat gerilimi ( $38^0$  yüksüz).

3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.198'de verilmektedir. Şekil 6.198'e incelendiğinde %2,1 oranında her faz için gerilim harmoniğinin olduğu görülmektedir.



Şekil 6.198 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd<sub>v</sub>) değerleri (38<sup>0</sup> yüksüz).

38 derece için vuruntu momenti değeri şekil 6.199'da verilmiştir. Bu şekil 6.199'a bakıldığında momentin (-5,4600) - (0,6920) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 6,1520 Nm dir.

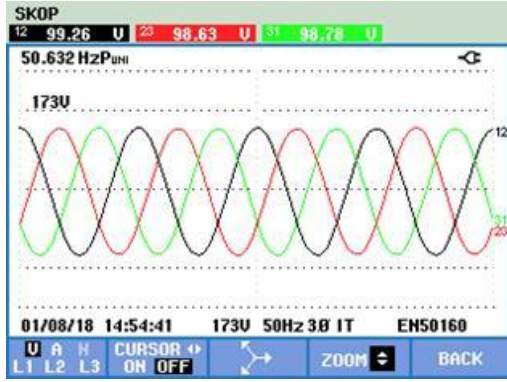


Şekil 6.199 : Vuruntu momenti (38<sup>0</sup>).

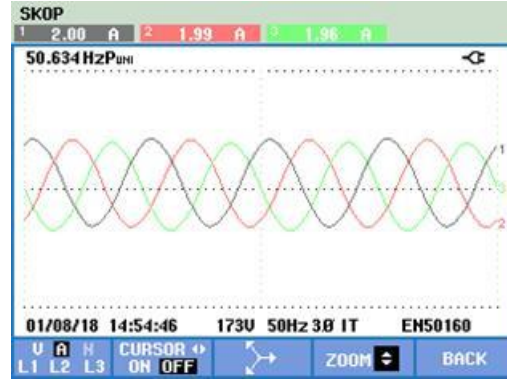
#### 6.17.2 1. Kademe alınan sonuçlar

Birinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.200.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=99,26$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,00$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.





(a)



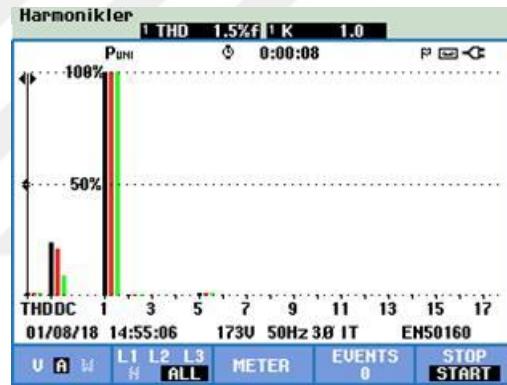
(b)

Şekil 6.200 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$  1.kademe).

Şekil 6.201'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.201.a'da %1,5 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.201.b'de ise %1,5 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



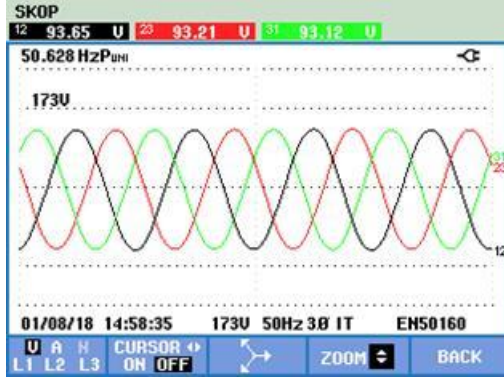
(b)

Şekil 6.201 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_v$  b)  $Thd_A$  ( $38^0$  1.kademe).

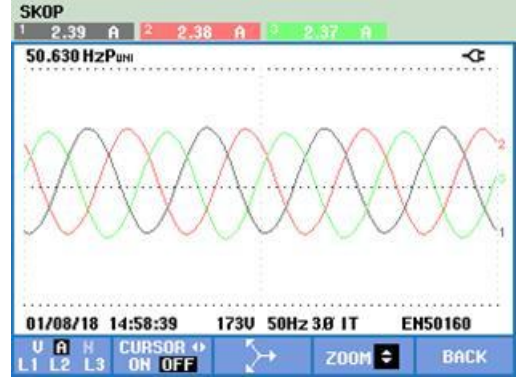
### 6.17.3 2. Kademe alnan sonuçlar

İkinci kademe alnan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.202.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=93,65$  Volt,  $I_{hat}=2,39$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.





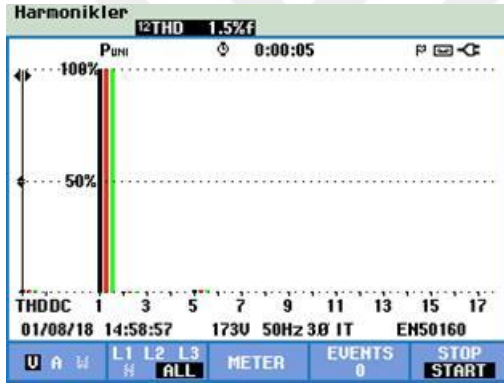
(a)



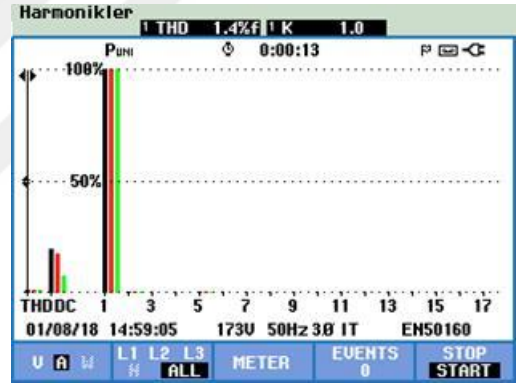
(b)

Şekil 6.202 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (38<sup>0</sup> 2.kademe).

Şekil 6.203'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.203.a'da %1,5 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.203.b'de ise %1,4 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

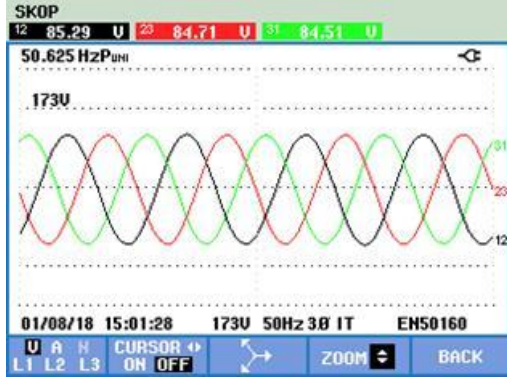


(b)

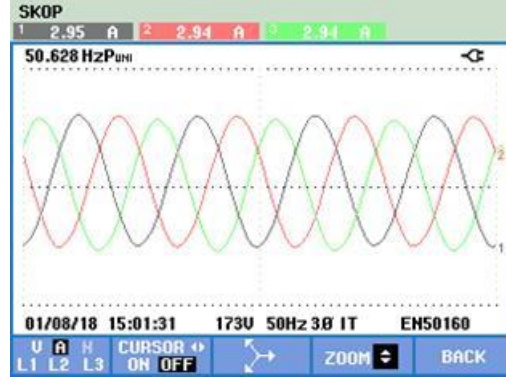
Şekil 6.203 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (38<sup>0</sup> 2.kademe).

### 6.17.4 3. Kademe alınan sonuçlar

Üçüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.204.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=85,29$  Volt,  $I_{\text{hat}}=2,95$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



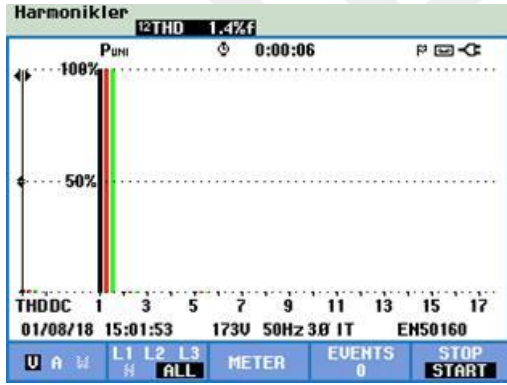
(a)



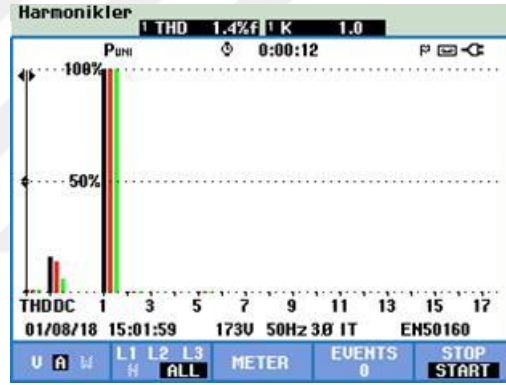
(b)

Şekil 6.204 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$  3.kademe).

Şekil 6.205’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.205.a’da %1,4 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.205.b’de ise %1,4 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

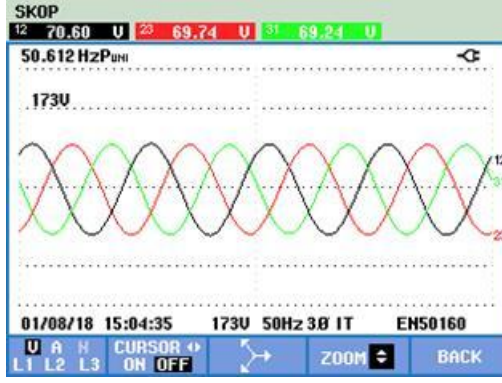


(b)

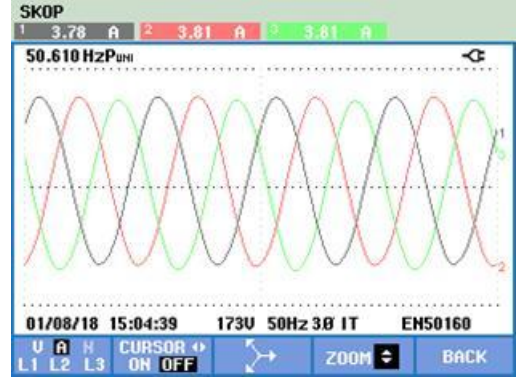
Şekil 6.205 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_v$  b)  $Thd_A$  ( $38^0$  3.kademe).

#### 6.17.5 4. Kademe alinan sonuçlar

Dördüncü kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.206.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=70,60$  Volt,  $I_{hat}=3,78$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



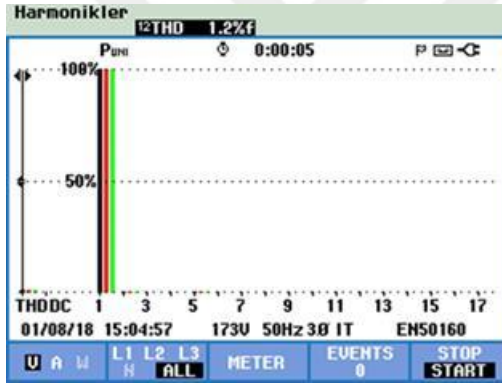
(a)



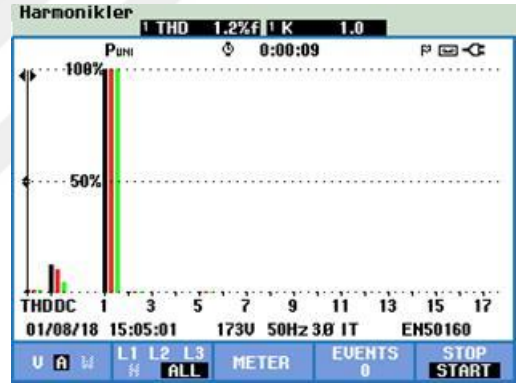
(b)

Şekil 6.206 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (38<sup>0</sup> 4.kademe).

Şekil 6.207’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.207.a’ da %1,2 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.207.b’de ise %1,2 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

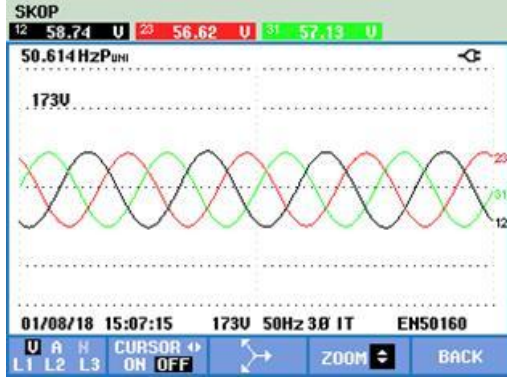


(b)

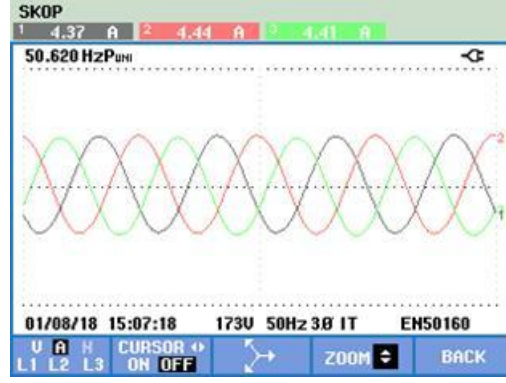
Şekil 6.207 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (38<sup>0</sup> 4.kademe).

#### 6.17.6 5. Kademe alınan sonuçlar

Beşinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.208.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=58,74$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,37$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



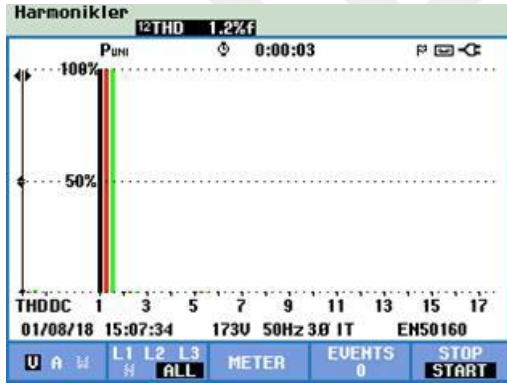
(a)



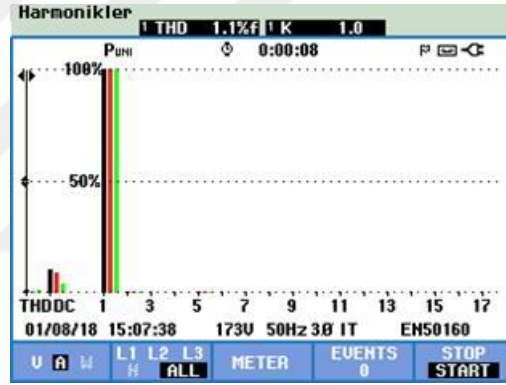
(b)

Şekil 6.208 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $38^0$  5.kademe).

Şekil 6.209’da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.209.a’ da %1,2 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.209.b’de ise %1,1 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

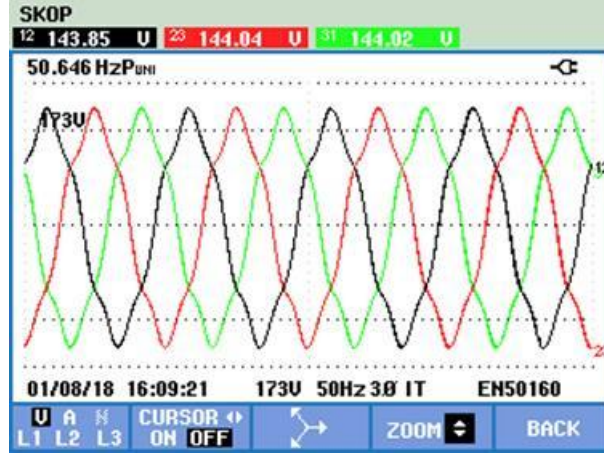
Şekil 6.209 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $38^0$  5.kademe).

## 6.18 6’lı Grup 28 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 28 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

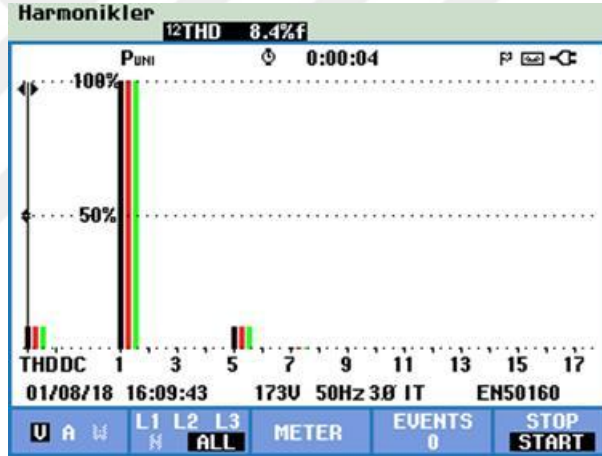
### 6.18.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

6’lı grup 28 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.210’de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=143,85$  V ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



Şekil 6.210 : 3 Faz hat gerilimi (28<sup>0</sup> yüksüz).

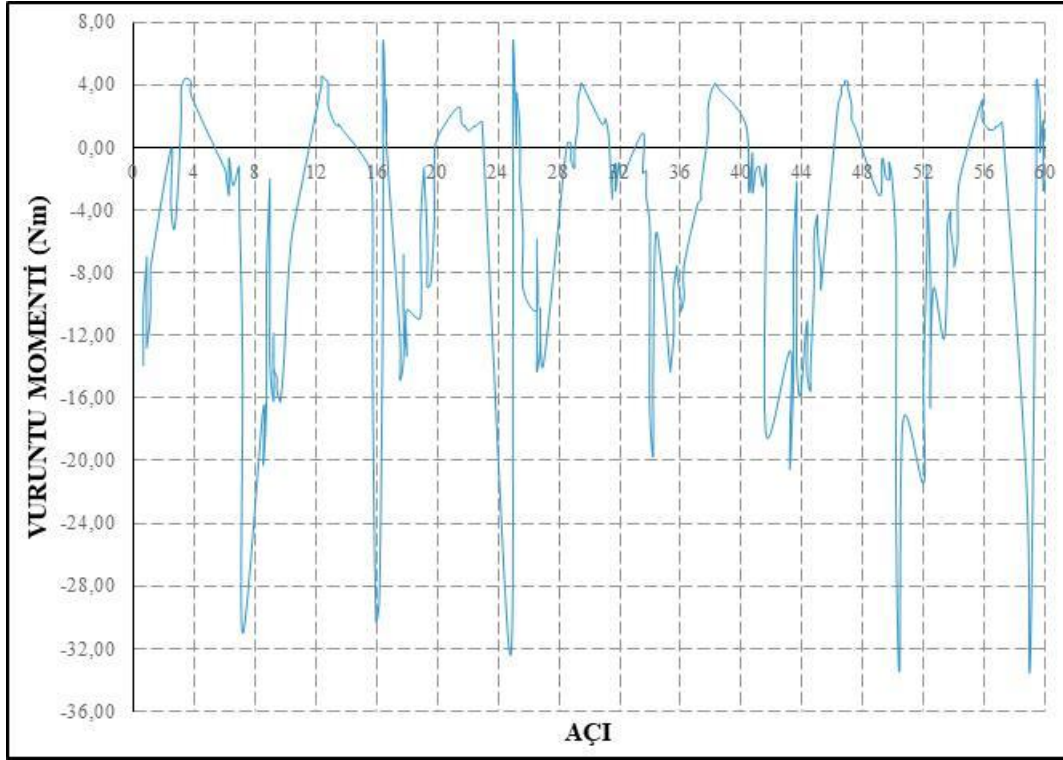
3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için, şekil 6.211’de verilmektedir. Şekil 6.211’e incelendiğinde %8,4 oranında her faz için gerilim harmoniğinin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.211 : 3 Faz gerilim harmonik (Thdv) değerleri (28<sup>0</sup> yüksüz).

28 derece için vuru mu momenti değeri şekil 6.212’de verilmiştir. Bu şekil 6.212’e bakıldığında momentin (-33,5800) - (6,5820) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 40,1620 Nm dir.

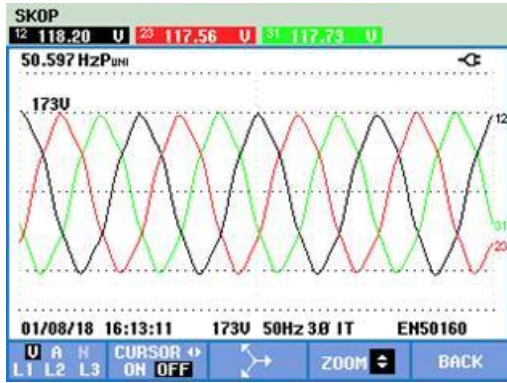




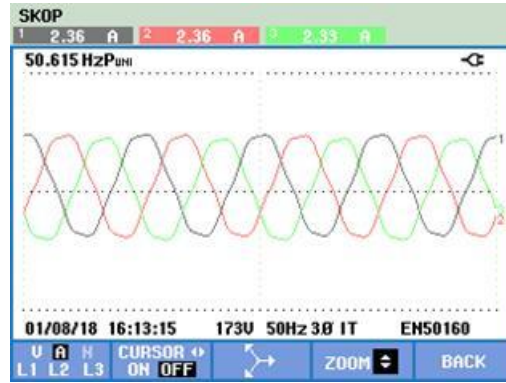
Şekil 6.212 : Vuruntu momenti ( $28^0$ ).

### 6.18.2 1. Kademede alınan sonuçlar

Birinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.213.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=118,20$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,36$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



(a)

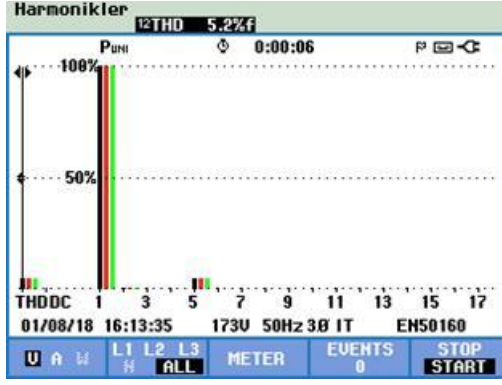


(b)

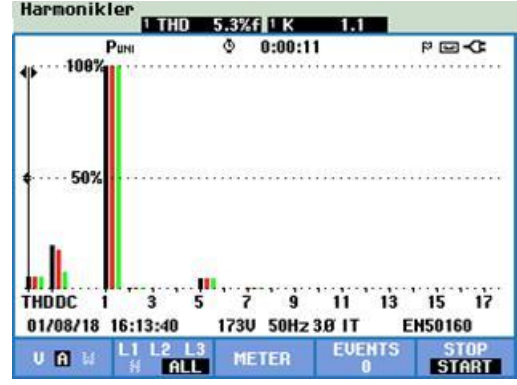
Şekil 6.213 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$  1.kademe).

Şekil 6.214’da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.214.a’da %5,2 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.214.b’de ise %5,3 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.





(a)

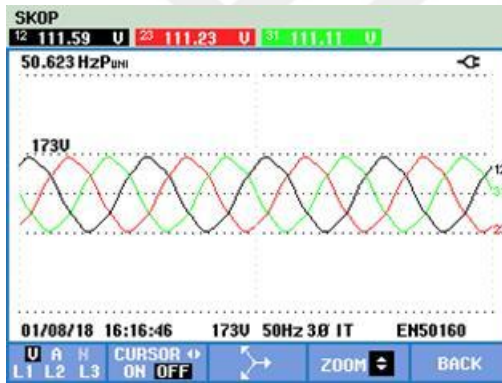


(b)

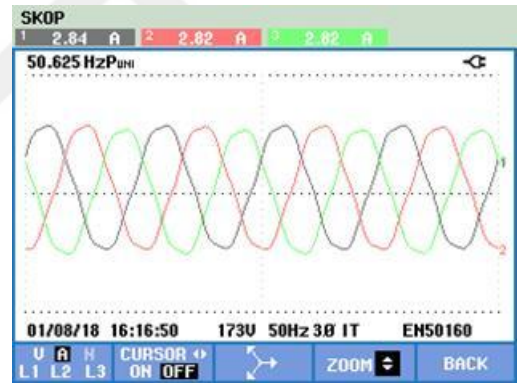
Şekil 6.214 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_v$  b)  $Thd_A$  ( $28^0$  1.kademe).

### 6.18.3 2. Kademe alınan sonuçlar

İkinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.215'a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=111,59$  Volt,  $I_{hat}= 2,84$  A ve  $f=50,6$  Hz dir.



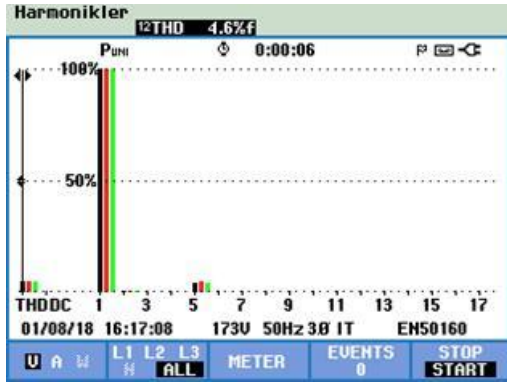
(a)



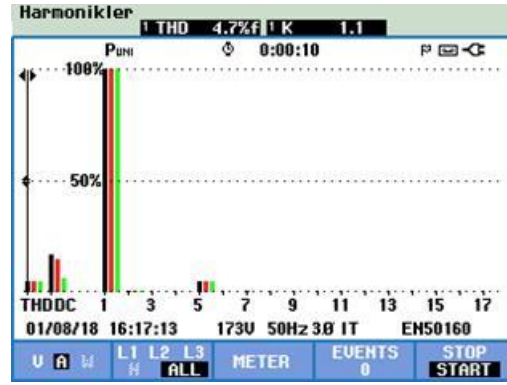
(b)

Şekil 6.215 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$  2.kademe).

Şekil 6.216'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.216.a' da %4,6 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.216.b'de ise %4,7 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

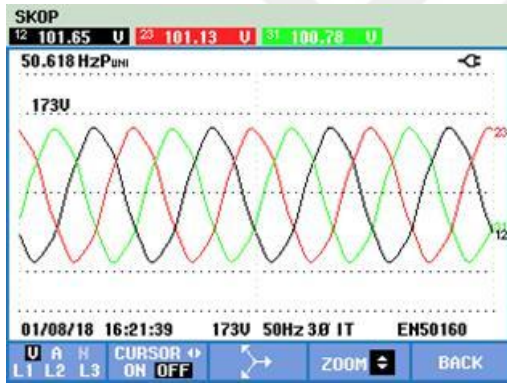


(b)

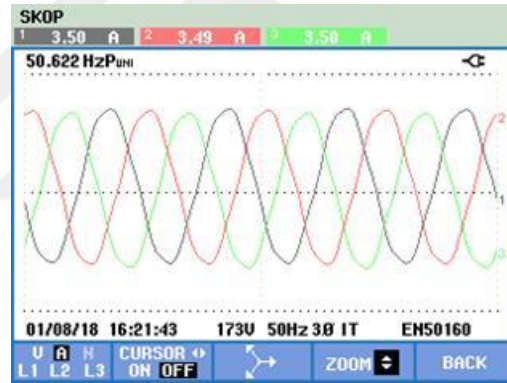
Şekil 6.216 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $28^0$  2.kademe).

### 6.18.4 3. Kademe alınan sonuçlar

Üçüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.217.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=101,65$  Volt,  $I_{hat}= 3,50$  A ve  $f=50,6$  Hz dir.



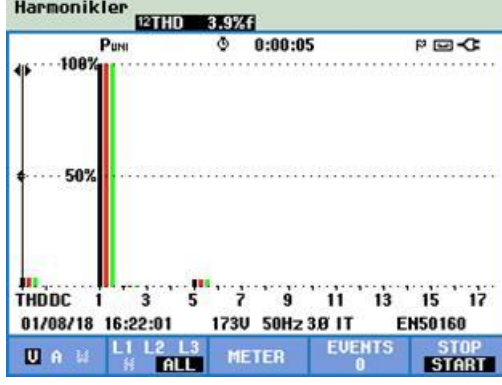
(a)



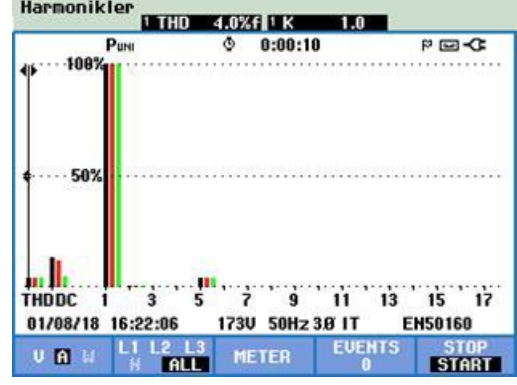
(b)

Şekil 6.217 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$  3.kademe).

Şekil 6.218’da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.218.a’da %3,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.218.b’de ise %4,0 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

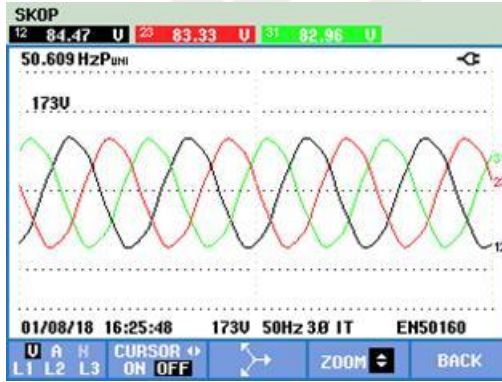


(b)

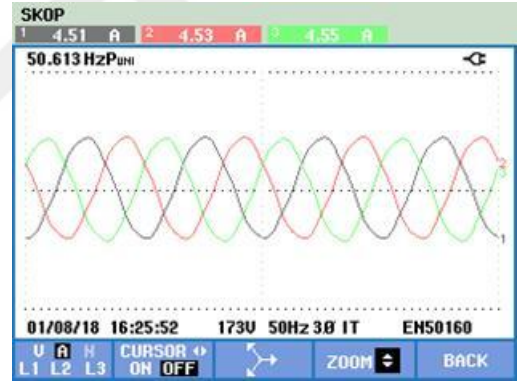
Şekil 6.218 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (28<sup>0</sup> 3.kademe).

#### 6.18.5 4. Kademe alınan sonuçlar

Dördüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.219'a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=84,47$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,51$  A ve  $f=50,6$  Hz dir.



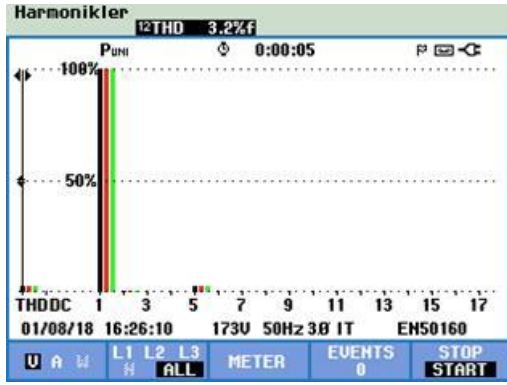
(a)



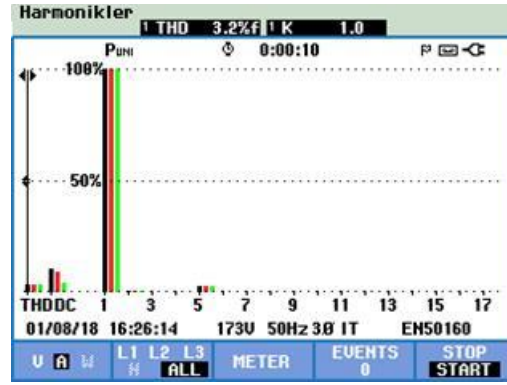
(b)

Şekil 6.219 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (28<sup>0</sup> 4.kademe).

Şekil 6.220'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.220.a'da %3,2 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.220.b'de ise %3,2 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

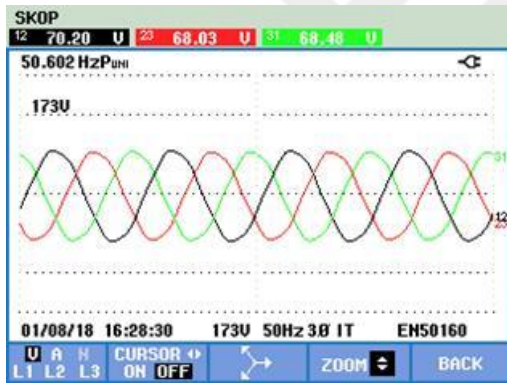


(b)

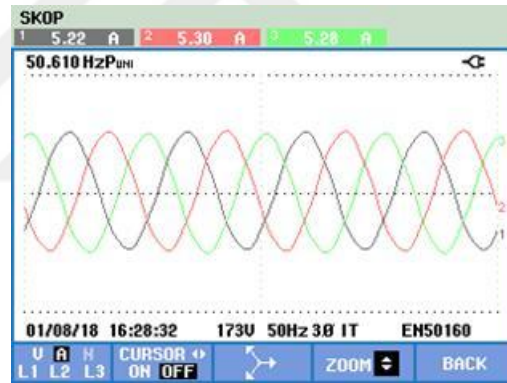
Şekil 6.220 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $28^0$  4.kademe).

### 6.18.6 5. Kademe alinan sonuçlar

Beşinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.221.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=70,20$  Volt,  $I_{hat}=5,22$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)



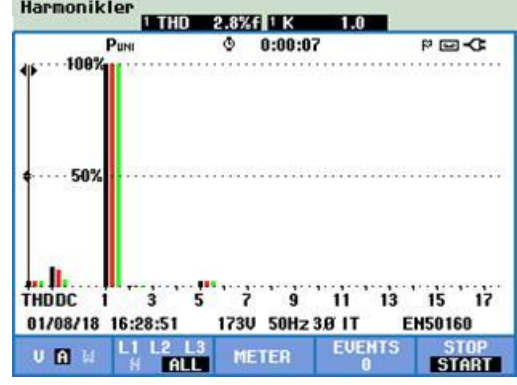
(b)

Şekil 6.221 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $28^0$  5.kademe).

Şekil 6.222'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.222.a' da %2,7 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.222.b'de ise %2,8 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)



(b)

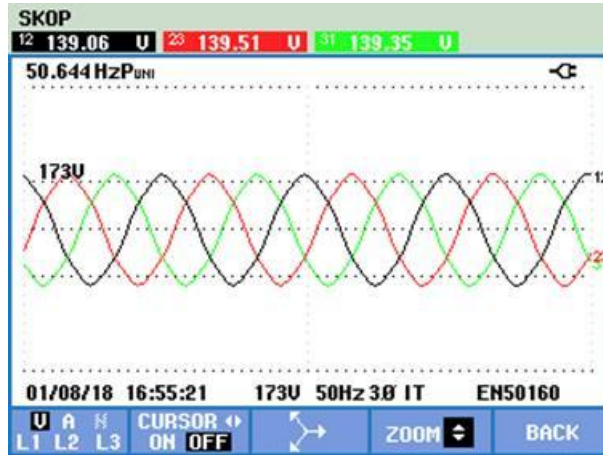
Şekil 6.222 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_v$  b)  $Thd_A$  ( $28^0$  5.kademe).

### 6.19 6'lı Grup 30 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 30 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

#### 6.19.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

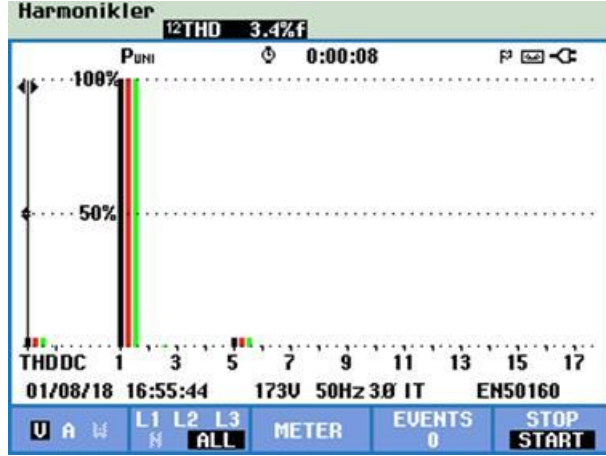
6'lı grup 30 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.223'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=139,06$  V ve  $f=50,6$  Hz' dir.



Şekil 6.223 : 3 Faz hat gerilimi ( $30^0$  yüksüz).

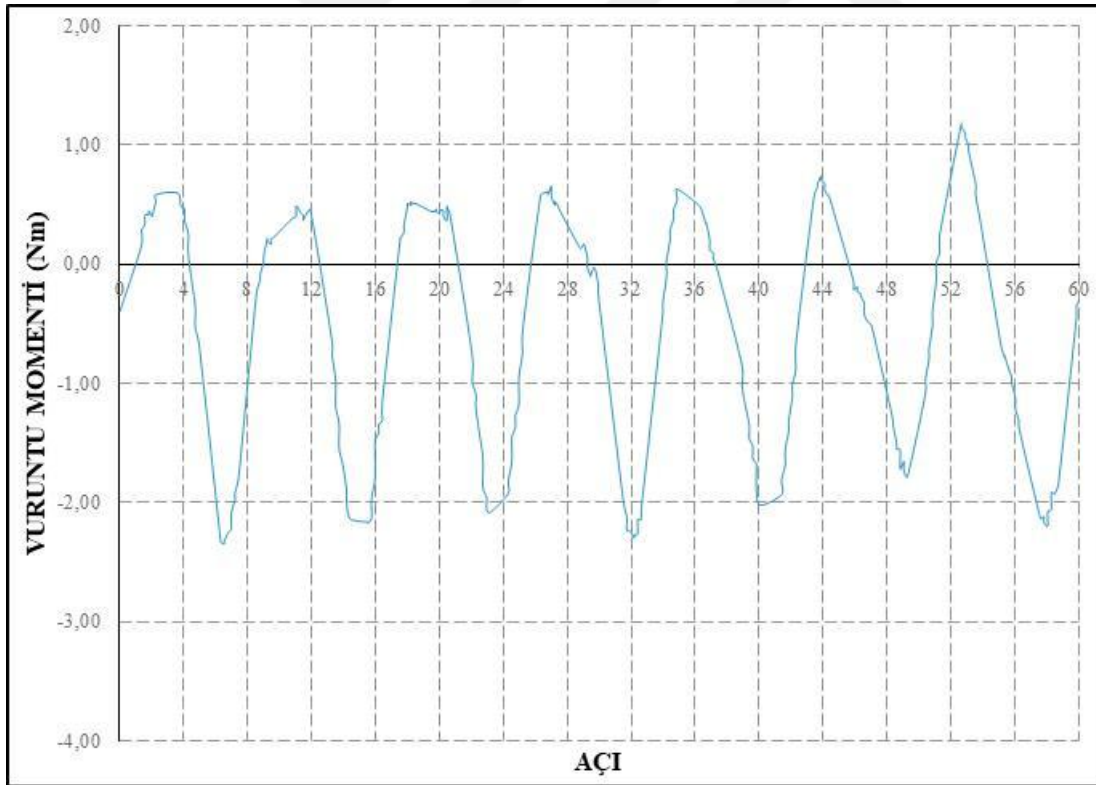
3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.224'de verilmektedir. Şekil 6.224'e incelendiğinde %3,4 oranında her faz için gerilim harmoniğinin olduğu görülmektedir.





Şekil 6.224 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd<sub>v</sub>) değerleri (30<sup>0</sup> yüksüz).

30 derece için vuruuntu momenti değeri şekil 6.225’de verilmiştir. Bu şekil 6.225’e bakıldığında momentin (-2,3480) - (1,1780) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 3,5260 Nm dir.

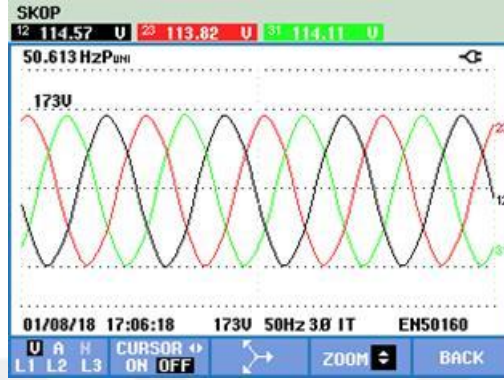


Şekil 6.225 : Vuruuntu momenti (30<sup>0</sup>).

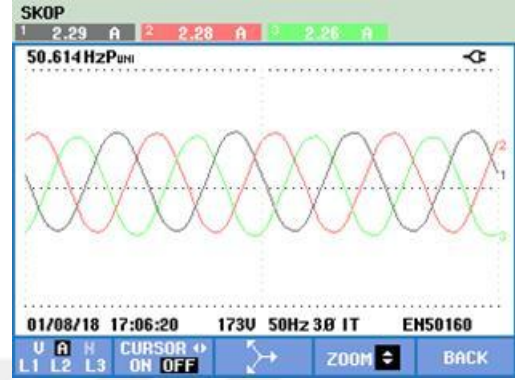


### 6.19.2 1. Kademe alinan sonuçlar

Birinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.226.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=114,57$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,29$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



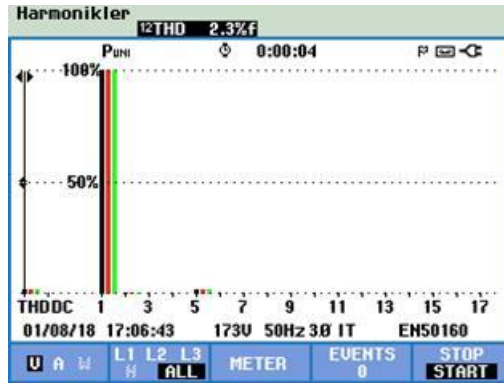
(a)



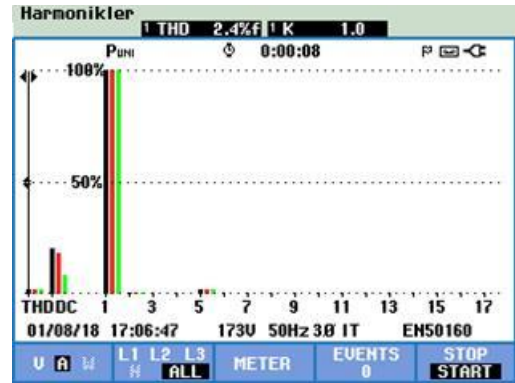
(b)

Şekil 6.226 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30<sup>0</sup> 1.kademe).

Şekil 6.227'de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.227.a'da %2,3 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.227.b'de ise %2,4 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

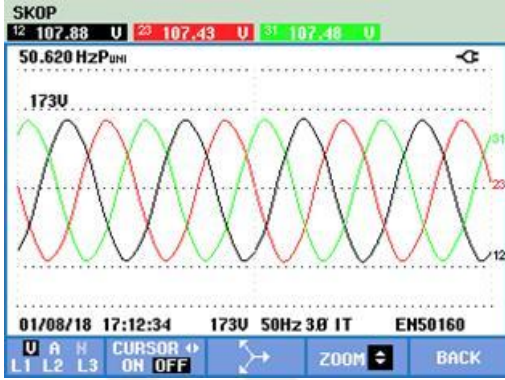


(b)

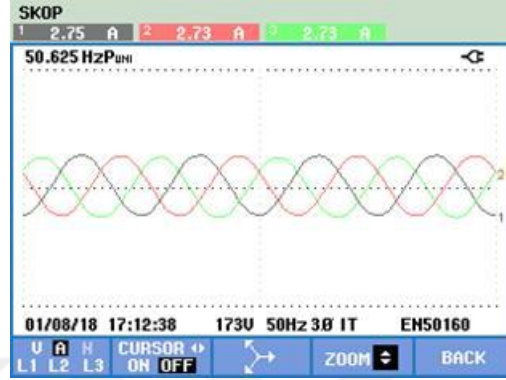
Şekil 6.227 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thdv b) Thd<sub>A</sub> (30<sup>0</sup> 1.kademe).

### 6.19.3.2. Kademede alınan sonuçlar

İkinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.228.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=107,88$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,75$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



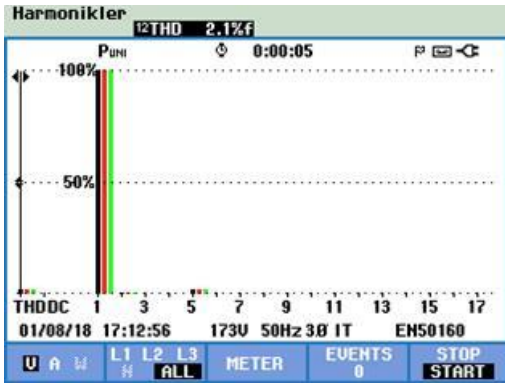
(a)



(b)

Şekil 6.228 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30<sup>0</sup> 2.kademe).

Şekil 6.229'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.229.a' da %2,1 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.229.b'de ise %2,2 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

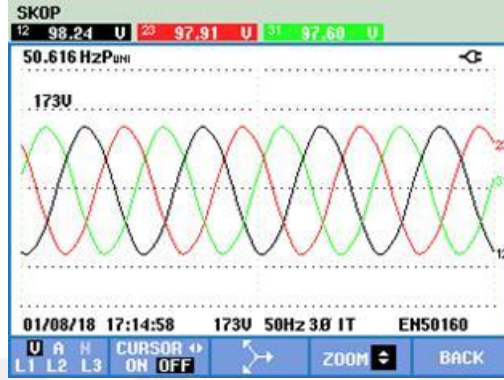


(b)

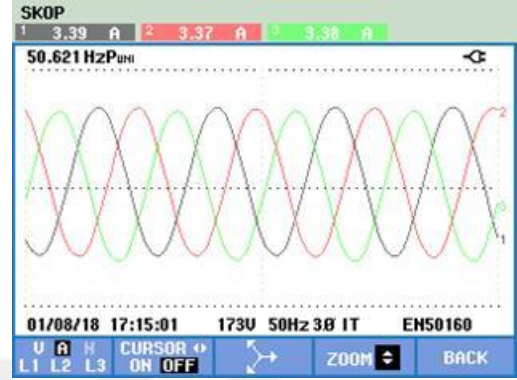
Şekil 6.229 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (30<sup>0</sup> 2.kademe).

### 6.19.4 3. Kademe alinan sonuçlar

Üçüncü kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.230.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=98,24$  Volt,  $I_{\text{hat}}=3,39$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



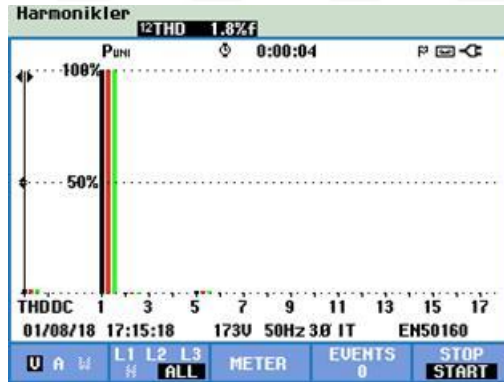
(a)



(b)

Şekil 6.230 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30<sup>0</sup> 3.kademe).

Şekil 6.231'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.231.a' da %1,8 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.231.b'de ise %1,8 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

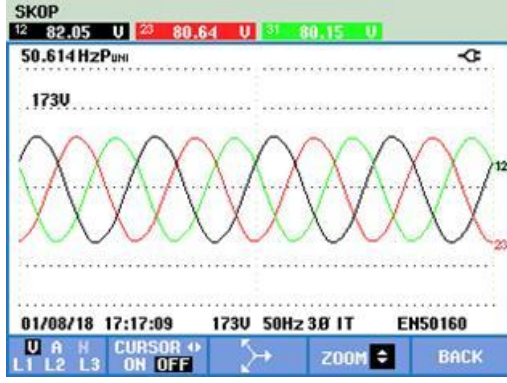


(b)

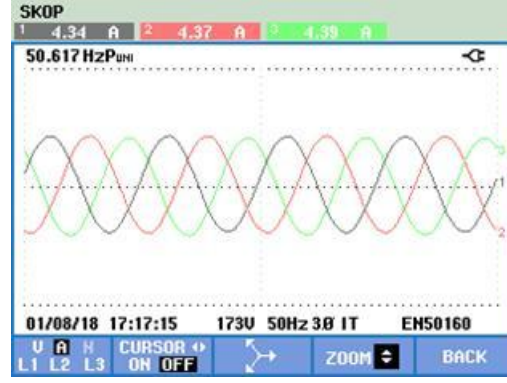
Şekil 6.231 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (30<sup>0</sup> 3.kademe).

### 6.19.5 4. Kademe alinan sonuçlar

Dördüncü kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.232.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=82,05$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,34$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)



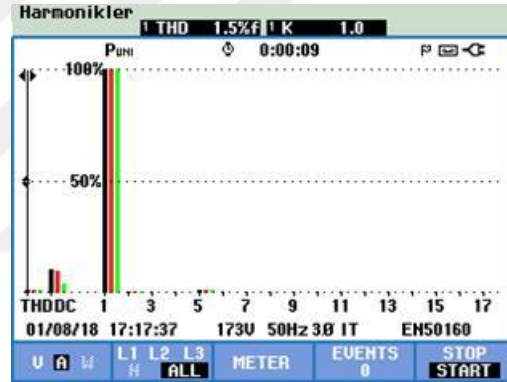
(b)

Şekil 6.232 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30<sup>0</sup> 4.kademe).

Şekil 6.233'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.233.a' da %1,5 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.233.b'de ise %1,5 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

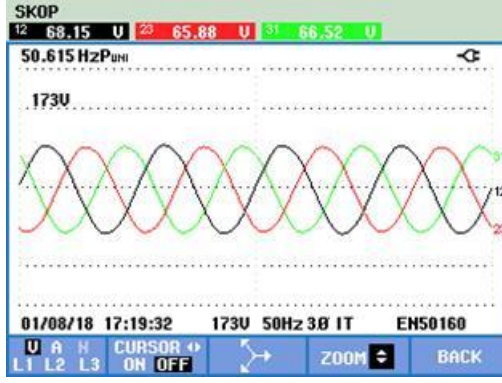


(b)

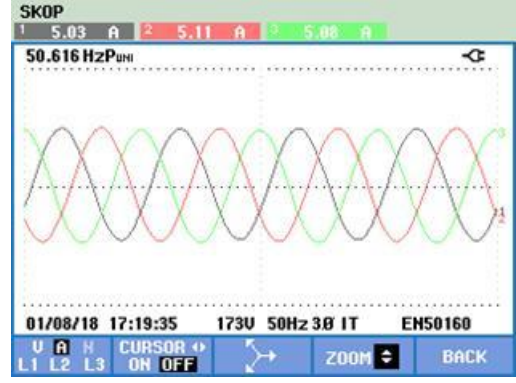
Şekil 6.233 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (30<sup>0</sup> 4.kademe).

#### 6.19.6 5. Kademe alnan sonuçlar

Beşinci kademe alnan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.234.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=68,15$  Volt,  $I_{\text{hat}}=5,03$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



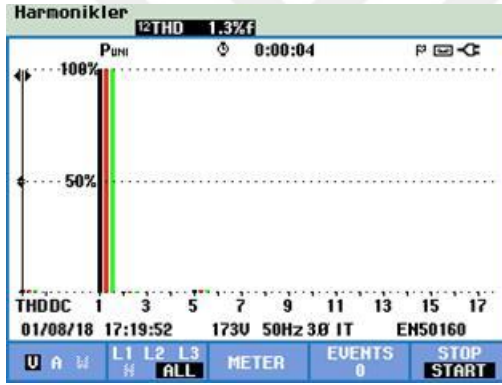
(a)



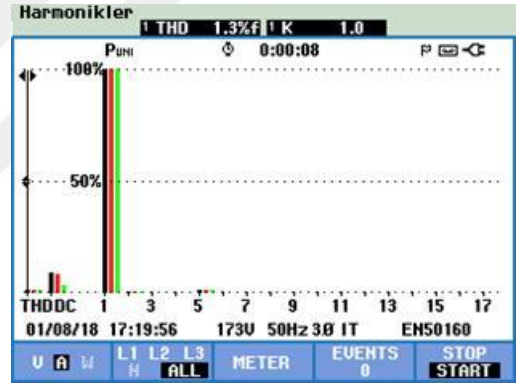
(b)

Şekil 6.234 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (30<sup>0</sup> 5.kademe).

Şekil 6.235’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.235.a’ da %1,3 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.235.b’de ise %1,3 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 6.235 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (30<sup>0</sup> 5.kademe).

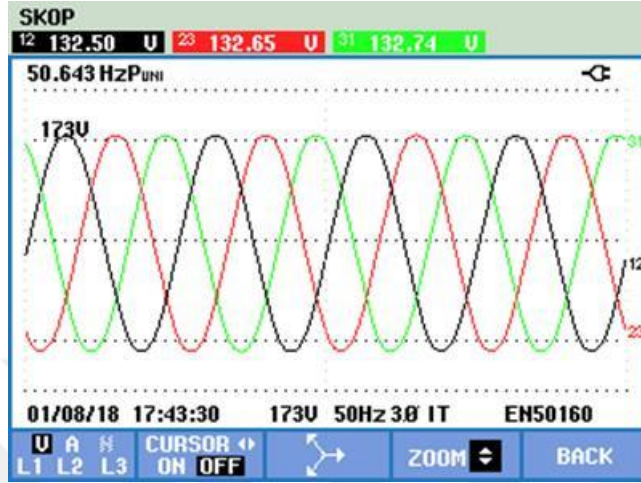
## 6.20 6’lı Grup 32 Derece Mıknatıs açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 32 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.



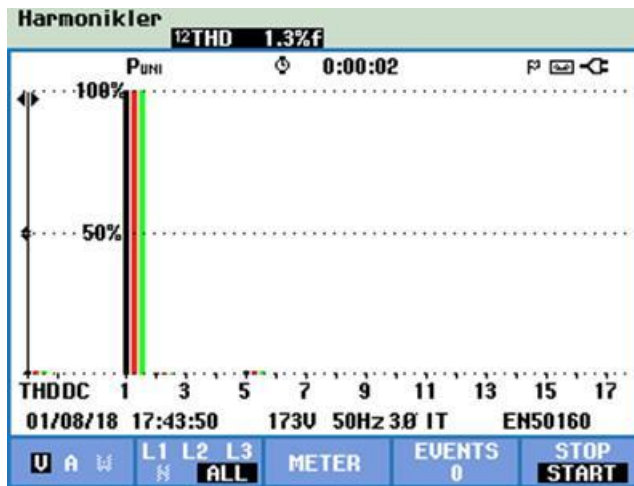
### 6.20.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

6'lı grup 32 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.236' de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=132,50 \text{ V}$  ve  $f=50,6 \text{ Hz}$ ' dir.



Şekil 6.236 : 3 Faz hat gerilimi (32<sup>0</sup> yüksüz).

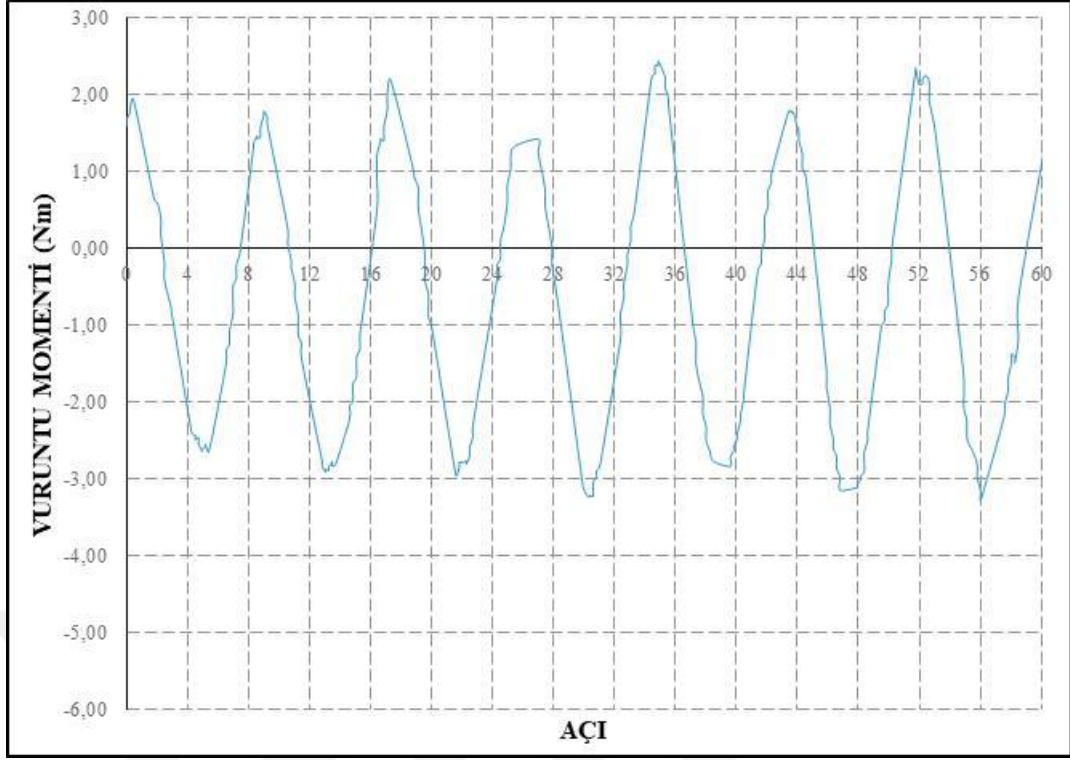
3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için şekil 6.237'de verilmektedir. Şekil 6.237'e incelendiğinde %1,3 oranında her faz için gerilim harmoniğinin olduğu görülmektedir..



Şekil 6.237 : 3 Faz gerilim harmonik (Thdv) değerleri (32<sup>0</sup> yüksüz).

32 derece için vuru mu momenti değeri şekil 6.238'de verilmiştir. Bu şekil 6.238'e bakıldığında momentin (-3,2710) - (2,4430) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 5,7140 Nm dir.

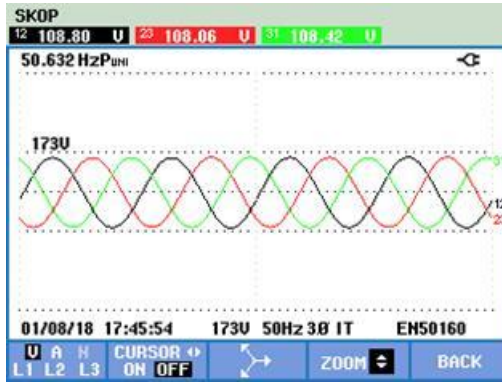




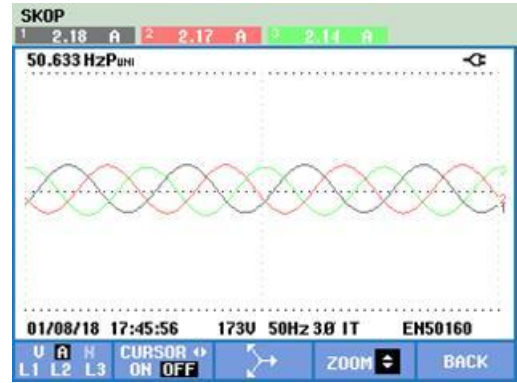
Şekil 6.238 : Vuruntu momenti (32<sup>0</sup>).

### 6.20.2 1. Kademe alinan sonuçlar

Birinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.239.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=108,80$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,18$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



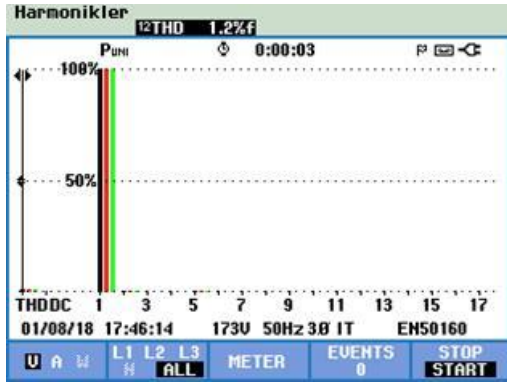
(a)



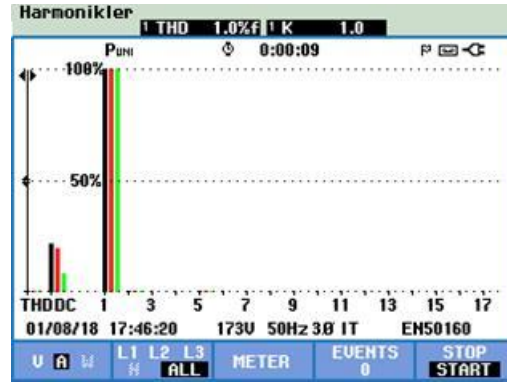
(b)

Şekil 6.239 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (32<sup>0</sup> 1.kademe).

Şekil 6.240’da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.240.a’da %1,2 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.240.b’de ise %1,0 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

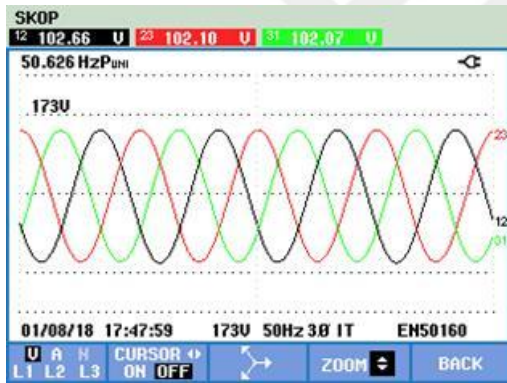


(b)

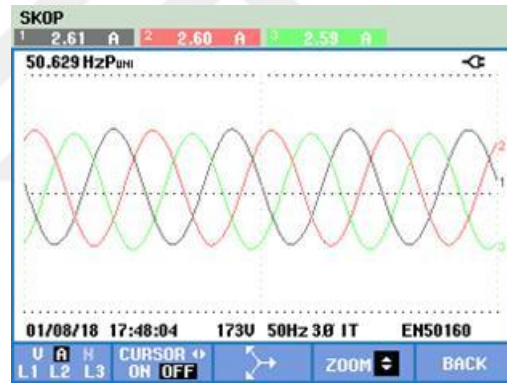
Şekil 6.240 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $32^0$  1.kademe).

### 6.20.3 2. Kademe alinan sonuçlar

İkinci kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.241.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=102,66$  Volt,  $I_{hat}= 2,61$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)



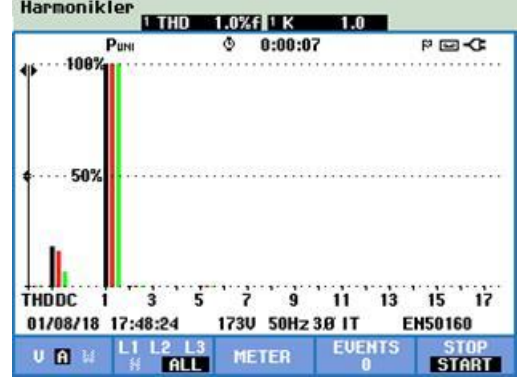
(b)

Şekil 6.241 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$  2.kademe).

Şekil 6.242'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.242.a' da %1,1 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.242.b'de ise %1,0 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

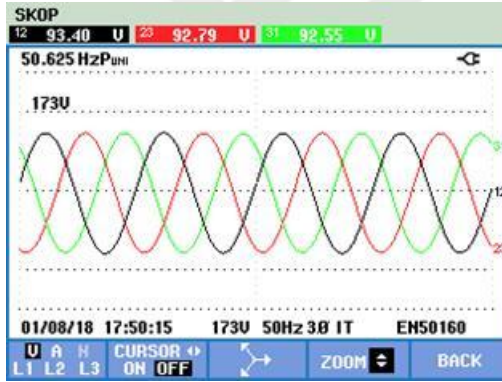


(b)

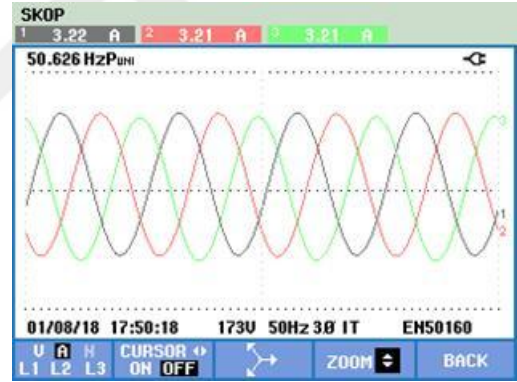
Şekil 6.242 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (32<sup>0</sup> 2.kademe).

### 6.20.4 3. Kademe alınan sonuçlar

Üçüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.243.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=93,40$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 3,22$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



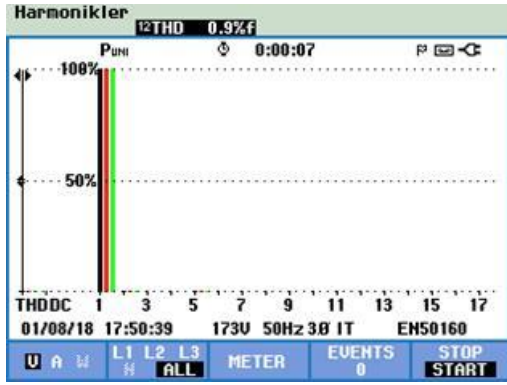
(a)



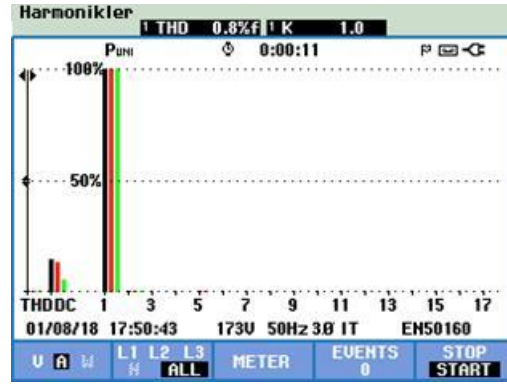
(b)

Şekil 6.243 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (32<sup>0</sup> 3.kademe).

Şekil 6.244'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.244.a'da %0,9 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.244.b'de ise %0,8 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

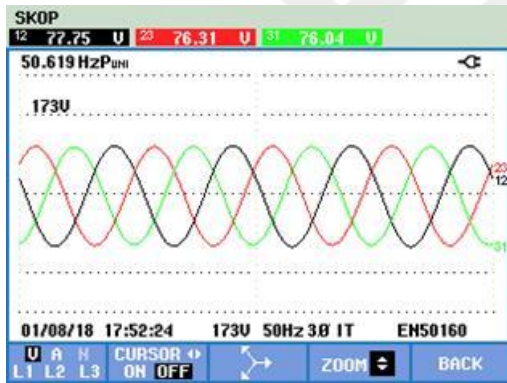


(b)

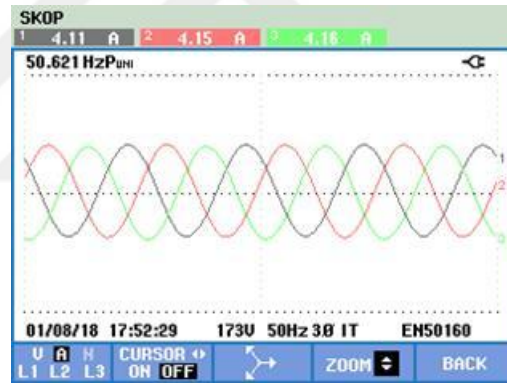
Şekil 6.244 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $32^0$  3.kademe).

#### 6.20.5 4. Kademe alinan sonuçlar

Dördüncü kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.245.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{hat}=77,75$  Volt,  $I_{hat}=4,11$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



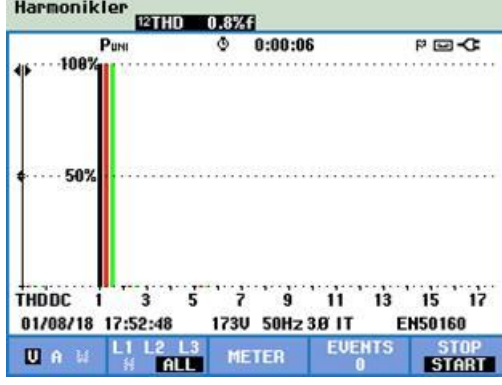
(a)



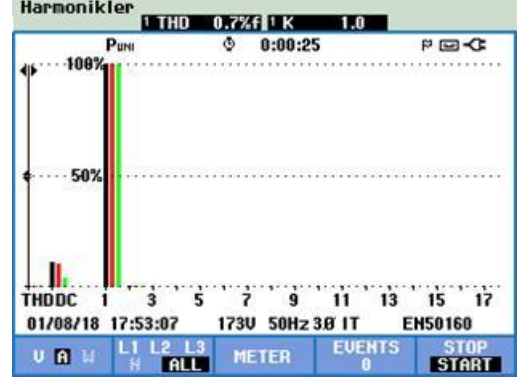
(b)

Şekil 6.245 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $32^0$  4.kademe).

Şekil 6.246'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.246.a' da %0,8 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.246.b'de ise %0,7 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)

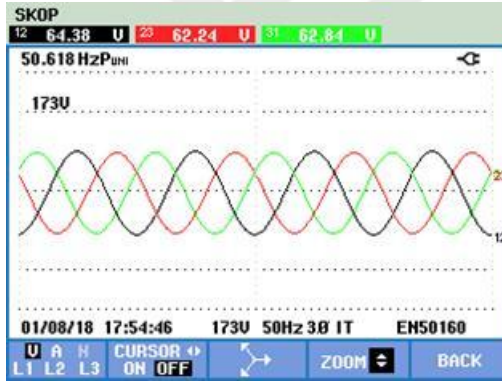


(b)

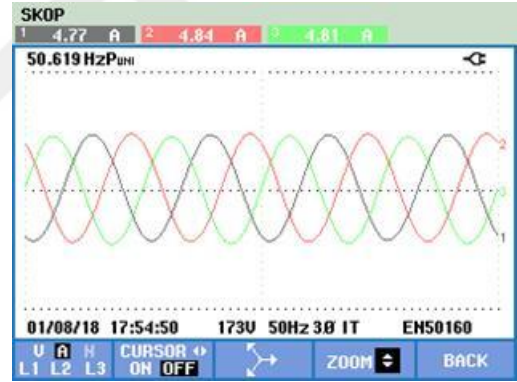
Şekil 6.246 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (32<sup>0</sup> 4.kademe).

### 6.20.6 5. Kademe alınan sonuçlar

Beşinci kademede alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.247.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=64,38$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,77$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



(a)

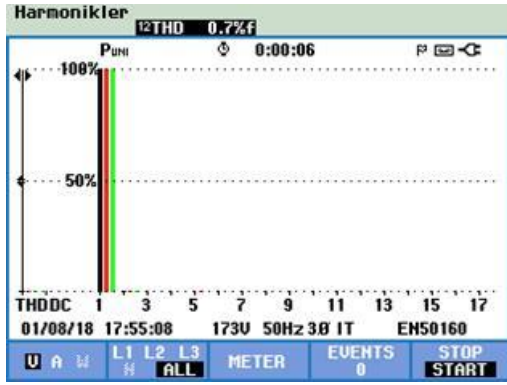


(b)

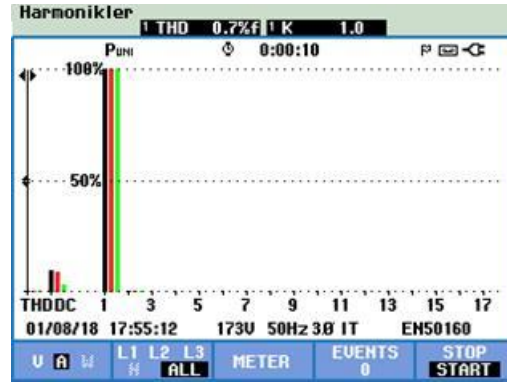
Şekil 6.247 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (32<sup>0</sup> 5.kademe).

Şekil 6.248'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.248.a' da %0,7 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.248.b'de ise %0,7 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.





(a)



(b)

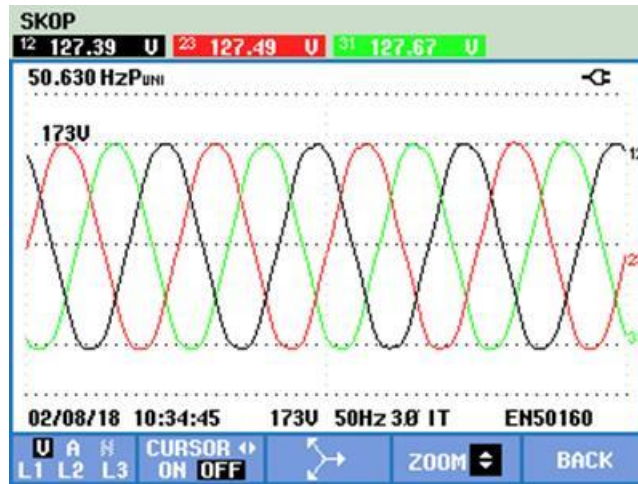
Şekil 6.248 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_V$  b)  $Thd_A$  ( $32^0$  5.kademe).

### 6.21 6'lı Grup 34 Derece Mıknatıs Açısı

Kutuplar arası gruplama yapıldığı durumdur. Her iki grup arası açı değeri 34 derecedir. Gruplama yapılmadığı durumdaki açı değeri ise 25,71 derecedir.

#### 6.21.1 Yüksüz durumda alınan sonuçlar

6'lı grup 34 derece için oluşturulan pleksinin, deney setine takılmasından sonra kaydedilen gerilim eğrisi şekil 6.249'de verilmiş olup, hat gerilimi ve frekansı:  $U_{hat}=127,39$  V ve  $f=50,6$  Hz' dir.



Şekil 6.249 : 3 Faz hat gerilimi ( $34^0$  yüksüz).

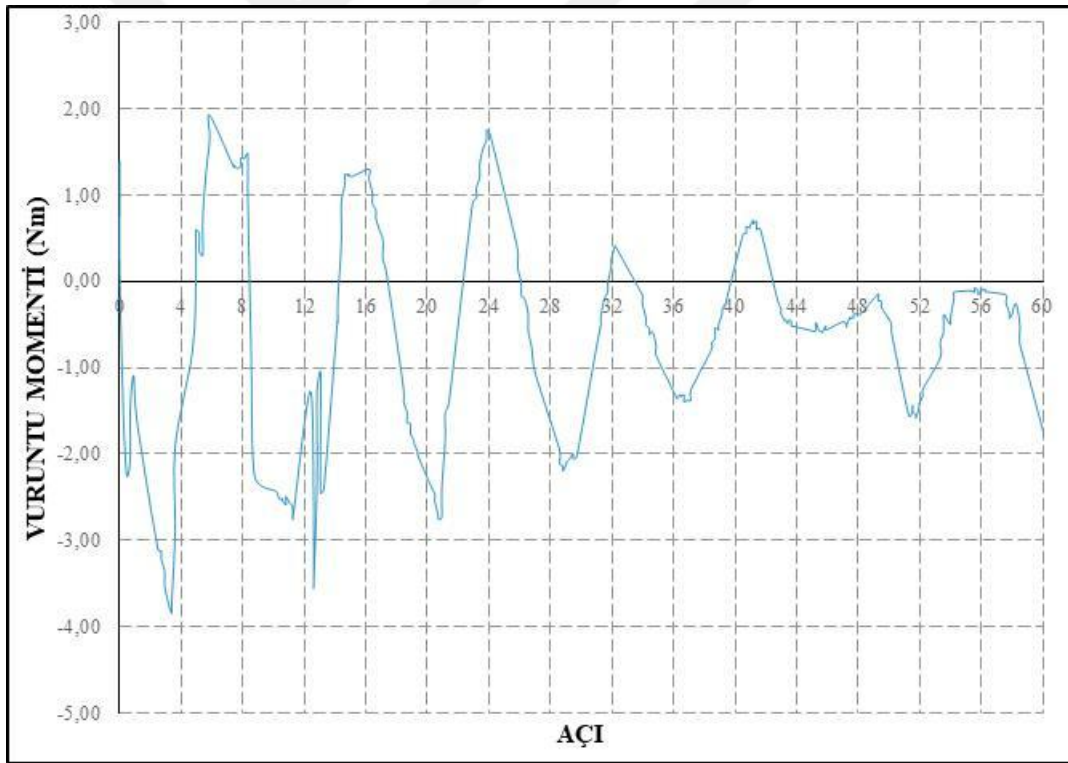
3 Faz gerilim sinyali için elde edilen harmonik değişimleri her bir faz için, şekil 6.250'de verilmektedir. Şekil 6.250'e incelendiğinde %3,3 oranında her faz için gerilim harmoniğinin olduğu görülmektedir.





Şekil 6.250 : 3 Faz gerilim harmonik (Thd<sub>v</sub>) değerleri (34<sup>0</sup> yüksüz).

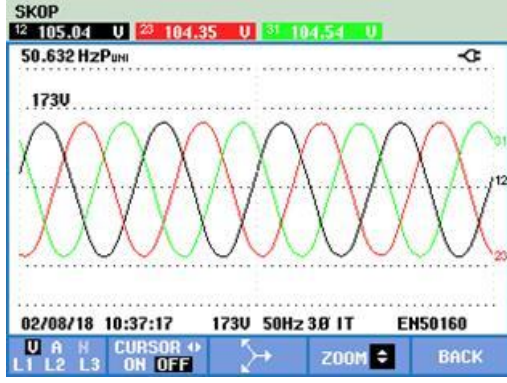
34 derece için vuruntu momenti değeri şekil 6.251’de verilmiştir. Bu şekil 6.251’e bakıldığında momentin (-3,8440) - (1,9180) Nm arasında salınım yaptığı görülmektedir. Toplam salınım momenti 5,7620 Nm dir.



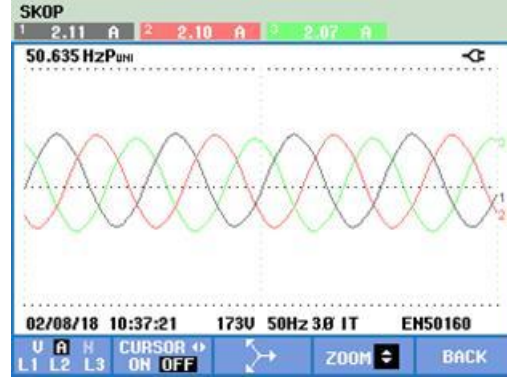
Şekil 6.251 : Vuruntu momenti (34<sup>0</sup>).

#### 6.21.2 1. Kademe alınan sonuçlar

Birinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.252.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=105,04$  Volt,  $I_{\text{hat}}= 2,11$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



(a)



(b)

Şekil 6.252 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$  1.kademe).

Şekil 6.253'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.253.a' da %2,1 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.253.b'de ise %2,0 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

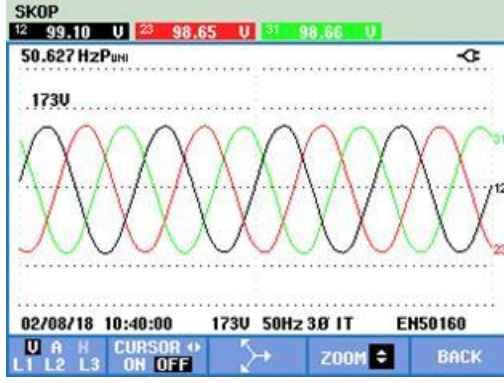


(b)

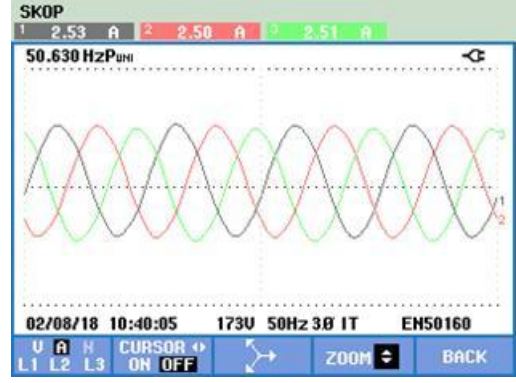
Şekil 6.253 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>V</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( $34^0$  1.kademe).

### 6.21.3 2. Kademe alnan sonuçlar

İkinci kademe alnan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.254.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=99,10$  Volt,  $I_{\text{hat}}=2,53$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



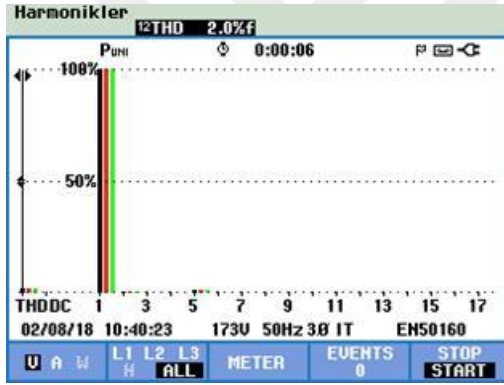
(a)



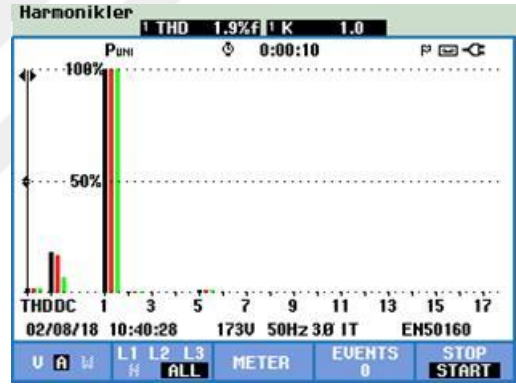
(b)

Şekil 6.254 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (34<sup>0</sup> 2.kademe).

Şekil 6.255’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.255.a’ da %2,0 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.255.b’de ise %1,9 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

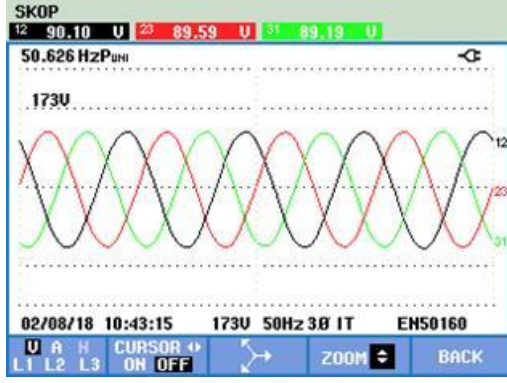


(b)

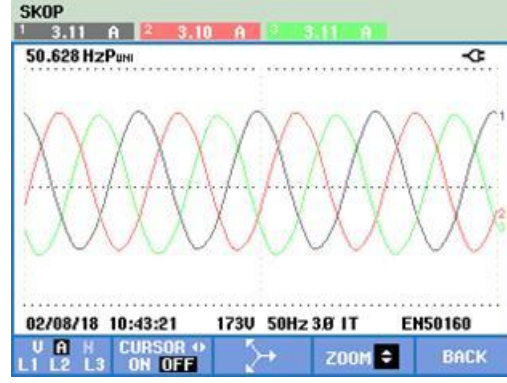
Şekil 6.255 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (34<sup>0</sup> 2.kademe).

### 6.21.4 3. Kademe alınan sonuçlar

Üçüncü kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.256.a ve b’de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=90,10$  Volt,  $I_{\text{hat}}=3,11$  A ve  $f=50,6$  Hz’ dir.



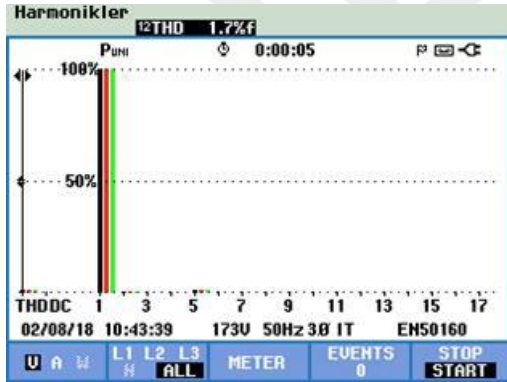
(a)



(b)

Şekil 6.256 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$  3.kademe).

Şekil 6.257'da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.257.a' da %1,7 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.257.b'de ise %1,6 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)

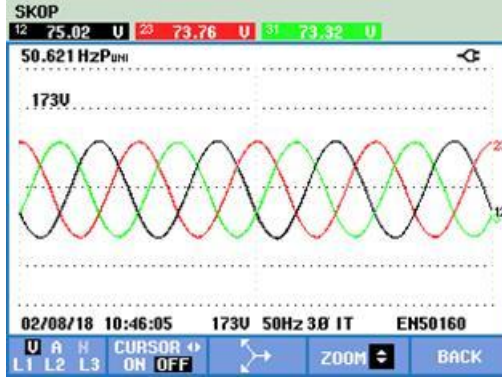


(b)

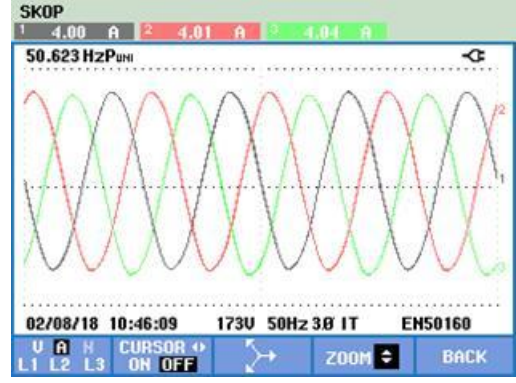
Şekil 6.257 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>V</sub> b) Thd<sub>A</sub> ( $34^0$  3.kademe).

#### 6.21.5 4. Kademe alinan sonuçlar

Dördüncü kademe alinan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.258.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=75,02$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,00$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.



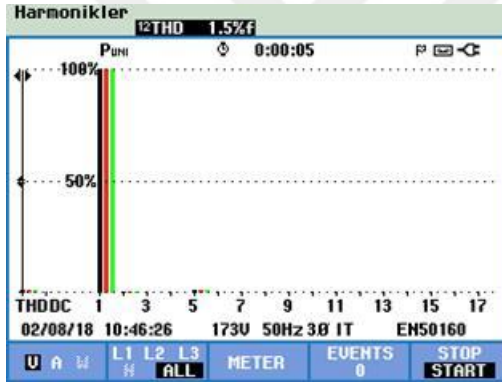
(a)



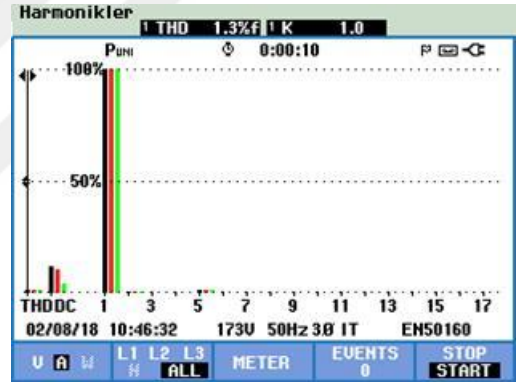
(b)

Şekil 6.258 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi (34<sup>0</sup> 4.kademe).

Şekil 6.259' da harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.259.a' da %1,5 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.259.b'de ise %1,3 oranında akım harmoniği olduğu görülmektedir.



(a)



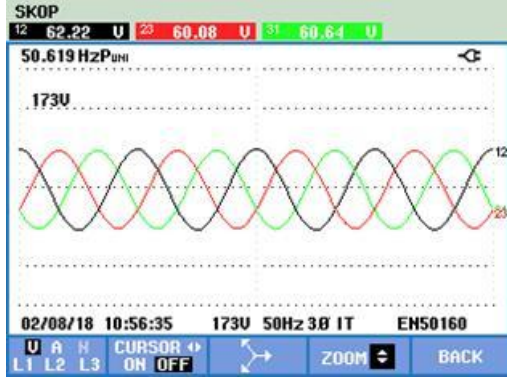
(b)

Şekil 6.259 : 3 Faz harmonik değerleri a) Thd<sub>v</sub> b) Thd<sub>A</sub> (34<sup>0</sup> 4.kademe).

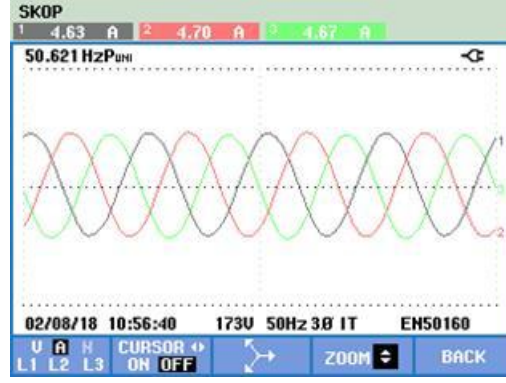
#### 6.21.6 5. Kademe alınan sonuçlar

Beşinci kademe alınan gerilim ve akım eğrileri şekil 6.260.a ve b'de sırayla verilmiştir. Hat gerilimi, hat akımı ve frekansı:  $U_{\text{hat}}=62,22$  Volt,  $I_{\text{hat}}=4,63$  A ve  $f=50,6$  Hz' dir.





(a)



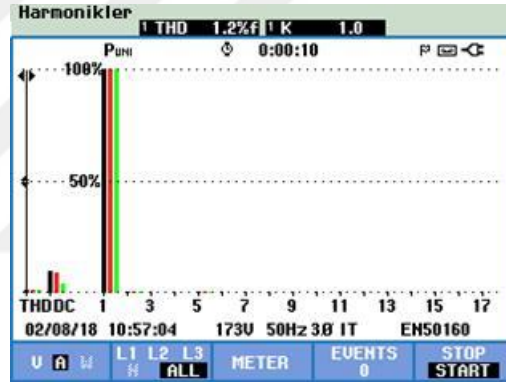
(b)

Şekil 6.260 : 3 Faz a) Gerilim eğrisi b) Akım eğrisi ( $34^0$  5.kademe).

Şekil 6.261’de harmonikdeki değişimler 3 faz için verilmektedir. Her faz başına şekil 6.261.a’ da %1,3 oranında gerilim harmoniği, şekil 6.261.b’de ise %1,2 oranında akım harmoniği oluştuğu görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 6.261 : 3 Faz harmonik değerleri a)  $Thd_v$  b)  $Thd_A$  ( $34^0$  5.kademe).

## 6.22 Genel Değerlendirme

Gruplama tekniği ile elde edilen deneysel sonuçlar tablo olarak özetlenmiştir. Temel gruplama yapılmadığı durum için sonuçlar çizelge 6.2’de verilmiştir. Çizelge 6.2’de görüldüğü gibi %81,06 verim için çıkışta 510,77 watt güç elde edilmiştir. Bu durumda  $Thd_v$  değeri % 7,1’dir. Harmonik bozulmasına paralel olarak moment salınımı da 13,89 Nm’dir.

Çizelge 6.2, 6.3, 6.4 ve 6.5’de verilen  $f$ ,  $U_1$ ,  $I_1$ ,  $THd_U$ ,  $THd_I$ ,  $M_{ort}$ ,  $M_s$ ,  $n$ ,  $w$ ,  $P_g$ ,  $P_ç$  sırasıyla, frekans, hat gerilimi, hat akımı, gerilim harmoniği, akım harmoniği, ortalama vuru mu momenti, moment salınımı, devir sayısı, açıl sal hız, giriş gücü ve çıkış gücünü göstermektedir.



**Çizelge 6.2 :** Gruplama yapılmadığı durumdaki sonuçlar.

	f	U <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	THd <sub>U</sub>	Thd <sub>I</sub>	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim	
0 derece 0'lı	Mv	0,00	0	0	0	0	9,40	52,07	0,00	0,00	0,00	0,0000	
	0	50,64	147,71	0	11,3	0	1,10	5,01	434,09	45,43	50,10	0,00	0,0000
	1	50,63	121,5	2,43	7,1	7,1	13,87	13,89	433,93	45,42	630,14	510,77	0,8106
	2	50,62	114,73	2,92	6,3	6,4	16,12	14,60	433,89	45,41	731,99	579,57	0,7918
	3	50,61	104,39	3,6	5,4	5,5	19,11	12,76	433,81	45,41	867,69	650,14	0,7493
	4	50,61	86,87	4,64	4,4	4,4	22,93	13,36	433,77	45,40	1040,94	697,32	0,6699
	5	50,60	72,39	5,38	3,8	3,8	24,85	14,65	433,71	45,40	1128,16	673,76	0,5972

Uygulanan 2'li gruplama tekniğinde alınan sonuçlar çizelge 6.3'de verilmiştir. 28 dereceden 44 dereceye kadar kutuplar 2'şer derece kaydırılarak sonuçlar elde edilmiştir. 2'li gruplama için 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 ve 44 derecede 1. Kademede Thd<sub>v</sub> sırasıyla yüzde 5,5- 4,8- 2,6- 0,9- 1,4- 1,9- 1,7- 1 ve 0,8 bununla birlikte moment salınımları sırasıyla 12,49- 16,56- 15,21- 13,22- 11,93- 12,77- 11,59- 10,98 ve 8,22 Nm olup vuruş momentlerinin ortalama değerleri ise sırasıyla 9,4- 7,27- 4,35- 1,61- 1,52- 1,8- 1,22- 0,94- 1,61 ve 1,34 Nm olarak değişmektedir.

**Çizelge 6.3 :** 2'li Gruplama tekniği ile alınan deneysel sonuçlar.

	f	U <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	THd <sub>U</sub>	Thd <sub>I</sub>	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim	
28 derece 2'li	Mv	0,00	0	0	0	0	7,27	31,25	0,00	0,00	0,00	0,0000	
	0	50,65	142,54	0	9	0	0,93	4,47	434,10	45,44	42,42	0,00	0,0000
	1	50,63	117,47	2,35	5,5	5,6	12,84	12,49	433,98	45,42	583,14	477,57	0,8190
	2	50,63	110,94	2,82	4,9	5	15,04	12,39	433,94	45,42	682,96	541,23	0,7925
	3	50,62	100,98	3,48	4,2	4,3	17,92	11,86	433,89	45,41	813,84	607,94	0,7470
	4	50,61	84,17	4,48	3,4	3,4	21,46	11,87	433,80	45,40	974,52	652,35	0,6694
	5	50,61	70,15	5,18	2,9	3	23,18	12,31	433,82	45,41	1052,69	628,64	0,5972
30 derece 2'li	Mv	0,00	0	0	0	0	4,35	17,69	0,00	0,00	0,00	0,0000	
	0	50,64	143,36	0	7,5	0	8,68	39,20	434,09	45,43	394,33	0,00	0,0000
	1	50,63	118,86	2,37	4,8	4,8	13,07	16,56	433,95	45,42	593,64	486,93	0,8202
	2	50,63	112,1	2,84	4,2	4,3	15,26	13,68	433,94	45,42	693,18	551,55	0,7957
	3	50,62	102,27	3,52	3,6	3,6	18,15	13,98	433,88	45,41	824,27	622,08	0,7547
	4	50,62	84,56	4,48	2,9	2,9	21,77	15,35	433,84	45,41	988,44	655,37	0,6630
	5	50,61	71,31	5,19	2,5	2,5	23,63	17,46	433,82	45,41	1073,03	640,27	0,5967
32 derece 2'li	Mv	0,00	0	0	0	0	1,61	5,69	0,00	0,00	0,00	0,0000	
	0	50,65	139,45	0	3,9	0	0,84	3,85	434,12	45,44	38,36	0,00	0,0000
	1	50,63	114,8	2,29	2,6	2,7	12,32	15,21	433,97	45,42	559,78	454,80	0,8125
	2	50,63	108,29	2,76	2,3	2,4	14,39	17,50	433,95	45,42	653,58	517,06	0,7911
	3	50,62	98,63	3,4	1,9	2	17,14	13,47	433,90	45,42	778,36	580,14	0,7453
	4	50,62	82,13	4,37	1,6	1,6	20,50	15,34	433,84	45,41	930,98	620,91	0,6669
	5	50,61	68,44	5,06	1,4	1,4	22,25	14,74	433,83	45,41	1010,30	599,11	0,5930

	f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim
34 derece 2'li	Mv	0,00	0	0	0	0	1,52	5,92	0,00	0,00	0,00	0,0000
	0	50,65	139,45	0	3,9	0	0,89	2,26	434,12	45,44	40,50	0,0000
	1	50,62	112,7	2,25	0,9	0,9	11,90	13,22	433,88	45,41	540,26	0,8120
	2	50,63	106,33	2,71	0,9	0,8	13,98	13,69	433,93	45,42	634,90	0,7852
	3	50,62	96,92	3,33	0,8	0,8	16,70	13,66	433,91	45,42	758,41	0,7362
	4	50,62	80,61	4,28	0,7	0,7	19,89	14,39	433,86	45,41	903,35	0,6607
	5	50,62	67,25	4,95	0,7	0,6	21,51	42,07	433,85	45,41	976,88	0,5895

	f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim
36 derece 2'li	Mv	0,00	0	0	0	0	1,80	11,71	0,00	0,00	0,00	0,0000
	0	50,65	130,31	0	1,8	0	0,87	2,45	434,12	45,44	39,37	0,0000
	1	50,63	106,99	2,15	1,4	1,3	10,77	11,93	433,99	45,42	489,26	0,8134
	2	50,63	100,91	2,57	1,3	1,2	12,68	14,35	433,98	45,42	575,94	0,7790
	3	50,62	91,73	3,17	1,2	1	15,09	14,73	433,84	45,41	685,20	0,7342
	4	50,62	76,32	4,07	1	0,9	18,06	15,35	433,89	45,41	820,03	0,6553
	5	50,61	63,49	4,7	1	0,9	19,47	15,60	433,78	45,40	884,16	0,5839

	f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim
38 derece 2'li	Mv	0,00	0	0	0	0	1,22	5,64	0,00	0,00	0,00	0,0000
	0	50,65	125,48	0	2,9	0	0,83	3,04	434,12	45,44	37,89	0,0000
	1	50,63	103,67	2,08	1,9	1,8	10,10	12,77	433,97	45,42	458,56	0,8135
	2	50,63	97,04	2,5	1,8	1,7	11,79	20,60	433,98	45,42	535,66	0,7835
	3	50,63	88,82	3,08	1,6	1,5	14,05	15,39	433,94	45,42	638,16	0,7416
	4	50,62	73,97	3,96	1,4	1,3	16,73	14,70	433,87	45,41	759,61	0,6671
	5	50,62	61,46	4,57	1,3	1,2	18,07	14,96	433,85	45,41	820,37	0,5923

	f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim
40 derece 2'li	Mv	0,00	0	0	0	0	0,94	1,8	0,00	0,00	0,00	0,0000
	0	50,65	120,81	0	2,4	0	0,94	1,94	434,12	45,44	42,81	0,0000
	1	50,63	98,92	1,99	1,7	1,6	9,39	11,59	433,96	45,42	426,60	0,7983
	2	50,63	93,13	2,39	1,6	1,5	10,95	14,68	433,94	45,42	497,29	0,7743
	3	50,62	84,78	2,95	1,5	1,4	13,00	13,83	433,92	45,42	590,22	0,7331
	4	50,63	70,38	3,76	1,3	1,1	15,51	15,39	433,95	45,42	704,64	0,6497
	5	50,63	58,49	4,36	1,1	1,1	16,66	13,74	433,93	45,42	756,76	0,5830

	f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim
42 derece 2'li	Mv	0,00	0	0	0	0	1,61	3,61	0,00	0,00	0,00	0,0000
	0	50,65	113,57	0	0,9	0	0,94	2,59	434,12	45,44	42,57	0,0000
	1	50,64	93,09	1,88	1	0,9	8,46	10,98	434,04	45,43	384,45	0,7875
	2	50,64	87,82	2,25	1	1	9,90	13,83	434,02	45,43	449,63	0,7603
	3	50,63	79,84	2,78	1	1	11,60	84,13	433,96	45,42	526,74	0,7290
	4	50,63	66,12	3,55	1	0,9	13,81	16,80	433,97	45,42	627,24	0,6474
	5	50,62	54,79	4,11	0,9	0,8	14,80	17,89	433,89	45,41	672,01	0,5797

	f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim	
44 derece 2'li	Mv	0,00	0	0	0	0	1,34	4,7	0,00	0,00	0,00	0,0000	
	0	50,65	107,06	0	1,1	0	0,78	2,55	434,12	45,44	35,55	0,00	0,0000
	1	50,63	88,14	1,79	0,8	0,8	7,50	8,22	434,00	45,43	340,62	272,94	0,8013
	2	50,63	83,2	2,14	0,7	0,8	8,71	9,56	433,97	45,42	395,62	308,02	0,7786
	3	50,63	75,57	2,63	0,7	0,8	10,30	11,73	433,98	45,42	467,67	343,84	0,7352
	4	50,63	62,68	3,38	0,8	0,8	12,32	12,87	433,95	45,42	559,36	366,52	0,6552
	5	50,63	52,04	3,89	0,8	0,8	13,18	15,07	433,96	45,42	598,81	350,21	0,5849

Uygulanan 4'lü grupta tekniğinde alınan sonuçlar çizelge 6.4'de verilmiştir. 28 dereceden 38 dereceye kadar kutuplar 2'şer derece kaydırılarak sonuçlar elde edilmiştir. 4'lü grupta için 28, 30, 32, 34, 36 ve 38 derecede 1. Kademedeki Thdv sırasıyla yüzde 5,5- 3,6- 1,5- 1,2- 1,4 ve 1,5 bununla birlikte moment salınımları sırasıyla 40,12- 13,91- 1,38- 6,6- 5,18 ve 6,15 Nm olup vuruş momentlerinin ortalama değerleri ise sırasıyla 6,54- 3,43- 0,64- 1,77- 1,15 ve 0,8 Nm olarak değişmektedir.

**Çizelge 6.4 : 4'lü Grupta tekniği ile alınan deneysel sonuçlar.**

	f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim	
28 derece 4'lü	Mv	0,00	0	0	0	0	6,54	40,12	0,00	0,00	0,00	0,0000	
	0	50,65	142,58	0	9		0,91	3,30	434,13	45,44	41,46	0,00	0,0000
	1	50,59	117,5	2,35	5,5	5,6	12,85	13,48	433,61	45,38	583,10	477,70	0,8192
	2	50,63	110,91	2,82	4,9	5	15,05	12,60	433,94	45,42	683,43	541,09	0,7917
	3	50,62	101,08	3,48	4,2	4,3	17,88	11,72	433,89	45,41	812,09	608,54	0,7494
	4	50,62	84,33	4,46	3,4	3,4	21,46	12,92	433,84	45,41	974,53	650,67	0,6677
	5	50,61	69,98	5,18	2,9	2,9	23,24	13,71	433,82	45,41	1055,28	627,12	0,5943
30 derece 4'lü	Mv	0,00	0	0	0	0	3,43	13,91	0,00	0,00	0,00	0,0000	
	0	50,65	141,46		5,8		0,92	66,65	434,10	45,44	41,75	0,00	0,0000
	1	50,63	116,78	2,33	3,6	3,7	12,70	13,76	433,95	45,42	576,68	470,73	0,8163
	2	50,62	110,11	2,8	3,2	3,3	14,91	12,13	433,89	45,41	677,19	533,37	0,7876
	3	50,61	100,27	3,46	2,7	2,8	17,75	12,57	433,83	45,41	805,83	600,20	0,7448
	4	50,61	83,59	4,44	2,2	2,3	21,26	14,06	433,82	45,41	965,11	642,07	0,6653
	5	50,61	69,57	5,16	1,9	2	23,02	15,27	433,81	45,41	1045,32	621,04	0,5941
32 derece 4'lü	Mv	0,00	0	0	0	0	0,64	1,38	0,00	0,00	0,00	0,0000	
	0	50,64	137,75		2		0,93	3,22	434,04	45,43	42,38	0,00	0,0000
	1	50,63	113,21	2,27	1,5	1,5	12,12	12,15	433,97	45,42	550,35	444,59	0,8078
	2	50,62	106,84	2,73	1,3	1,4	14,14	12,38	433,92	45,42	642,32	504,59	0,7856
	3	50,62	97,34	3,37	1,1	1,2	16,82	12,81	433,89	45,41	763,93	567,50	0,7429
	4	50,62	81	4,32	1	1	20,12	13,01	433,87	45,41	913,86	605,36	0,6624
	5	50,61	67,53	5	0,9	0,9	21,76	12,98	433,83	45,41	988,30	584,13	0,5910

	f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim	
34 derece 4'li	Mv	0,00	0	0	0	0	1,77	6,60	0,00	0,00	0,00	0,0000	
	0	50,65	132,16		1,3		0,87	3,30	434,12	45,44	39,59	0,00	0,0000
	1	50,63	108,43	2,18	1,2	1	11,06	12,09	433,98	45,42	502,46	408,93	0,8139
	2	50,63	102,37	2,61	1,1	1,1	13,05	12,74	433,95	45,42	592,93	462,23	0,7796
	3	50,62	93,18	3,21	1	0,9	15,48	13,13	433,91	45,42	702,99	517,46	0,7361
	4	50,62	77,49	4,13	0,9	0,8	18,47	12,57	433,87	45,41	838,86	553,66	0,6600
	5	50,62	64,35	4,78	0,9	0,8	19,96	14,16	433,85	45,41	906,17	532,14	0,5872

	f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim	
36 derece 4'li	Mv	0,00	0	0	0	0	1,15	5,18	0,00	0,00	0,00	0,0000	
	0	50,64	127,08		1,9		0,83	2,56	434,08	45,43	37,64	0,00	0,0000
	1	50,63	104,34	2,09	1,4	1,3	10,30	10,15	433,97	45,42	468,05	377,26	0,8060
	2	50,63	98,4	2,51	1,4	1,3	12,02	11,81	433,98	45,42	546,08	427,28	0,7824
	3	50,63	89,47	3,1	1,3	1,2	14,32	13,02	433,95	45,42	650,56	479,83	0,7376
	4	50,62	74,19	3,96	1,1	1	17,10	12,40	433,89	45,41	776,63	508,26	0,6544
	5	50,62	61,5	4,59	1	1	18,39	11,80	433,86	45,41	835,31	488,35	0,5846

	f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim	
38 derece 4'li	Mv	0,00	0	0	0	0	0,80	6,15	0,00	0,00	0,00	0,0000	
	0	50,64	120,57		2,1		1,09	4,01	434,06	45,43	49,58	0,00	0,0000
	1	50,63	98,26	2	1,5	1,5	9,70	48,27	433,99	45,42	440,46	339,98	0,7719
	2	50,63	93,65	2,39	1,5	1,4	11,14	11,42	433,95	45,42	506,00	387,21	0,7652
	3	50,63	85,29	2,95	1,4	1,4	13,09	13,74	433,93	45,42	594,60	435,28	0,7321
	4	50,61	70,6	3,78	1,2	1,2	15,59	13,41	433,82	45,41	707,72	461,68	0,6523
	5	50,61	58,74	4,37	1,2	1,1	16,77	13,07	433,83	45,41	761,70	444,08	0,5830

Uygulanan 6'lı gruplama tekniğinde alınan sonuçlar çizelge 6.5'de verilmiştir. 28 dereceden 34 dereceye kadar kutuplar 2'şer derece kaydırılarak sonuçlar elde edilmiştir. 6'lı gruplama için 28,30,32 ve 34 derecede 1. Kademede Thd<sub>v</sub> sırasıyla yüzde 5,2- 2,3- 1,2 ve 2,1 bununla birlikte moment salınımları sırasıyla 40,16- 3,53- 5,71 ve 5,76 Nm olup vuru momentlerinin ortalama değerleri ise sırasıyla 4,38- 1,17- 1,64 ve 1,76 Nm olarak değişmektedir.

**Çizelge 6.5 : 6'lı Gruplama tekniği ile alınan deneysel sonuçlar.**

	f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim	
28 derece 6'h	Mv	0,00	0	0	0	4,38	40,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	
	0	50,65	143,85		8,4		0,97	3,40	434,11	45,44	44,02	0,00	0,0000
	1	50,60	118,2	2,36	5,2	5,3	13,11	14,37	433,69	45,39	595,02	482,59	0,8110
	2	50,62	111,59	2,84	4,6	4,7	15,38	11,96	433,91	45,42	698,63	548,26	0,7848
	3	50,62	101,65	3,58	3,9	4	18,27	12,99	433,87	45,41	829,68	629,56	0,7588
	4	50,61	84,47	4,51	3,2	3,2	21,94	12,58	433,79	45,40	995,97	659,06	0,6617
	5	50,60	70,2	5,22	2,7	2,8	23,68	94,21	433,73	45,40	1075,13	633,95	0,5896

		f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim
30 derece 6'h	Mv	0,00	0	0	0	0	1,17	3,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
	0	50,64	139,06		3,4		0,95	2,86	434,09	45,43	42,94	0,00	0,0000
	1	50,61	114,57	2,29	2,3	2,4	12,30	13,09	433,83	45,41	558,47	453,89	0,8127
	2	50,62	107,88	2,75	2,1	2,2	14,48	11,69	433,89	45,41	657,37	513,24	0,7807
	3	50,62	98,24	3,39	1,8	1,8	17,17	11,84	433,85	45,41	779,62	576,15	0,7390
	4	50,61	82,05	4,34	1,5	1,5	20,56	14,61	433,83	45,41	933,37	616,05	0,6600
	5	50,62	68,15	5,03	1,3	1,3	22,25	13,32	433,84	45,41	1010,52	593,03	0,5869

		f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim
32 derece 6'h	Mv	0,00	0	0	0	0	1,64	5,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
	0	50,64	132,5		1,3		0,92	2,98	434,08	45,43	41,67	0,00	0,0000
	1	50,63	108,8	2,18	1,2	1	11,16	-11,10	433,99	45,42	506,98	410,33	0,8094
	2	50,63	102,66	2,61	1,1	1	13,13	12,61	433,94	45,42	596,32	463,54	0,7773
	3	50,63	93,4	3,22	0,9	0,8	15,53	12,90	433,93	45,42	705,43	520,29	0,7376
	4	50,62	77,75	4,11	0,8	0,7	18,64	25,04	433,88	45,41	846,67	552,83	0,6529
	5	50,62	64,38	4,77	0,7	0,7	20,09	13,61	433,87	45,41	912,54	531,27	0,5822

		f	U_1	I_1	THd_U	Thd_I	Mort	Ms	n	w	Pg	Pç	Verim
34 derece 6'h	Mv	0,00	0	0	0	0	1,76	5,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000
	0	50,63	127,39		3,3		0,88	2,55	433,97	45,42	39,90	0,00	0,0000
	1	50,63	105,04	2,11	2,1	2	10,39	10,71	433,99	45,42	471,81	383,43	0,8127
	2	50,63	99,1	2,53	2	1,9	12,20	11,02	433,95	45,42	553,89	433,75	0,7831
	3	50,63	90,1	3,11	1,7	1,6	14,47	12,98	433,94	45,42	657,31	484,77	0,7375
	4	50,62	75,02	4	1,5	1,3	17,25	11,33	433,89	45,41	783,46	519,14	0,6626
	5	50,62	62,22	4,63	1,3	1,2	18,59	12,25	433,88	45,41	844,20	498,38	0,5904





## 7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan bu çalışmada AOEASM alternatörün vuruğu momentinin giderilmesi için farklı sayıda grupta yapılarak deneysel olarak AOEASM alternatörünün performansına olan etkisi araştırılmıştır. Literatür incelendiğinde vuruğu momentinin giderilmesi için farklı yöntemler verilmiştir. Verilen yöntemler uygulama kolaylığı açısından rotor tarafına uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında 2'li grupta tekniğinde vuruğu momentini azalttığı belirtilmiştir. Fakat yapılan çalışmalar genellikle bilgisayar simülasyonları ile sınırlı kalmıştır.

Alınan sonuçlar çizelge 6.2-6.5'de verilmiştir. Veriler toplam harmonik bozulması ( $Thd_v$ ), moment salınımı ve ortalama vuruğu momenti açısından incelendiğinde optimum olarak 2-4 ve 6'lı grupta için sırasıyla 34, 32 ve 30 derecenin optimum değerler olduğu ortaya çıkmıştır. Buna göre;

1- 2'li grup 34 derecede,

-Ortalama vuruğu momentinde ( $M_{ort}$ ) %83,83 iyileşme olduğu,

-Gerilimdeki Toplam Harmonik Bozulmasının ( $Thd_v$ ) % 65,49 iyileşme olduğu,

-Çıkış Gücünde ( $P_c$ ) %14,53 azalma olduğu görülmüştür.

2- 4'li grup 32 derecede,

-Ortalama vuruğu momentinde ( $M_{ort}$ ) %93,19 iyileşme olduğu,

-Gerilimdeki Toplam Harmonik Bozulmasında ( $Thd_v$ ) % 82,30 İyileşme olduğu,

-Çıkış Gücünde ( $P_c$ ) %13,19 azalma olduğu görülmüştür.

3- 6'li grup 30 derecede,

-Ortalama vuruğu momentinde ( $M_{ort}$ ) %87,55 iyileşme olduğu,

-Gerilimdeki Toplam Harmonik Bozulmasında ( $Thd_v$ ) % 69,91 iyileşme olduğu,

-Çıkış Gücünde ( $P_c$ ) %11,62 azalma olduğu görülmüştür.

Bu üç gruptaki (2-4-6) optimum açı değerlerine bakıldığında mıknatıs gruplaması yapılmayan rotora göre çıkış gücünde ortalama %13,11 düşmeye rağmen, ortalama harmonik bozulmasında %72,5 iyileşme ve ortalama vuru mu momentinde %88,19 iyileşme sağlanmıştır.

Dolayısıyla gruplama sayısı arttıkça gruplar arasındaki açı değerinin düşmesi harmonikler, salınım momentini ve vuru mu momentinin ortalama değeri açısından olumlu yönde etkilemektedir.

Yapılan bu çalışmada AOEASM alternatör için 2-4-6'lı gruplamalar ile her gruplamada gruplar arasındaki açı 2'şer derece arttırılarak gruplama tekniğinin yanı sıra optimum açı değeri ile ilgilide deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda mıknatıs gruplamasıyla birlikte, mıknatısların kutup açısının değiştirilmesiyle optimum bir değer bulunabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Kurt, Ü.** (2006). Eksenel Akılı Sürekli Mıknatıslı Senkron Makineler için Yeni Tasarım Modeli geliştirme, (Doktora Tezi), Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [2] **Hwang, Don-Ha, Lee, Ki-Chang, Kang, Do-Hyun, Kim, Young-Joo, Ghoi, Kyeong-Ho, Park, Doh-Young.** (2004). An Modular-type Axial-Flux Permanent Magnet Synchronous Generator Wind Power System. The *30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Busan, Korea, 2-5 November.
- [3] **Ayçiçek, E.** (2012) Vuruntu Momenti Azaltılmış Eksenel Akılı Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor Tasarımı, (Doktora Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- [4] **Ojaghu, P. Vahedi, A.** (2018). A New Axial Flux Permanent Magnet Machine . *IEEE Transactions on Magnetics* Vol.54no.1.
- [5] **Dwived, A. Sing, S.K. Snivastave, R.K.** (2017). Analysis and Performance Evaluation of Axial Flux Permanent Magnet Motors. *IEE Transaction on Industry Application*.
- [6] **Brando, G. Dannier, A. Di Noia, L.P. Caiafa G.** (2017). Axial Flux Permanent Machine Desing For Low Speed High Torque Aplplication. *6th International Conference on Renewable Energy Reseach and Applications*. Nowember.
- [7] **Deng, W. Zuo, S.** (2018). Axial Force and Vibroacoustic Analysis External-Rotor Axial-Flux Motors, *IEEE Transactions on Industry Electronics*, Vol.65.No.3 March.
- [8] **Neethu, S. Saumitra, P. Wanhede, A.K. Fernandes, B.G.** (2017). High Performance Axial-Flux Permanent Magnet Synchronous Motor For High Speed Applications. *IEEE conferances*.
- [9] **Jussila, H. Nerg, J. ; Pyrhönen, J. Parviainen, A.** (2010). Concentrated Winding Axial Flux Permanent Magnet Motor for Industrial Use. *XIX International Conference on Electrical Machines*. Roma.
- [10] **Lee, G.C. Jung, T.U.** (2013). Design of Dual Structural Axial Flux Permanent Magnet Generator for Small Wind Turbine, *IEEE 2013 Tencon – Spring*, 90-94.
- [11] **YShokri, M. Rostami, N. Behjat, V. Pyrhönen, J. Rostami, M.** (2015) Comparison of Performance Characteristics of Axial-Flux Permanent-Magnet Synchronous Machine With Different Magnet Shapes, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol.51, No.12, December, 2015.

- [12] **İshikawa, T.** (2015) Design of an Axial-Flux Type Permanent-Magnet Generator. *IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG)* Beijing, China, 11-15 May.
- [13] **Ünal, K. Önbilgin, G.** (2006) Eksenel Akıllı Sürekli Mıknatıslı Senkron Makine Tasarımında Taguchi Yönteminin Kullanılması, Eleco-2006.
- [14] **Ayçiçek, E. Bekiroğlu, N. Şenol, İ.** (2012). Eksenel Akıllı Sürekli Mıknatıslı Motorlarda Açık Oluk Yapısı Kullanılarak Minimum Vuruntu Momenti İçin Rotor Yapısının Optmizasyonu, *Journal of Engineering and Natural Sciences Sigma* 30,392-401.
- [15] **Muljadi, E. Green. J.** (2002). Cogging Torque Reduction in a Permanent Magnet Wind Turbine Generator. *21th American Society of Mechanical Engineers Wind Energy Symposium*, January.
- [16] **Zeka, G.** (2016). Eksenel Akıllı Sabit Mıknatıslı Alternatörlerde Kutup Açısının Makine Performansına Etkisinin İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.
- [17] **Özçira, S.** (2007). Sabit Mıknatıslı Senkron Motorun Kontrol Yöntemleri Ve Endüstriyel Uygulamaları, (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] **Öner, Y.** (2009). Sürekli Mıknatıslı DC Motor ile Tahrik Edilen Sürekli Mıknatıslı Senkron Jeneratörün Çıkış Geriliminin Kontrolü, (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] **Aydın, M. Ocak, O. Albaş, G.Ç.** (2012). Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorların Doğrudan Sürüşlü Beyaz Eşya Uygulamalarında Kullanımı, *EMO Bilimsel Dergi*, 2, 3, 7-11.
- [20] **Döner, U.** (2016). Rotoru Nüveli, Eksenel ve Radyal Akıllı, Kalıcı Mıknatıslı Yeni Bir Jeneratör Tasarımı, (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Öner, Y.** (2013). Rüzgar Türbinleri İçin; Düşük Hızlı, Sürekli Mıknatıslı, Yumuşak Manyetik Kompozit Malzemeli, Senkron Generatör Tasarımı, Optimizasyonu Ve Üretimi, (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Sezenoğlu, C.** (2009). Eksenel Akıllı Sürekli Mıknatıslı Motorun Benzetimi ve Üretimi, (Yüksek Lisans Tezi), Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [23] **Sezenoğlu, C. Balıkcı, A. Aydınli, F.** (2013). Küçük Rüzgar Türbinler İçin Eksenel Akıllı Sürekli Mıknatıslı Üreteç Uygulaması".5 Enerji verimliliği ve kalitesi sempozyumu, 23-24 Mayıs.
- [24] **Ocak, C.** (2009) Mikro-Hidroelektrik ve Rüzgar Santralleri İçin Düşük Devirli Eksenel Akıllı Kalıcı Mıknatıslı Generatör Tasarımı ve Analizi, (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [25] **Yıldırım, E. Aydemir, M.T.** (2009). Küçük Güçlü Bir Rüzgâr Jeneratöründe Kullanım İçin Eksenel Akılı Bir Sürekli Mıknatıslı Motorun Analizi, Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24, 3, 525-531.
- [26] **Ocak, C.** (2009). Mikro-Hidroelektrik ve Rüzgar Santralleri İçin Düşük Devirli Eksenel Akılı Kalıcı Mıknatıslı Generatör Tasarımı ve Analizi, (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [27] **Özyurt, E.** (2009). Sürekli Mıknatıslı Eksenel Akılı Disk Motorlarda Hız Kontrolü ve Moment Kalitesinin İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [28] **Gör, H.** (2014). Eksenel Akılı jeneratörlerin Tasarımı ve uygulaması, (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [29] **Saygın, A. Aksöz, A.** (2018). Aynı Fiziksel ve Elektromanyetik Parametreler Altında EASMSM ve ORSMSM'un Vuruntu Torkuna Göre Karşılaştırılması, Gazi üniversitesi Fen bilimleri Dergisi. C, 6(3), 659-667.
- [30] **Url-1**<[http://www.emo.org.tr/ekler/acc8e85c11092da\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/acc8e85c11092da_ek.pdf)>, alındığı tarih: 18.01.2019.
- [31] **Url-2** <[http://www.emo.org.tr/ekler/e5aa84dca079733\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/e5aa84dca079733_ek.pdf)>, alındığı tarih: 18.01.2019.





## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad** : Yusuf ÇOLAK  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Divriği/SİVAS 02.04.1967  
**E-Posta** : yusuf.colak@emo.org.tr

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1990, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Elektronik Mühendisliği.