

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEK SİLİNDİRLİ BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA
ELEKTROMEKANİK SUPAP MEKANİZMASI UYGULAMASI

VOLKAN AYGÜL

KOCAELİ 2014

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEK SİLİNDİRLİ BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA
ELEKTROMEKANİK SUPAP MEKANİZMASI UYGULAMASI

VOLKAN AYGÜL

Doç.Dr. Ahmet Necati ÖZSEZEN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Mustafa ÇANAKCI
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Cenk SAYIN
Jüri Üyesi, Marmara Üniv.


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.07.2014

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Petrol kökenli yakıtların sınırlı kaynaklara sahip olması ve çevreyi kirletici etkisi motor üreticilerini daha verimli motorlar üretmeye zorlamaktadır. Bu nedenle içten yanmalı motorlarda yakıt tüketimi ve kirletici gaz emisyonunu azaltan sistemler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Kamsız motor teknolojisi de bu çalışmaların başında gelmektedir ve özellikle son yıllarda akademik ve motor üreticilerinin Ar-Ge çalışmalarında oldukça ilgi görmektedir. Bu çalışmada elektromekanik supap mekanizması ile kamsız bir motor tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarım süresince destek ve yardımlarını esirgemediği bilgi ve tecrübesiyle her konuda beni yönlendiren, huzurlu bir çalışma ortamı ve imkan sağlayan değerli Tez Danışman Hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet Necati ÖZSEZEN'e içtenlikle teşekkür ederim.

Deneyisel sistemin kurulmasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Dr. Ali TÜRKCAN ve Öğr. Gör. İsmail SARI Hocalarıma;

Gerek analizleriyle gerekse bilgi ve birikimleriyle çalışmalarına destek olan bölümümüzün değerli hocalarına, sevgili çalışma arkadaşlarıma;

Tez çalışmamı destekleyen Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No:2013/126 HDP);

Haklarını teşekkürle asla ödeyemeyeceğim, bugünlere gelmemi sağlayan, her türlü destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, emek ve tecrübelerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz – 2014

Volkan AYGÜL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR ÖZETİ	4
2. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ZAMAN KAVRAMI	12
3. SUPAP MEKANİZMALARI	15
3.1. Kamlı Supap Kontrol Mekanizmaları	16
3.1.1. Supap zamanlamasının kontrolü	18
3.1.1.1. Sabit supap zamanlaması	18
3.1.1.2. Değişken supap zamanlaması	19
3.1.2. Supap kalkış miktarının kontrolü.....	19
3.2. Kamsız Supap Kontrol Sistemleri	19
3.2.1. Elektromekanik supap mekanizmaları.....	20
3.2.2. Elektro-hidrolik supap mekanizmaları.....	21
3.2.3. Elektro-pnömatik supap mekanizmaları	23
4. MATERYAL VE METOT.....	24
4.1. Deney Motoru	25
4.2. Elektromekanik Supap Kontrol Elemanları	27
4.2.1. Mikrodenetleyici devresi	28
4.2.2. Mosfet sürücü devresi	28
4.2.3. Enkoder (Kodlayıcılar)	30
4.2.4. ÜÖN sensörü.....	31
4.2.5. Güç kaynakları	32
4.2.6. Osiloskop	32
4.3. Bobin Tasarımı ve Hesaplamalar	32
4.3.1. Elektromekanik supap devre denklemleri.....	32
4.3.2. Selenoid bobin eksenî boyunca manyetik alan	33
4.3.3. Çekme kuvveti	34
4.3.4. Bobin tasarımı	35
4.4. Silindir Gaz Basınç Verilerinin Ölçülmesi ve Analizi	37
5. BULGULAR ve TARTIŞMA	43
5.1. 800 d/d Test Sonuçları.....	43
5.1.1. 800 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 5° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları.....	43
5.1.2. 800 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN' den 10° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları.....	45
5.1.3. 800 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 15° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları.....	48

5.2. 1000 d/d Test Sonuçları.....	50
5.2.1.1000 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 5° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları.....	50
5.2.2.1000 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 10° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları.....	53
5.2.3.1000 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 15° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları.....	55
5.3. 1200 d/d Test Sonuçları.....	58
5.3.1.1200 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 5° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları.....	58
5.3.2.1200 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 10° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları.....	60
5.3.3.1200 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 15° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları.....	63
5.4. Yanmasız Ortamda Emme Supabı Açılma Zamanının Silindir Gaz Basıncı Üzerine Etkileri	65
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	71
EKLER.....	76
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	79
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Dört zamanlı motor	13
Şekil 2.2.	Krank açısına bağlı supap diyagramları	13
Şekil 2.3.	PV diyagramına göre supap yükseklikleri (1- EgSA, 2-EmSA, 3-EgSK, 4-EmSK)	14
Şekil 3.1.	Supap Kısımları.....	16
Şekil 3.2.	Yay geri getirmeli supap mekanizmaları	17
Şekil 3.3.	Supap iticili mekanizmalar.....	18
Şekil 3.4.	Farklı tür supap mekanizmaları.....	19
Şekil 3.5.	Elektromekanik supap şeması	20
Şekil 3.6.	Elektromekanik supap blok diyagramı.....	21
Şekil 3.7.	Elektro-hidrolik supap mekanizması.....	22
Şekil 3.8.	Elektro-pnömatik supap mekanizması	23
Şekil 4.1.	Deney sistemi kontrol şeması.....	24
Şekil 4.2.	Deney düzeneği	25
Şekil 4.3.	Honda GX 390 motor şeması	26
Şekil 4.4.	Honda GX 390 kam mekanizması	26
Şekil 4.5.	Mikroişlemci ve akım sürücü devreleri.....	27
Şekil 4.6.	Mosfet şekli ve yapısı.....	29
Şekil 4.7.	Mosfet sürücü devresi	29
Şekil 4.8.	Encoder faz sinyalleri ve dönme yönünün belirlenmesi	30
Şekil 4.9.	Deney düzeneğinde kullanılan enkoder	31
Şekil 4.10.	Optik sensör ve dişli mekanizması.....	31
Şekil 4.11.	Kütle yay damper sistemi.....	33
Şekil 4.12.	Solenoid bobinde elektromanyetik alan çizgileri	33
Şekil 4.13.	Tasarlanan elektromanyetik supabın 3 boyutlu modeli.....	36
Şekil 4.14.	Elektromekanik supap mekanizması 1	36
Şekil 4.15.	Elektromekanik supap mekanizması 2	37
Şekil 4.16.	Basınç sensörü.....	38
Şekil 4.17.	İçten yanmalı bir motora ait piston, silindir ve krank biyel mekanizması.....	39
Şekil 4.18.	Krank açısına bağlı silindir hacmi değişimi.....	40
Şekil 4.19.	Teorik basınç-krank açısı grafiği.....	41
Şekil 4.20.	Buji ile ateşlemeli motorlarda krank mili açısına göre yanma periyotları (Heywood, 1998).....	41
Şekil 5.1.	800 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri.....	43
Şekil 5.2.	Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi, 800 d/d, ÜÖNÖ 5° KMA).....	44
Şekil 5.3.	Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (800 d/d, ÜÖNÖ 5° KMA).....	44
Şekil 5.4.	800 d/d'da ÜÖN'den 10° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri.....	46

Şekil 5.5.	Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 800 d/d, ÜÖNÖ 10° KMA).....	46
Şekil 5.6.	Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (800 d/d, ÜÖNÖ 10° KMA).....	47
Şekil 5.7.	800 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri.....	48
Şekil 5.8.	Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 800 d/d, ÜÖNÖ 15° KMA).....	49
Şekil 5.9.	Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (800 d/d, ÜÖNÖ 15° KMA).....	49
Şekil 5.10.	1000 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri.....	51
Şekil 5.11.	Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 1000 d/d ÜÖNÖ 5° KMA).....	51
Şekil 5.12.	Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (1000 d/d, ÜÖNÖ 5° KMA).....	52
Şekil 5.13.	1000 d/d'da ÜÖN'den 10° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri.....	53
Şekil 5.14.	Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 1000 d/d ÜÖNÖ 10° KMA).....	54
Şekil 5.15.	Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (1000 d/d, ÜÖNÖ 10° KMA).....	54
Şekil 5.16.	1000 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri.....	56
Şekil 5.17.	Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 1000 d/d, ÜÖNÖ 15° KMA).....	56
Şekil 5.18.	Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (1000 d/d, ÜÖNÖ 15° KMA).....	57
Şekil 5.19.	1200 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri.....	58
Şekil 5.20.	Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 1200 d/d, ÜÖNÖ 5° KMA).....	59
Şekil 5.21.	Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (1200 d/d, ÜÖNÖ 5° KMA).....	59
Şekil 5.22.	1200 d/d'da ÜÖN'den 10° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri.....	61
Şekil 5.23.	Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 1200 d/d, ÜÖNÖ 10° KMA).....	61
Şekil 5.24.	Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (1200 d/d, ÜÖNÖ 10° KMA).....	62
Şekil 5.25.	1200 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri.....	63
Şekil 5.26.	Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 1200 d/d, ÜÖNÖ 15° KMA).....	64
Şekil 5.27.	Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (1200 d/d, ÜÖNÖ 15° KMA).....	64
Şekil 5.28.	800 d/d'da emme supabı açılma zamanının değişimine göre hava için (yanmasız ortamda) silindir gaz basıncının değişimi	66

Şekil 5.29.	1000 d/d'da emme supabı açılma zamanının değişimine göre hava için (yanmasız ortamda) silindir gaz basıncının değişimi	67
Şekil 5.30.	1200 d/d'da emme supabı açılma zamanının değişimine göre hava için (yanmasız ortamda) silindir gaz basıncının değişimi	67
Şekil 6.1.	800 d/d'da emme supabı açılma zamanları	68
Şekil 6.2.	1000 d/d'da emme supabı açılma zamanları	69
Şekil 6.3.	1200 d/d'da emme supabı açılma zamanları	69

TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1. Deney motoru teknik özellikleri.....	25
Tablo 4.2. Elektrik motoru teknik özellikleri	27
Tablo 4.3. Arduinio DUE mikrodenetleyici kartının teknik özellikleri.....	28
Tablo 4.4. Bobin özellikleri.....	35
Tablo 5.1. 800 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri.....	45
Tablo 5.2. 800 d/d'da ÜÖN'den 10° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım gerilim değerleri.....	48
Tablo 5.3. 800 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım gerilim değerleri.....	50
Tablo 5.4. 1000 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri.....	52
Tablo 5.5. 1000 d/d'da ÜÖN'den 10° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri.....	55
Tablo 5.6. 1000 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri.....	57
Tablo 5.7. 1200 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri.....	60
Tablo 5.8. 1200 d/d'da ÜÖN'den 10° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri.....	62
Tablo 5.9. 1200 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri.....	65

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

a	: Krank Yarı Çapı, (m)
A	: Nüve Kesit Alanı, (m ²)
B	: Manyetik Akı Yoğunluğu, (Weber/m ²)
b	: Sönüm Katsayısı, N/(m/s)
d/d	: Devir / Dakika
F	: Kuvvet, (N)
F _b	: Silindir İçi Basınç Kuvveti, (N)
F _m	: Mıknatıs Çekme Kuvveti, (N)
F _{yay}	: Yay Kuvveti, (N)
I	: Akım, (A)
l	: Tel Uzunluğu, (m)
L	: Endüktans, (H)
m	: Hareketli Kütle, (kg)
N	: Sarım Sayısı
P	: Basınç, (MPa)
r	: Biyel Kolu Uzunluğu, (m)
s	: Piston Hareket Miktarı, (m)
V _c	: Yanma Odası Hacmi, (m ³)
V _d	: Silindir Hacmi (m ³)
x _b	: ÜÖN'ya Göre Alınan Mesafe (m)
ε	: Sıkıştırma Oranı
Φ	: Manyetik Akı, (Weber)
Ψ	: Bobinin Toplam Akısı, (Weber)
θ	: Krank Açısı, (°)
μ _o	: Hava Aralığı, (4π10 ⁻⁷ H/m)

Kısaltmalar

AÖN	: Alt Ölü Nokta
DSP	: Digital Signal Procesor (Dijital Sinyal İşleyici)
EgSA	: Egzoz Supabının Açılması
EgSK	: Egzoz Supabının Kapanması
EmSA	: Emme Supabının Açılması
EmSK	: Emme Supabının Kapanması
ESM	: Elektromekanik Supap Mekanizması
NVO	: Negative Valve Overloap (Negatif Supap Bindirmesi)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
ÜÖNÖ	: Üst Ölü Noktadan Önce

TEK SİLİNDİRLİ BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORDA ELEKTROMEKANİK SUPAP MEKANİZMASI UYGULAMASI

ÖZET

Günümüzde içten yanmalı motorlarda değişken supap zamanlaması sağlamak için geleneksel kam mekanizmaları kullanılmaktadır. Değişken supap mekanizmalarının kullanılmasıyla supap kalkış miktarı ve zamanlaması kontrol edilmektedir. Böylece motorun çalışma şartlarına en uygun dolgu hızı sağlanarak motorda volümetrik verimden kaynaklanan performans kayıpları azaltılmaktadır. Motorun düşük ve yüksek devirleri arasında lineer bir volümetrik verim eğrisinin sağlanması, supap zamanlaması ve kalkış miktarının kontrolü ile mümkün görülmektedir. Tamamen değişken ve motor devrinden bağımsız supap zamanlaması için elektromekanik supap mekanizmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Elektromekanik supap mekanizmaları kam milini devre dışı bırakarak supapların tamamen elektronik olarak açılıp kapanmasını sağlayan mekanizmalardır. Bu mekanizmalarda supaplar mıknatıs devreleri sayesinde açılıp kapanmakta ve bu sayede emme ve egzoz supapları tüm motor devirlerinde kam milinden bağımsız olarak optimize edilebilmektedir. Bu çalışmada buji ateşlemeli içten yanmalı bir motorun geleneksel kam mekanizması çıkarılarak yerine tasarlanan elektromekanik supap mekanizması montajı yapılmıştır. İçten yanmalı motor elektrik motoru ile tahrik edilerek belirli devir ve emme supabı açılma zamanlarında testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde silindir gaz içi basınçları, emme supabının açık kalma süreleri ölçülmüştür. Ayrıca, emme bobininde harcanan güç miktarları da hesaplanmıştır. Ölçüm sonuçları teorik hesaplamalarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektromekanik Supap Mekanizması, Kamsız Motor, Supap Zamanlaması

APPLICATION OF ELECTROMECHANICAL VALVE ACTUATOR IN A SINGLE-CYLINDER SPARK IGNITION ENGINE

ABSTRACT

Today, traditional camshaft mechanisms are used to maintain variable valve timing in internal combustion engines. Valve lifting and timing are controlled by variable valve mechanism. Thus, performance losses resulting from volumetric efficiency are decreased by providing optimum charge velocity for the operating conditions of engine. It is possible to get volumetric efficiency curve between low and high speed of the engine with the control over the valve lifting and timing. Electro-mechanic valve mechanisms are needed to provide the fully variable valve timing independently of engine speed. Electro-mechanic valve mechanisms control the opening and closing of valves by deactivating the camshaft mechanism. In these mechanisms, opening and closing of valves are done with magnetic circuits and thus intake valve and exhaust valve is optimized in every engine speed independently of camshaft mechanism. In this study, a camshaft mechanism in a spark ignition internal combustion engine was replaced with a pre-designed electro-mechanic valve mechanism. All tests were performed at certain engine speed cylinder pressure and intake valve timing by using electric motor to rotate driveshaft of the internal combustion engine. In these tests intake valve timing and the power consumed at intake coil have been estimated. Test results showed that the compared with theoretical results.

Key Words: Electromechanical Valve Mechanism, Camless Engine, Valve Timing

GİRİŞ

Günümüz taşıtlarında kullanılan içten yanmalı motorlar, uzun yıllar boyunca yapısal olarak önemli bir değişim geçirmeksizin, yanma odası tasarım değişiklikleri ile motor performansında ve egzoz emisyon değerlerinde iyileşmeler sağlanmaya çalışılmıştır. Kam milinin supap zamanlamasını doğrudan etkilemesinden dolayı, supap zamanlamasının motor performansını artırıcı yöndeki potansiyeli, hiç bir zaman tam olarak kullanılamamıştır. Kam mili kullanan değişken supap zamanlama sistemleri, motor performansında önemli iyileşmeler sağlasalar da sonsuz değişkenlikteki bir supap zamanlaması sağlayamazlar. Dolayısı ile mekanik sistemler, supap zamanlamasının motor performansını artırıcı yöndeki potansiyelini her bir motor devri için yüzde yüz kullanamazlar.

Basit bir ifade ile supaplar motorun nefes alıp vermesini sağlayan elemanlardır. İçten yanmalı motorlarda klasik supap zamanlaması kamın şekline ve kam mili loplarının açısına bağlıdır. Klasik sistemlerde kam lop açıları; motor momentinin maksimum olduğu bölge referans alınarak belirlenmektedir. Klasik kam kontrollü supap mekanizmalarının en önemli problemi, farklı motor devirlerinde silindire gerekli hava akışının sağlanamamasıdır. Ayrıca, her bir çevrimden sonra silindirde kalan inert gaz miktarındaki artış, yanma verimini olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden, motor devrinin düşük veya yüksek olduğu bölgelerde volümetrik verimde ve performansta kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bu problemi çözmek için motor üreticileri, motorun farklı devirlerinde farklı supap zamanlaması kullanmayı hedeflemişlerdir.

Bilindiği üzere, motor devri değişimi ile piston hızı, piston hızına bağlı olarak da içeri alınan dolgunun hızı ve kinetik enerjisi değişmekte, bu yüzden de supap zamanlamasının her bir motor devri için sürekli değişmesi gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için motor devrine göre emme supabının açılma-kapanma zamanını ve açılma miktarını değiştiren mekanizmaya sahip sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler ile motor çalışma koşullarına olabildiğince mükemmel uyum sağlanarak,

her devirde silindire alınan optimum dolgu miktarı ile yüksek performans elde edilebilecektir. Günümüz motor fabrikaları tarafından seri üretimi yapılan değişken supap zamanlı motorlar, supap kalkış miktarını ve zamanlamasını kam milini kontrol ederek gerçekleştirmektedir. Bu sistemlerdeki kam mekanizmaları ekstra kam loplarına sahip olduğundan, motor geçiş devirlerine yeterince hızlı cevap verilememekte, gürültü oluşumu ve sürtünme kayıpları artmaktadır. Aynı zamanda, bu sistemlerin üretim ve bakım maliyetlerinin yüksek olması, uygulamada sınırlamalara yol açmaktadır. Bu ve benzeri dezavantajlar doğrultusunda motor üreticileri ve akademisyenler Ar-Ge çalışmalarında kamsız motor teknolojisi üzerinde çalışmalar sürdürmektedirler.

Sonsuz değişkenlikte bir supap zamanlaması sağlamak için kam milinin kullanılmadığı ve kamsız motorlar olarak da adlandırılan, elektromekanik supap mekanizmalarına (ESM) ihtiyaç duyulmaktadır.

ESM'lerin kullanılması halinde, kam miline, iticilere, itici çubuklara ve külbütör sistemine olan ihtiyaç ortadan kalkar. İçeri alınan dolgunun denetiminin tam olarak yapılabilmesi ile motor performansındaki artış daha üst düzeylere çıkarılabilir. İyi bir supap zamanlamasının gerçekleştirilmesi ile kirletici emisyon miktarlarını istenilen seviyelere çekmek mümkündür.

Değişken zamanlı supap mekanizmaları mekanik, hidrolik, elektro-pnömatik ve elektromekanik (elektromanyetik) sistemlerden oluşabilir. Ancak bu sistemlerden elektromekanik supap mekanizmaları nispeten diğerlerinden daha basit yapılı ve mevcut motor yapılarına daha kolay uyum sağlayabilmektedir. Ayrıca bu sistemle supabın açılıp kapanma zamanlaması ve açık-kapalı durumda kalma süresi motor hızı ve yüküne göre motor devrinden bağımsız olarak denetlenebilmektedir. Bunun sonucunda yakıt tüketimi azaltılabilir, motorda yüksek tork ve güç üretilebilir ve çevreye atılan kirletici gazlar azaltılabilir.

ESM'ler kam milini devre dışı bırakarak supapların tamamen elektronik olarak açılıp kapanmasını sağlayan mekanizmalardır. Bu mekanizmalarda supaplar mıknatıs devreleri sayesinde açılıp kapanmakta ve bu sayede emme ve egzoz supapları tüm motor devirlerinde kam milinden bağımsız olarak optimize edilebilmektedir. Bunun sonucunda ise yapılan çeşitli çalışmalarda yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarında

azalma görülmüştür. ESM'lerde farklı tasarımlarlar kullanılsa da bu tasarımlar genellikle birbirine benzemektedir. ESM'ler genel olarak 2 adet yay 2 adet bobin devresi (açma ve kapatma bobini) ve 1 adet nüveden oluşmaktadır. Bu tasarımlarda genellikle E tipi mıknatıs devreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte silindirik ve elips kesit alanına sahip çalışmalar mevcuttur (Kamış ve Yüksel, 2006).

Bu avantajlarının yanında ESM'lerin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu tip mekanizmalarda, yay kuvveti ile supabın geri gelme hızı kritik bir problemdir. ESM'lerde supabın hızlı bir şekilde kapanabilmesi için sert yaylar tercih edilmektedir. Bu durum supapların açılması için gerekli elektromanyetik kuvvetin artmasına neden olmaktadır. Geleneksel sistemde supap hareketi kam profili tarafından kontrol edildiğinden, supap geri getirme yayının hızı kam profili açılarını takip etmektedir Bununla birlikte, kamsız elektromekanik sistemlerde supap oturma hızını belirli bir seviyede tutmak zor olmaktadır. Supap geri çekme hızının yüksek olduğu durumlarda aşıntı ve gürültü problemleri meydana gelmektedir. Bu problemi çözmek için yapılan çalışmalarda kapsamlı bir kontrol analizi yapılmasına rağmen çevrimden çevrime supap kontrolünde çeşitli zorluklar yaşanmaktadır (Kamış, 2006).

Yukarıda da ifade edildiği üzere, motorun tüm çalışma bölgelerinde optimum havanın silindire alınması motor üreticilerinin üzerinde durduğu önemli bir konudur. Bu çalışmadaki amaç da klasik supap mekanizmasına sahip tek silindirli buji ateşlemeli bir motoru elektromekanik kontrollü supap teknolojili motora çevirerek supap açılma ve kapanma zamanlarını kontrol edebilecek bir sistem kurmaktır. Sistem üzerinde yapılacak testlerde (yanmasız ortamda) emme supabı açılma zamanının silindir gaz basıncı üzerine etkisi incelenmiştir.

1. LİTERATÜR ÖZETİ

Geçmişten günümüze motor üreticileri, motor performansında artış sağlamak ve emisyon standartlarını yakalayabilmek için genellikle iki teknoloji üzerine yoğunlaşmışlardır. Bu teknolojiler; yüksek basınçlı yakıt püskürtme ve değişken supap zamanlamasıdır. İki teknoloji üzerinde önemli çalışmalar olmasına rağmen, piyasa rekabetinden dolayı otomotiv üreticileri, üretim maliyetlerinde kısıtlama yapmak zorunda olduklarından, maliyeti kabul edilebilir teknolojiyi seri üretimlerine taşıyabilmişlerdir. İki konu üzerindeki Ar-Ge çalışmaları, her zaman gündemde olmasına rağmen, maliyet ve sürdürülebilirlik teknolojinin yaygın kullanımını engellemektedir.

Kamsız motor kavramı, kam mili olmaksızın supap sisteminin tahrik edilmesi anlamına gelir. Kamsız içten yanmalı motor fikri 1890'lı yılların sonlarından itibaren oluşmaya başlamıştır. Aynı zamanda, kam milinden bağımsız bir supap mekanizmasının motor gücünü önemli ölçüde artırabileceği de ifade edilmiştir (Pierik ve Bukhard, 2000). Gould ve diğ. (1991) çalışmalarında benzinli bir motor için mikroişlemci kontrollü elektro-pnömatik supap mekanizması tasarımını gerçekleştirmişlerdir.

Günümüz motor üreticileri seri üretimlerinde, motor performansını arttırmak için çoklu supap teknolojisi kullanmaktadır. Bu sayede her bir silindir için iki ya da daha fazla emme ve egzoz supabı kullanılarak her devirde silindir içerisine en fazla karışımın alınması hedeflenmektedir. Honda firmasının ilk olarak 1980'lerde geliştirmiş olduğu değişken supap mekanizması bu amaçla yapılan çalışmalardan birisidir. Honda'nın elektromekanik kontrollü değişken kam mekanizmasına sahip motorunda üç farklı kam profili bulunmaktadır. Bu tip motorlarda her bir kam, belirli bir motor devrinde optimum çalışma için tasarlanmıştır. Motor devrinin her değişiminde devreye giren kam değiştirme mekanizması çok komplekstir ve yapısından dolayı da hata yapma olasılığı yüksektir (Trevett, 2005).

Günümüzde kam mekanizması olmayan motorlar Ar-Ge bazında gelişme göstermektedir. Bu motorlarda kam yerini, kam mili olmayan mikro denetleyici kumandalı elektromekanik, elektro-hidrolik veya elektro-pnömatik supap mekanizmaları almaktadır. Ancak, hidrolik ve pnömatik sistemler birtakım dezavantajlara sahiptir. Taylor ve diğ. (1997) bu avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralamışlardır. Bunlardan hidrolik tahrik sisteminin dezavantajları;

- Servo ve oransal valflerin yüksek maliyeti,
- Yüksek doğruluğa sahip pozisyon transduserlerine olan ihtiyaç,
- Yağ sıcaklığının motor performansını değiştirme üzerindeki etkisi,
- Uygun silindirlerin bulunmasındaki zorluklar,
- Sızıntılar ve sistemin kire karşı hassasiyeti,
- Akışkan gücü için lokal bir kaynak ihtiyacı ve sistem elemanlarında ortaya çıkan lineersizlik, örneğin valf kilitlenmeleri, vb.'dir.

Pnömatik tahrik sisteminin dezavantajları ise;

- Pnömatik sistemle kullanılan havanın yağlanma ihtiyacı,
- Havanın sıkıştırılabilir özelliğinden dolayı tepki zamanı gecikmeleri,
- Tahrik katılığının (rijitliğinin) az olması,
- Servo uygulamalarında direkt tahrikle kullanıldığında yüksek kararlılık özelliği olan pozisyon sensörlerine olan ihtiyaç,
- Doğrusal olmayan sistem elemanlarının kontrolü zorlaştırması vb. olarak ifade edilebilir.

Son yıllarda bazı firmalar, (Aura, Siemens, FEV, Visteon, Delphi, Renault, BMV, Fiat, Sturman Industries) kamsız motorlara yönelik Ar-Ge çalışmaları yapmaktadırlar. Özellikle elektromekanik supaplarda FEV ve elektro-hidrolik supaplarda Sturman Corporation firmaları bu çalışmalarıyla ön plana çıkmışlardır. Siemens Automotive'in geliştirdiği elektromekanik supap mekanizması ise 4 silindirli 16 supaplı bir motora uygulanmıştır. Motorda yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları azaltılmıştır. Ayrıca, motor torkunda iyileşmeler görülmüştür (Holt, 2000).

FEV Motorontechnik'te yapılan çalışmada ise serbest salınımlı bir elektromekanik supap denetim mekanizması tasarlanmıştır. Sistemin kontrol edilebilme kabiliyetinin

yüksek olduğu, supap geçiş sürelerinin kısa olduğu bunun yanında, geleneksel supap sistemlerine göre güç gereksinimlerinin karşılaştırılabilir düzeyde olduğu belirtilmiştir (Krauter ve diğ., 1992).

Elektromekanik supap mekanizmaları üzerine yapılan çalışmalar genellikle sistemin tasarımı, tasarım parametrelerinin incelenmesi, statik ve dinamik karakteristiklerinin araştırılmasına yöneliktir (Nitu ve diğ., 2005). Elektromekanik supap mekanizmaları ile supap hareketleri tüm çalışma şartlarında motor devrinden bağımsız olarak kontrol edilebilir. Bunun sonucunda da yakıt tüketimi ve kirletici gaz emisyonları azalmaktadır (Pischinger ve diğ., 2000; Park ve diğ., 2001; 2003a; 2003b). Ayrıca, bazı çalışmalarda ESM'lerin kullanılması ile yüksek tork ve güç elde edildiği, geçici durum ve rölanti çalışması için optimum yakıt tüketimi sağlandığı ve pompalama kayıplarının azaltıldığı öne sürülmektedir (Giglio ve diğ., 2002; Wang ve diğ., 2002).

ESM'ler ile ilgili daha çok esnek ve güvenilir bir supap performansı sağlamaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. ESM'lerde; yay kuvvetine karşılık supabın açılması için gerekli mıknatıs kuvveti, supapların açılma veya kapanma zamanı gibi değişkenler önemli etkenler arasında yer alır. Diğer önemli bir etken de supabın kapanma anındaki darbe hızı ve yüksek hızlarda ortaya çıkabilecek mekanik gürültü problemidir (Wang ve diğ., 2002). İçten yanmalı bir motor için oturma veya kapanma hızları yaklaşık olarak, emme supabı için 0,2 m/s ve egzoz supabı için 0,3 m/s'dir (Chang ve diğ., 2002). Sistemden kaynaklanan olumsuzlukların giderilmesi için modelleme ve denetleme üzerine çok çeşitli çalışmalar yapılmakta, farklı denetim yapıları kullanılmaktadır (Butzman ve diğ., 2000; Hoffman ve diğ., 2001a; 2001b; 2003; Peterson ve diğ., 2002a; 2002b; 2002c; 2004; Boccaletti ve diğ., 2004).

Elektromekanik supaplı bir motorda yapılan deneylerde genellikle iki adet yay, iki adet bobin ve bir adet sabit mıknatıs kullanılmıştır. Genellikle bu tasarımlarda supaplar sıfır konumunda yarı açık pozisyonda bulunmaktadır. Açma bobinine akım sağlandığında supaplar açılmakta ve kapama bobinine akım sağlandığında ise bobinlerin kapanması sağlanmaktadır. ESM'lerin kontrolünde farklı denetim algoritmaları uygulanmaktadır. Theobald ve diğ. (1994) açık-çevrim denetimi ile elektromekanik olarak hareket ettirilen supapların oturma hızlarını 0,35-1 m/s

arasında ölçülmüştür. 1500 d/d'ya göre yapılan deneyde, geleneksel motorların supap oturma hızına göre oldukça yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Değişken supap zamanlaması ile gerçekte silindire alınması istenen taze dolgu miktarını, motorun tüm devir ve yük şartlarında teorik olarak silindire alınabilecek dolgu miktarına yaklaştırmak mümkündür. Bunu sağlamak için motor üreticileri geçmişten bugüne çeşitli sistemler üzerinde çalışmalar sürdürmüşlerdir. Değişken supap zamanlaması sistemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- 1- Supap kalkma miktarı ve kam mili profili sabit, düşük ve yüksek devirler için iki ayrı açılma kapanma zamanlamasına sahip sistemler
- 2- Supap kalkma miktarı ve kam mili profili sabit, bütün devir ve yük aralıkları için sürekli değişken açılma-kapanma zamanlamasına sahip sistemler
- 3- Supap kalkma miktarı sabit, supap açılma profili ve açılma-kapanma zamanları sürekli değişken sistemler
- 4- Supap kalkma miktarı, açılma profili ve açılıp kapanma zamanları sürekli değişken sistemler.

Bu sistemlerin dışında, düşük motor devirlerinde emme supabının açılmasını geciktiren veya kapanmasını erkene alan, böylece supap bindirme periyodunu kısaltarak rölanti kararlılığını, düşük devirlerde momenti ve volumetrik verimi arttıran yardımcı sistemler de kullanılmaktadır (Gray ve diğ., 1988; Ahmad ve diğ., 1989). İçten yanmalı motorlarda kullanılan bazı değişken supap zamanlaması mekanizmaları motor yükünü gaz kelebeği olmaksızın da kontrol edebildiği için gaz kelebeği etrafındaki kısılma kayıplarını da ortadan kaldırır. Bazı çalışmalarda ise gaz kelebeği ile yükün kontrol edildiği bir motorda, supap çalışma zamanı kontrolünün tam yük performansını, emisyonları ve rölanti çalışmasını olumsuz yönde etkilediğini belirtmiştir. Çalışmanın sonunda kısmi yük şartlarında pompalama kayıplarında %40 azalma, motorun maksimum tork değerinde %1 lik kayıp ve orta yük şartlarında NO_x de %24 azalma, hidrokarbon emisyonlarında değişim farkının olmadığı görülmüştür (Tuttle ve diğ., 1980).

Yapılan bazı deneysel çalışmalarda, değişken supap mekanizmalarının kullanımı ile motor performansının arttığı, yakıt tüketiminin, azot oksitlerin ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$), ve yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonlarının azaldığı ifade edilmiştir. Pierik ve

Burkhard (2000) değişken supap zamanlaması uygulanan bir motorda rölanti devrinde %12, kısmi yüklerde %7-10, tam yük şartlarında %0-3 arasında özgül yakıt tüketiminde klasik sisteme göre azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, değişken supap zamanlaması kullanımı ile rölanti ve kısmi yüklerde NO_x emisyonunda azalma olduğunu ifade etmişlerdir.

Bohac ve Assanis (2004) düşük motor devrinde egzoz supap zamanlamasını değiştirerek motorun klasik supap zamanlamasına göre yanmamış HC emisyonun %27 azaldığını göstermiştir. Araştırmacılar, egzoz supabının erken açılmasının HC emisyonunu artırdığını, erken kapanmasının ise HC emisyonlarını azalttığını tespit etmişlerdir.

İçten yanmalı motorlarda supaplar kam mili yardımıyla açılıp kapanmakta, bu sistemler ile emniyetli bir supap performansı sağlanmaktadır. Sabit supap mekanizmasına sahip motorlarda seçilen supap zamanlaması, volümetrik verimi motorun en çok çalıştığı devir aralığına göre optimize ettiğinden, motor bu devir aralığının altında veya üstünde volümetrik verim açısından düşük verim değerleri ile çalışmaktadır. Motorun düşük ve yüksek devirlerinde birbirleriyle zıt özelliklere sahip olan parametreleri elde edebilmek için motorun çalıştığı tüm devir aralıklarında silindir içine alınan dolgu miktarını, tasarım sonucu ortaya çıkan belli bir devir aralığındaki dolgu miktarına yakın değerlere getirmek gerekmektedir (Kamış, 2006; Yang ve diğ., 2013).

Bazı araştırmacılar, içten yanmalı motorlarda karışımın silindire girişini ve çıkışını kontrol eden aynı zamanda sızdırmazlık sağlayan emme ve egzoz supaplarının zamanlaması ve kalkma miktarının, motorun bütün devir ve yük aralıkları için optimize edilmesiyle başta volümetrik verimde olmak üzere, motor momentinde, çıkış gücünde, özgül yakıt tüketiminde ve egzoz emisyonlarında iyileşmeler görmüş, ayrıca motorun kullanılabilir devir aralığının arttığı sonucuna varmışlardır (Dresner ve diğ., 1989; Safgönül ve diğ., 1999; Hara ve diğ., 1989).

Yapılan birçok çalışmada değişken supap zamanlamasının volümetrik verim üzerine etkisi incelenmiştir. Asmus (1982) yaptığı çalışmada yüksek devirlerde geciktirilen emme supabı kapanma zamanının, volümetrik verimi arttırdığını belirtmiştir. Buna

neden olarak piston üst ölü noktaya doğru harekete başlamış olsa bile havanın sahip olduğu yüksek momentumun silindir içine hava şarjını sürdürmesini göstermiştir.

Ham ve diğ. (1991) değişken supap kalkış miktarının ve açılma-kapanma zamanının silindir içi türbülans oluşumuna etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında motorun nefes alma prosesinin emme supabı kapanma zamanından oldukça etkilendiği sonucuna varmışlardır. Geciktirilen emme supabı kapanma zamanının yüksek devirlerde volümetrik verimi arttırdığı gibi düşük devirlerde de düşürdüğünü saptamışlardır. Yüksek volümetrik verimin elde edilmesi için supap kalkış miktarının ve supap açılma-kapanma zamanının kontrol edilebildiği sistemlerin kullanılmasının her zaman avantajlı olacağını öngörmüşlerdir.

Stivender (1968) supap kalkış miktarını kontrolü ile hava-yakıt karışımını kontrol altına aldığı bir çalışma yapmıştır. Supabın küçük kalkma miktarlarında türbülans oluşumunun arttığını ve sıvı yakıtın silindir içerisine girmesiyle yüksek bir atomizasyona uğradığını tespit etmiştir. Buna neden olarak silindir içerisine doğru kanal boyunca ilerleyen sıvı yakıtın yüksek yüzey gerilmelerine maruz kalmasını göstermiştir.

Yukarıda açıklandığı üzere, içten yanmalı motorlarda kullanılan ESM'ler elektronik kontrol ünitesine bağlı olarak denetlenen ve kam milini devre dışı bırakan bir teknolojidir. Supap zamanlamasının elektronik denetimi ile her bir devir için hava akış optimum düzeyde tutulabilir. Yasalarla tespit edilen egzoz emisyonlarının her geçen gün daha da aşağılara çekilmesi, değişken supap mekanizmalarının mekanik olarak oldukça karmaşık, hareketli çok sayıda parçadan oluşması, kam değiştirme mekanizmalarının çok karmaşık ve niteliği gereği hata yapma olasılığının yüksek olması, kam mili olmayan supap mekanizmalarından elektro-hidrolik ve elektro-pnömatik supap mekanizmalarının yukarıda saydığımız dezavantajları, araştırmaları elektromekanik supap mekanizmalarına yöneltmiştir.

Başka bir çalışmada ise 1200 d/d da supap açılma ve kapanma avansları değiştirilerek supap profili elde edilmiştir. Bu çalışmada tek silindirli benzinli bir motor kullanılmış ve emme supap zamanlaması ÜÖN'den 18° KMA önce açılacak ve AÖN'den 50° KMA sonra kapanacak şekilde testler yapılmıştır (Taşlıyol ve diğ., 2011).

Bazı çalışmalarda ise elektromekanik supap mekanizmalarının tasarım parametreleri incelenmiştir. Kamış ve Yüksel (2004) çalışmalarında mıknatıs devresine açılan delik yarıçapının, silindir içi basınç kuvveti, yay katsayısı, disk kalınlığı tel çapı, bobin gerilimi, tutma akımı, denge konumu ve kullanılan malzemenin elektromekanik supap mekanizması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada mıknatıs devresine açılan delik yarıçapı arttıkça elektromanyetik kuvvet kaybının önemli oranda arttığı belirtilmiştir. Silindir içi basıncın artması da supaplara etki eden basıncı arttıracığından, bu kuvvetleri yenmek için de yay kuvvetinin artırılması gerekmektedir. Bu durumda da daha fazla elektromanyetik kuvvete ihtiyaç duyulacak ve mıknatıs devresinin boyutları büyüyecektir.

Elektromanyetik supap mekanizmalarında akım seviyesi kullanılan bobinin direncine ve sağlanan gerilime bağlıdır. Bobinin direnci ise kullanılan tel çapı ile ter orantılıdır. Tel çapı arttıkça bobin direnci azalacağından bobinden geçen akım artacaktır. Akımın yükselmesi cevap süresinin kısılmasına ancak supap oturma hızının da artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, bu durum bobinlerde ısınmalara ve kuvvet kayıplarına da yol açmaktadır. Yapılan bu çalışmada cevap süresini kısaltmanın en uygun yolu olarak yay katsayısı ve mıknatıs devresi boyutlarını değiştirmeden hareketli kütle miktarında azaltma yapmak olduğu belirtilmiştir (Kamış ve Yüksel, 2004).

Elektromekanik supap mekanizmalarında farklı çalışma gerilimleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada tek silindirli buji ateşlemeli bir motorda 42 V besleme gerilimine sahip bobin mekanizması kullanılmıştır (Sağıroğlu, 2006). Başka bir çalışmada ise 12 V'luk besleme gerilimine sahip ESM'nin değişik supap çalışma aralığında dinamik performansı incelenmiştir ve bu mekanizmanın çalışma aralığı belirlenmiştir. Buna göre sistem maksimum 10 A akım ile 2 mm ve 7 mm çalışma aralığında, 2400 - 4575 d/d çalışma hızında çalışabilmektedir (Sekmen ve Birgül, 2013).

ESM'lerde supap oturma hızı önemli bir problem teşkil etmektedir. Bazı çalışmalarda supap oturma hızının azaltılması için çeşitli kontrol yöntemleri kullanılmıştır. Liu ve Chang (2006) çalışmalarında PID akım kontrolü yaparak supap oturma hızında azalma sağlamışlardır.

Yang ve diğ. (2013) farklı bir elektromanyetik supap mekanizması tasarlamışlardır. Elektromanyetik supap mekanizmalarında bobine ek olarak bir de sabit mıknatıs kullanmışlardır. Enerji kompanzasyon kontrolü ile nüvenin yaptığı pozitif ve negatif iş eşitlenmiş ve bu sayede sıfır supap oturma hızı elde etmişlerdir.

Tüm bunlar göz önüne alındığında ESM'ler klasik supap mekanizmalarına iyi bir alternatif olarak görülmektedir.

2. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA ZAMAN KAVRAMI

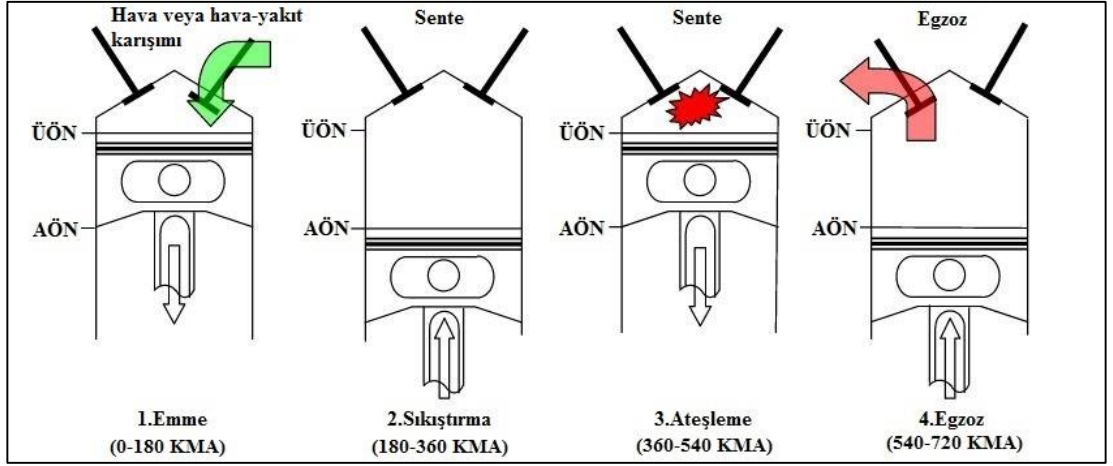
İçten yanmalı motorlar kullanılan yakıt cinsine (dizel, benzinli), motor yapısına (sıra tipi, boksör tipi, yıldız tipi), silindir sayısına (tek, çok), soğutma sistemlerine (hava, su) ve zamanlarına göre sınıflandırılabilirler. Zamanlarına göre ise iki zamanlı ve dört zamanlı olmak üzere iki şekilde incelenirler. Dört zamanlı motorlar, pistonun bir çevrimi dört strokta tamamlayan motor tipleridir.

1.Emme Zamanı: Bu zamanda hava veya yakıt -hava karışımı silindir içine emilir. Bu zamanın başında piston ÜÖN olarak bilinen pozisyondadır. Yani silindir içinde pistonun üst kısmında minimum boşluk vardır. Piston aşağı inerken emme supapları açılır ve yakıt hava karışımı silindir içine dolar. Emme zamanı yakıt hava karışımının yanmanın gerçekleşeceği silindire çekildiği zamanı belirtir ve dört zamanlı içten yanmalı motorların çevriminin başlangıcıdır. Bu aşamada egzoz supapları kapalı konumdadır.

2.Sıkıştırma Zamanı: Piston AÖN olarak tabir edilen en dip noktaya ulaştığında emme biter. Piston tekrar yukarı doğru hareket etmeye başlar. Bu sırada emme ve egzoz supapları kapalı olduğundan emilen yakıt hava karışımının hacmi azalmaya başlar. Hacim azaldıkça basınç ve sıcaklıkta yükselme meydana gelir ve yakıt hava karışımı sıkıştırılmış olur.

3.Ateşleme (Genişleme) Zamanı: Bu durumda supapların ikisi de kapalı konumdadır. Sıkışmış karışım benzinli motorlarda bir kıvılcım ile tutuşturulur, dizel motorlarda ise yüksek basınç ve sıcaklık altında kendiliğinden tutuşur ve yanma gerçekleşir. Yanma sonucu açığa çıkan enerji ile piston dışarı doğru itilir. Bu sayede krank mili döndürülür ve hareket elde edilmiş olur.

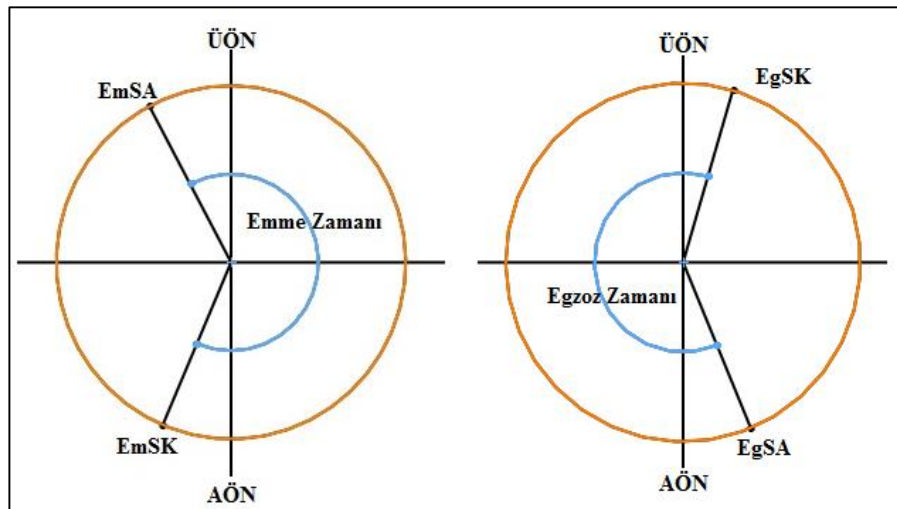
4.Egzoz Zamanı: Pistonun geri dönüşü sırasında egzoz supabı açıktır ve egzoz gazları pistondan atılır. Döngü böylece başlangıç konumuna gelir ve 1. aşamadan itibaren işlemler yinelenir. Bu dört işlem 720° KMA'da gerçekleşir. Şekil 2.1'de dört zamanlı bir motora ait emme, sıkıştırma, ateşleme ve egzoz zamanları gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Dört zamanlı motor (URL-1)

İki zamanlı motorlar ise, daha yaygın olarak kullanılan dört zamanlı motorlar göre, dört yerine iki strokta çevrimini tamamlarlar. Bu iki strokta, dört zamanlı motorda oluşan 4 işlem de (emme, sıkıştırma, yanma, egzoz) meydana gelmektedir. Yani emme ve sıkıştırma bir strokta, yanma ve egzoz bir strokta yapılır. Egzoz ve emme supapları sıkıştırma ve yanma zamanlarında kapalı konumdadır.

Pistonun, egzoz zamanı sonunda emme zamanı başlangıcında ÜÖN’de bulunduğu sırada, emme ve egzoz supaplarının birlikte bir süre açık kalırlar. Buna supap bindirmesi denir. Egzoz supabının emme supabı açılmadan önce kapanması durumunda meydana gelen supap bindirmesi ise negatif supap bindirmesi (NVO) olarak adlandırılır. Şekil 2.2’de krank açısına bağlı olarak supap yüksekliği ve supap bindirmesi gösterilmiştir.

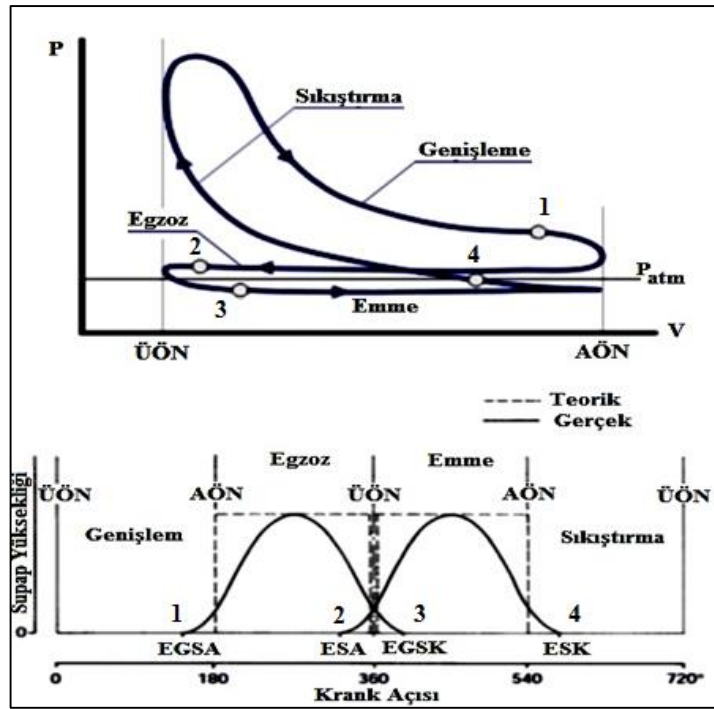


Şekil 2.2. Krank açısına bağlı supap diyagramları

Supap bindirmesi motorda aşağıdaki avantajları sağlar.

1- Egzoz kursunda yüksek hızla atmosfere atılan gazlar, momentumları nedeniyle, açık bulunan emme supabından havanın emilmesini sağlarlar.

2- Yanma sırasında silindir içinde yaklaşık olarak 550 °C ve 700 °C arasında bir sıcaklık oluşmaktadır. Bu sıcaklıktan motorun zarar görmemesi için, soğutulması gerekmektedir. Bu görevi bir yandan silindirlerin çevresinden kanatçıkların arasından geçen hava, bir yandan da supap çakışması sırasında yanma odasına emilen soğuk hava yerine getirmektedir. Piston ÜÖN'yi bir süre geçtikten sonra, egzoz supabı kapanmakta ve yeni çevrimin emme süreci başlamaktadır. Şekil 2.3'de ise PV diyagramına göre supap yükseklikleri verilmiştir.



Şekil 2.3. PV diyagramına göre supap yükseklikleri (1-EgSA, 2-EmSA, 3-EgSK, 4-EmSK) (Stone, 1999)

3. SUPAP MEKANİZMALARI

Günümüzde taşıtlarda büyük oranda petrol kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Dünyadaki fosil yakıt kaynaklarının sınırlı rezervlere sahip olmasından dolayı otomotiv üreticileri biyoyakıt, güneş enerjisi ve yakıt pili gibi alternatif kaynaklara yöneltmiştir. Bununla birlikte alternatif yakıt kaynaklarının günümüz içten yanmalı motorlarında direkt kullanılmasında yaşanan problemlerden dolayı bu yakıtların kullanımı yeteri kadar yaygınlaşamamıştır. Bu yüzden otomotiv firmaları, geliştirdikleri motorlarında yakıt tüketimini en aza indiren sistemler geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Ayrıca otomotiv şirketleri, rekabette öne geçme açısından da ürettikleri motorları özellikle performans, maliyet, yakıt tüketimi ve emisyon değerleri açısından optimize etmeye çalışmaktadır. Bu ihtiyaçlar karşısında motorlarında bu parametreleri optimum seviyede karşılayabilecek teknolojiler geliştirmişlerdir. Bu teknolojik gelişmelerin en önemlilerinden biri de değişken supap zamanlaması ile ilgili mekanizmalardır.

Değişken supap zamanlaması uygulamalarında, ilk başlarda sadece tek kam mili üzerinden emme ve egzoz supabının açık kalma zamanı ayarlanırken, mekanizmalarda kam mili sayısının artırılması ve elektronik kontrol biriminin kullanılması ile egzoz supabı açık kalma süresinin ayarlanması ve supap kalkış miktarının değiştirilmesi gibi kontrollerde yapılabilir hale gelmiştir.

Değişken supap zamanlamasında kontrol mekanizmaları kam üzerinden veya kamsız kontrol mekanizmaları ile olabilmektedir. Kamsız sistemler;

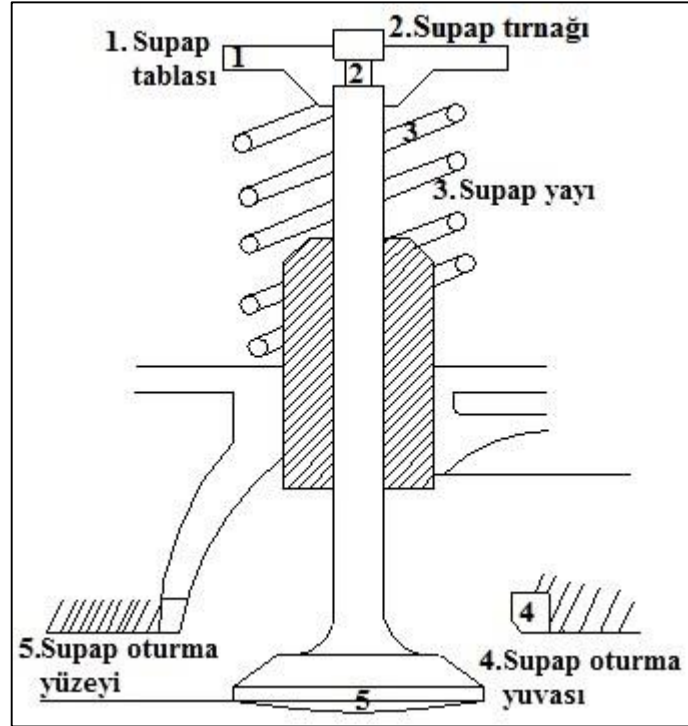
1. Elektromekanik
2. Elektro-pnömatik
3. Elektro-hidrolik mekanizmalar olarak üzere üç grupta incelenebilir.

Genelde, kamsız sistemlere araştırma çalışmalarında rastlanabilirken, taşıt üreticileri kamlı değişken supap mekanizmalarını tercih etmektedir. Bununla birlikte,

programlanabilir kamsız supap zamanlamasının, gelecek motor uygulamalarında kullanılabileceğine dair çalışmalar yapılmaktadır.

3.1. Kamlı Supap Kontrol Mekanizmaları

Geleneksel motorlarda kullanılan değişken supap zamanlaması tüm motorlarında aynı çalışma prensibi ile kullanılmaktadır. Farklı isimlerdeki bu supap zamanlama mekanizmalarındaki temel amaç farklı motor devirlerinde supaba farklı kam profilleri ile müdahale ederek supap açılma zamanı ve kalkış miktarını değiştirmektir. Supaplar, içten yanmalı motorlarda silindir içine hava veya hava yakıt karışımının alınması ve yanma sonucu oluşan egzoz gazlarının silindirden dışarıya atılmasını sağlayan makine elemanlarıdır. Supaplar motor tiplerine göre farklı tasarımlarda olabilirler. Genellikle motor tasarımında kullanılan supaplar, tabla ve supap sapı olmak üzere iki kısımdır. Tablada bulunan açılandırılmış supap oturma yüzeyi aynı açıyla taşlanan supap yuvasına oturarak, silindire sızdırmazlık sağlar. Supap tablası genellikle düz, bazen dış bükey veya iç bükey olarak yapılır. Şekil 3.1’de supap kısımları gösterilmiştir.

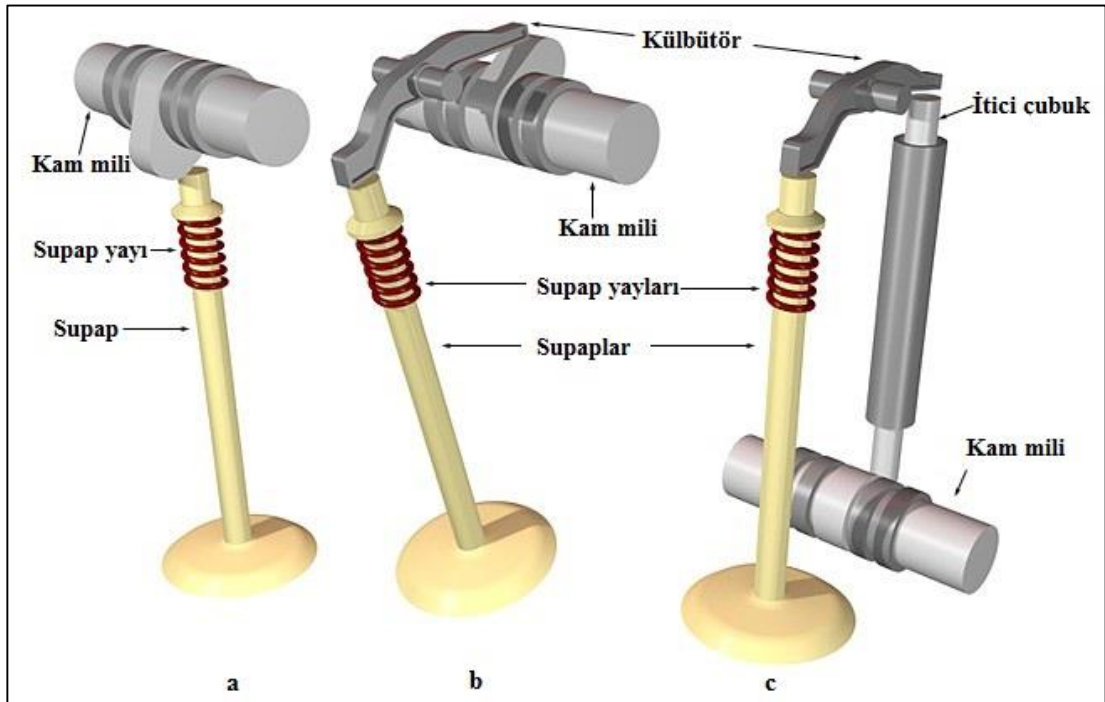


Şekil 3.1. Supap Kısımları (URL-2)

Yay geri getirmeli supap mekanizmaları günümüz motorlarında kullanılan en basit yapıda ve en çok kullanılan supap mekanizmalarıdır. Krank miline bağlı olarak hareket eden kam mili, supapları açar ve supap yayaları ise supapların kapanması yönünde kuvvet uygularlar. Genelde klasik supap mekanizmaları üç farklı yapıda kullanılmaktadır. Bunlar;

- 1- Direkt kam lopları tarafından uygulanan kuvvet ile supapların açılmasını sağlayan mekanizmalar,
- 2- Kam lobunun bir külbütör mekanizması yardımıyla supapları açan mekanizmalar,
- 3- kam lobunun bir itici çubuğa ve külbütör mekanizmasına bağlı olduğu sistemler olarak sınıflandırılabilir.

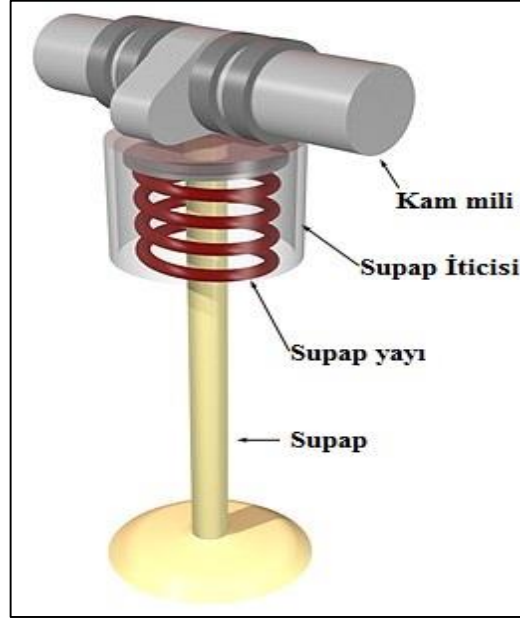
Bu mekanizmalar kam milinin krank miline yakın olmasını sağlamaktadır. Şekil 3.2.'de yay geri getirmeli supap mekanizmaları gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Yay geri getirmeli supap mekanizmaları (Hendriono, 2008)

Bir diğer supap sistemi ise supap iticisine sahip sistemlerdir. Bu sistemler yay geri getirmeli sistemlerin bir türeği olarak da sınıflandırılabilir. Supap iticisi basit olarak supap kapakları ve yayları muhafaza eden bir kapak olarak düşünülebilir. Bu mekanizmada kam lopları direkt olarak supap veya yaya temas etmez. Kam lopları içerisinde yağ bulunan supap iticisine kuvvet uygular ve supapların açılması sağlanır.

Supapların kapanması ise diğer mekanizmalarda olduğu gibi yaylar tarafından sağlanır. Bu mekanizmalarda supap iticisi kullanılması ile gürültüyü azaltmak ve kam loplarının daha düzgün bir yüzeye temas etmesi hedeflenmiştir. Şekil 3.3’de ise basit bir supap iticili sistem gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Supap iticili mekanizmalar
(Hendriono, 2008)

3.1.1. Supap zamanlamasının kontrolü

İçten yanmalı motorların icadından itibaren sürekli değiştirilebilir supap zamanlamasının kullanılması hedeflenmiştir. 1980’lerin başına kadar, dört zamanlı motorlarda supap zamanlaması piston pozisyonuna göre kam mili profili ile kontrol edilmiştir. Bu mekanizmalar tekrar edilebilirlik açısından güvenli ve etkili olmuştur ancak motor performansında iyileşme sağlanabilmesi ve zorunlu emisyon standartlarına uygun egzoz salınımının gerçekleştirilebilmesi değişken supap zamanlamasının gerekliliği ortaya koymaktadır. Günümüz teknolojisine uygun olarak supap zamanlaması iki gruba ayrılmaktadır.

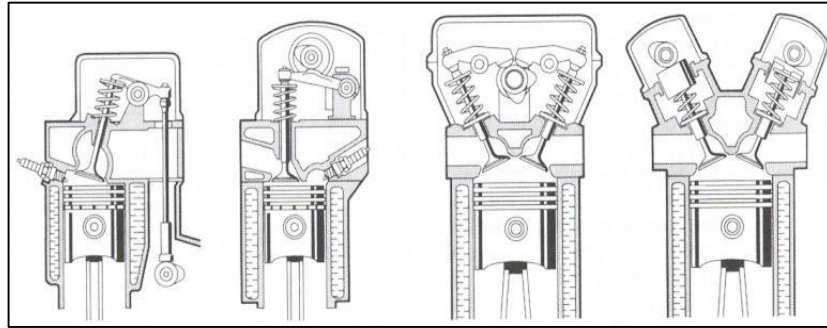
3.1.1.1. Sabit supap zamanlaması

Sabit supap zamanlamasına sahip motorlarda emme ve egzoz supapları kam mili yardımıyla açılıp kapanmakta ve sabit supap mekanizmasına sahip motorlarda seçilen supap zamanlaması, volümetrik verimi motorun en çok çalıştığı devir

aralığına göre ayarlamaktadır. Motor bu devir aralığının altında veya üstünde volümetrik verim açısından düşük verim değerleri ile çalışmaktadır.

3.1.1.2. Değişken supap zamanlaması

Motorların hem düşük hem de yüksek devirlerde maksimum performansla çalışabilmesi için motor devrine göre supapların açılma ve kapanma sürelerinin değiştirilmesi gereklidir. İçten yanmalı motorlarda, motor devrine göre supapların zamanlamasını düzenleyen mekanizmalara değişken supap zamanlama sistemleri denir. Şekil 3.4’de farklı türde supap mekanizmaları gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Farklı tür supap mekanizmaları (Bosch, 2006)

3.1.2. Supap kalkış miktarının kontrolü

İçten yanmalı motorlarda yüksek devirlerde silindir içine karışım veya hava alınması için kısıtlı zaman vardır. Bu problem supap kalkış miktarının kontrolü ile en aza indirilmeye çalışılmıştır. Bu mekanizmalar düşük orta ve yüksek devirlere göre supap kalkma miktarını değiştirirler. Bu supap sistemlerini kullanan motorlarda her supap farklı şekillerdeki kamalara sahiptir ve hepsi aynı kam mili üzerindedir. Motor koşullarına bağlı olarak kam fazını değiştirilirler ve bu sayede yüksek performans ve verim elde edilir.

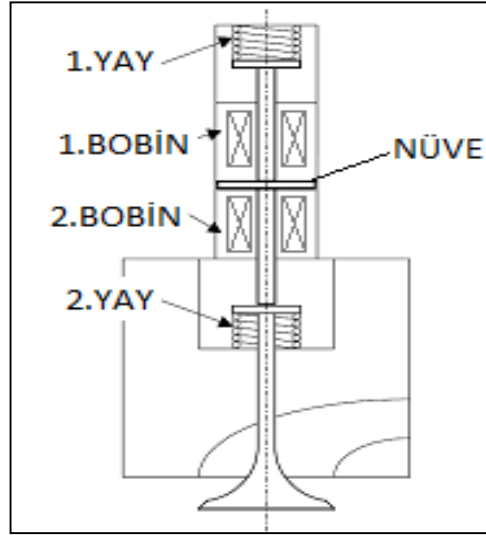
3.2. Kamsız Supap Kontrol Sistemleri

Son yıllarda, otomobil endüstrisinde kamsız motor düşüncesi çok ilgi uyandırır hale gelmiştir. Kamsız motorlar, programlanabilir supap yönlendirilmesi sunmaktadır. Genellikle, üç tip kamsız hareket ileticileri kullanılarak supap mekanizmaları oluşturulmaktadır. Bunlar; elektro-pnömatik, elektro-hidrolik ve elektromekanik supap mekanizmalarıdır (Schechter ve Levin, 1996).

3.2.1. Elektromekanik supap mekanizmaları

Motor devri değıştikçe piston hızı, piston hızına bağılı olarak silindire alınan taze dolgunun akış hızı ve miktarı sürekli değışeceğinden iyi bir motor performansı için supap zamanlamasının da sürekli olarak değışmesi gerekmektedir. Değışken zamanlı supap mekanizmaları mekanik, hidrolik, elektro-pnömatik ve elektromekanik sistemlerden oluşabilir. Ancak, bu sistemlerden elektromekanik supap mekanizmaları nispeten diğerlerinden daha basit yapılı ve mevcut motor yapılarına daha kolay uyum sağlayabilmektedir. Ayrıca, bu sistemle supabın açılıp kapanma zamanlaması ve açık-kapalı durumda kalma süresi motor hızı ve yüküne göre motor devrinden bağımsız olarak denetlenebilmektedir. Bunun sonucunda yakıt tüketimi azaltılabilir, motorda yüksek tork ve güç üretilebilir ve çevreye atılan kirletici gazlar azaltılabilir (Chlandy ve diğ., 2005).

ESM'ler genellikle 2 adet bobin devresi, 2 adet yay ve bir nüveden oluşmaktadır (Kamış, 2006). Şekil 3.5'de elektromekanik supap mekanizmasının kısımları gösterilmiştir.

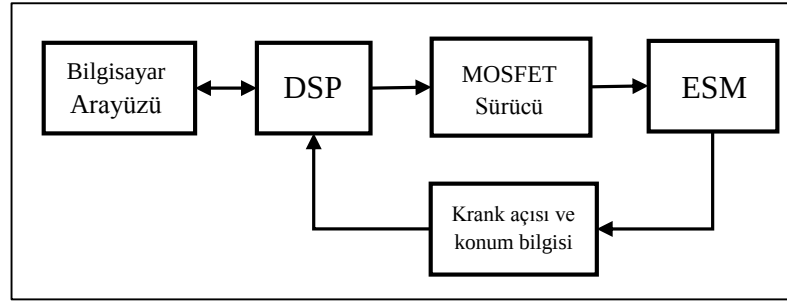


Şekil 3.5. Elektromekanik supap şeması (Tai ve Tsao, 2003)

ESM'ler kam milini devre dışı bırakarak supapların tamamen elektronik olarak açılıp kapanmasını sağlayan mekanizmalardır. Bu mekanizmalarda supaplar mıknatıs devreleri sayesinde açılıp kapanmakta ve bu sayede emme ve egzoz supapları tüm motor devirlerinde kam milinden bağımsız olarak optimize edilebilmektedir. Bunun

sonucunda ise yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarında azalma görülmüştür (Schecter ve Levin, 1996).

Bu artılarına rağmen ESM'nin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu tip supap mekanizmalarında, supabın hızlı bir şekilde kapanabilmesi için sert yaylar tercih edilmektedir. Bu tip mekanizmalarda, yay kuvveti ile supabın geri gelme hızı kritik bir problemdir. Geleneksel sistemde supap hareketi kam profili tarafından kontrol edildiğinden, supap geri getirme yayının hızı kam profili açılarını takip etmektedir. Bununla birlikte, kamsız elektro-mekanik sistemlerde supap oturma hızını belirli bir seviyede tutmak zor olmaktadır. ESM'lere farklı kontrol metotları uygulanarak supap oturma hızı optimum hale getirilmeye çalışılmıştır. Şekil 3.6' da ise bir ESM'nin kontrol blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Elektromekanik supap blok diyagramı

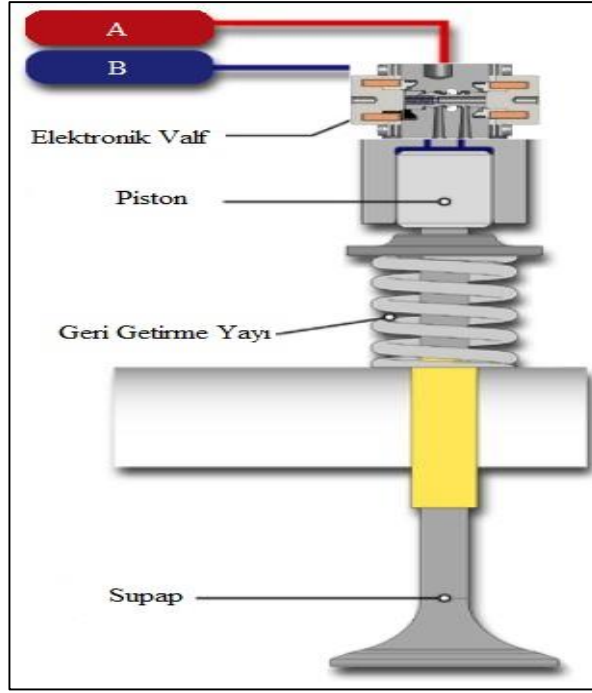
Supap geri çekme hızının yüksek olduğu durumları aşıntı ve gürültü problemleri meydana gelmektedir. Bu problemi çözmek için yapılan çalışmalar , kapsamlı bir kontrol analizi yapılmasına rağmen ve çevrimden çevrime supap kontrol zorlukları yaşanmaktadır (Pischinger ve diğ., 2000).

Ayrıca, bu tip mekanizmalarda kararlı tekrar edilebilirlik problemleri de meydana gelebilmektedir. Günümüzde, elektro-mekanik supap mekanizmaları ile ilgili çalışmalar, supap hareketinde kontrol performansının iyileştirilmesine ve supabı hareket ettirmek için gerekli olan enerji tüketimi azaltılmasına dayanarak sürdürülmektedir.

3.2.2. Elektro-hidrolik supap mekanizmaları

Elektro-hidrolik supap mekanizmaları basınçlı akışkanın elektronik bir valf yardımıyla supapların açılıp kapanmasını sağlayan sistemlerdir. Elektro-hidrolik

supap mekanizması Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Elektronik bir valf yardımıyla basınçlı olan akışkan A kanalından hazneye doğru hareket eder. Akışkanın basıncı supap yayının kuvvetini yendiği anda supap açılır. Supabın kapanması için elektronik valfin enerjisi kesilir. Basınçlı olan akışkan B kanalından geri akmaya başlar ve supap yayı ters yönde hareket ederek supabın kapanmasını sağlar.



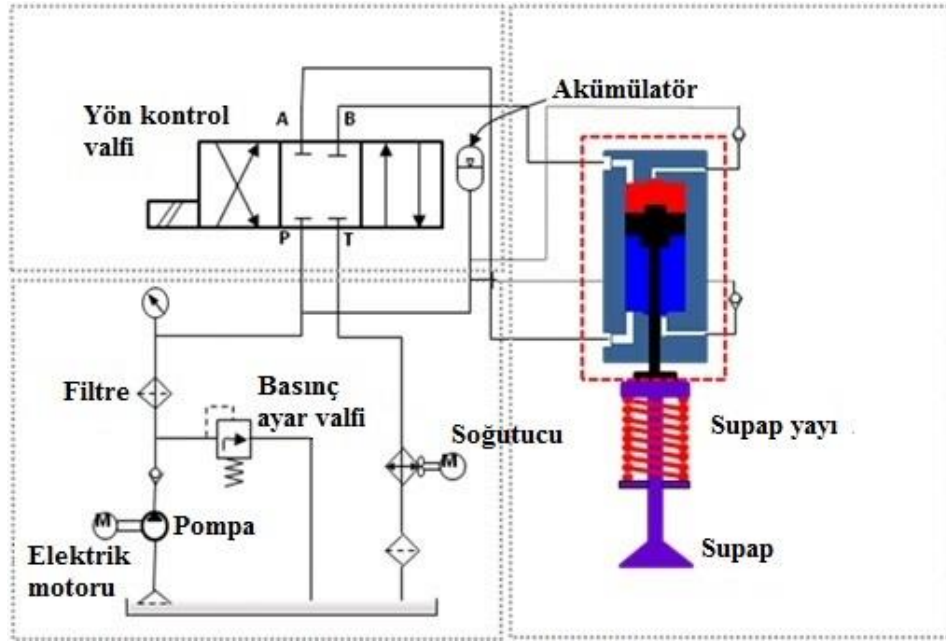
Şekil 3.7. Elektro-hidrolik supap mekanizması
(Sturman, 2008)

Elektro-hidrolik kamsız supap mekanizmaları ilk olarak Ford motor gurubu tarafından 1994 yılında geliştirilmiştir (Bohac ve Assanis, 2004). Schecter ve Levin (1996) tarafından geliştirilen sistemde ise 2 adet basınç kaynağı yay geri dönüşlü tek etkili aktuatör ve 2 adet selenoid valf kullanılmıştır.

Bu tip supap mekanizmalarında motor supap zamanları ve sürekliliğin kontrolü hidrolik selenoid valfler tarafından sağlanır ve supap zamanlamasına ek olarak supap kalkış miktarı da kontrol edilebilir (Pournazeri, 2011). Elektro-hidrolik supap mekanizmaları elektromekanik sistemlerle göre daha yüksek kuvvet uygulamalarına rağmen supap açma ve kapatma hızlarında daha yavaş kalmaktadırlar. Tanaka ve Toyoda (2005) çalışmalarında aktuatör hız ve verimliliğini artıran servo sistem kullanmıştır ve bu mekanizma ile 12 mm supap yükselmesinde ve 1,0 m/s çalışma hızında supap oturma hızını 0,2 m/s olarak bulmuştur.

3.2.3. Elektro-pnömatik supap mekanizmaları

Elektro-hidrolik ve elektro-pnömatik supap mekanizmalarının çalışma şekilleri birbirleriyle benzerlik göstermektedirler. Aralarındaki en önemli fark ise kullanılan kaynak türüdür. Pnömatik sistemlerde basınçlı hava kullanılırken, hidrolik sistemlerde ise basınçlı sıvılar kullanılmaktadır (Taşlıyol, 2011). Şekil 3.8’de bir elektro-pnömatik supap mekanizması gösterilmiştir.

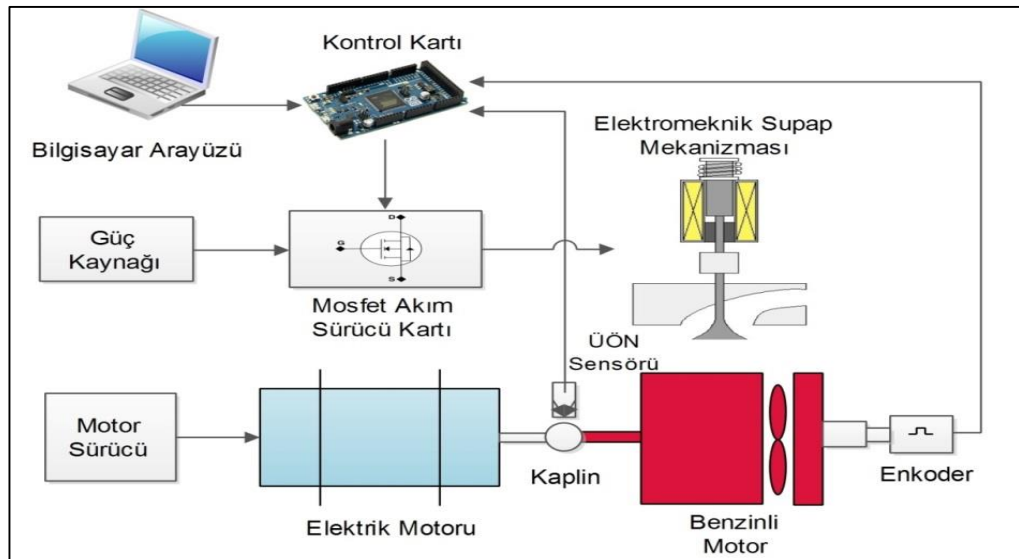


Şekil 3.8. Elektro-pnömatik supap mekanizması (URL-3)

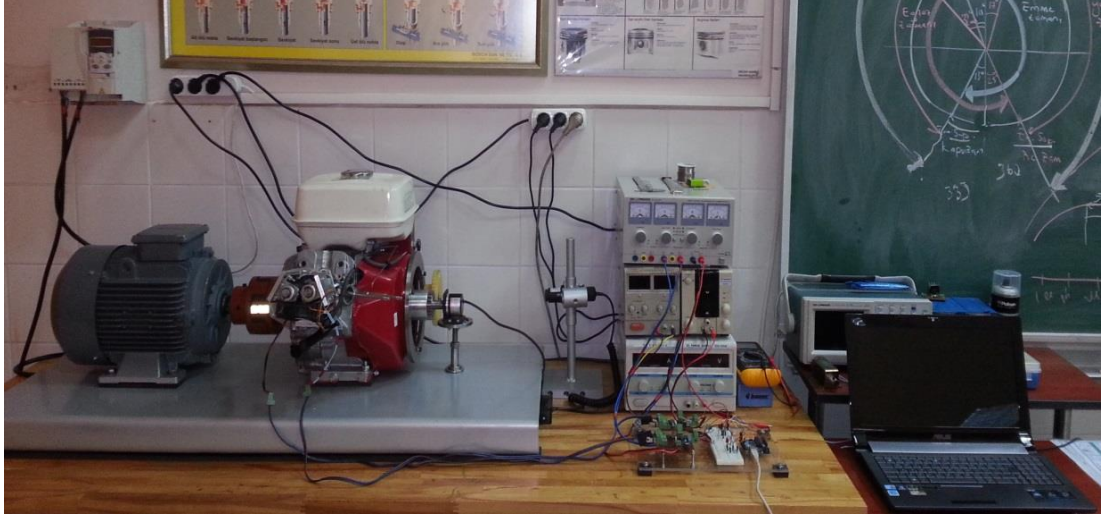
4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında klasik kam miline sahip benzinli motor elektronik supap kontrollü bir motora çevrilerek kamsız bir motor sistemi elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan deney sistemi temel olarak; dört zamanlı tek silindirli benzinli motor, elektrik motoru, elektrik motoru sürücüsü, ESM, elektronik kontrol kartı, bobin sürücü kartı, güç kaynağı, enkoder, silindir basıncı ve ÜÖN sensörlerinden oluşmaktadır.

Sistemde kullanılan tek silindirli benzinli motor, elektrik motoru yardımıyla belirli devirlerde çalıştırılarak farklı emme supabı açılma zamanlarında testler gerçekleştirilmiştir. Kontrol kartı, ÜÖN sensörü ve enkoderden aldığı verilere göre mosfet akım sürücü kartına sinyal göndermekte ve mosfet iletime geçmektedir. Böylece, bobinlere akım sağlanmakta ve elektromanyetik bir kuvvet oluşmaktadır. Oluşan bu kuvvet sayesinde supaplar açılmaktadır. Kontrol kartından mosfet akım sürücü devresine kapatma sinyali gittiğinde ise sürücü akımı kesmekte bu durumda oluşan elektromanyetik kuvvet sıfırlanmaktadır. Bu durumda yay kuvveti supabı geri çekmekte ve supap kapanmaktadır. Deney sisteminin kontrol şeması Şekil 4.1’de deney düzeneği ise Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deney sistemi kontrol şeması



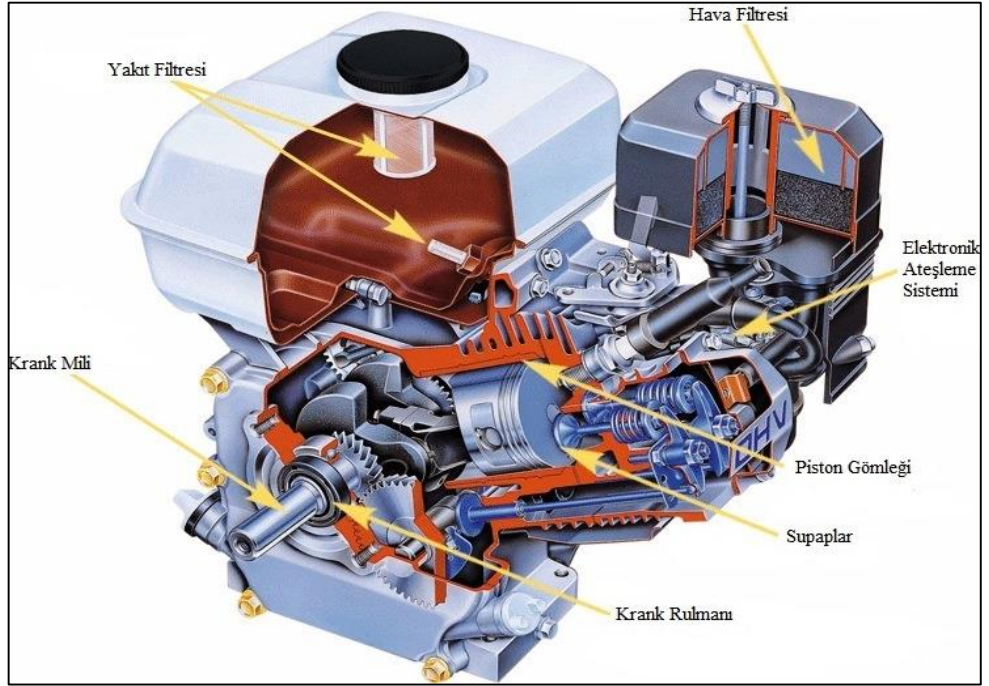
Şekil 4.2. Deney düzeneği

4.1. Deney Motoru

Deneysel çalışmada Honda GX 390 marka dört zamanlı tek silindirli benzinli motor kullanılmıştır. Bu motora ait silindir kapağı çıkarılarak ESM'nin silindir kapağına montajı yapılmıştır. İçten yanmalı motorun krank mili, elektrik motorunun mili ile kaplin yardımıyla birleştirilmiştir. Elektrik motoru ABB motor sürücüsü yardımıyla tahrik edilmiş ve belirli motor devirlerinde testler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, test sisteminde piston ÜÖN'nin belirlenmesi için ÜÖN sensörü ve krank açısı bilgisi içinse Hunyoung HE50B marka enkoder kullanılmıştır. Tablo 4.1'de motora ait teknik özellikler verilmiştir. Şekil 4.3'de motorun şeması gösterilmiştir. Şekil 4.4'de ise motorun kam mekanizması verilmiştir.

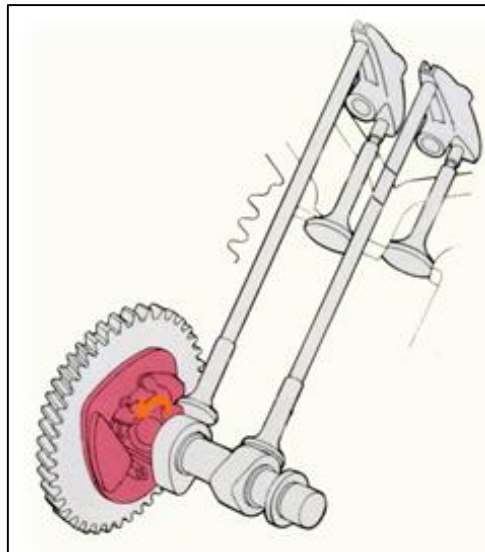
Tablo 4.1. Deney motoru teknik özellikleri

Motor tipi	4 zamanlı-üstten valfli-tek silindirli-yatay şaft
Çap x strok	88x64 mm
Silindir hacmi	389 cm ³
Sıkıştırma oranı	8,2:1
Max. çıkış gücü	9,68 kW / 3600 d/d
Net çıkış gücü	8,26 kW
Max. tork	2,7 kg-m @ 2500 d/d
Ateşleme sistemi	Elektronik ateşlemeli
Çalıştırma sistemi	Otomatik mekanizmalı/Elektrik marşlı
Yakıt kapasitesi	6,5 litre
Özgül yakıt tüketimi	230 gr/kW-h
Yağ kapasitesi	1,1 litre
Boş ağırlık	31 kg



Şekil 4.3. Honda GX 390 motor şeması (URL-4)

İçten yanmalı motorun silindir kapağı sökülerek supaplar, külbütör mekanizması ve itici çubuklar çıkarılmıştır. Supap kapağının, supapların, supap yaylarının, supap eksenlerinin, vb. boyutları motorun supap kapağından ölçülerek tespit edilmiştir. ESM, supapların direkt üzerine gelecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, silindir kapağına iki adet plaka montajı yapılmıştır ve elektromekanik supaplar bu plakalara sabitlenmiştir.



Şekil 4.4. Honda GX 390 kam mekanizması (URL-4)

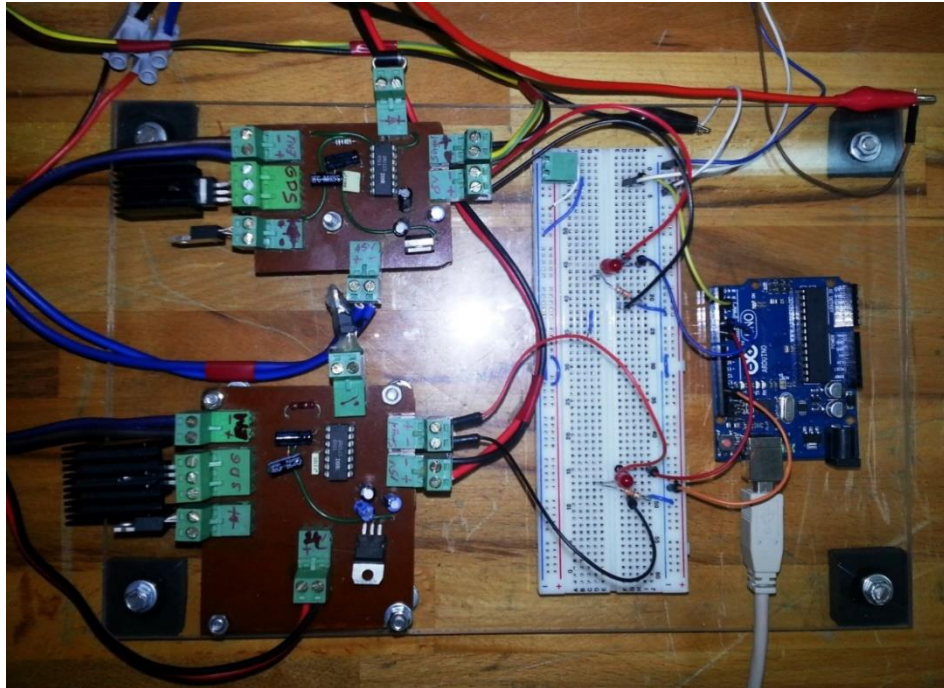
Deney düzeneğindeki içten yanmalı motora döngüsel hareket sağlamak için GAMAK marka elektrik motoru kullanılmıştır. Elektrik motorunu tahrik etmek için ise 11 kW'lık ABB motor sürücüsü kullanılmış ve motor 800, 1000 ve 1200 sabit motor devirlerinde çalıştırılmış, testler de bu devirlerde yapılmıştır. Elektrik motorun teknik özellikleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Elektrik motoru teknik özellikleri

Giriş gerilimi	380 V
Frekans	50 Hz
Hız	2910 d/d
Güç	7,5 kW

4.2. Elektromekanik Supap Kontrol Elemanları

EMS mekanizmasının kontrolü için bir mikrodenetleyici devresi, emme ve egzoz supaplarını sürmek için güç elektroniği devresi (MOSFET akım sürücü devresi), enkoder, ÜÖN sensörü ve güç kaynağı kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları için ise 3 kanallı osiloskop kullanılmıştır. Mikroişlemci ve akım sürücü devreleri Şekil 4.5' de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Mikroişlemci ve akım sürücü devreleri

4.2.1. Mikrodenetleyici devresi

Bu çalışmada mikrodenetleyici devresi olarak Ardunio DUE kontrol kartı kullanılmıştır. Mikrodenetleyici devresi enkoderden aldığı açılma bilgisine göre mosfet sürücü devresine PWM (Darbe genişlik modülasyonu) sinyali göndererek mosfetin iletme geçmesini sağlamaktadır. Bu sayede bobinlere akım sağlanmakta ve bir elektromanyetik kuvvet oluşmaktadır. Oluşan bu elektromanyetik kuvvet nüveyi çekmekte ve bu sayede emme veya egzoz supapları açılmaktadır. Ayrıca, bir bilgisayar Arayüzü oluşturulmuş, emme ve egzoz supaplarının açılma ve kapanma zamanları bilgisayardan girilerek farklı supap açılma ve kapanma zamanlarına göre testler yapılmıştır. Ardunio DUE kartı enkoder ve ÜÖN'den alınan verileri işlemek ve bu verilere göre akım sürücü kartlarına sinyal göndermesi için kodlanmıştır. Yazılan Ardunio kodları EK A'da verilmiştir. Ardunio DUE mikrodenetleyici kartının teknik özellikleri ise Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

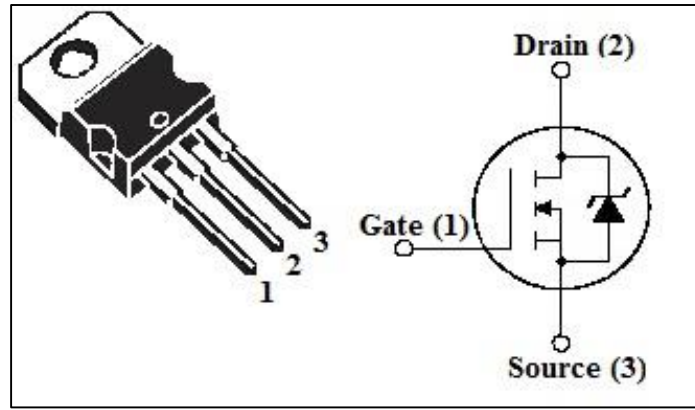
Tablo 4.3. Ardunio DUE mikrodenetleyici kartının teknik özellikleri

Mikrodenetleyici	AT91SAM3X8E
Çalışma Gerilimi	3,3V
Giriş Gerilimi	7-12V
Dijital G/Ç Pin Sayısı	54 (12'si PWM çıkışı olarak)
Analog Giriş Pin Sayısı	12
Analog Çıkış Pin Sayısı	2 (DAC)
G/Ç pinlerinden çekilebilecek maksimum akım	130 mA
3,3V ve 5V pininden çekilebilecek maksimum	800 mA
Flash Memory	512 KB kullanıcı uygulamaları
SRAM Hafızası	96 KB (64KB + 32KB)
Hızı	84 MHz

4.2.2. Mosfet sürücü devresi

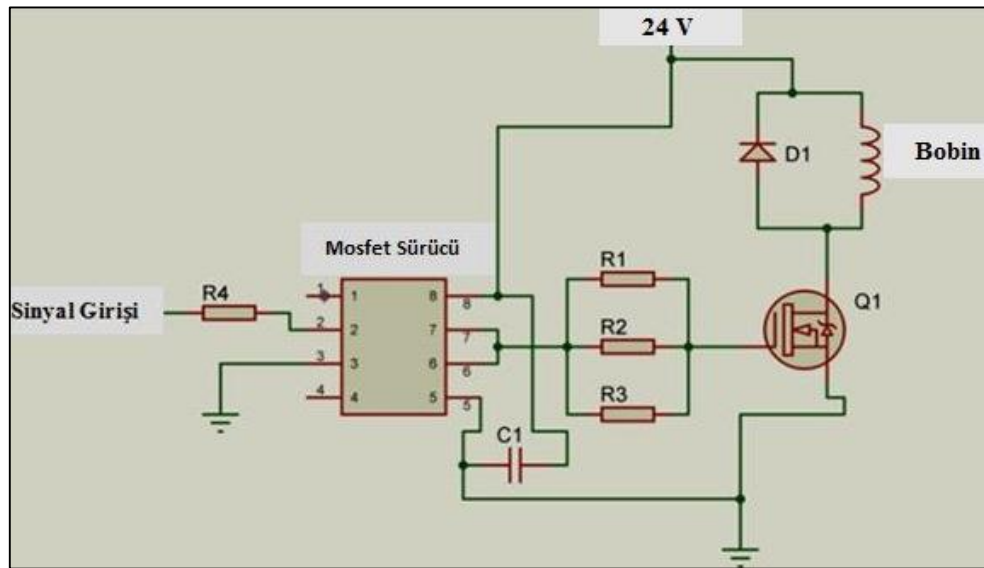
Bir mikro kontrolör ile sarmal bobin (solenoid), röle, motor ve/veya yüksek akım-gerilim gerektiren herhangi bir elemanın doğrudan kontrolü söz konusu değildir. Bu gibi durumlar için, düşük akım-gerilim ile açılıp, yüksek akım-gerilim kontrolüne izin verecek bir devre elemanı olarak mosfetler kullanılır. N-Kanal ve P-Kanal olmak üzere iki çeşit mosfet vardır. Mosfet transistörler, hızlı bir anahtarlama elemanı

olarak kullanılırlar. Alan etkili transistörleri kumanda eden büyüklük gerilimdir. Yani transistör girişine uygulanan gerilimin transistör içinde meydana getirdiği elektrik alanı transistörü kumanda etmektedir. Mosfet (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors) transistör olarak adlandırılırlar. Mosfetlerin gate (1), drain (2) ve source (3) olmak üzere üç bağlantı noktası vardır. Gate ucu sinyal girişidir. Mosfetin gate ucundan sinyal verildiği zaman sorucudan draine akım geçişi sağlanır ve hızlı bir anahtarlama yapılmış olur. Şekil 4.6'da mosfet şekli ve yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Mosfet şekli ve yapısı (URL-5)

Bu çalışmada ise N kanallı IRF 540 tipi Mosfet kullanılmıştır. Bobinlere akım sağlamak için tasarlanan mosfet sürücü devresi Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

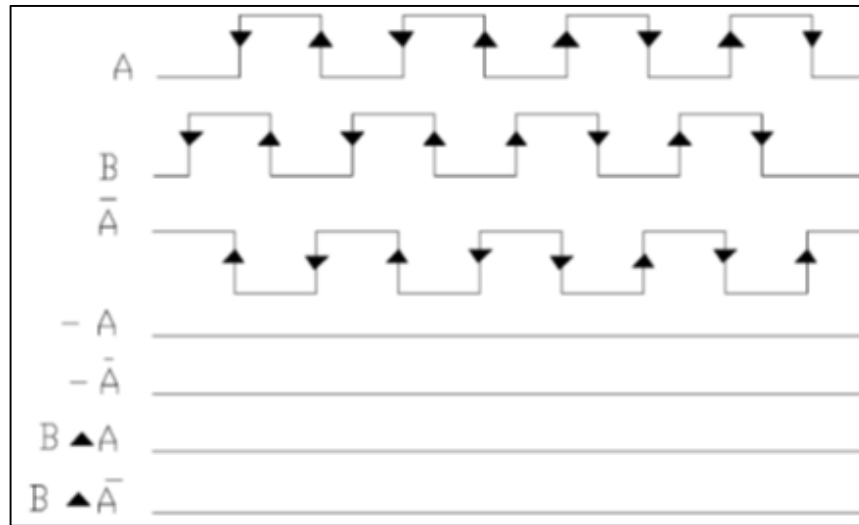


Şekil 4.7. Mosfet sürücü devresi

4.2.3. Enkoder (Kodlayıcılar)

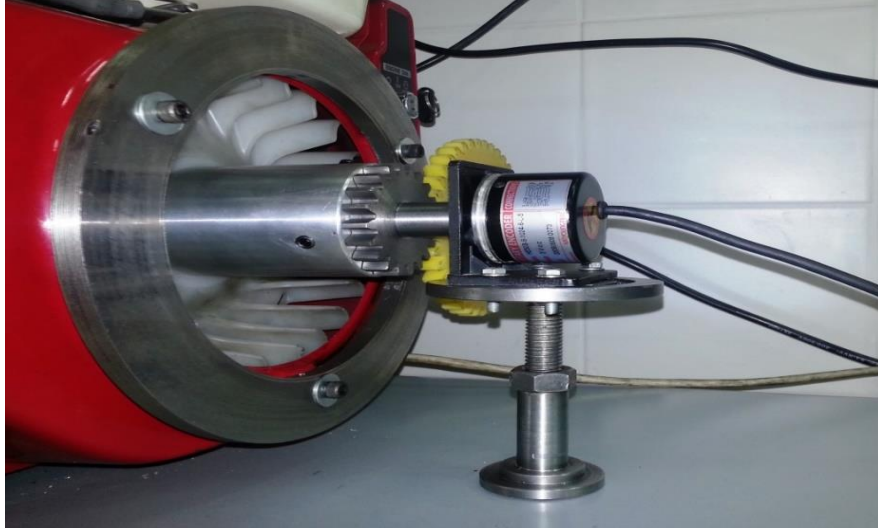
Kodlayıcılar geri-beslemeli kontrol sistemlerinde pozisyonların belirlenmesi ve geri-besleme sinyallerinin üretilmesinde kullanılırlar. Genel olarak mutlak ve artımsal olmak üzere iki tiptedirler. Artımsal kodlayıcılar mutlak kodlayıcılara oranla ucuz olmaları ve yapılarının basit olmasından dolayı tercih edilmektedir. Tipik bir kodlayıcıda A B ve Z şeklinde üç farklı sinyal çıkışı mevcuttur. Bunlardan A ve B fazına ait sinyaller, aralarında 90° faz farkı olan iki sinyaldir. Z sinyali ise referans sinyali olarak adlandırılır ve sayıcıyı reset etmekte veya bir dönüşe ait mutlak pozisyon bilgisinin belirlenmesinde kullanılır. Bununla birlikte bazı artımsal kodlayıcı mekanizmaları A B ve Z sinyallerine ek olarak bunların değerlerini de çıkış olarak veren yapıda yapılmaktadır. Kodlayıcıdan elde edilen çıkış darbeleri mutlak pozisyon bilgisini göstermez. Kodlayıcının verdiği darbe sayısı bağlı olduğu shaftın dönme miktarı ile orantılıdır. Eksen dönme miktarının mutlak değeri kodlayıcıdan alınan çıkış darbelerinin bir sayıcı (counter) devresi kullanılmak suretiyle depolanması ile elde edilir.

Kodlayıcıdan alınan darbe sayısının düşük olduğu durumlarda kodlayıcı çıkış darbeleri 4 ile çarpılmak suretiyle darbe sayısı artırılır ve sonra bu darbeler sayılır. Şekil 4.8’de kodlayıcıdan alınan çıkış sinyalleri ve rotor dönüş yönünün belirlenmesi esası gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Encoder faz sinyalleri ve dönme yönünün belirlenmesi

Deney düzeneğinde içten yanmalı motorun krank açısını belirlemek için 1024 puls HE50B rotary enkoder kullanılmıştır. Enkoder motorun krank miline mekanik olarak bağlanmıştır. Şekil 4.9’da deney düzeneğinde kullanılan enkoder gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Deney düzeneğinde kullanılan enkoder

4.2.4. ÜÖN sensörü

Bu çalışmada içten yanmalı motorun ÜÖN’sini belirlemek için optik bir sensör kullanılmıştır. Motorun ÜÖN’sini belirlemek için krank miline $\frac{1}{2}$ dişli oranında olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sistemde enkoder 1. dişliden krank açısı bilgisini optik sensör ise 2. dişliden ÜÖN bilgisini almaktadır. Şekil 4.10’da optik sensör ve dişli mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Optik sensör ve dişli mekanizması

4.2.5. Güç kaynakları

Deney düzeneğinde mosfet sürücü devresini beslemek ve bobinlere akım sağlamak için iki ayrı güç kaynağı kullanılmıştır. Bobinler için 30 V / 50 A'lık TT-Technic marka güç kaynağı kullanılmıştır. Mosfet sürücü devresi beslemesi için ise Topward marka 30 V/ 3A'lık güç kaynağı kullanılmıştır.

4.2.6. Osiloskop

Elektriksel işaretlerin ölçülüp değerlendirilmesinde kullanılan aletler içinde en geniş ölçüm olanaklarına sahip olan osiloskop, işaretin dalga şeklinin, frekansının ve genliğinin aynı anda belirlenebilmesini sağlar. Deneylerde bobin akım ve gerilim ölçümlerinde kullanılmıştır.

4.3. Bobin Tasarımı ve Hesaplamalar

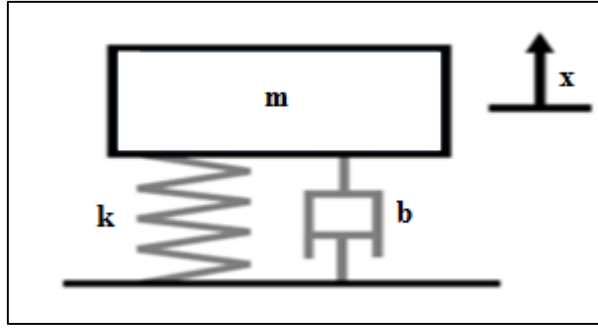
ESM tasarımında yay kuvveti ve diğer karşı kuvvetleri yenebilecek bir mıknatıs devresinin tasarımı gereklidir. Bu sistemde supap, elektromanyetik kuvvet ile harekete başladığından elektromanyetik kuvvetin büyüklüğü sistemde kullanılan yay kuvveti ve silindir içi basıncı yenecek büyüklükte olmalı, mıknatıs devresi boyutları da bu kuvvete göre belirlenmelidir.

4.3.1. Elektromekanik supap devre denklemleri

Mıknatıs devreleri elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren düzeneklerdir. Buna göre elektromanyetik supap mekanizmasına ait temel eşitlikler aşağıda verildiği gibidir (Roters, 1941). Sistemin dinamik denklemi yay kütle ve damper sistemine benzetilebilir. Şekil 4.11'de kütle yay damper sistemi gösterilmiştir. Bu durumda dinamik formül Denklem (4.1);

$$F_m = m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + F_{yay} + F_b \quad (4.1)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.11. Kütle yay damper sistemi

Burada;

m : hareketli kütle[kg]

b : sönüm katsayısı[N/(m/s)]

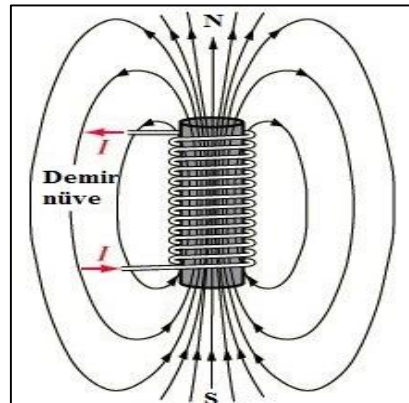
F_m : mıknatıs çekme kuvveti[N]

F_{yay} : yay kuvveti [N]

F_b : basınç kuvvetidir [N].

4.3.2. Selenoid bobin eksenini boyunca manyetik alan

Manyetik devrede kullanılan bir bobin, ortalama bir manyetik uzunluk (l) ve kesit alanına (A) sahiptir. Bobinin sarımlarından geçen akımın (I) selenoid bobin içinde oluşturduğu manyetik kuvvet hatlarına manyetik akı yoğunluğu denir ve birimi Weber/m² yani Tesla'dır. Manyetik akı yoğunluğu B , Denklem (4.2)'de verilmiştir. Şekil 4.12'de ise bobindeki manyetik alan çizgileri gösterilmiştir (Sağıroğlu, 2006).



Şekil 4.12. Selenoid bobinde elektromanyetik alan çizgileri

$$B = \mu_0 \frac{NI}{l} \quad (4.2)$$

Endüktans, devrenin fiziksel düzeneğini ve manyetik özelliğini gösteren bir büyüklüktür ve L ile gösterilir ve birimi Henry'dir. Denklem (4.3)'de endüktans, L;

$$L = \frac{\Psi}{I}$$

(4.3)

şeklinde ifade edilir. Manyetik alan çizgileri, yalnız bobin içerisinde bulunacağından manyetik devreyi oluşturan manyetik malzemede bir sarımdan geçen manyetik akı ise Denklem (4.4) şeklinde ifade edilir ve birimi Weber'dir.

$$\Phi = BA \quad (4.4)$$

Denklem (4.1), Denklem (4.3)'de yerine yazılırsa bir sarımdan geçen manyetik akı Denklem (4.5)'deki gibi ifade edilir.

$$\Phi = \mu_0 \frac{NI}{l} A \quad (4.5)$$

Bobinin toplam akısı ise Ψ ;

$$\Psi = N\Phi \quad (4.6)$$

olarak ifade edilir. Denklem (4.5), Denklem (4.6)'da yerine yazılırsa bobinin toplam akısı;

$$\Psi = N^2 \frac{\mu_0 A}{l} I \quad (4.7)$$

olarak yazılabilir.

4.3.3. Çekme kuvveti

Elektromanyetik sistemlerin tasarımında manyetik alanın, alandaki manyetik bir parçayı üzerine doğru çekme kuvveti Denklem (4.7)'den yararlanarak hesaplanır.

Denklem (4.8)'de (-) işareti, kuvvetin hava aralığını azaltma eğilimini yani çekme kuvvetini ifade eder. A ise hava aralığının kesit alanıdır (Sadiku, 2009).

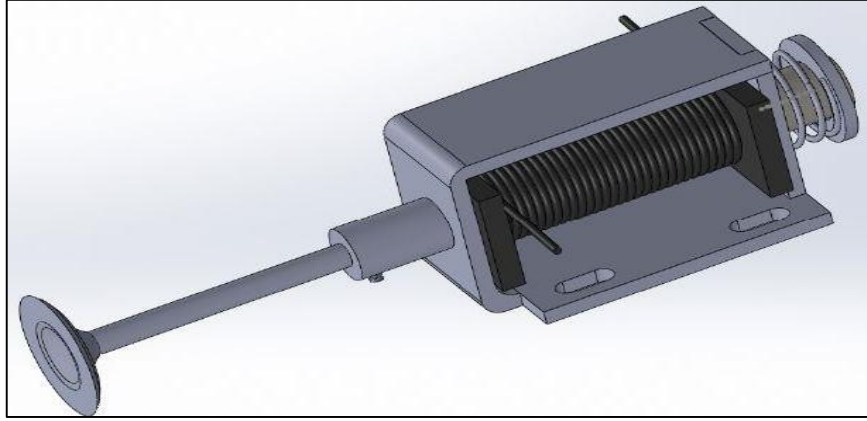
$$F = -\frac{B^2 A}{2\mu_0} \quad (4.8)$$

4.3.4. Bobin tasarımı

Solenoid bobinin sargılarından geçen akım, manyetik alan (elektromıknatıs) meydana getirerek hareketli demir nüveyi bobinin merkezine doğru çeker. Elektromıknatısın kuvvet hatları birbirlerini kesmezler ve en kısa yolu tercih ederek bir çekme veya itme kuvveti oluştururlar. Solenoid bobindeki manyetik alanın kuvvet hattı, kuzey (N) kutbundan çıkar ve güney (S) kutbuna doğru akar. Bobinde çekme kuvveti, manyeto-motor kuvvet (Amper x sarım) olarak ifade edilir. Solenoid bobinin verimli bir şekilde çalışabilmesi için hareketli diskin hareket edebileceği mesafe, göbeğin yarıçapını aşmamalıdır (Sağıroğlu, 2006). Tasarlanan elektromanyetik supap mekanizmasında nüvenin hareket edebileceği mesafe 6,5 mm ve nüvenin yarıçapı 8 mm'dir. ESM yay kuvveti ve silindir içi basıncını yenecek şekilde ve supap kapağına en uygun boyutlarda tasarlanmıştır. Şekil 4.13'de tasarlanan elektromanyetik supabın 3 boyutlu modeli gösterilmiştir. Tablo 4.4'de ise bobin özellikleri verilmiştir.

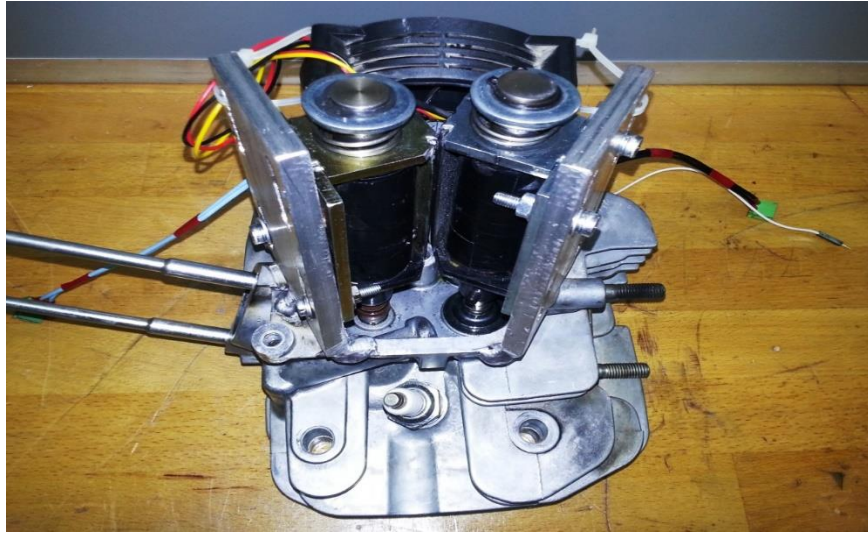
Tablo 4.4.Bobin özellikleri

Sarım Sayısı	650 sarım
Nüve Çapı	16 mm
Tel Çapı	0,65 mm
Bobin Uzunluğu	64 mm
Bobin direnci	3,2 Ohm



Şekil 4.13. Tasarlanan elektromanyetik supabın 3 boyutlu modeli

EMS mekanizmasının çalışması sırasında bobinlerden yüksek akım geçmekte ve bobinler ısınmaktadır. Bu nedenle bobinlerin soğutulması için sisteme fan eklenerek ısınma engellenmiştir. Tasarlanan elektromekanik supap mekanizmasının silindir kapağına montajı Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Elektromekanik supap mekanizması 1



Şekil 4.15. Elektromekanik supap mekanizması 2

Sarım sayısı 650 olan bobinin endüktansı L-C-R metre ile ölçülmüştür. Ölçüm iki konumda yapılmıştır: Sıfır konumu, supaplar kapalı iken endüktans, 7,12 mHenry bir konumu, disk 6,5 mm bobin dışında iken endüktans 8,29 mHenry olarak ölçülmüştür.

4.4. Silindir Gaz Basınç Verilerinin Ölçülmesi ve Analizi

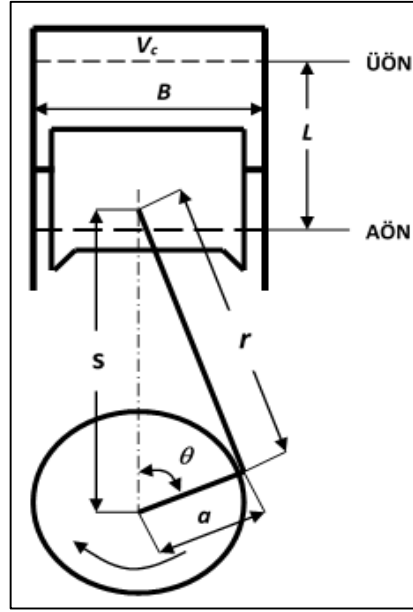
Bu aşamada silindir içi basınç ölçümleri yapılmıştır. Basınç ölçümlerinin yapılabilmesi için buji silindir kapağından sökülerek yerine basınç sensörü yerleştirilmiştir. Şekil 4.19’da kullanılan basınç sensörü gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Basınç sensörü

Testler 800, 1000, 1200 d/d'da ve supap açılma zamanları ÜÖN'den önce 5°, 10° ve 15° KMA'larında silindir içi basıncı ölçülmüştür. Ölçüm için National Instruments PCI 6251 veri toplama kartı kullanılmıştır.

Herhangi bir krank açısında silindir hacmindeki değişim aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır. Şekil 4.17'de içten yanmalı bir motora ait piston, silindir ve krank biyel mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 4.17. İçten yanmalı bir motora ait piston, silindir ve krank biyel mekanizması

Burada s krank ve piston arasındaki mesafedir. Piston ÜÖN’de olduğunda s , Denklem (4.9)’daki gibi ifade edilir.

$$s = a + r \quad (4.9)$$

Herhangi bir θ^0 açısında piston yolu Denklem (4.10) ve (4.11)’de gösterilmiştir.

$$r^2 = (s - a \cdot \cos \theta)^2 + a^2 \cdot \sin^2 \theta \quad (4.10)$$

Denklem (4.10)’dan s ;

$$s = a \cdot \cos \theta + \sqrt{r^2 - a^2 \cdot \sin^2 \theta} \quad (4.11)$$

olarak bulunur.

ÜÖN’ye göre kat edilen mesafe x_b ise Denklem (4.12)’deki gibi bulunur.

$$x_b = a + r - s \quad (4.12)$$

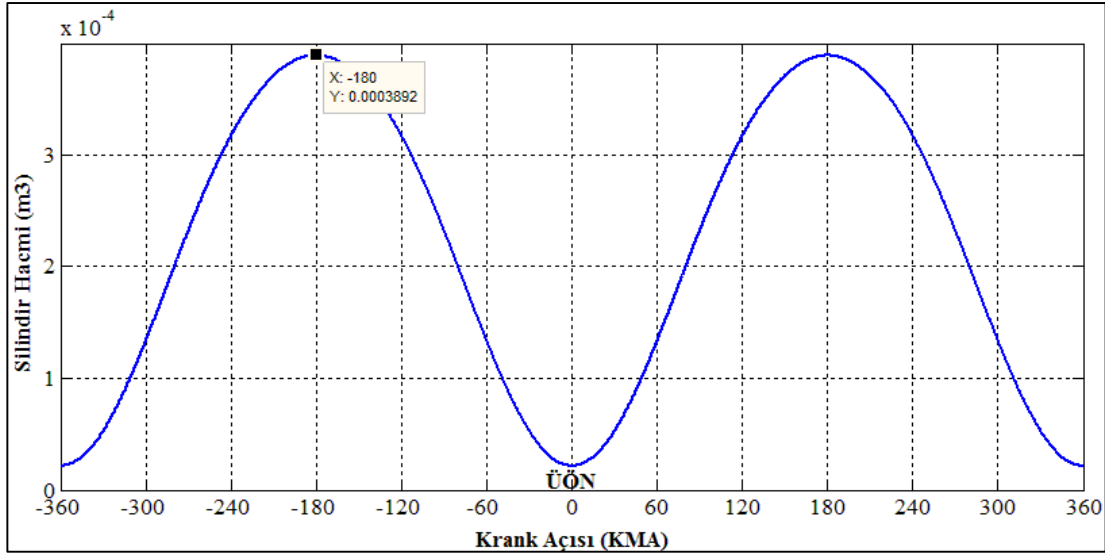
Sıkıştırma oranı ϵ toplam silindir hacminin yanma odası hacmine oranıdır ve Denklem (4.13)’de verilmiştir.

$$\varepsilon = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (4.13)$$

Herhangi bir krank açısı konumunda (θ°) silindir hacmi V Denklem (4.14)'de gösterilmiştir.

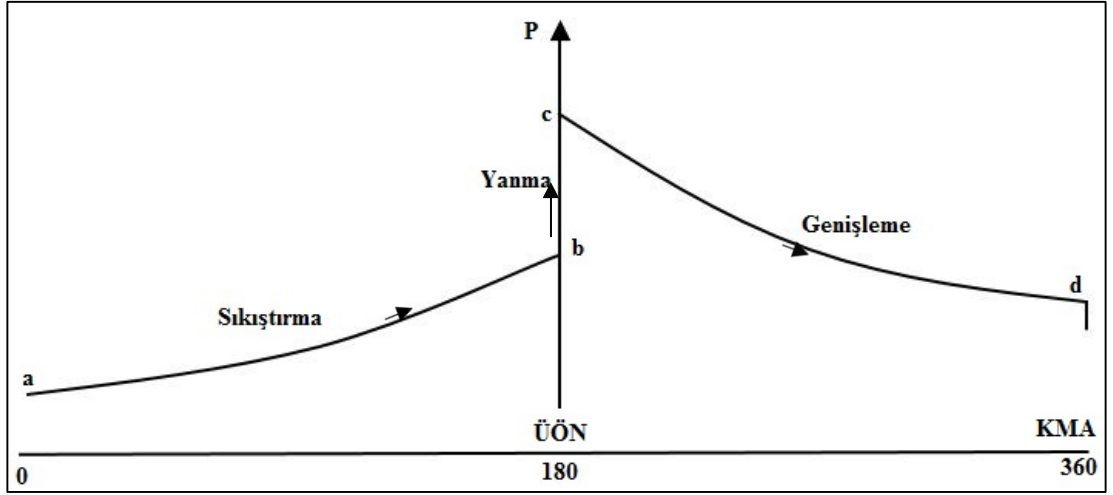
$$V_\theta = V_c + \left(\frac{\pi B^2}{4}\right)x_b \quad (4.14)$$

Denklem (4.12)'den yararlanılarak elde edilen deney motoruna ait krank açısına bağlı silindir hacmi değişimi grafiği Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



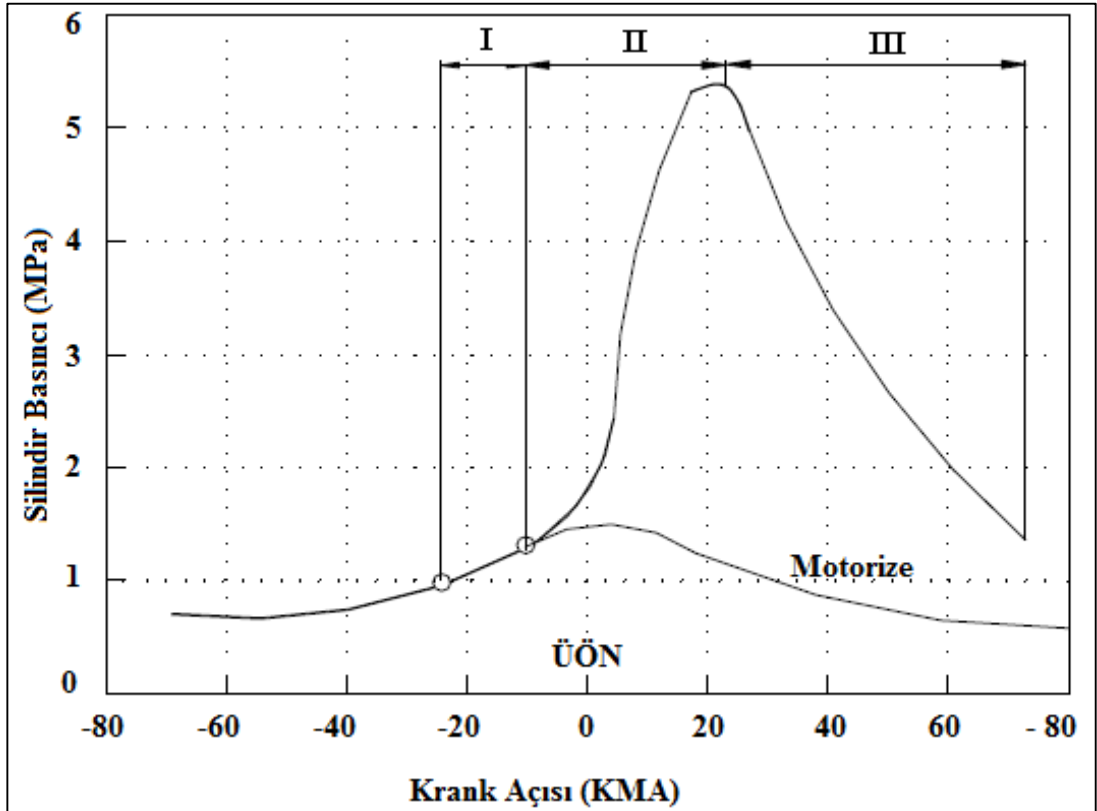
Şekil 4.18. Krank açısına bağlı silindir hacmi değişimi

Buji ateşlemeli motorlarındaki yanma prosesini üç aşamada incelemiştir. Şekil 4.19'da dört zamanlı buji ateşlemeli bir motora ait sıkıştırma (a-b), yanma (b-c) ve genişleme prosesleri ile teorik basınç-krank açısı grafiği gösterilmiştir (Ganesan, 2003).



Şekil 4.19. Teorik basınç-krank açısı grafiği

Buji ile ateşlemeli motorlarda krank mili açısına göre yanma periyotları ise Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Yanmasız ortamdaki silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimi ise grafikte motorize olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.20. Buji ile ateşlemeli motorlarda krank mili açısına göre yanma periyotları (Heywood, 1998)

Grafikte I.bölge bujinin ateşlenmesinden sonra alev dalgasının oluşması için geçen süredir ve yanma başlangıcı olarak adlandırılır. II.bölge ise yanmanın gerçekleştiği alandır. Bu bölgede karışımın yaklaşık olarak %90'ı yanmaktadır. III.bölge son yanma olarak adlandırılır. Maksimum basıncın elde edilmesinden sonra devam eden yanma bölgesidir.

.

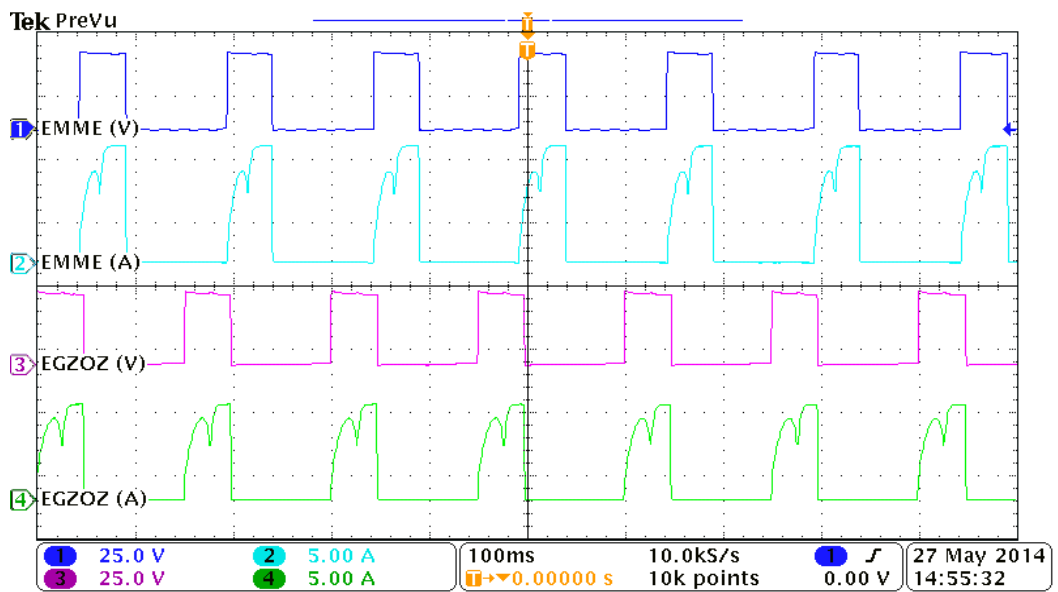
5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Uygulanan deneysel çalışmada içten yanmalı motor 800, 1000 ve 1200 d/d da çalıştırılarak ve emme supabı açılma (EmSA) zamanları değiştirilerek (EmSA zamanları ÜÖN'den 5°, 10° ve 15° KMA önce, emme supabı kapanma (EmSK) zamanı AÖN'den 45° KMA sonra) supapların açılma ve kapanma süreleri ölçülmüştür. Böylece supapların açık kalma süreleri de hesaplanabilmıştır. Ayrıca bobinlerin çektiği akım, bobinlere uygulanan gerilim ve bobinlerde harcanan güç değerleri de grafik ve tablolarda gösterilmiştir.

5.1. 800 d/d Test Sonuçları

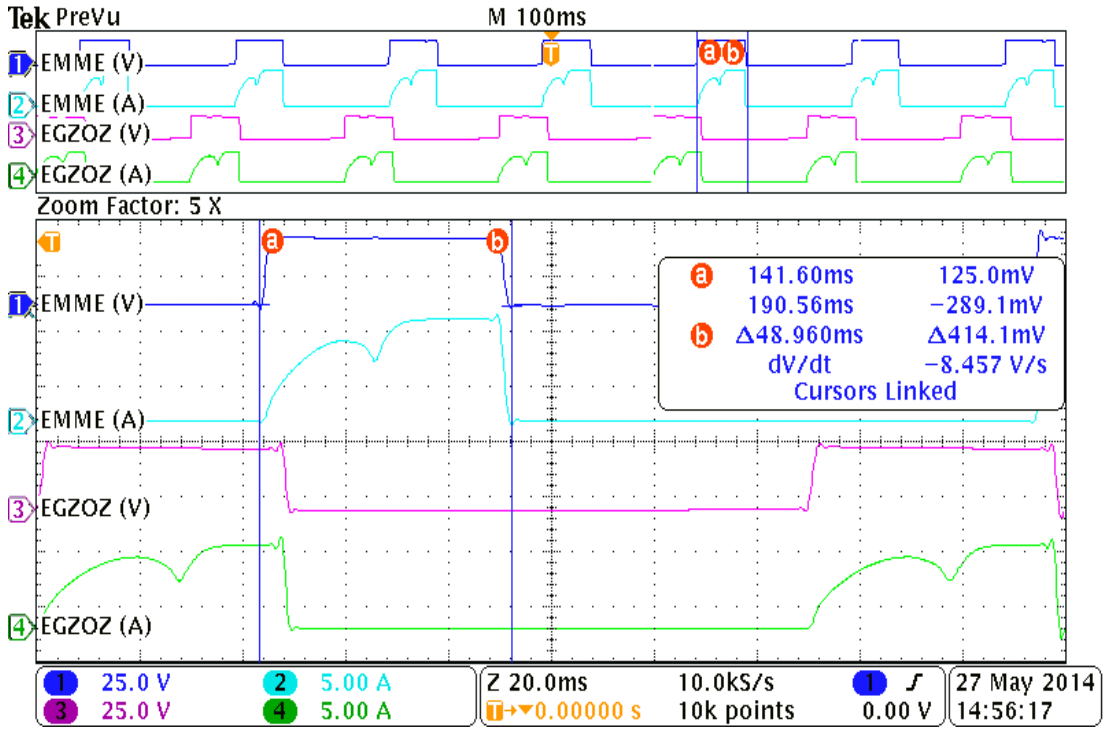
5.1.1. 800 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 5° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları

Bu aşamada 800 d/d'da emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 5° önceye alınarak emme ve egzoz bobinlerinin çektiği akım değerleri , supapların açılma ve kapanma zamanları ve bobinlerde harcanan güç grafikleri gösterilmiştir. Şekil 5.1'de bobinlerinin çektiği akım ve gerilim değerleri gösterilmiştir.

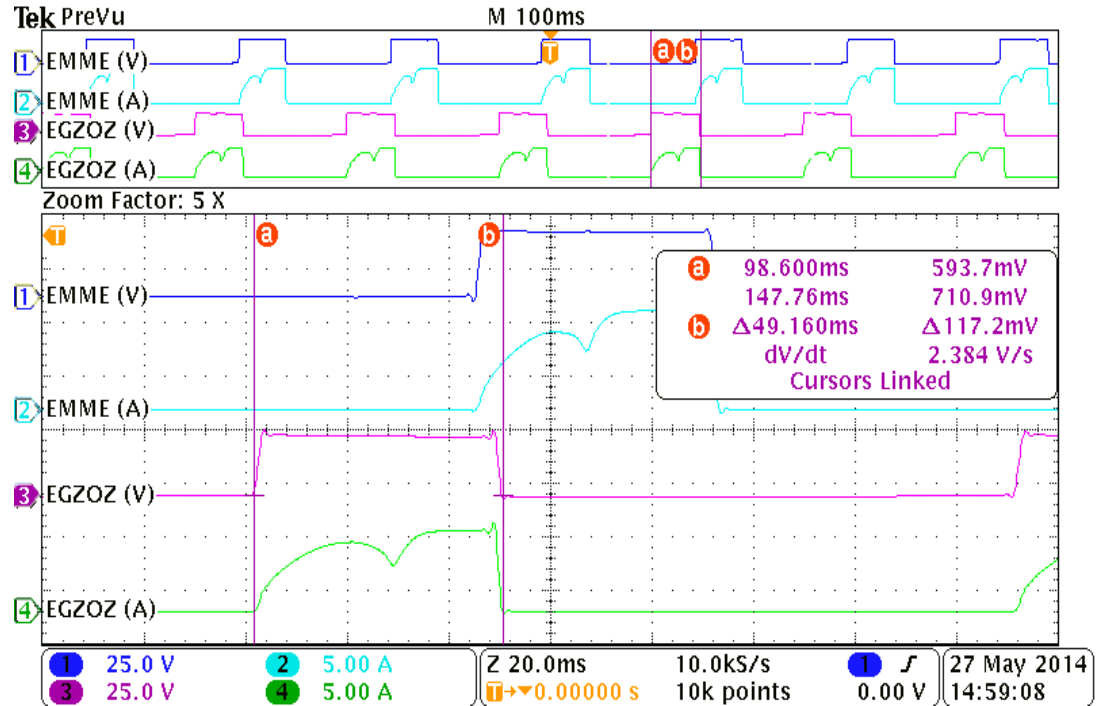


Şekil 5.1. 800 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri

Şekil 5.2’de emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi), Şekil 5.3’de egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi, 800 d/d, ÜÖNÖ 5° KMA)



Şekil 5.3. Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (800 d/d, ÜÖNÖ 5° KMA)

800 d/d'da ve ÜÖN'den 5° KMA önce supap zamanlamasında emme supabının açık kalma süresi 48,960 ms olarak ölçülmüştür. Egzoz supabı da 49,160 ms açık kalmıştır. Tablo 5.1'de ise 800 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri gösterilmiştir.

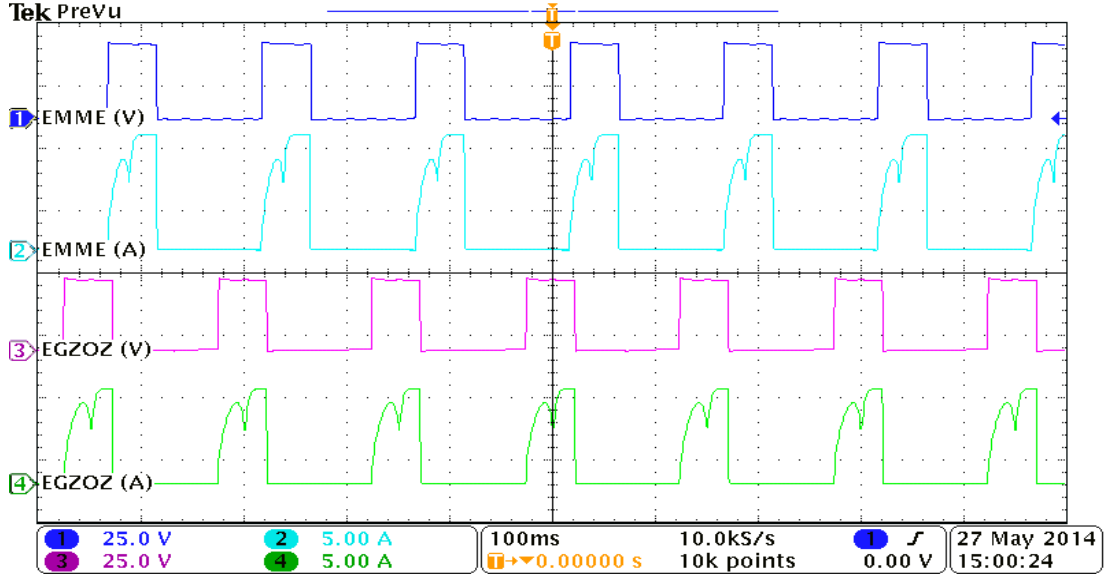
Tablo 5.1. 800 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri

	Değer
Ortalama V	16,69 V
Ortalama A	4,331 A
Frekans	6,678 Hz
Güç	69,75 W

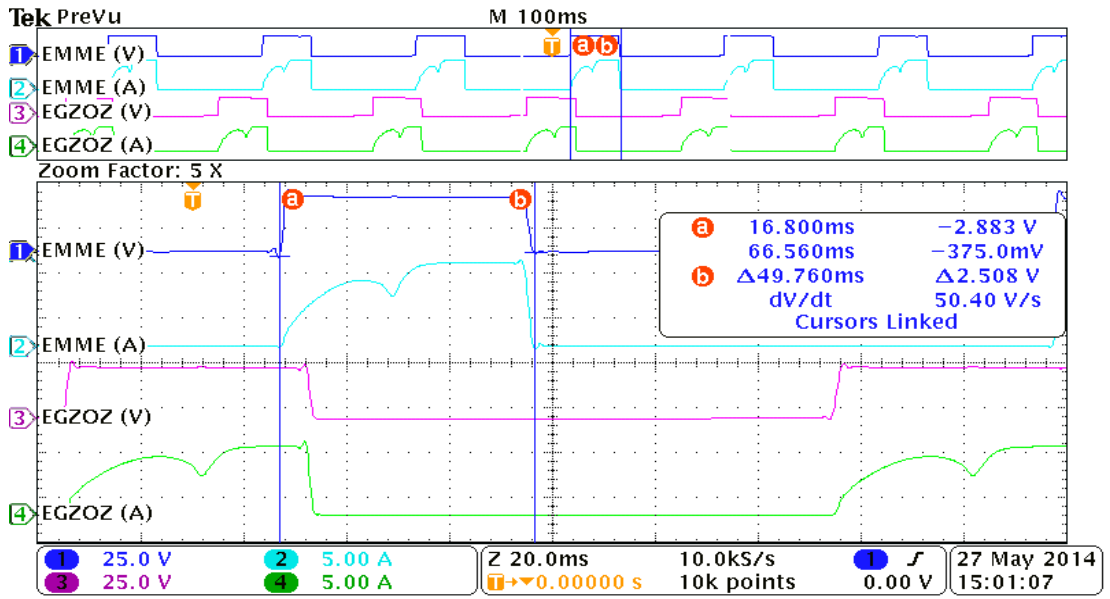
800 d/d'da ve ÜÖN'den 5° KMA önce supap zamanlamasında emme bobininde harcanan güç miktarı 69,75 W olarak hesaplanmıştır. Ayrıca emme bobininin ortalama akımı 4,331 A olarak ölçülmüştür.

5.1.2. 800 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN' den 10° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları

Emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 10° KMA öne alınarak ölçümler yapılmış ve Şekil 5.4'de emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri, Şekil 5.5'de ise emme bobininin açık kalma süresi gösterilmiştir.

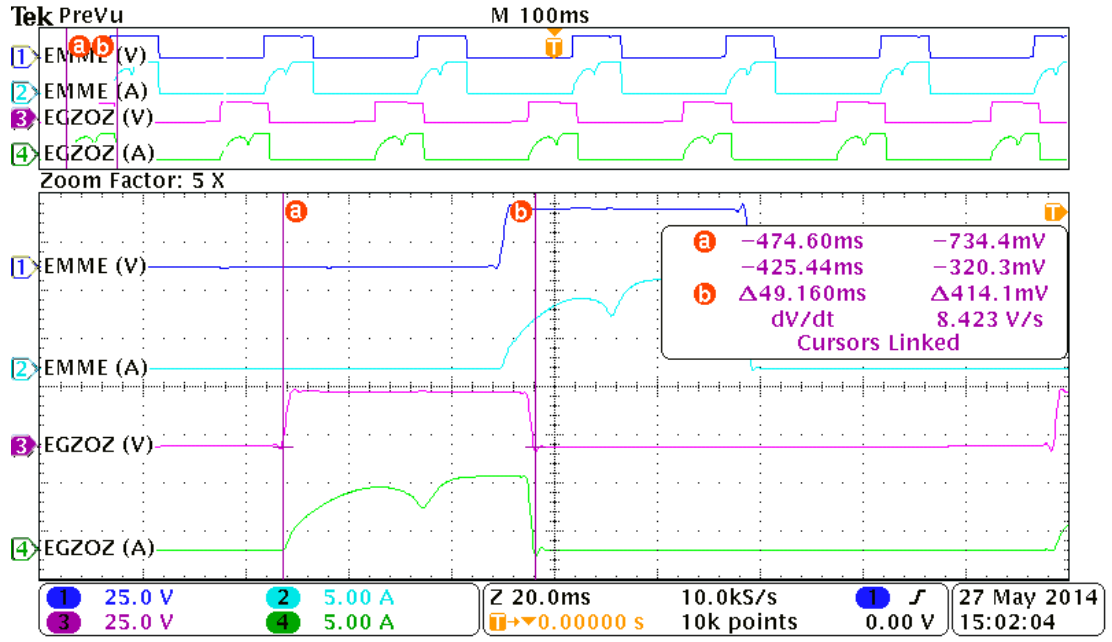


Şekil 5.4. 800 d/d'da ÜÖN'den 10° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri



Şekil 5.5. Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 800 d/d, ÜÖNÖ 10° KMA)

Şekil 5.6'da 800 d/d'da ise egzoz supabının açık kalma süresi gösterilmiştir. Egzoz supap zamanlaması değiştirilmediği için sabit devirlerde egzoz supabı açık kalma süresinin sabit kalması beklenmektedir.



Şekil 5.6. Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (800 d/d, ÜÖNÖ 10° KMA)

800 d/d'da ve ÜÖN'den 10° KMA önce supap zamanlamasında emme supabının açık kalma süresi 49,760 ms olarak ölçülmüştür. Egzoz supabı zamanlaması sabit tutulduğu için egzoz supabının açık kalma süresi değişmemiştir.

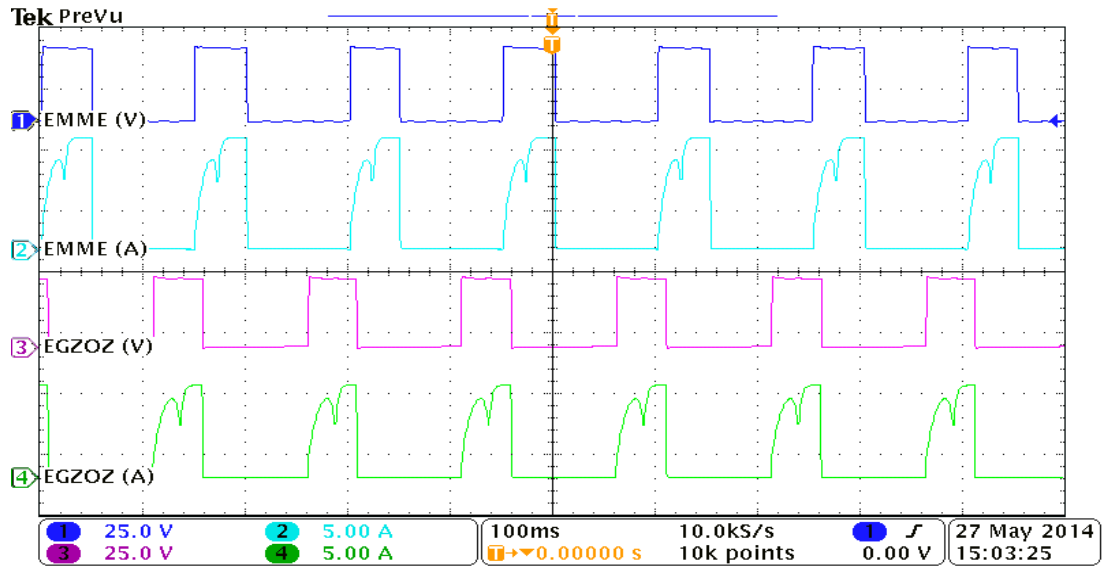
Tablo 5.2'de ise 800 d/d'da ÜÖN'den 10° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım gerilim değerleri gösterilmiştir. Ortalama gerilim 16,83 V, frekans da 6,671 Hz olarak ölçülmüştür. Bu durumda emme bobininin ortalama akımı 4,401 A olarak ölçülmüştür ve buna bağlı olarak emme bobininde harcanan güç miktarı ÜÖN'den 5° KMA önce yapılan supap zamanlamasına göre küçük bir miktar artış göstererek 71,48 W olarak hesaplanmıştır. Bu durumda emme bobinin 5° daha fazla süre açık kalarak ortalama akım değeri yükselmiştir. Buna bağlı olarak da emme bobininde harcanan güç miktarı artmıştır.

Tablo 5.2. 800 d/d'da ÜÖN'den 10° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım gerilim değerleri

	Değer
Ortalama V	16,83 V
Ortalama A	4,401 A
Frekans	6,671 Hz
Güç	71,48 W

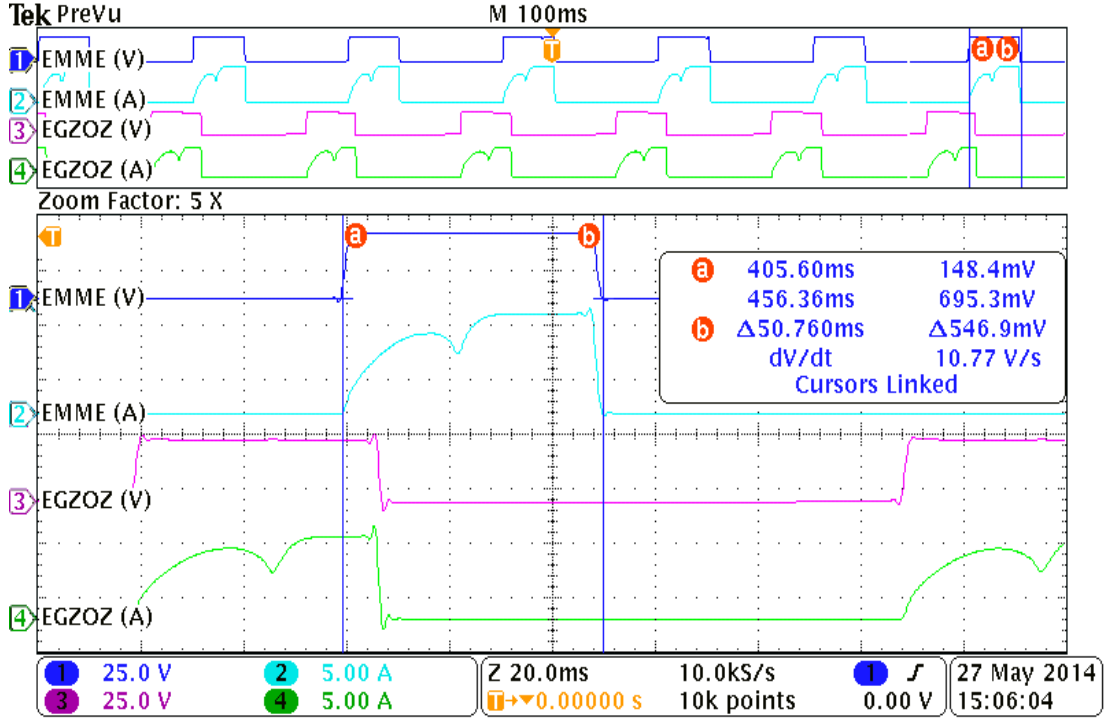
5.1.3. 800 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 15° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları

Emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 15° KMA öne alınarak ölçümler yapılmış ve Şekil 5.7'de emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri gösterilmiştir.

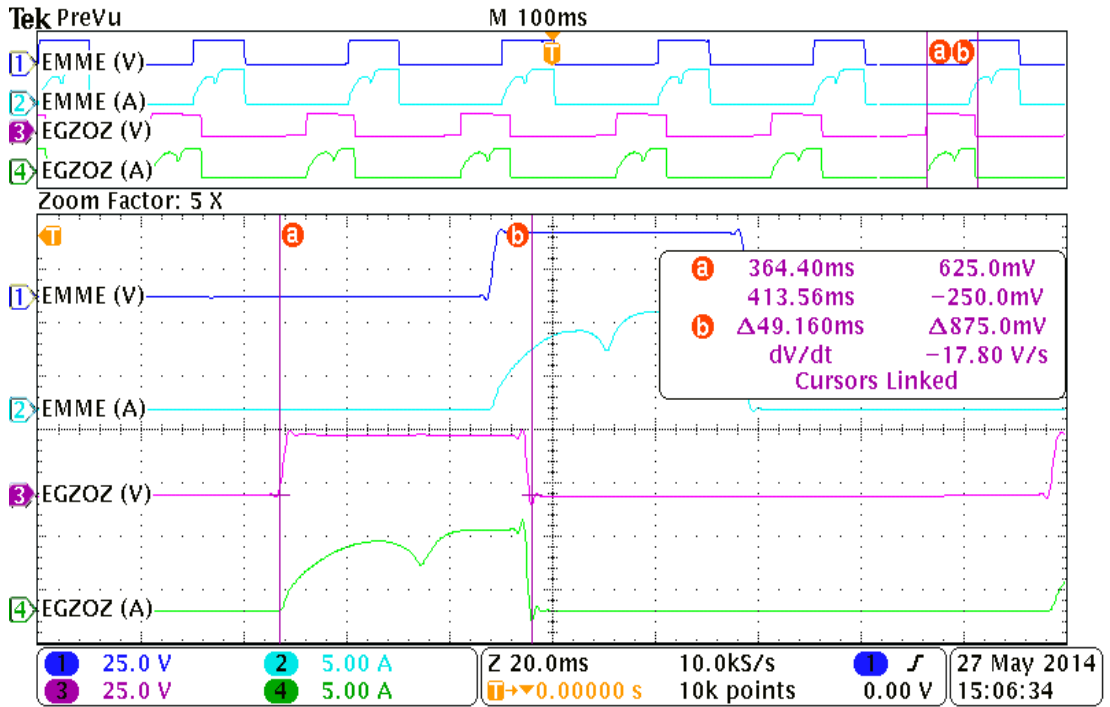


Şekil 5.7. 800 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri

Şekil 5.8'de 800 d/d'da ve ÜÖN'den 15° KMA önce supap zamanlamasında emme supabının açık kalma süresi gösterilmiştir. Bu durumda emme supabının açık kalma süresi 50,760 ms olarak ölçülmüştür. Şekil 5.9'da ise egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları gösterilmiştir. Egzoz supabı zamanlaması sabit tutulduğu için egzoz supabının açık kalma süresi 49,160 olarak kalmıştır.



Şekil 5.8. Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 800 d/d, ÜÖNÖ 15° KMA)



Şekil 5.9. Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (800 d/d, ÜÖNÖ 15° KMA)

Tablo 5.3. 800 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım gerilim değerleri

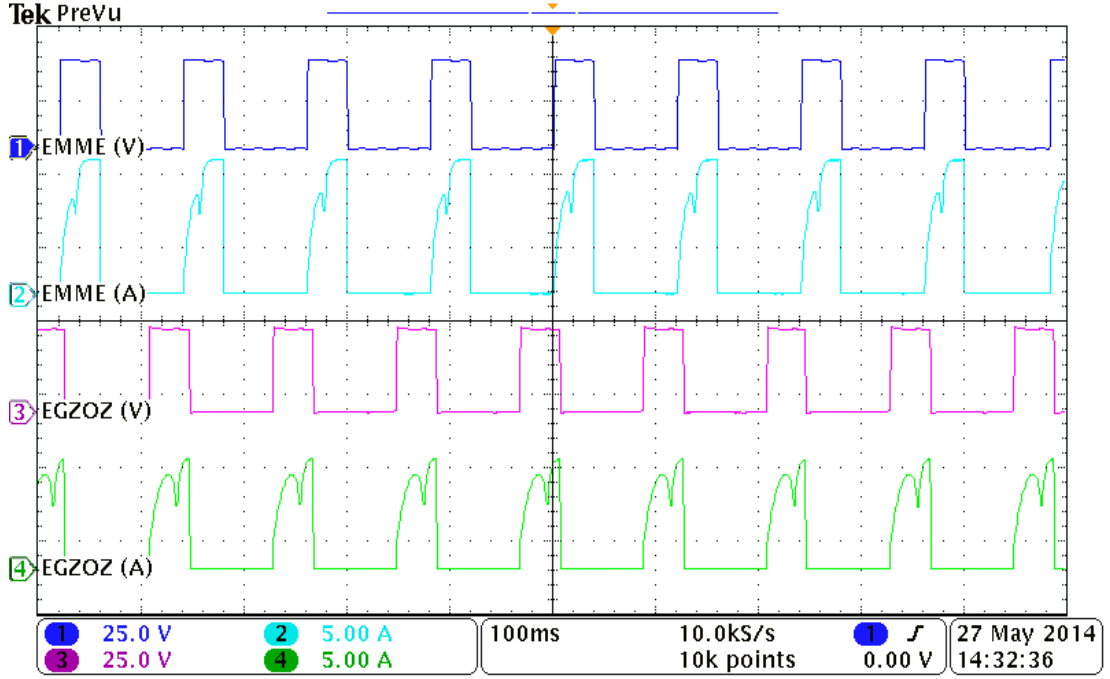
	Değer
Ortalama V	17,11 V
Ortalama A	4,448 A
Frekans	6,680 Hz
Güç	73,44 W

Tablo 5.3'de ise 800 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım gerilim değerleri gösterilmiştir. Bu durumda emme bobininin ortalama akımı 4,448 A olarak ölçülmüştür ve buna bağlı olarak emme bobininde harcanan güç miktarı ÜÖN'den 5° ve 10° KMA önce yapılan supap zamanlaması testlerine göre bir miktar artış göstererek 73,33 W olarak hesaplanmıştır. Bu durumda emme bobinin daha fazla süre açık kalarak ortalama akım değeri yükselmiştir. Buna bağlı olarak da emme bobininde harcanan güç miktarı artmıştır.

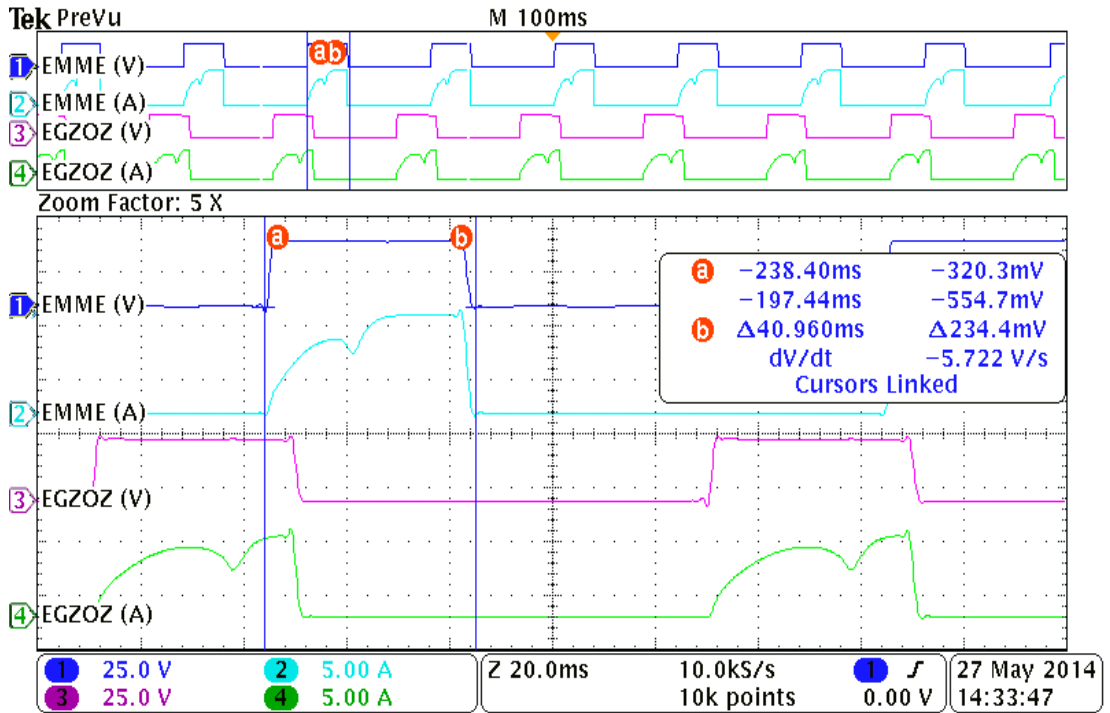
5.2. 1000 d/d Test Sonuçları

5.2.1. 1000 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 5° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları

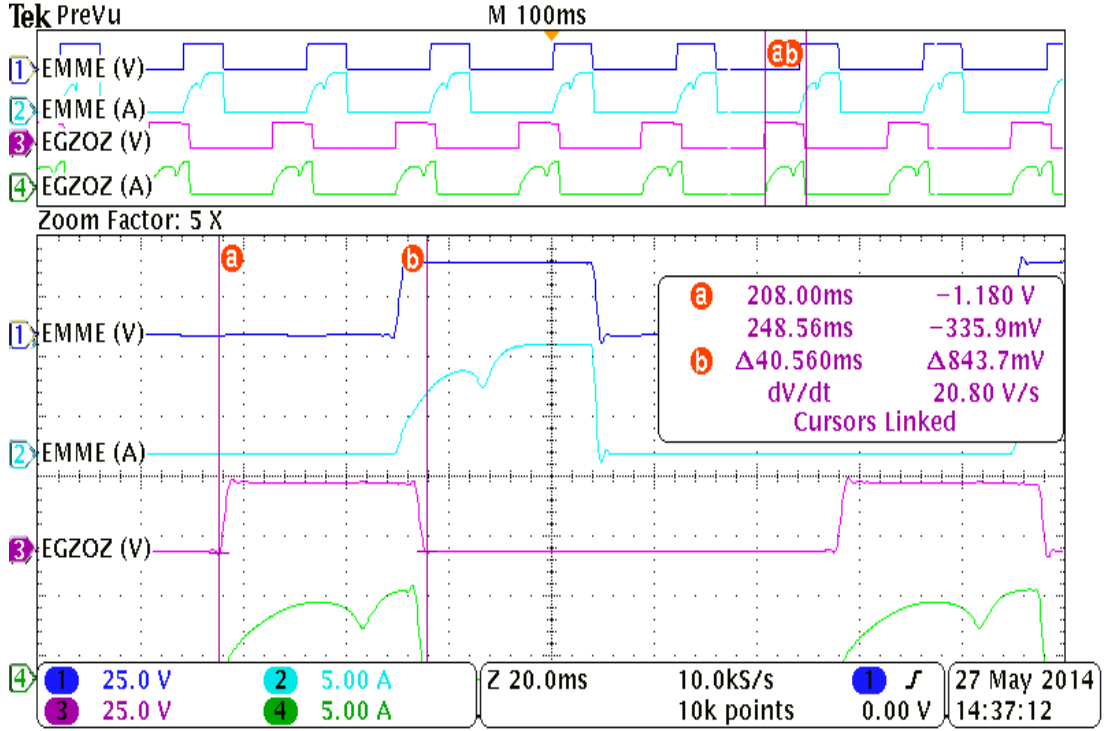
Bu aşamada 1000 d/d'da emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 5° KMA önce alınarak ölçümler yapılmıştır. Şekil 5.10'da emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri, Şekil 5.11'de ise emme bobininin açık kalma süresi gösterilmiştir. 1000 d/d'da ve ÜÖN'den 5° KMA önce supap zamanlamasında emme supabının açık kalma süresi 40,960 ms olarak ölçülmüştür. Bu durumda emme supabı 800 d/d'da yapılan testlerden daha kısa süre açık kalmıştır. Şekil 5.12'de ise egzoz supabının 1000 d/d'da açık kalma süresi gösterilmiştir. Bu şartlarda egzoz supabı 40,560 ms açık kalmıştır. Tablo 5.4'de ise 1000 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı, frekans ve ortalama akım, gerilim değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.10. 1000 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri



Şekil 5.11. Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 1000 d/d ÜÖNÖ 5° KMA)



Şekil 5.12. Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (1000 d/d, ÜÖNÖ 5° KMA)

Tablo 5.4. 1000 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri

	Değer
Ortalama V	16,73 V
Ortalama A	4,255 A
Frekans	8,422 Hz
Güç	68,48 W

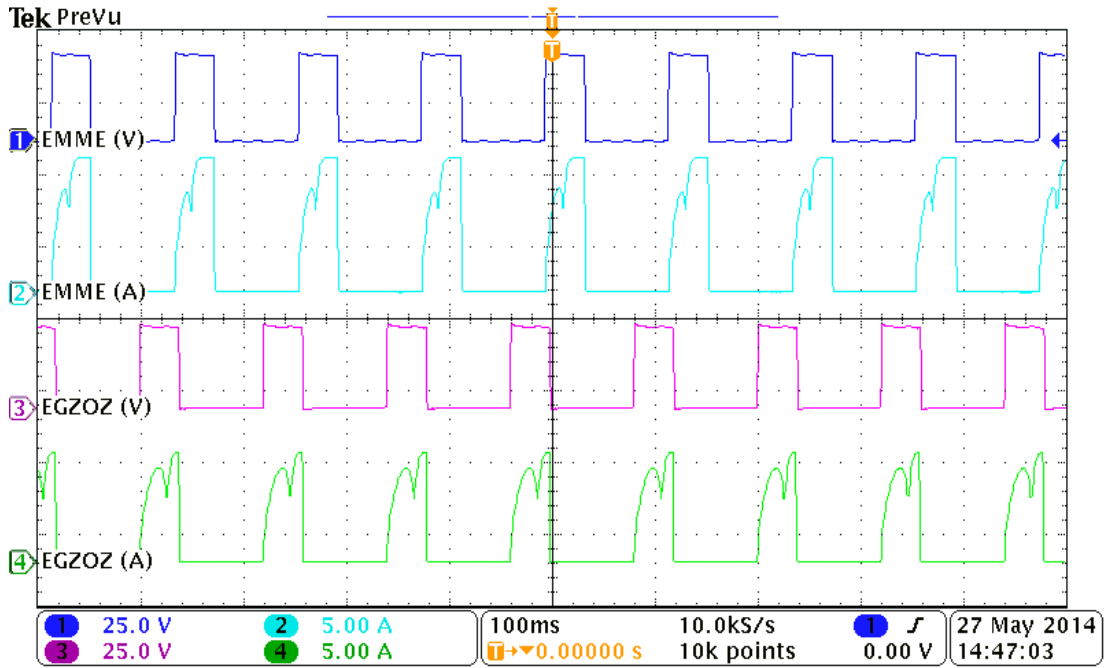
Bu durumda emme bobininin ortalama akımı 4,255 A olarak ölçülmüştür ve buna bağlı olarak emme bobininde harcanan güç miktarı 68,48 W olarak hesaplanmıştır. 800 d/d'ya göre emme bobinin ortalama akım değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak da emme bobininin bir kere açılıp kapanmasında harcanan güç miktarı azalmıştır.

5.2.2. 1000 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 10° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları

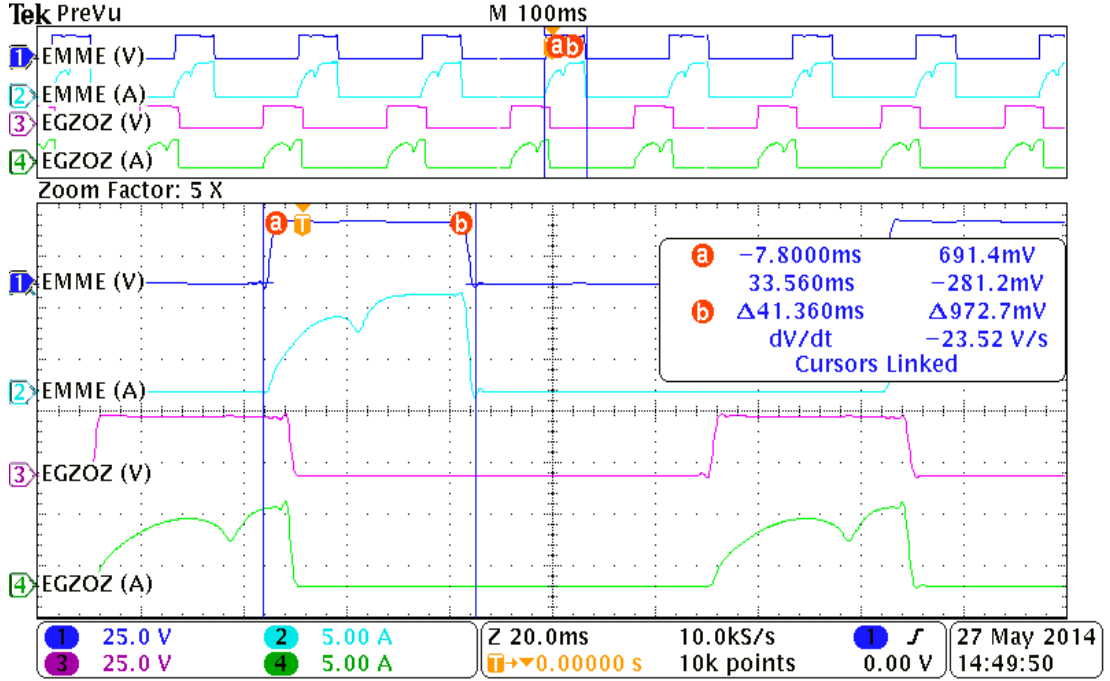
1000 d/d'da emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 10° KMA öne alınarak ölçümler yapılmıştır. Şekil 5.13'de emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri gösterilmiştir.

Şekil 5.14'de 1000 d/d'da ve ÜÖN'den 10° KMA önce supap zamanlamasında emme bobininin açık kalma süresi gösterilmiştir ve 41,360 ms olarak ölçülmüştür. Bu durumda emme supabı 1000 d/d'da ve ÜÖN'den 5° KMA önce supap zamanlamasına göre 0,4 ms daha fazla açık kaldığı tespit edilmiştir.

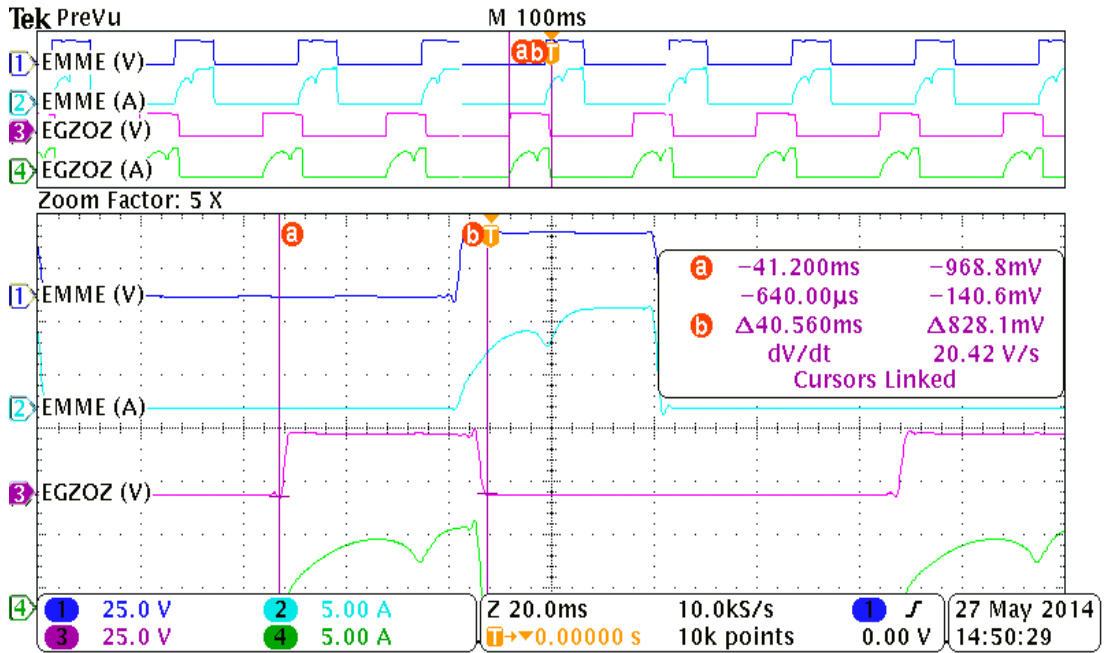
Şekil 5.15'de ise egzoz supabının 1000 d/d'da açık kalma süresi gösterilmiştir. Bu şartlarda da egzoz supabının açık kalma süresi 40,560 ms olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.13. 1000 d/d'da ÜÖN'den 10° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri



Şekil 5.14. Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 1000 d/d ÜÖNÖ 10° KMA)



Şekil 5.15. Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (1000 d/d, ÜÖNÖ 10° KMA)

Tablo 5.5’de 1000 d/d’da ÜÖN’den 10° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.5. 1000 d/d'da ÜÖN'den 10° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri

	Değer
Ortalama V	16,77 V
Ortalama A	4,414 A
Frekans	8,326 Hz
Güç	71,20 W

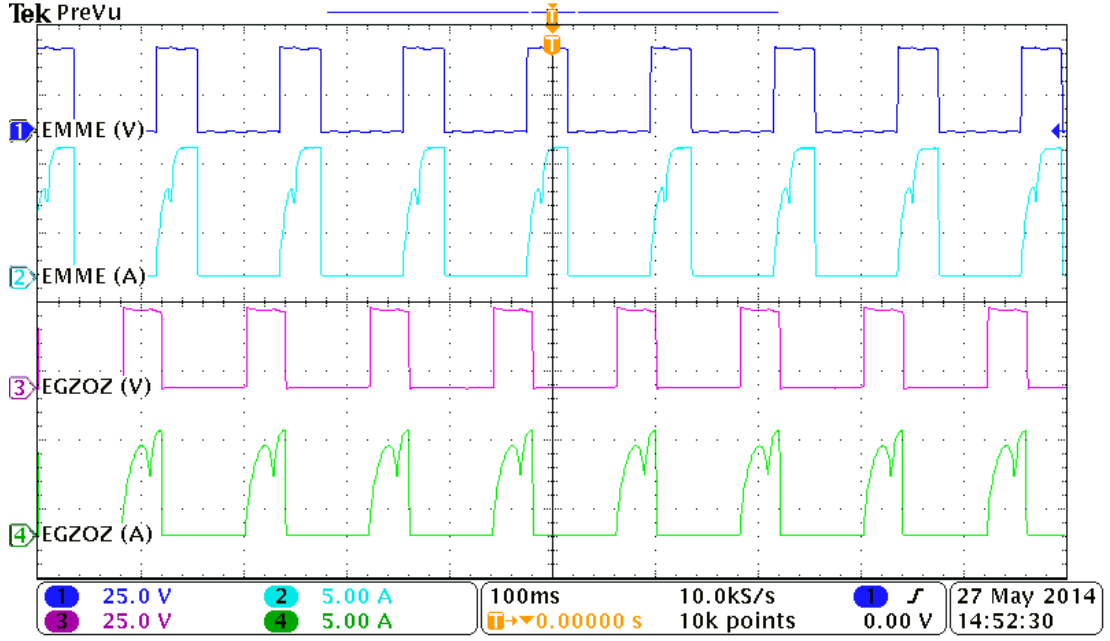
Bu durumda emme bobininin ortalama akımı 4,414 A olarak ölçülmüştür ve buna bağlı olarak emme bobininde harcanan güç miktarı ÜÖN'den 5° KMA önce yapılan supap zamanlamasına göre küçük bir miktar artış göstererek 71,20 W olarak hesaplanmıştır. Bu durumda emme bobinin 5° daha fazla süre açık kalarak ortalama akım değeri yükselmiştir. Buna bağlı olarak da emme bobininde harcanan güç miktarı artmıştır. Aynı şartlarda 800 d/d'ya göre ise güç tüketimi 0,28 W daha az çıkmıştır.

5.2.3. 1000 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 15° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları

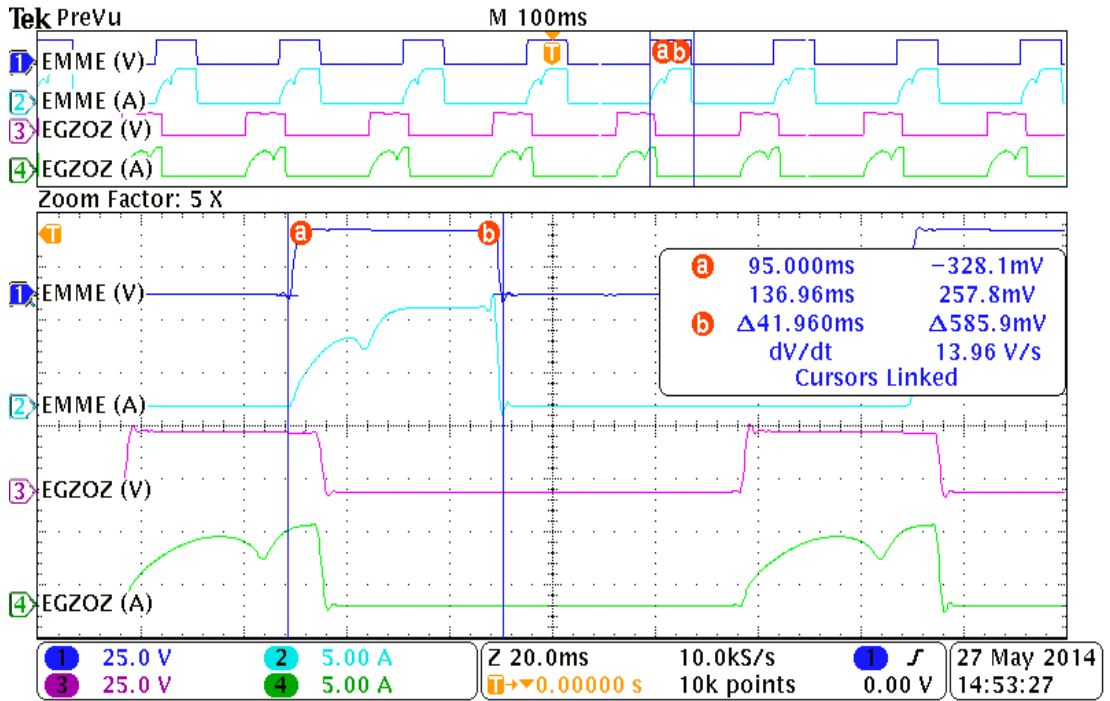
1000 d/d'da emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 15° KMA öne alınarak ölçümler yapılmıştır. Şekil 5.16'da emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri gösterilmiştir.

Şekil 5.17'de 1000 d/d'da ve ÜÖN'den 15° KMA önce supap zamanlamasında emme bobininin açık kalma süresi gösterilmiştir ve 41,960 ms olarak ölçülmüştür. Bu durumda emme supabı 1000 d/d'da ve ÜÖN'den 5° KMA önce supap zamanlamasına göre 1 ms, ÜÖN'den 10° KMA önce supap zamanlamasına göre ise 0,6 ms daha fazla açık kaldığı tespit edilmiştir.

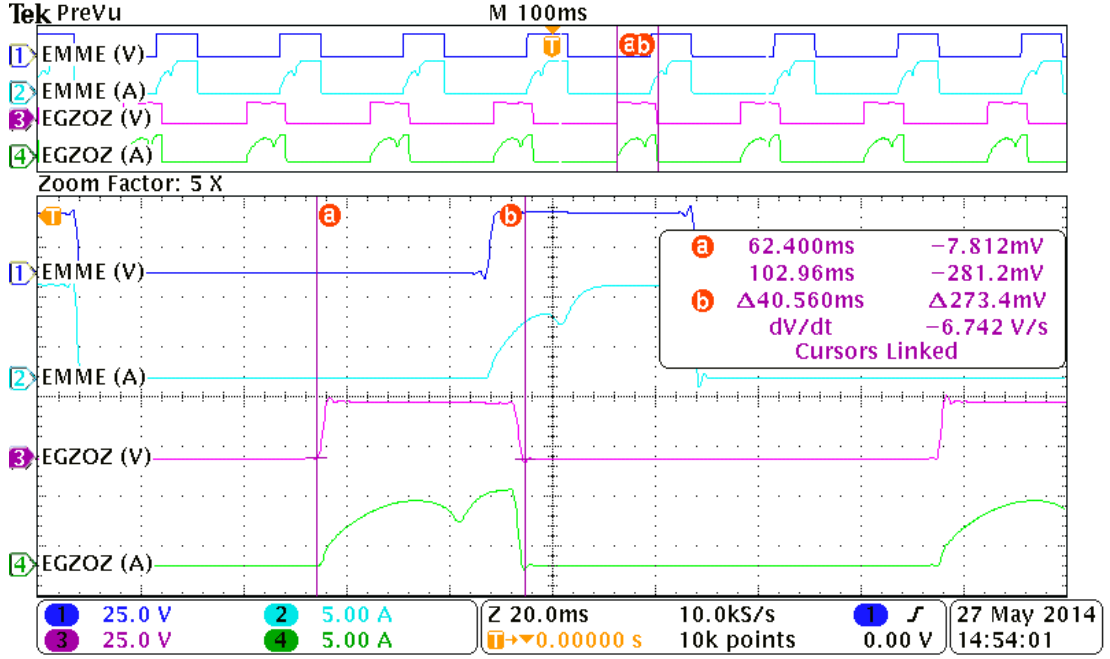
Şekil 5.18'de ise egzoz supabının 1000 d/d'da açık kalma süresi gösterilmiştir. Bu şartlarda da egzoz supabının açık kalma süresi 40,560 ms olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.16. 1000 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri



Şekil 5.17. Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 1000 d/d, ÜÖNÖ 15° KMA)



Şekil 5.18. Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (1000 d/d, ÜÖNÖ 15° KMA)

Tablo 5.6. 1000 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri

	Değer
Ortalama V	17,15 V
Ortalama A	4,520 A
Frekans	8,330 Hz
Güç	74,38 W

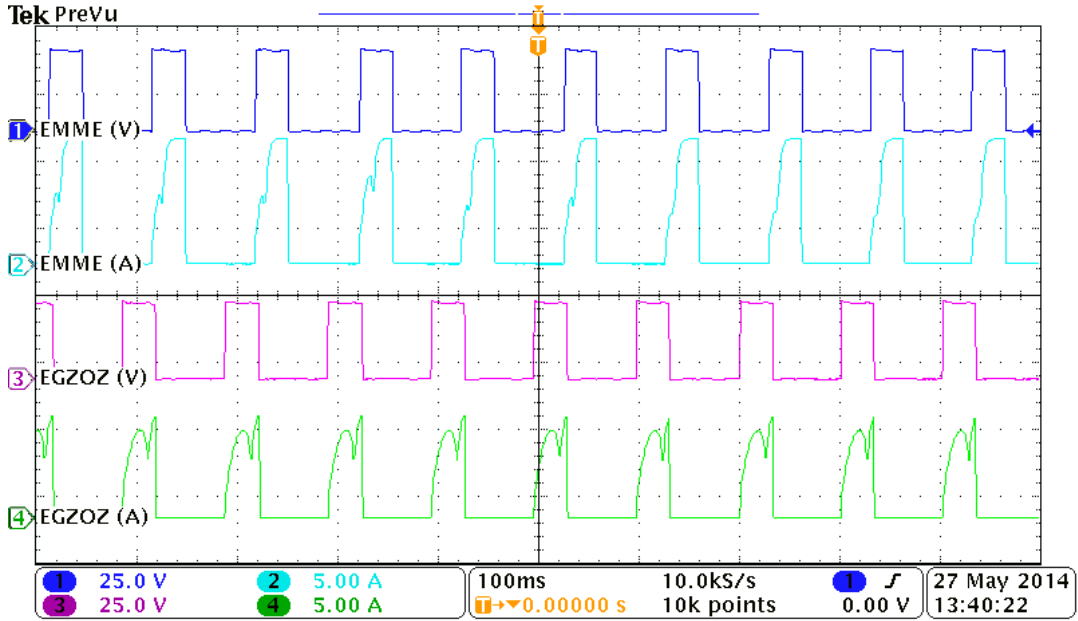
Tablo 5.6'da ise 1000 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım gerilim değerleri gösterilmiştir. Bu durumda emme bobininin ortalama akımı 4,520 A olarak ölçülmüştür ve buna bağlı olarak emme bobininde harcanan güç miktarı ÜÖN'den 5° ve 10° KMA önce yapılan supap zamanlaması testlerine göre bir miktar artış göstererek 74,38 W olarak hesaplanmıştır. Bu durumda emme bobinin daha fazla süre açık kalarak ortalama akım değeri yükselmiştir. Buna bağlı olarak da emme bobininde harcanan güç miktarı artmıştır.

5.3. 1200 d/d Test Sonuçları

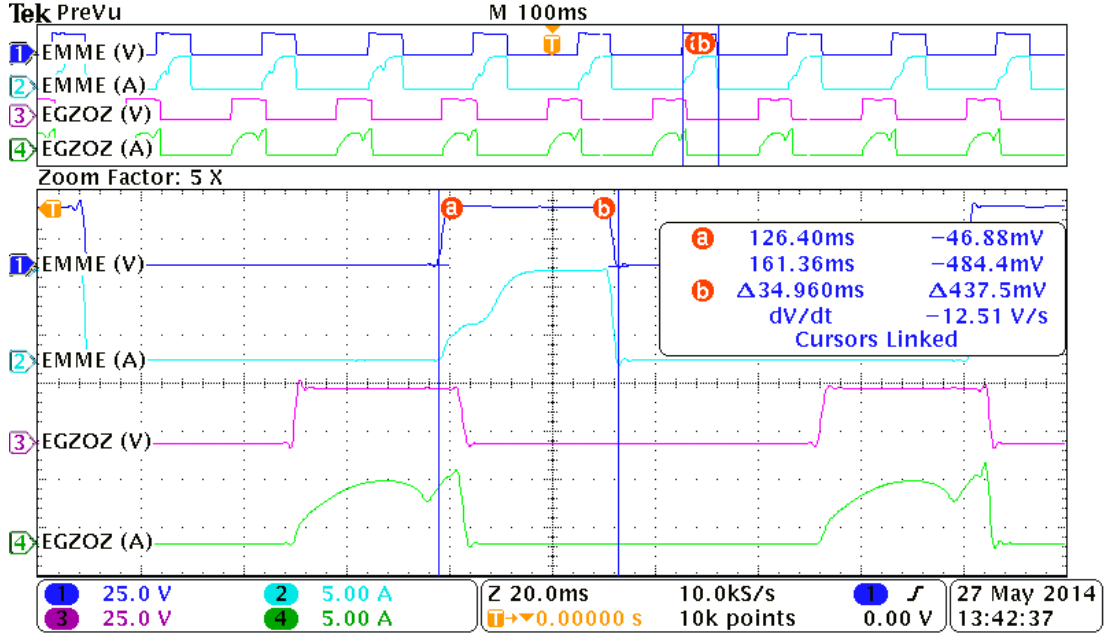
5.3.1. 1200 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 5° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları

Bu aşamada 1200 d/d'da emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 5° KMA öne alınarak ölçümler yapılmıştır. Şekil 5.19'da emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri gösterilmiştir.

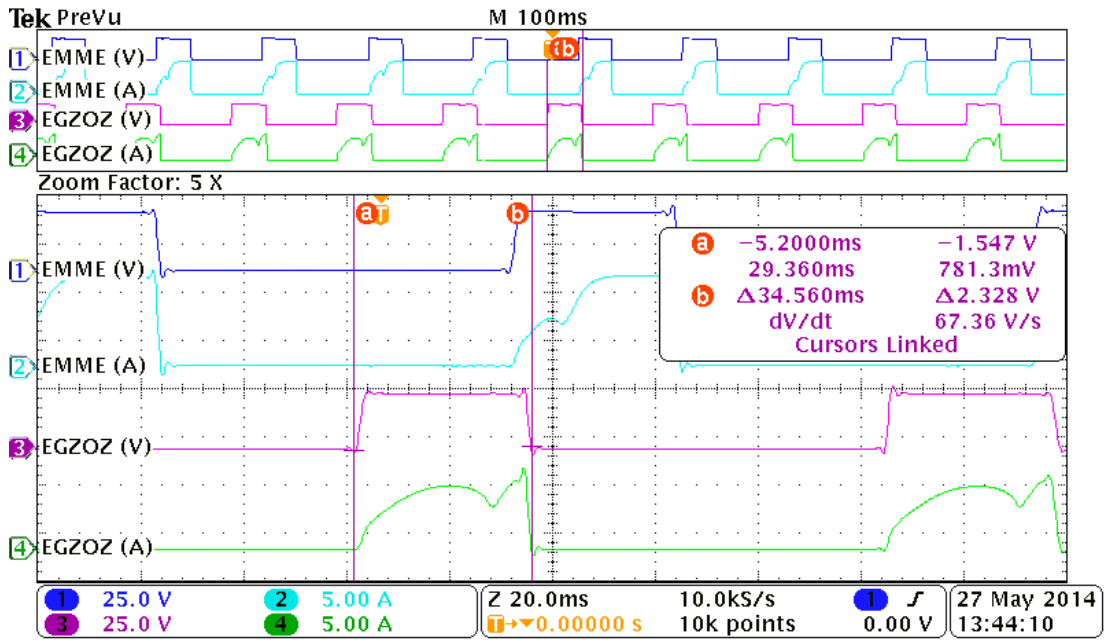
Şekil 5.20'de ise 1200 d/d'da ve ÜÖN'den 5° KMA önce supap zamanlamasında emme bobininin açık kalma süresi gösterilmiştir ve bu süre 34,960 ms olarak ölçülmüştür. Şekil 5.21'de ise egzoz supabının 1200 d/d'da açık kalma süresi gösterilmiştir. Bu şartlarda da egzoz supabının açık kalma süresi 34,560 ms olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.19. 1200 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri



Şekil 5.20. Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 1200 d/d, ÜÖNÖ 5° KMA)



Şekil 5.21. Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (1200 d/d, ÜÖNÖ 5° KMA)

Tablo 5.7’de ise 1200 d/d’da ÜÖN’den 5° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı, frekans ve ortalama akım, gerilim değerleri gösterilmiştir. Bu durumda emme bobininin ortalama akımı 4,371 A olarak ölçülmüştür ve buna bağlı olarak emme bobininde harcanan güç miktarı 69,33 W olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.7. 1200 d/d'da ÜÖN'den 5° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri

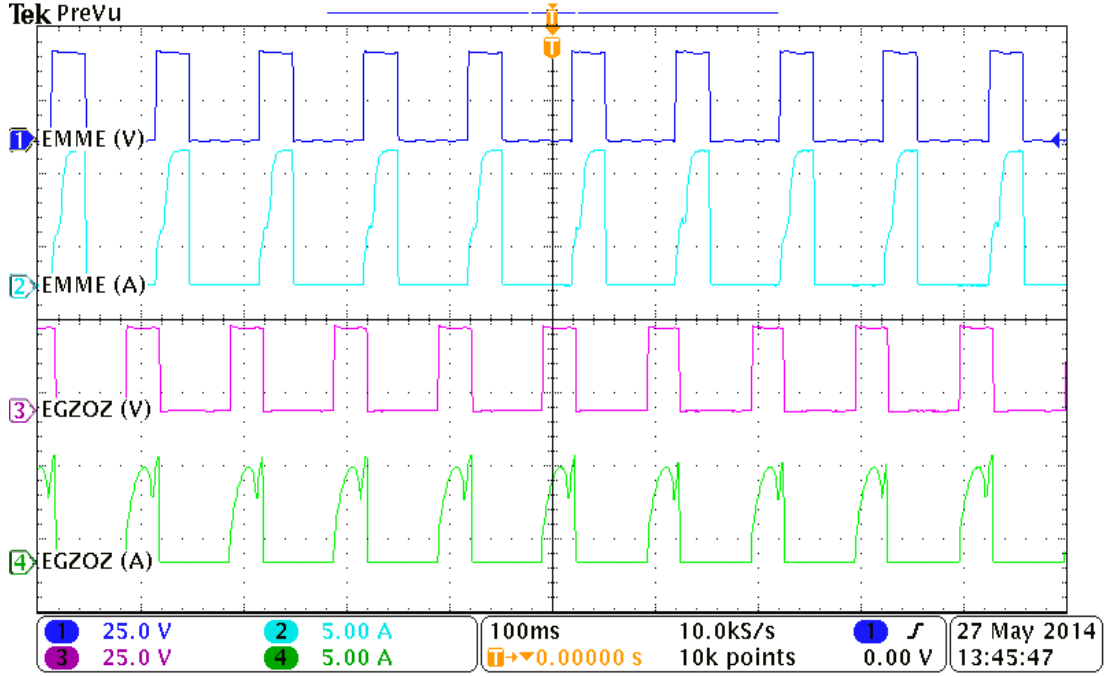
	Değer
Ortalama V	16,84 V
Ortalama A	4,371 A
Frekans	9,746 Hz
Güç	69,33 W

5.3.2. 1200 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 10° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları

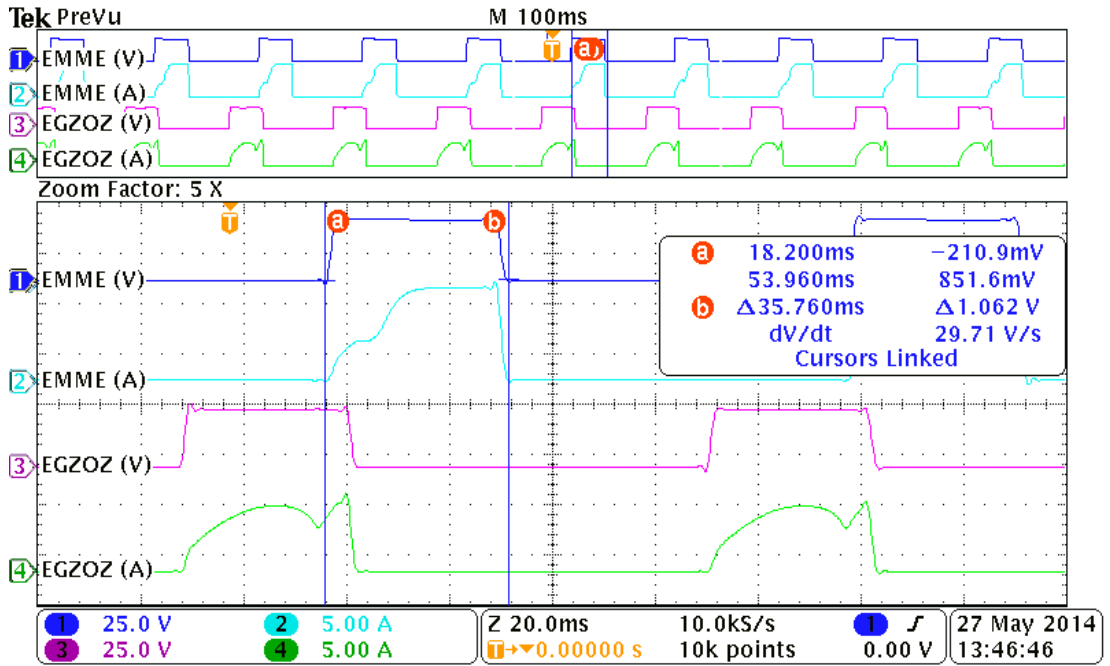
1200 d/d'da emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 10° KMA öne alınarak ölçümler yapılmıştır. Şekil 5.22'de emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri gösterilmiştir.

Şekil 5.23'de ise 1200 d/d'da ve ÜÖN'den 10° KMA önce supap zamanlamasında emme bobininin açık kalma süresi gösterilmiştir. Bu şartlarda emme supabı 35,760 ms açık kalmıştır. Bu durumda emme supabı 1200 d/d'da ve ÜÖN'den 5° KMA önce supap zamanlamasına göre 0,8 ms daha fazla süre açık kaldığı tespit edilmiştir.

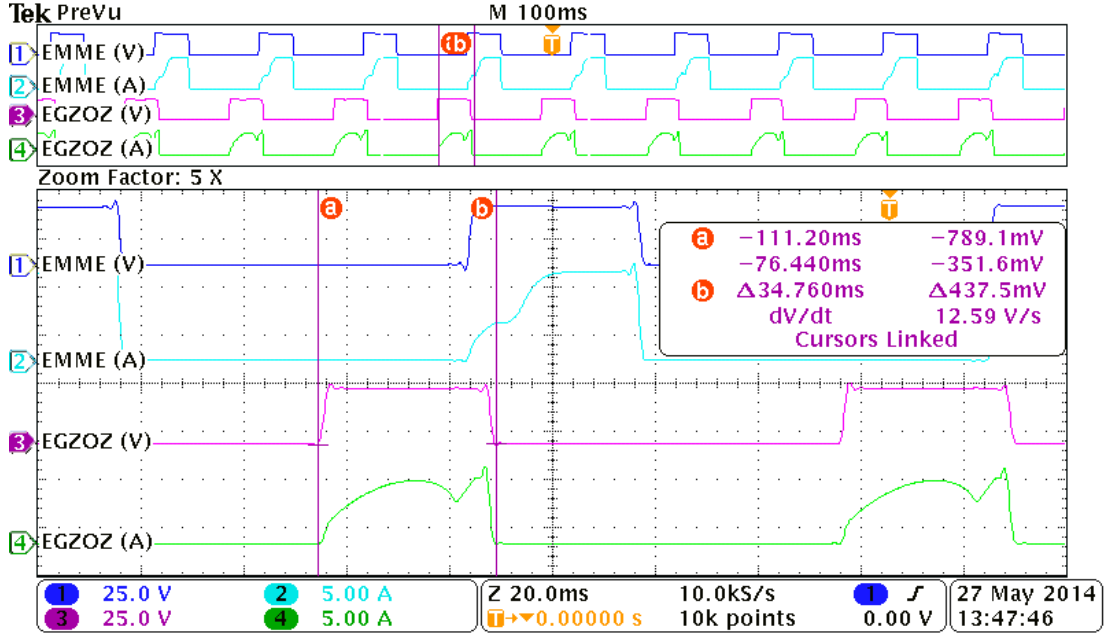
Şekil 5.24'de ise egzoz supabının 1200 d/d'da açık kalma süresi gösterilmiştir. Bu şartlarda da egzoz supabının açık kalma süresi 34,760 ms olarak ölçülmüştür. Bu durumda egzoz supabı 1200 d/d'da ve ÜÖN'den 5° KMA önce supap zamanlamasına göre 0,2 ms daha fazla süre açık kaldığı tespit edilmiştir. Bu fark da ölçüm hatalarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.22. 1200 d/d'da ÜÖN'den 10° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri



Şekil 5.23. Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 1200 d/d, ÜÖNÖ 10° KMA)



Şekil 5.24. Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (1200 d/d, ÜÖNÖ 10° KMA)

Tablo 4.8’de 1200 d/d’da ÜÖN’den 10° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım gerilim değerleri gösterilmiştir. Bu durumda emme bobininin ortalama akımı 4,375 A olarak ölçülmüştür.

Tablo 5.8. 1200 d/d’da ÜÖN’den 10° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri

	Değer
Ortalama V	17,00 V
Ortalama A	4,375 A
Frekans	9,759 Hz
Güç	70,02 W

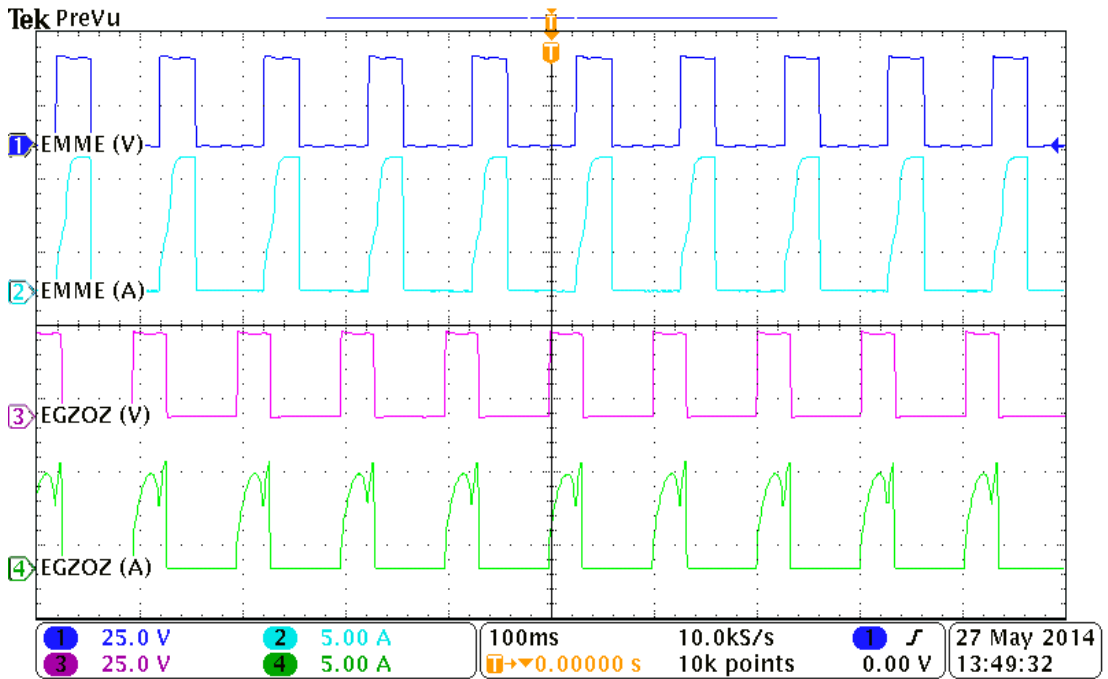
Buna bağlı olarak emme bobininde harcanan güç miktarı ÜÖN’den 5° KMA önce yapılan supap zamanlamasına göre küçük bir miktar artış göstererek 70,02 W olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda emme bobinin 5° daha fazla süre açık kalarak ortalama akım değeri yükselmiştir. Buna bağlı olarak da emme bobininde harcanan güç miktarı artmıştır.

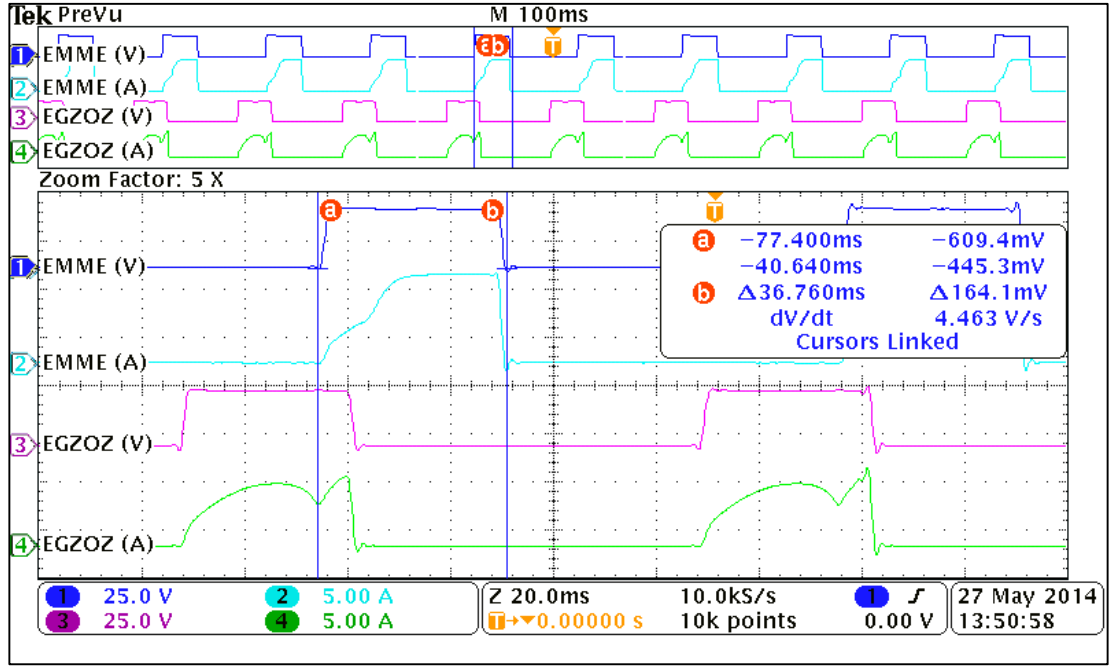
Aynı şartlarda güç tüketimi 800 d/d'ya göre 1,46 W , 1000 d/d'ya göre ise 1,18W daha az çıkmıştır.

5.3.3. 1200 d/d ve emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 15° KMA önce olan supap zamanlaması sonuçları

Bu aşamada 1200 d/d'da emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 15° KMA öne alınarak ölçümler yapılmıştır. Şekil 5.25' de emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri Şekil 5.26'da ise 1000 d/d'da ve ÜÖN'den 15° KMA önce supap zamanlamasında emme bobininin açık kalma süresi gösterilmiştir ve bu şartlarda emme supabı açık kalma süresi 36,760 ms olarak ölçülmüştür. Bu durumda emme supabı 1200 d/d'da ve ÜÖN'den 5° KMA önce supap zamanlamasına göre 1,8 ms, ÜÖN'den 10° KMA önce supap zamanlamasına göre ise 1 ms daha fazla açık kaldığı tespit edilmiştir.

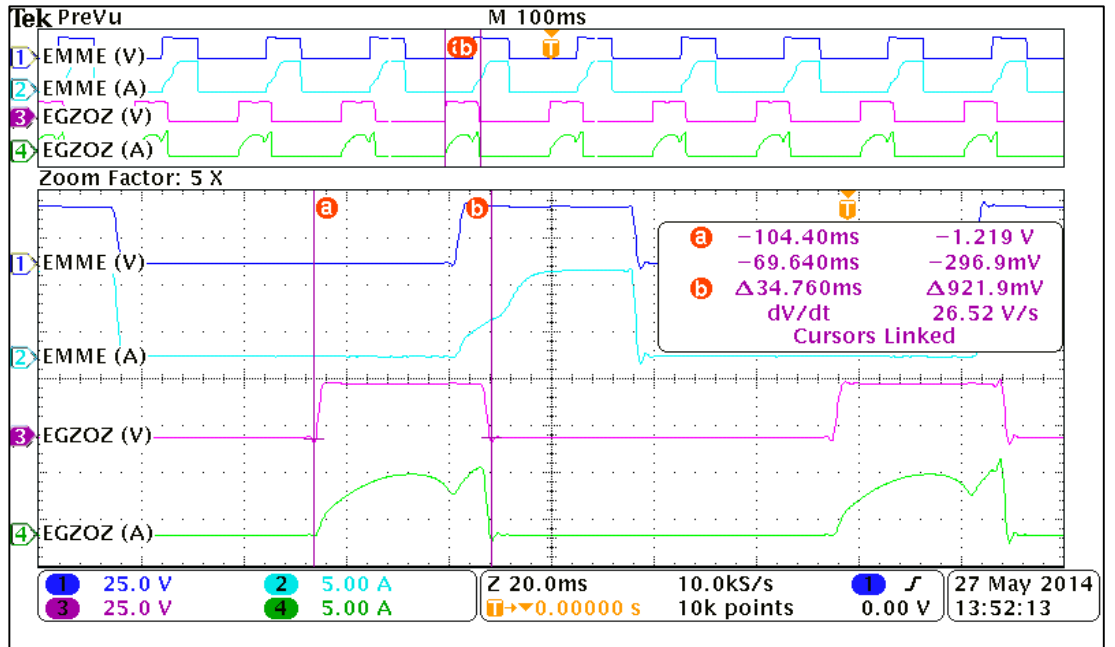


Şekil 5.25. 1200 d/d'da ÜÖN'den 15° KMA önce emme ve egzoz supaplarının akım gerilim grafikleri



Şekil 5.26. Emme supabı açılma ve kapanma zamanları (supap açık kalma süresi 1200 d/d, ÜÖNÖ 15° KMA)

Şekil 5.27'de ise egzoz supabının 1200 d/d'da açık kalma süresi gösterilmiştir. Bu şartlarda da egzoz supabının açık kalma süresi 34,760 ms olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.27. Egzoz supabı açılma ve kapanma zamanları (1200 d/d, ÜÖNÖ 15° KMA)

Tablo 5.9’da ise 1200 d/d’da ÜÖN’den 15° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım gerilim değerleri gösterilmiştir.

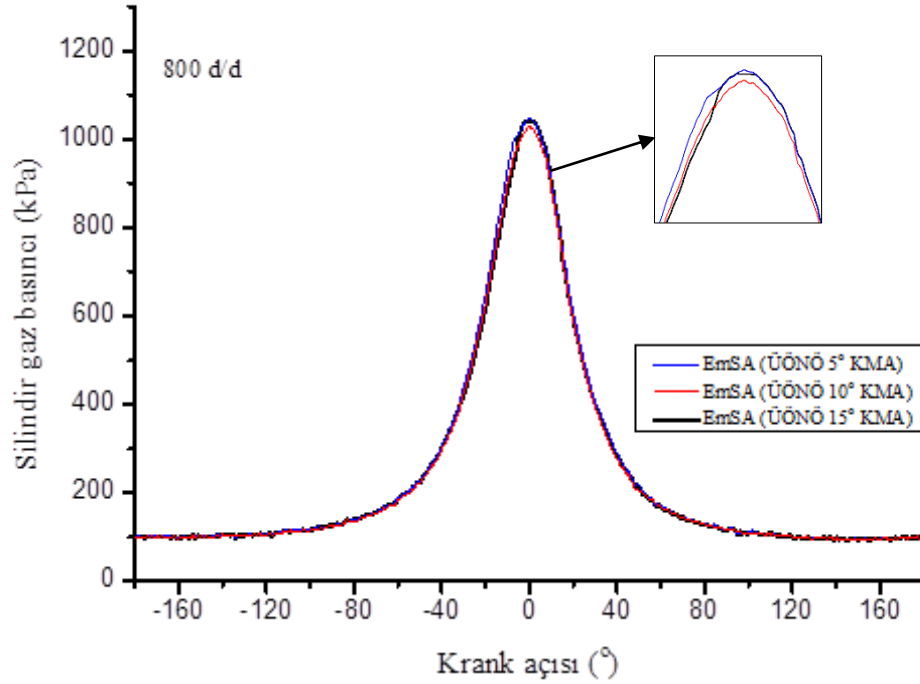
Tablo 5.9. 1200 d/d’da ÜÖN’den 15° KMA önce supap açılma zamanında emme bobininde harcanan güç miktarı ve ortalama akım, gerilim değerleri

	Değer
Ortalama V	17,20 V
Ortalama A	4,431 A
Frekans	9,875 Hz
Güç	71,71 W

Bu durumda emme bobininin ortalama akımı 4,431 A olarak ölçülmüştür ve buna bağlı olarak emme bobininde harcanan güç miktarı ÜÖN’den 5° ve 10° KMA önce yapılan supap zamanlaması testlerine göre bir miktar artış göstererek 71,71 W olarak hesaplanmıştır. Bu durumda emme bobinin daha fazla süre açık kalarak ortalama akım değeri yükselmiştir. Buna bağlı olarak da emme bobininde harcanan güç miktarı artmıştır.

5.4. Yanmasız Ortamda Emme Supabı Açılma Zamanının Silindir Gaz Basıncı Üzerine Etkileri

Silindir içi basınçları yanmasız ortamda 800, 1000, 1200 d/d ‘da ve supap açılma zamanları ÜÖN’den önce 5°, 10° ve 15° KMA’larında ölçülmüştür. 800 d/d’da emme supabı açılma zamanının değişimine göre hava için (yanmasız ortamda) silindir gaz basıncının değişimi Şekil 5.28’de verilmiştir.



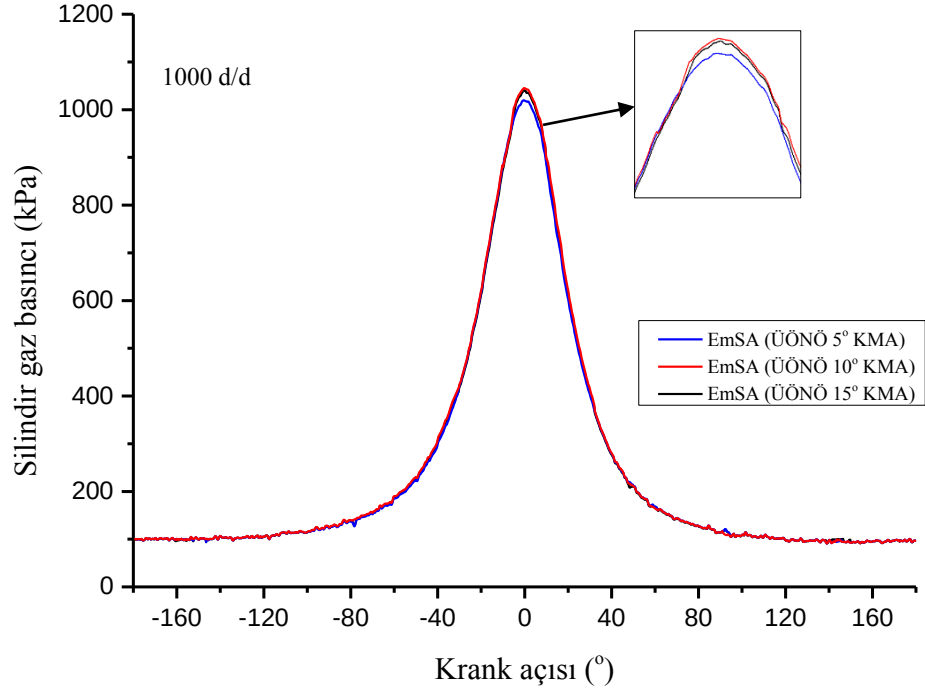
Şekil 5.28. 800 d/d'da emme supabı açılma zamanının değişimine göre hava için (yanmasız ortamda) silindir gaz basıncının değişimi

800 d/d 'da emme supabı açılma zamanı ÜÖN'den 5°, 10°, 15° KMA önce açılarak silindir içi basınç değişimi gözlenmiştir. Yapılan testlerde emme supabı açılma zamanlarındaki değişim ile silindir içi basınçlarında çok az değişiklikler meydana gelmiştir. Maksimum basınç maksimum basınç ÜÖN'de ve emme supabı açılma zamanının ÜÖN'den 15° KMA önce olduğu durumda gerçekleşmiştir.

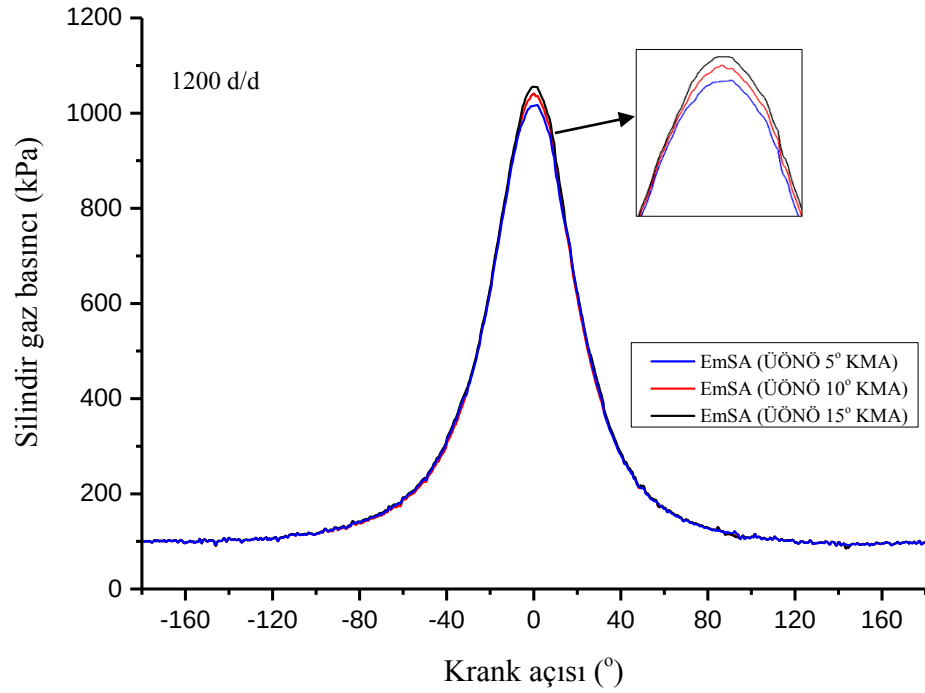
1000 d/d'da da maksimum basınç ÜÖN'den 15° KMA önce olduğu durumda gerçekleşmiştir. Ancak, EmSA zamanının ÜÖN'den 10° KMA önce olduğu durumda da bu basınca çok yakın değerler bulunmuştur. 1000 d/d'da emme supabı açılma zamanının değişimine göre hava için (yanmasız ortamda) silindir gaz basıncının değişimi Şekil 5.29'da verilmiştir.

1200 d/d'da emme supabı açılma zamanının değişimine göre hava için (yanmasız ortamda) silindir gaz basıncının değişimi Şekil 5.30'da verilmiştir. Bu durumda maksimum basınç ÜÖN'de ve emme supabı açılma zamanının ÜÖN'den 15° KMA önce olduğu durumda gerçekleşmiştir. Emme supabı ÜÖN'den 5° ve 10° KMA önce olan açılma zamanlarına göre daha fazla süre açık kalmış ve silindir içine alınan havanın kütlesi daha fazla olduğundan dolayı silindir içi basınç daha fazla olmuştur.

EmSA zamanı ÜÖN'den 20° ve 25° KMA önceye alındığında ise silindir içi basınçlarında 15°'ye göre önemsenmeyecek değişiklikler olduğu görülmüştür.



Şekil 5.29. 1000 d/d'da emme supabı açılma zamanının değişimine göre hava için (yanmasız ortamda) silindir gaz basıncının değişimi

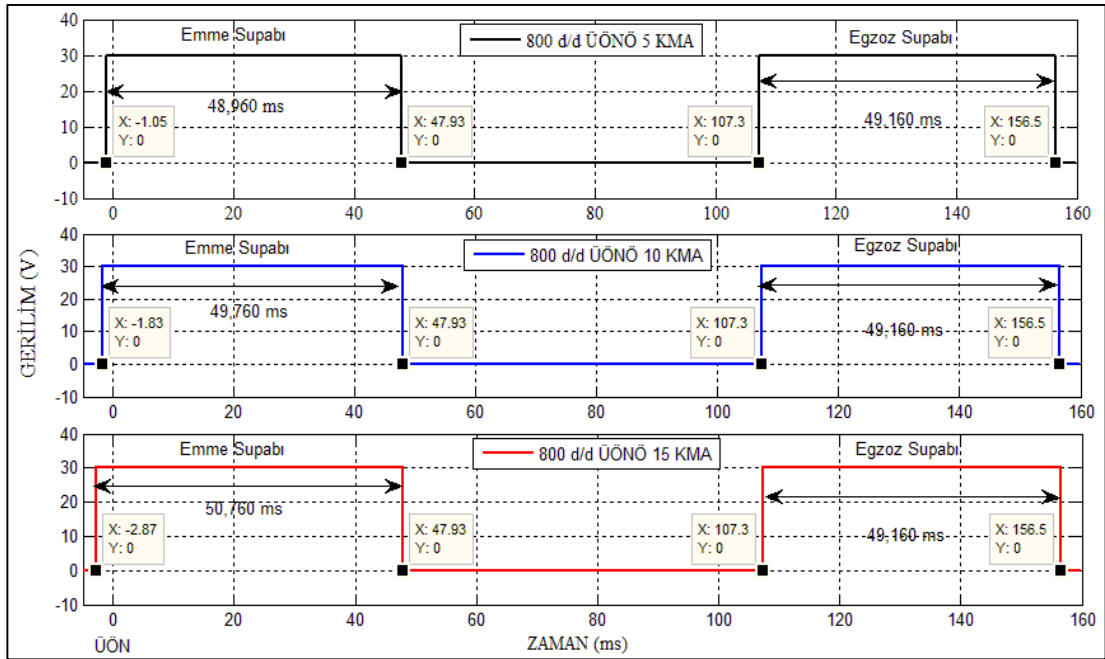


Şekil 5.30. 1200 d/d'da emme supabı açılma zamanının değişimine göre hava için (yanmasız ortamda) silindir gaz basıncının değişimi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda emme supabı açık kalma süreleri ölçülmüş ve bu sonuçlar teorik hesaplamalarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda farklı devir ve çevrimlerde emme supabı açılması ve kapanmasında yaklaşık olarak %1 ile %9 arasında gecikmeler olduğu tespit edilmiştir.

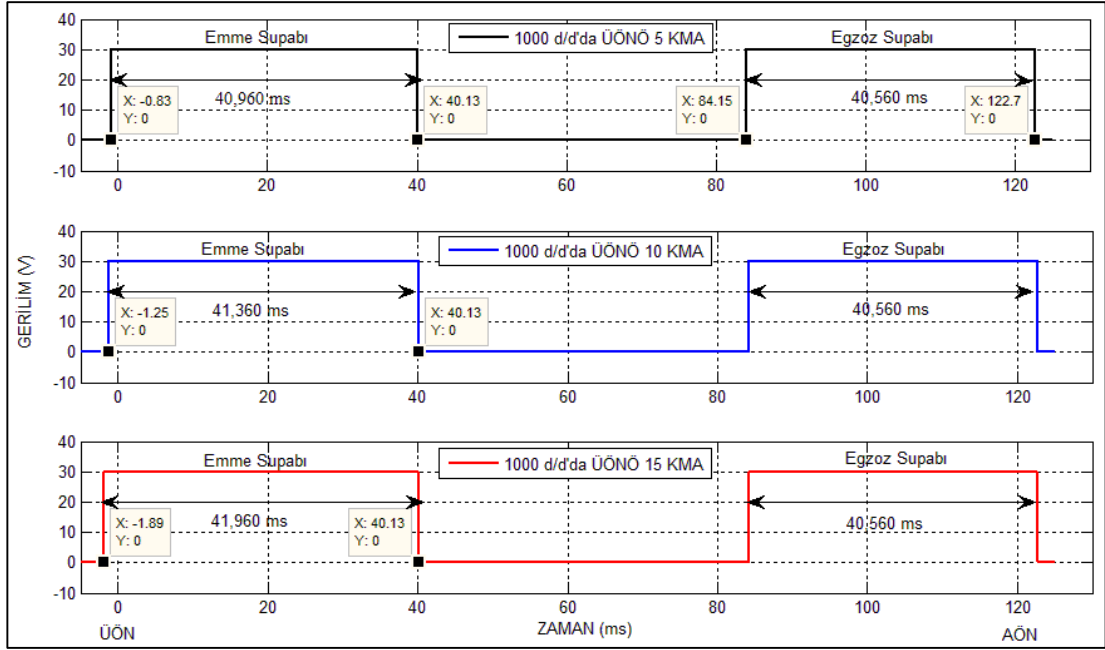
Deney motoru 800 d/d'da bir çevrimini 150 ms de tamamlamaktadır. Emme supabı ÜÖN'den 5° KMA önce açılıp 225° KMA sonra kapandığında yaklaşık olarak 47,916 ms açık kalmaktadır. Emme supabı ÜÖN'den 10° KMA önce açılıp 225° KMA sonra kapandığında ise 48,958 ms , ÜÖN'den 15° KMA önce açılıp 225° KMA sonra kapandığında ise yaklaşık olarak 50 ms açık kalmaktadır. Deneysel çalışmadaki değerler ise Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. 800 d/d'da emme supabı açılma zamanları

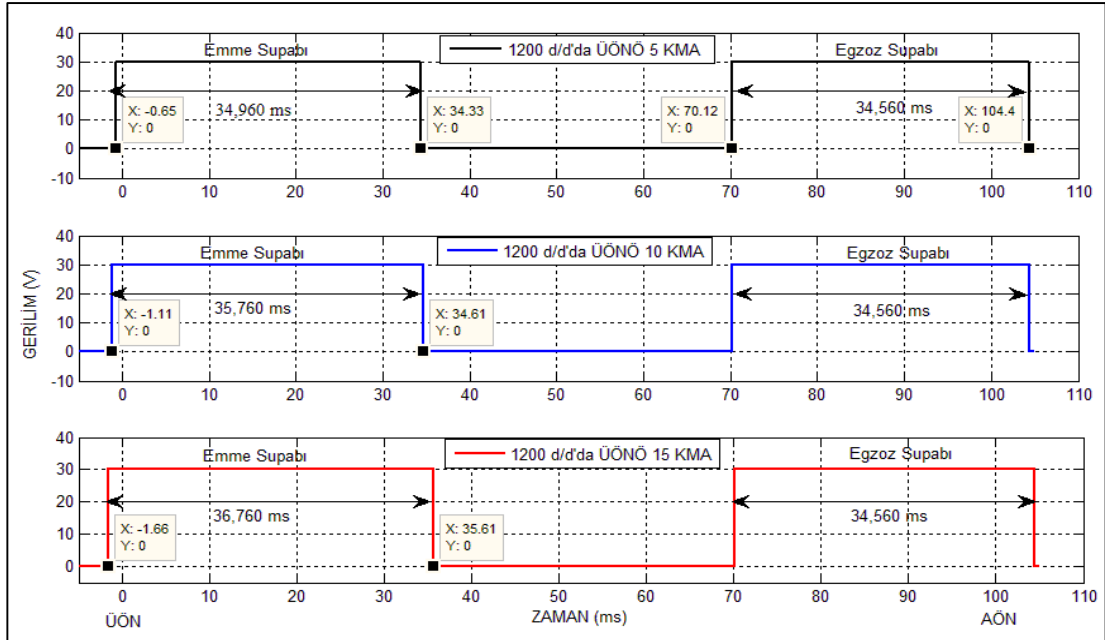
Deney motoru 1000 d/d'da ise bir çevrimini 120 ms de tamamlamaktadır. Emme supabı ÜÖN'den 5° KMA önce açılıp 225° KMA sonra kapandığında yaklaşık olarak 38,333 ms açık kalmaktadır. Emme supabı ÜÖN'den 10° KMA önce açılıp 225° KMA sonra kapandığında ise 39,166 ms , ÜÖN'den 15° KMA önce açılıp 225° KMA

sonra kapandığında ise yaklaşık olarak 40 ms açık kalmaktadır. 1000 d/d'daki deneysel çalışmadaki değerler ise Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. 1000 d/d'da emme supabı açılma zamanları

1200 d/d'daki deneysel çalışmadaki değerler ise Şekil 6.3'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. 1200 d/d'da emme supabı açılma zamanları

Deney motoru 1200 d/d'da ise bir çevrimini 100 ms de tamamlamaktadır. Emme supabı ÜÖN'den 5° KMA önce açılıp 225° KMA sonra kapandığında yaklaşık olarak 31,944 ms açık kalmaktadır. Emme supabı ÜÖN'den 10° KMA önce açılıp 225° KMA sonra kapandığında ise 32,638 ms , ÜÖN'den 15° KMA önce açılıp 225° KMA sonra kapandığında ise yaklaşık olarak 33,333 ms açık kalmaktadır.

Silindir içi gaz basıncı ölçümlerinde ise maksimum basınç her bir devirde ÜÖN'den 15° KMA önce supap açılma zamanlarında elde edilmiştir. Emme supabının açık kalma süresinin artması silindir içi basınçlarında da artış sağlamıştır. Ancak, bu artışlarda ÜÖN'den 20° KMA önce ve daha fazla olan supap açılma zamanlarında çok az değişiklikler olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda bobin tasarımında çeşitli problemlerle karşılaşmıştır. Bobin çekme kuvveti, silindir içi basıncını ve supap yayı kuvvetini yenmek zorundadır. Ancak çekme kuvveti yüksek bobinler daha fazla güç harcamakta ve daha fazla alan kaplamaktadır. Ayrıca, bu durumlarda bobinlerde ısınma problemleri de oluşmaktadır. Silindir kapağındaki sınırlı alandan dolayı bobin tasarımının optimum olması gerekmektedir. Karşılaşılan diğer bir sorun da supap oturma hızının yüksek olmasından dolayı gürültü problemleri olmuştur. Farklı tasarımlarda bobinler kullanılarak ve farklı kontrol parametreleri uygulanarak bu problemlerin çözümü gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

Ahmad T., Theobeld M., A survey of variable valve actuation technology, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/891674.

Anlaş A., Aslan A., *Motor Ayarları*, Hilal Matbaacılık, İstanbul, 1980.

Asmus T., Valve events and engine operation, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/820749.

Birgül N., Sekmen P., Bir elektromekanik supap sisteminin değişik çalışma aralıklarındaki dinamik performansının araştırılması ve içten yanmalı bir motorun desteklenme limitlerinin beirlenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 2013, **28**, 607-616.

Boccaletti C., Felice P. D., Santini E., Dynamic analysis of electromechanical valve actuators by means of FEM techniques, *Icem*, Kiev, Ukraine, 5-8 September 2004.

Bohac S. V., Assanis D. N., Effect of exhaust valve timing on gasoline engine performance and hydrocarbon emissions, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/2004-01-3058.

Bosch R. G., *Bosch Automotive Handbook*, 8th ed., Bentley Publishers, Massachusetts, 2006.

Butzman S., Melbert J., Kock A., Sensorless control of electromagnetic actuators for variable valve train, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/2000-01-1225.

Chang S., Parlikar T. A., Seeman M. D., Perreault D. J., Kassakian J. G., Keim T. A., A new electromagnetic valve actuator, *Power Electronics in Transportation*, Michigan, USA, 24-25 October 2002.

Chladny R. R., Koch C. R., Lynch A. F., Modeling automotive gas-exchange solenoid valve actuators, *IEEE Transactions on Magnetics*, 2005, **41**, 1155-1162.

Dresner T., Barkan P., A review and classification of variable valve timing mechanisms, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/890674.

Ganesan V., *Internal Combustion Engines*, 2 nd ed., Tata McGraw-Hill, New Delhi, India, 2003.

Giglio V., Iorio B., Police G., Gaeta A., Analysis of advantages and of problems of electromechanical valve actuators, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/2002-01-1105.

Gould L., Richeson W., Erickson F., Performance evaluation of a camless engine using valve actuation with programmable timing, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/910450.

Gray C. A., Review of variable engine valve timing, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/880386.

Ham Y. Y., Park P., The effects of intake valve events on engine breathing capability, *The 6th International Pacific conference on Automotive Engineering*, Seoul, Korea, 28 October - 1 November 1991.

Hara S., Kumagai K., Matsumoto V., Application of a valve lift and timing control system to an automotive engine, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/890681.

Hendriono D., Valves and valves mechanisms,
<http://otoengines.blogspot.com.tr/2008/08/valves-and-valve-mechanisms.html>,
(Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2014).

Heywood J. B., *Internal combustion engine fundamentals*, 1st ed., McGraw-Hill, New York, 1998.

Hoffman W., Stefanopoulou A., Valve position tracking for soft land of electromechanical valvetrain, *3th IFAC Conference Advances in Automotive Control*, Karlsruhe, Germany, 26-30 March 2001.

Hoffmann W., Peterson K., Stefanopoulou A. G., Iterative learning control for soft landing of electromechanical valve actuator in camless engines, *IEEE Transactions On Control Systems Technology*, 2003, **11**, 174-184.

Holt D., Camless engine, *Automotive Engineering International*, 2000, **14**, 124-130.

Kamış Z., Supaplar için elektromekanik eyleyici tasarımı ve denetiminin araştırılması, Doktora tez, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2006, 198625.

Kamış Z., Yüksel İ., Elektromekanik supap mekanizmalarında tasarım parametrelerinin incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2004, **9**, 45- 58.

Kamış Z., Yüksel İ., Farklı Bir elektromekanik supap mekanizmasının gerçek zamanlı denetimi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2006, **11**, 84-92.

Krauter P., Heuser P., Schebitz M., Strategies to improve SI-Engine performance by means of variable intake lift, timing and duration, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/920449.

Liu L., Chang S., Improvement of valve seating performance of engine's electromagnetic valvetrain, *Mechatronics*, 2011, **21**, 1234-1238.

Nitu C., Gramescu B., Nitu S., Application of electromagnetic actuators to a variable distribution system for automobile engines, *Journal of Materials Processing Technology*, 2005, **161**, 253-257.

Park S., Lee J., Yoo J., Kim D., Park K. Cho Y., A developing process of newly developed electromagnetic valve actuator effect of design and operating parameters, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/2002-01-2817.

Park S., Lee J., Yoo J. Kim D., A study on the design of electromagnetic valve actuator for VVT engine, *KSME International Journal*, 2003a, **17**, 357-369.

Park S., Lee J., Yoo J., Kim D. Park K., Effects of design and operating parameters on the static and dynamic performance of an electromagnetic valve actuator, *Journal of Automobile Engineering*, 2003b, **217**, 193-201.

Peterson K., Stefanopoulou A., Extremum seeking control for soft landing of an electromechanical valve actuator, *Automatica*, 2004, **40**, 1063-1069.

Peterson K., Stefanopoulou A., Wang Y., Control of electromechanical actuators: Valves tapping in rhythm, *Mohammed Dahleh Symposium*, California, USA, 08-09 February 2002a.

Peterson K., Stefanopoulou A., Megli T., Haghgoie M., Output observer based feedback for soft landing of electromechanical camless valvetrain actuator, *Proceedings of American Control Conference*, Alaska, USA, 08-10 May 2002b.

Peterson K., Stefanopoulou, A., Wang Y. Haghgoie M., Nonlinear self-tuning control for soft landing of an electromechanical valve actuator, *IFAC Mechatronics Conference*, California, USA, 09-11 December 2002c.

Pierik R. J., Burkhard J. F., Design and development of a mechanical variable valve actuation system, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/2000-01-1221.

Pischinger M., Salber W., Staay D., Baumgarten H. Kemper H., Benefits of the electromechanical valvetrain in vehicle operation, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/2000-01-1223.

Pournazeri M., Khajepourand A., Fazeli A., An efficient lift control technique in electrohydraulic camless valvetrain using variable speed hydraulic pump, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/2011-01-0940.

Roters H. C., *Electromagnetic devices*, 1st ed., J. Wiley, Weinheim, 1941.

Sadiku M. N. O., *Elements of Electromagnetics*, 5th ed., Oxford University Press, London, 2009.

Safgönül B., Soruşbay E., Arslan M. Ergenaman M., *İçten Yanmalı Motorlar*, 1. Baskı., Birsen Yayınevi, İstanbul, 1999.

Sağıroğlu S., Buji ile ateşlemeli bir motorda elektromanyetik kumandalı supap mekanizmasının tasarımı, imalatı ve uygulanabilirliğinin araştırılması, Doktora tez, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006, 180362.

Sağıroğlu S., Salman M. S., Buji ile ateşlemeli bir motorda elektromanyetik kumandalı supap mekanizması tasarımı, imalatı ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması, *Teknoloji Dergisi*, 2007, **10**, 113-122.

Schechter M., Levin M., Camless Engine, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/960581.

Stivender D. L., Intake Valve Throttling (IVT) – A Sonic Throttling Intake Valve Engine, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/680399.

Stone R., *Introduction to Internal Combustion Engine*, 3rd ed., Mc Millan Publishing, USA, 1999.

Sturman O., Misovec K., Johnson B., Mansouri G., Digital valve technology applied to the control of an hydraulic valve actuator, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/1999-01-0825.

Tai C., Tsao T. C., Control of an electromagnetic camless valve actuator, *Proceedings of the American Control Conference*, Colorado, USA, 04-06 June 2003.

Tanaka H., Toyoda N., Development of a sensor-less electro-hydraulic valve actuator for a cam-less engine, *Proceedings of the 6th JFPS International Symposium on Fluid Power*, Tsukuba, Japan, 07-10 November 2005.

Taşılyol M., Elektro-mekanik denetimli supap sisteminde değişken supap zamanlaması, Yüksek Lisans Tez, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2011, 284282.

Taylor C. F., *The internal combustion engine in theory and practice*, 2nd ed., Mit press, Massachusetts, 1997.

Theobald M. A., Lequesne B., Henry R., Control of engine load via electromagnetic valve actuators, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/940816.

Trevett N. R., X-by-Wire new technologies for 42V bus automobile of the future, Master Thesis, South Carolina Honors Institute, 2005.

Tuttle H. J., Controlling engine load by means of late intake valve closing, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/800794.

URL-1:<http://www.mechadyne-int.com/vvareference/papers/the-impact-of-variable-valve-actuation-on-engine-performance-and-emissions.pdf>, (Ziyaret Tarihi : 1 Nisan 2014).

URL-2:http://data.obitet.net/obitet/genel_motorculuk/Temel_Meslek_Teknolojisi_Ders_Notlari_Motorculuk.htm, (Ziyaret Tarihi : 22 Mart 2014).

URL 3: http://acl.kaist.ac.kr/research_camless.htm (Ziyaret Tarihi : 21 Nisan 2014).

URL-4: <https://www.ai-engines.com/industrial-engines/ie-honda/gx-commercial>, (Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2014).

URL-5: <http://www.diyaudioprojects.com/Solid/ZCA/ZCA.htm>, (Ziyaret Tarihi: 27 Mart 2014).

Wang Y., Megli T., Haghgooie M., Modeling and control of electromechanical valve actuator, *SAE Technical Paper*, DOI: 10.4271/2002-01-1106.

Wang Y., Stefanopoulou A., Haghgooie M., Kolmanovsky I., Hammoud M., Modeling of an electromechanical valve actuator for a camless engine, *5th Int. Symposium on Advanced Vehicle Control*, Michigan, USA, 22-24 August 2000.

Yang Y. P., Liu J. J., Ye D. H., Chen Y. R., Lu P. H., Multiobjective optimal design and soft landing control of an electromagnetic valve actuator for a camless engine, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2013, **18**, 963-972.

EKLER

EK-A ARDUNIO PROGRAM KODLARI

```
int encoder_pin_a=2;
float pulses=0;
float derece;
int pulse_veri=0;
int led_pin =6 ;
int led_pin1 =5;
void setup()
{
  pinMode(encoder_pin_a,INPUT);
  pinMode(led_pin,OUTPUT);
  Serial.begin(115200);
  AttachInterrupt (0,encoder_kesme,RISING);
}
void loop()
{
  if(pulse_veri==1)
  {
    float derece= float (pulses*360)/1024;

    if((derece>=705) || (derece <=220))
    {
      analogWrite(led_pin,255);
    }
    else
    {
      analogWrite(led_pin,0);
    }
    if((derece>=505) || (derece <=15))
    {
      analogWrite(led_pin1,255);
    }
    else
    {
      analogWrite(led_pin1,0);
    }
    if(derece > 720)
    {
      pulses=0;
    }
    Serial.print("deger = ");
    Serial.println(derece);
    pulse_veri=0;
  }
}
void encoder_kesme()
{
  if(digitalRead(encoder_pin_a)==1)
  {
```

```
    pulses++;  
  }  
  pulse_veri=1;  
}
```

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Aygül V., Özsezen A. N., İçten Yanmalı Motorlarda Supap Kontrol Mekanizmaları,
Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED), 2012 , **4**, 15-22.

ÖZGEÇMİŞ

Volkan Aygöl 1987 yılında Sivas'ta doğdu. İlköğrenimini Bolu, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2006 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında mezun oldu. 2011-2012 öğretim yılı başında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim ve Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2012 yılı Ocak ayından beri Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.