

**ALTERNATÖRLERİN OTOMATİK PARALEL BAĞLANMASI İÇİN
EGİTİM AMAÇLI BİR DENEY SETİNİN GELİSTİRİLMESİ VE
ETKİLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

İlhan GARİP

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2008

ANKARA

Ilhan GARIP tarafından hazirlanan “ALTERNATÖRLERIN OTOMATIK
PARALEL BAGLANMASI IÇIN EGITIM AMAÇLI BIR DENEY SETININ
GELISTIRILMESI VE ETKILILIGININ DEGERLENDIRILMESI” adli bu tezin
Doktora tezi olarak uygun oldugunu onaylarim.

Prof. Dr. Ilhami ÇOLAK

Tez Yöneticisi, Elektrik Egitimi Anabilim Dalı

Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR

Tez Yöneticisi, Elektrik Egitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Egitimi Anabilim Dalında
Doktora tezi olarak kabul edilmistir.

Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOGLU

Elektrik Elektronik Mühendisligi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ilhami ÇOLAK

Elektrik Egitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR

Elektrik Egitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Güngör BAL

Elektrik Egitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

Elektronik ve Bilgisayar Egitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih 10/07/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini
onamistir.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BILDIRIMI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranis ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynaga eksiksiz atif yapıldığını bildiririm.

Ilhan GARIP

**ALTERNATÖRLERİN OTOMATİK PARALEL BAĞLANMASI
İÇİN EĞİTİM AMAÇLI BİR DENEY SETİNİN GELİSTİRİLMESİ
VE ETKİLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ
(Doktora Tezi)**

İlhan GARİP

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2008**

ÖZET

Bu çalışmada alternatörlerin paralel bağlantısını gerçekleştirebilecek eğitim amaçlı mikrodenetleyici tabanlı bir deney seti tasarlanmıştır. Tasarlanan deney seti, paralel bağlanma şartlarını yerine getirerek paralel bağlanmayı gerçekleştirmektedir. Gerilim, frekans, faz açısı ve faz sırası ölçümleri PIC16F877 mikrodenetleyicisi tarafından değerlendirilmekte ve şartların uygun olması halinde paralel bağlantı otomatik olarak yapılmaktadır. Öğrencilerin laboratuvar ortamında yapacakları paralel bağlantıya yönelik işlem basamaklarını takip etmeleri ve olabilecek hataları görsel ortamda izlemeleri mümkün olmaktadır. Ayrıca deney setinin koruma özellikleri yardımıyla bağlantı ve işlem hatalarından dolayı olabilecek arızaları önlemek mümkün olabilmektedir. Geliştirilen deney seti alternatörlerin dengesiz yüklenmesi, iki faza kalması, uyarım devresi arızası gibi durumlarda endüstriyel kullanıma yönelik koruma ve uyarı ünitesi olarak da kullanılabilir yapıdadır. Deney setinin eğitim üzerine etkilerini araştırmak amacıyla yönelik olarak çoktan seçmeli 14 sorudan oluşan bir anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışması senkron makineler, DA motoru ve kontrolü alternatörlerin paralel bağlanması

ve otomatik kontrol derslerini almış olanlar arasından seçilen 83 öğrenci ile gerçekleştirilmiştir. Anket çalışması sonucunda sistemin %94 oranında eğitime olumlu olarak katkı sağladığı ortaya çıkmıştır.

Bilim Kodu : 703.3.012
Anahtar kelimeler : Paralel bağlama, faz sırası, faz açısı, frekans ve gerilim esitliği
Sayfa Adedi : 174
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. İlhami ÇOLAK

**DEVELOPING OF AN EXPERIMENTAL SET FOR PARALLEL
CONNECTION OF ALTERNATORS FOR EDUCATION PURPOSES
AND EVALUATION OF IT'S EFFECTIVENESS**

(Ph.D. Thesis)

Ilhan GARIP

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2008

ABSTRACT

In this thesis a microcontroller based experimental unit for parallel connection of alternators for education purposes has been designed and implemented. This experimental set designed detects the incorrect phase order firstly, which is one of the conditions of parallel connection, and corrects it automatically. The other three conditions of parallel connection, the equality of voltages, frequencies and phase angles of two alternators are then obtained by the experimental set. All these measurements are processed numerically by 16F877 microprocessor and the parallel connection is achieved automatically. As a consequence, students can see the faults of parallel connection which occurred during the application in the laboratory studies. Since all the processes of parallel connection of two alternators are visualized, students can find solutions for the faults and prevent them. In addition, the experiment unit developed can be used as an alarm circuit for industrial purposes at the conditions of phase disconnections. The experiment set developed can also be used as a protection or a caution unit in the industry when alternators are unbalance loaded or a collapse occurred in phases or a fault occurred in the caution circuit. A questionnaire including 14 multiple choice type questions carried out to investigate effects of the experiment set on education. The questionnaire performed through 83 students

taking the courses of synchronous machines, DC motor and their controls automatic control and parallel operation of alternators. According to the result of the questionnaire, the system has affirmative effects on education as a rate of 94 percent.

Science Code : 703.3.012

Key Words : Parallel connection of alternators, , equality of frequencies, phase orders, phase angles and voltages

Page Number : 174

Adviser : Prof. Dr. İlhami ÇOLAK

TESEKKÜR

Çalışmalarım boyunca çok değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Danışman Hocam Prof. Dr. İlhami ÇOLAK'a, daima tecrübelerine ihtiyaç duyduğum ve hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEFA'ya, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocalarım Prof. Dr. Güngör BAL, Prof. Dr. Cengiz TAPLAMACIOĞLU ve Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR' a, özellikle uygulama ve programlama çalışmalarında önemli destek ve yardımlarını gördüğüm Öğretim görevlisi Sertaç BAYHAN, Saban ÖZDEMİR, Necmi ALTIN ve Ahmet Senses' e, ayrıca çalışmalarımın yürütülmesinde desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Prof. Dr. Ö. Faruk Bay ve Yrd. Doç. Dr. Sevki DEMİRBAS'a, manevi desteklerini esirgemeyen esime, aileme ve çocuklarıma tesekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında kurumsal olarak çalışmamı destekleyen TRT ve Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na (BAP-07/2007-4 nolu proje) tesekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TESEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiv
SEKİLLERİN LİSTESİ	xv
RESİMLERİN LİSTESİ	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. ALTERNATÖRLERİN PARALEL BAĞLANMASI.....	8
2.1. Paralel Bağlanma	8
2.2. Paralel Bağlanma Şartlarının Kontrolü	10
2.3. Otomatik Paralel Bağlanma Şartları ve Kontrolü	14
2.3.1. Faz sıralarının eşitliği.....	15
2.3.2. Gerilim eşitliği	15
2.3.3. Frekans eşitliği	16
2.3.4. Faz açılarının eşitliği	17
2.3.5. Alternatörlerde yük durumu.....	18
2.4. Otomatik Paralel Bağlanma	18
2.4.1. Otomatik paralel bağlanmada temel değerler	19
2.4.2. Otomatik paralel bağlanmanın özellikleri.....	20

2.4.3. Otomatik paralel bağlanmada korumalar ve iletişim	21
3. SENKRON MAKINALAR.....	25
3.1. Senkron Makinaların Çalışma Prensipleri	26
3.2. Senkron Makinaların Yapısı	27
3.2.1. Stator yapısı	28
3.2.2. Rotor yapısı.....	29
3.2.3 Çikik kutuplu rotor.	30
3.2.4. Yuvarlak (Silindirik) kutuplu rotor.....	31
3.2.5. Alternatör rotor hizinin seçilmesi.....	32
3.3. Senkron Makinaların Esdeğer Devreleri.....	33
3.3.1. Senkron makinaların bir faz esdeğer devreleri	33
3.3.2. Senkron makinaların üç faz esdeğer devreleri.....	34
3.4. Senkron Makinalarda Döner Alan Hızı	35
3.5. Alternatörlerde Üretilen Gerilim.....	35
3.5.1. Alternatörlerde adım ve dağıtım katsayıları	36
3.6. Senkron Makinaların Esdeğer Devreleri.....	38
3.6.1. Silindirik kutuplu senkron makinaların bir faz esdeğer devresi.....	39
3.6.2. Çikik kutuplu senkron makinaların bir faz esdeğer devresi	42
3.7. Senkron Makinaların Esdeğer Devre Parametrelerinin Ölçülmesi.....	43
3.7.1 Senkron makinalarda DA deneyi.....	43
3.7.2. Senkron makinalarda boş çalışma deneyi	45
3.7.3. Senkron makinalarda kısa devre deneyi.....	47
3.7.4. Kısa devre oranı	48
3.7.5. Senkron makinalarda soğutma	48

4. DOGRU AKIM MOTORU, DA MOTOR SÜRÜCÜLERİ VE KONTROLÜ.....	50
4.1. Dogru Akim Motorlari	50
4.1.1. DA Motorunun yolalması	53
4.2. Dogru Akim Motoru Sürücüleri.....	54
4.2.1. Mikrodenetleyici kontrol	55
4.3. Kontrol Sistemi	56
4.3.1. PWM	59
5. PIC MIKRODENETLEYİCİLER.....	62
5.1. PIC Mikrokontrolörlere Giriş.....	64
5.2. PIC Mikrokontrolerlerinin Tercih Sebebepleri	65
5.3. PIC Mikrokontrolörlerin Kullanımı İçin Gerekli Asamalar.....	65
5.4. PIC Mikrokontrolörlerinin Özellikleri	67
5.5. PIC16F877 Mikrodenetleyicisi	68
6. DA/DA KONVERTÖRLER.....	70
6.1. DA/DA Konvertör Kontrolü	71
6.2. Gerilim Dönüştürme Oranları	74
6.5. Step-Down (Buck) konvertör.....	74
7. SIMÜLASYON ÇALIŞMALARI	78
7.1. AA/AA Sinyal Çevirici Arayüz Devresi ve Simülasyonu	78
7.2. Sifir Geçiş Anahtarlama Devresi ve Simülasyonu.....	79
7.3. AA/DA Konvertör Devresi ve Simülasyonu.....	80
7.4. Mikrodenetleyici Devresi ve Simülasyonları.....	81
7.4.1. Gerilim esitliği	82
7.4.2. Frekans esitliği.....	83

7.4.3. Faz sirasi esitligi.....	84
7.4.4. Faz açisi esitligi	85
7.4.1. Sistemin üzerine yük alması.....	87
8. TASARIM VE UYGULAMA	89
8.1. Alternatörlerin Otomatik Paralel Bağlanması Deney Seti Uygulaması.....	91
8.1.1. Faz sirasi esitligi tasarım ve uygulaması	92
8.1.2. Gerilim esitligi tasarım ve uygulaması	95
8.1.3. Frekans ve faz açisi esitligi	99
8.1.4. Yük alma ve paralel bağlantıdan ayrılma	102
8.1.5. Sürme ve röle devreleri	104
8.1.6. Mikrodenetleyici devresi.....	106
8.1.7. Faz kopukluğu kontrol ve alarm devresi.....	108
8.1.8. IGBT anahtar elemanı ve sürücü devreleri	111
8.1.9. IGBT sürücü devresi.....	113
8.1.10. Buck konvertör devresi.....	114
8.1.11. Deney setinde kullanılan DA motor ve senkron motor değerleri ..	115
8.2. Sistemin Bilgisayar Akis Diyagramı.....	116
9. DENEY SETİNİN KULLANIMI VE İŞLEM BASAMAKLARI	119
9.1. Deneye Başlamadan Önceki İşlemler	119
9.2. Deney Sirasında Yapılacak İşlemler	120
9.3. Deney Yapılırken Meydana Gelecek Arızalar ve Giderilmesi.....	125
10. DENEYSEL SONUÇLAR.....	129
10.1. Deney Setinin Osiloskopla Yapılan Ölçüm Sonuçları.....	129
10.2. Deney Setinin Fluke İle Değişik Yüklerde Yapılan Ölçümleri.....	133

Sayfa

11. ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	138
11.1. Anket Sorularına Verilen Cevapların Analizi	139
12. SONUÇ VE ÖNERİLER	149
KAYNAKLAR.....	155
ÖZGEÇMİŞ	159
EKLER.....	161
EK-1 Sefa I., Demirtaş M., Garip I., Çolak I., “Alternatörlerin Paralel Bağlanma Deney Setinin Eğitim Amaçlı Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi” G. Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2007-164 kabul edildi (2008).....	162

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 8.1. Deney setinde kullanılan alternatör ve DA motor etiket değerleri	116
Çizelge 11.1. Hazırlanan ankete verilen cevaplar.	137

SEKILLERİN LİSTESİ

Sekil	Sayfa
Sekil 2.1. İki alternatörün paralel bağlanması.....	8
Sekil 2.2. Senkronoskop.....	10
Sekil 2.3. Karanlık Bağlantı Seması.....	11
Sekil 2.4. Aydınlik bağlantı seması.....	13
Sekil 2.5. Karışık bağlama metodu	13
Sekil 2.6. Alternatörlerin otomatik paralel bağlanma seması	14
Sekil 2.7. Faz Sirasını Otomatik Değiştirme Devresi	15
Sekil 2.8. Gerilim Esitliğinin Otomatik Sağlanması.....	16
Sekil 2.9. Frekans esitliği (Senkron anının kaba ayarlanması)	17
Sekil 2.10. Faz açıları esitliği (Senkronizasyon durumu)	17
Sekil 2.11. Alternatörlerde Yükün Denge Durumu.....	18
Sekil 3.1. Çıkık kutuplu rotor.....	30
Sekil 3.2. Silindirik kutuplu rotor.....	31
Sekil 3.3. Bir fazlı senkron makinanın elektrik devresi	33
Sekil 3.4. Üç fazlı senkron makina	34
Sekil 3.5. Tam adımli bobin ve kısaltılmış adımli bobin ve endüklenen gerilim	37
Sekil 3.6. Dağıtılmış sarımlı bobin ve endüklenen gerilim.....	37
Sekil 3.7. Bir faz stator esdeğer devresi.....	40
Sekil 3.8. Bir faz stator esdeğer devresi ve uyartım sargısı esdeğeri.....	40
Sekil 3.9. Uyartım devresi akımı ve bileşenleri	40

Sekil	Sayfa
Sekil 3.10. Senkron makinanın komple bir faz esdeger devresi	41
Sekil 3.11. Silindirik kutuplu senkron motorun reaktanslari birlestirilmis bir faz esdeger devresi	42
Sekil 3.12. Çikik kutuplu bir alternatörün Esitlik 3.4.3 ve 3.4.4' e göre çizilmis bir faz esdeger devresi.....	42
Sekil 3.13. Çikik kutuplu bir alternatörün basitlestirilmis bir faz esdeger devresi...	43
Sekil 3.14. DA deneyi yapılan senkron makinanın üç faz esdeger devresi	44
Sekil 3.15. Senkron makinanın bos çalışma deneyi için üç faz esdeger devresi.....	46
Sekil 3.16. Senkron makinanın bos çalışma karakteristik egrisi.....	46
Sekil 3.17. Senkron makinanın kısa devre karakteristik egrisi	47
Sekil 3.18.Senkron makinanın kısa devre bir faz esdeger devresi ve fazör diyagrami.....	47
Sekil 4.1. Yabancı uyartimli bir DA motorunun esdeger devresi.....	51
Sekil 4.2. DA motoru seri, sönt ve kompond uyartim devre semalari.....	51
Sekil.4.3. Klasik hiz kontrollü DA sürücünün temel prensip semasi.....	54
Sekil.4.4. DA Motorunun elektronik sürücü devresi	54
Sekil 4.5. PIC kontrollü sistemin blok diyagrami	55
Sekil 4.6. Frekans kontrol ünitesi sinyal blok semasi	57
Sekil 4.7. Frekans esitligi ayar sinyalleri	57
Sekil 4.8. Faz açisi esitligi kontrol devresi sinyalleri blok semasi.....	58
Sekil 4.9. Faz açisi esitligi sinyalleri.....	58
Sekil 4.10. PWM Dalga Yapisi.....	59
Sekil 4.11. Çesitli Duty Cycle Oranlari.....	60
Sekil 4.12. Kare Dalga	60

Sekil	Sayfa
Sekil 5.1. Temel mikrobilgisayar blok diyagramı.....	63
Sekil 5.2. Temel mikroislemci blok diyagramı.....	63
Sekil 5.3. Mikrodenetleyici blok semasi.....	64
Sekil 5.4. Çalışmada kullanılan 16F877 giriş çıkış bilgileri	69
Sekil 6.1. Anahtar mod DA/DA dönüşümü (a) Devresi (b) Kontrol sinyali.....	72
Sekil 6.2. Darbe genişlik modülasyonu.....	73
Sekil 6.3. Buck konvertör DA/DA Konvertör.....	76
Sekil 7.1. AA/AA sinyal algılama arayüz devresi simülasyonu	78
Sekil 7.2. AA/AA sinyal algılama arayüz devresi simülasyon çıkış sinyali	78
Sekil 7.3. Sifir geçiş anahtar simülasyon devresi.....	79
Sekil 7.4. Sifir Geçiş anahtar devresi proteus ortamında gerçekleştirilen simülasyon çalışmasının sinyal çıkış şekilleri.....	80
Sekil 7.5. AD536 entegresi ile proteus ortamında gerçekleştirilen AA/DA konvertörün simülasyon devresi.....	80
Sekil 7.6. AD536 entegresi ile proteus ortamında gerçekleştirilen AA/DA konvertör sim.dev. giriş çıkış dalga şekli	81
Sekil 7.7. Mikro denetleyici simülasyon devresi	81
Sekil 7.8. Gerilim esitliği simülasyon devresi.....	82
Sekil 7.9. Gerilim esitliği simülasyon dalga şekilleri.....	83
Sekil 7.10. Frekans esitliği simülasyon devresi	83
Sekil 7.11. Frekans esitliği simülasyon dalga şekilleri	84
Sekil 7.12. Faz sırası esitliği simülasyon devresi.....	84
Sekil 7.13. Faz açısı esitliği açısal fark sinyalleri simülasyon dalga şekilleri	85
Sekil 7.14. Faz açısı esitliği simülasyon devresi.....	85

Sekil	Sayfa
Sekil 7.15. Paralel baglanmanın simülasyon devresi.....	87
Sekil 7.16. Faz akımları simülasyon bilgileri.....	87
Sekil 7.17. Yük alma simülasyon devresi	88
Sekil 8.1. Otomatik paralel bağlanma ünitesi devresi blok diyagramı.....	91
Sekil 8.2. Faz sırası esitliği uygulama blok seması.....	93
Sekil 8.3. Faz sırası esitliği devresi.....	94
Sekil 8.4. Gerilim esitliği sağlanması blok diyagramı	95
Sekil 8.5. Gerilim algılama devresi.....	96
Sekil 8.6. AA/DA konvertör	99
Sekil 8.7. Frekans ve faz açısı esitliği devresi.....	100
Sekil 8.8. Sifir Geçiş Anahtarı	101
Sekil 8.9. Yük alma ve paralel bağlantıdan ayrılma blok diyagramı	102
Sekil 8.10. Akım algılama devresi	103
Sekil 8.11. Sürme ve röle devreleri.....	104
Sekil 8.12 Mikrodenetleyici giriş ve çıkışları	106
Sekil 8.13. Faz kopukluğu kontrol ve alarm devresi.....	108
Sekil 8.14 Faz kopukluğu mikrodenetleyici devresi.....	110
Sekil 8.15. Faz kopukluğu alarm devresi.....	110
Sekil 8.16. IGBT sembolik gösterilmesi.....	112
Sekil 8.17. IGBT sürücü devre seması.....	113
Sekil 8.18. Buck konvertör (tek anahtarlı azaltan kıyıcı) devre seması.....	115
Sekil 8.19. Sistemin akis diyagramı	117
Sekil 11.1. Anket sorularının tamamına verilen cevapların % dilimleri.....	138

Sekil	Sayfa
Sekil 11.2. Birinci soruya verilen cevapların %' lik dağılımı	139
Sekil 11.3. İkinci soruya verilen cevapların %' lik dağılımı.....	139
Sekil 11.4. Üçüncü soruya verilen cevapların %' lik dağılımı.....	140
Sekil 11.5. Dördüncü soruya verilen cevapların %' lik dağılımı.....	140
Sekil 11.6. Besinci soruya verilen cevapların %' lik dağılımı.....	141
Sekil 11.7. Altıncı soruya verilen cevapların %' lik dağılımı	141
Sekil 11.8. Yedinci soruya verilen cevapların %' lik dağılımı	142
Sekil 11.9. Sekizinci soruya verilen cevapların %' lik dağılımı	142
Sekil 11.10. Dokuzuncu soruya verilen cevapların %' lik dağılımı.....	143
Sekil 11.11. Onuncu soruya verilen cevapların %' lik dağılımı	143
Sekil 11.12. Onbirinci soruya verilen cevapların %' lik dağılımı.....	144
Sekil 11.13. Onikinci soruya verilen cevapların %' lik dağılımı.....	145
Sekil 11.14. Onüçüncü soruya verilen cevapların %' lik dağılımı.....	145
Sekil 11.15. Ondördüncü soruya verilen cevapların %' lik dağılımı.....	146
Sekil 11.16. Onbesinci anket sorusuna katılım durumu.....	146

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Senkron makine kesit görüntüsü.....	26
Resim 3.2. Stator yapısı.....	29
Resim 3.3. Çikik kutuplu rotor.....	30
Resim 3.4. Silindirik kutuplu rotor.....	31
Resim 8.1. Deney seti resmi.....	92
Resim 8.2. Faz sirasi devre resmi.....	93
Resim 8.3. Faz sirasi LCD bilgileri resmi	95
Resim 8.4. Gerilim algilama devresi.....	97
Resim 8.5. Gerilim esitligi LCD bilgileri.....	97
Resim 8.6. AA/DA konvertör devresi resmi	99
Resim 8.7. Faz açisi ve frekans esitligi LCD bilgileri	101
Resim 8.8. Sifir geçiş anahtar devresi resmi	102
Resim 8.9. Akim algilama devresi resmi	103
Resim 8.10. Yük alma LCD bilgileri	104
Resim 8.11. Röle, sürme ve kontaktör devreleri resmi	105
Resim 8.12. Röle ve sürme devreleri LCD bilgileri.....	105
Resim 8.13 Mikrogenetleyici devresi resmi.....	107
Resim 8.14. Faz kopuklugu kontrol ve alarm devresi görüntüsü.....	109
Resim 8.15. Alarm devresi görüntüsü.....	111
Resim 8.16. LCD bilgileri.....	111
Resim 8.17. IGBT resmi	112
Resim 8.18. IGBT ve Mikrogenetleyici PWM sinyalleri osiloskop görüntüsü.....	113

Resim	Sayfa
Resim 8.19. IGBT sürücü devre resmi	114
Resim 8.20. Tasarlanan buck konvertör resmi	115
Resim 8.21. Deney setine ait DA motoru ve alternatör	116
Resim 9.1. Deney seti görünümü	119
Resim 9.2. Kontrol ünitesi ve on/off anahtarı.....	120
Resim 9.3. Deney seti başlangıç LCD ekran bilgisi.....	121
Resim 9.4. DA Motoruna gerilim uygulanıyor LCD bilgisi	121
Resim 9.5. Alternatör gerilim sinyali	121
Resim 9.6. Gerilim esitliği LCD bilgileri.....	122
Resim 9.7. Gerilim esitliği osiloskop bilgileri	122
Resim 9.8. Frekans esitliği bilgileri	122
Resim 9.9. Faz sırası LCD bilgisi	123
Resim 9.10. Kontaktörler	123
Resim 9.11. Sebeke ve alternatör fazları LCD bilgisi.....	123
Resim 9.12. Faz açısı LCD bilgisi.....	124
Resim 9.13. Paralel bağlanma ve yük alma LCD bilgileri.....	124
Resim 9.14. Gerilim esitliği bozuldu LCD bilgisi	125
Resim 9.15. Frekans esitliği bozuldu LCD bilgisi	126
Resim 9.16. Faz kopukluğu LCD bilgisi.....	126
Resim 9.17. R1 faz kopukluğu LCD bilgisi.....	127
Resim 9.18. Dengesiz yük bilgisi.....	127
Resim 9.19. Faz akımı LCD bilgileri.....	127
Resim 9.20. Asiri akımdan dolayı sistem durdurma bilgisi.....	128

Resim	Sayfa
Resim 10.1. Frekans kontrolü %99-%90 PWM orani.....	129
Resim 10.2. Frekans kontrolü %70-%50 PWM orani.....	129
Resim 10.3. Frekans kontrolü %15-%100 PWM orani.....	130
Resim 10.4. Frekans kontrolü %60-%80 PWM orani.....	130
Resim 10.5. Frekans kontrolü %15-%30 PWM orani.....	131
Resim 10.6. Alternatör sebeke senkron ani ve %95 senkron durumu.....	131
Resim 10.7. Sebeke-alternatör çıkis sinyalleri açisal fark ani.....	132
Resim 10.8. Alternatör düşük frekans ayar ani	132
Resim 10.9. Omik yük durumu	133
Resim 10.10.Endüktif yük durumu	134
Resim 10.11. Kapasitif yük durumu.....	135

SIMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
I_s	SM endüvi (stator) akım vektörü (A)
R_s	SM Endüvi direnci (Ω)
$X_{s\ell}$	SM Endüvi kaçak reaktansı (Ω)
E_s	SM Endüvi sargısında endüklenen gerilim vektörü (V)
R_v	SM Uyartım akım ayar direnci (Ω)
R_f	SM Uyartım devresi direnci (Ω)
f_l	SM elektriki frekansı (Hz)
n_s	SM manyetik alanın mekanik hızı (d/d)
p	SM toplam kutup sayısı
Q	SM Stator oluk sayısı
N	Bobinin siper sayısı
f	Bobin sargılarını kesen aki miktarı (Wb)
f_{max}	Nüve akısının maksimum değeri (Wb)
w	SM açısal frekansı (rad/s)
f	SM frekansı (Hz)
k_p	SM adım katsayısı
k_d	SM dağıtım katsayısı
$L_{s\ell}$	SM stator kaçak endüktansı (H)
$\hat{A}_{AG}$	havanın relüktansı (ATur/Wb)
f_s	SM stator toplam kaçak akısı (Wb)
N_s	SM stator siper sayısı (Tur)

Simgeler	Açıklama
V_a	DA endüvi gerilimi (V)
I_a	DA endüvi akımı (A)
R_a	DA endüvi devresi direnci (Ω)
E_a	DA endüvi sargılarında endüklenen gerilim (V)
R_f	DA uyarım devresi sargı direnci (Ω)
V_f	DA uyarım devresi gerilimi (V)
I_f	DA uyarım devresi akımı (A)
T_s	Toplam periyot
t_{on}	İletim süresi
t_{off}	Kesim süresi
D	Darbeleme oranı
$v_{kontrol}$	Güçlendirilen hata sinyali
V_{st}	Osilatör sinyalinin tepe değeri

Kisaltmalar	Açıklama
AA	Alternatif Akım
DA	Dogru Akım
SM	Senkron motor
PI	Oransal-Integral (Proportional-Integral)
PID	Oransal-Integral-Türev (Proportional-Integral-Derivative)
LCD	Likit kristal ekran
PIC	Programlanabilir entegre (mikrodenetleyici)
PWM	Darbe genişlik modülasyonu

1. GIRIS

Günümüzde tüm alicilerin ihtiyacini karsılayabilecek güçte alternatör üretilemediğinden, birden fazla küçük güçlü alternatörler paralel bağlanarak büyük güçlü alicilerin beslenmesi sağlanır. Bu nedenle elektrik şebekelerini besleyen santrallerde birden fazla alternatör bulunur. Yük durumuna göre bu alternatörler kendi aralarında veya şebeke ile paralel bağlanırlar. Alternatörlerin paralel bağlanma işlemini gerçekleştirebilmek için bazı şartlar yerine getirilmelidir. Bir alternatörün başka bir alternatöre veya şebekeye paralel bağlanması işleminde en önemli unsur, akım darbesi ve gerilim dalgalanması oluşturmamaktır. İstenmeyen bu durumların önlenmesi ve paralel bağlanmayı gerçekleştirmek için aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır. Paralel bağlanacak alternatörlerin;

- Gerilimleri eşit,
- Frekansları eşit,
- Döner alan yönleri (faz sıraları) aynı,
- Faz açıları (Paralel bağlama senkronizasyon anında gerçekleştirilmelidir.) eşit,
- Gerilim dalga şekilleri benzer,

olmalıdır. Alternatörler bir çok nedenden dolayı paralel çalışmak zorundadırlar. Büyük güçteki tek alternatörün verimi, aynı yükü besleyen iki yada daha fazla alternatöre göre daha düşüktür ve bir arıza durumunda sistem devre dışı kalacağından, enerji güvenirliliği ortadan kalkmaktadır. Oysaki paralel bağlı küçük güçlü birkaç alternatörle aynı yükün beslenmesi sırasında herhangi bir alternatörün arızalanması durumunda diğerleri güç vermeye devam edeceklerinden, sistemin enerji güvenliği daha yüksek olmaktadır. Yük değişimlerinde ise, verimi yüksek tutmak amacıyla harcanan güç kadar alternatör devreye alınarak sistemin verimi yükseltilebilir. Geleneksel olarak alternatörlerin paralel bağlantısının gerçekleştirilmesinde gerilim, frekans, faz sırası ve faz açıları eşitlikleri lamba ve senkronoskop yardımı ile tespit edilmektedir [1].

Günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak, paralel bağlanma sistemlerinde otomasyon önem kazanmıştır. Otomatik paralel bağlanmada, geleneksel yöntemlerde olduğu gibi faz sırası, faz açısı, frekans ve gerilim esitliği göz önüne alınmaktadır. Bu şartlar, mikrodenetleyici, mikro işlemci ya da bilgisayar kontrollü olarak sağlanmaktadır [2]. Montero ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, türbinler ve senkron makineler IBM-PC ile sinyal devreleri için bir veri toplama kartının kullanıldığı kontrol ve gözlem sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde, sensörler ve mikro bilgisayarlar aracılığı ile yük açısı, faz açısı, güç katsayısı ve frekans kontrol edilerek izlenmektedir [3]. Teng ve arkadaşları bu gelişmeye paralel olarak, mikro işlemci ve LABVIEW tabanlı grafik programlama ile güç sistem harmoniklerinin internet aracılığı ile uzaktan gözlemlenmesini ve ölçümünü gerçekleştirmiştir [4]. Mozina tarafından yapılan çalışmada, paralel bağlanma sisteminin gerilim ve akım bilgilerini değerlendirilmesi, rölelerin kontrolü mikrodenetleyici ile sayısal olarak yapılmaktadır. Bunlara ilaveten sistem parametrelerinin değişiminin alternatör üzerindeki etkileri araştırılmış ve sabit reaktif yük için generatör uyartım akımı ile sistem geriliminin değişmesi yönünden incelenmiştir [5]. Wenhua ise, diğer bir çalışmada kontrollü doğrultucuyu besleyen paralel bağlı dizel generatör setlerinin kontrol parametrelerini hız, uyartım ve yük paylaşımını dikkate alarak hesaplamıştır [6]. Elberly ve Schaefer tarafından yapılan çalışmada generatörlerin paralel bağlanabilmesi için generatörlerin benzer karakteristik özelliklerde olması ve frekans farkı, faz açısı farkı ve gerilim farklarının minimum olması gerekliliklerini göstermiştir [7]. Walsh ve arkadaşlarının yaptığı bir başka çalışmada, motor-generatör setlerinde ölçümler yapabilen sistemler geliştirilmiş ve üniversite öğrencilerinin yaptığı deneylerin sonuçları olan çeşitli elektriksel ve mekaniksel değerleri ekranda görebilmeleri sağlanmıştır [8]. Godhwani ve Basler yaptıkları çalışmada, senkron generatörün uyartım akımını mikro işlemci ile kontrol ederek çıkış gerilimini sabit tutmuşlardır. Bu işlemi gerçekleştirirken PID algoritmalarından faydalanarak tasarladıkları sayısal uyartım sistemini kullanmışlardır [9]. W. Liu ve arkadaşları tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise, kontrollü doğrultucuyu besleyen paralel bağlı dizel generatör setleri kullanılmıştır. Sistem esas olarak, çoklu ayarlanabilir, doğrusal hız kontrol teknikleri, uyartım ve yük paylaşımı dikkate alınarak tasarlanmıştır [10]. Henderson ve arkadaşları

tarafından yapılan çalışmada, geleneksel metodların dışında ve LABVIEW program paketi ile küçük hidroelektrik santrallerin kontrolü ve izlemesi yapılmıştır [11]. LaMeres tarafından yapılan çalışmada ise, bir senkron generatörün çıkış gerilimini regüle etmenin fuzzy/logic tabanlı bir denetleyici ile nasıl gerçekleştirileceği anlatılmaktadır [12].

Bu tez çalışmasının temel amacı, alternatörlerin paralel bağlanmasını otomatik olarak sağlayacak bir sistem tasarlamak ve uygulamasını gerçekleştirmektir. Tasarlanan sistemde, alternatöre mekanik enerji, doğru akım (DA) motoru ile sağlanmaktadır. DA motorları, yüksek kalkış momenti sağlayabilmekte ve geniş bir aralıkta hız kontrolüne imkan tanımaktadır [13]. DA motorlarının kontrol işlemi kolaydır. Bunun yanında DA motor sürücü devreleri hem basit, hem de ucuzdur [14-18]. Tez çalışmasında, sürücü tasarımının basit olması ve doğrusal ayarlanabilir hız uygulamalarına ihtiyaç duyulmasından dolayı DA motoru tercih edilecektir.

Çalışmada, Frekans esitliği ve faz açısı esitliğinin sağlanabilmesi için DA motorunun hızı kontrol edilmektedir. DA motor hız kontrolü ise, endüvi gerilimi ayarlanarak sağlanmaktadır. Gerilim esitliğini sağlamak için alternatör uyartım sargısı gerilimi kontrol edilmektedir. Bu tür kontroller ise, hazırlanan deney setinde DA/DA konvertör sistemleri ile sağlanmaktadır. Gücün DA' dan DA' ya dönüştürülmesi anahtarlama tip güç konvertörleri ile sağlanır. Konvertörler reaktif elemanlar ve anahtarlardan meydana gelir. Çalışma prensibi devrede kullanılan anahtarların iletim ve kesim sürelerinin ayarlanması ile yapılır. Yükü besleyen gerilimin frekansı büyük değerlerde ise, pratik olarak yüke kesintisiz DA güç aktarımı mümkün olur [19-21]. Bu tip konvertörlerin verimli işletimi, reaktif elemanların uygun konfigürasyonuna ve uygun anahtarlama metodlarına bağlıdır. Yaptığımız çalışmada, kontrol sistemi olarak motor gücünün de düşük olması göz önüne alınarak tek anahtarlı buck konvertör (Azaltan kıyıcı) tercih edilmiştir. Anahtarlama elemanı olarak ise IGBT kullanılmıştır. IGBT' leri yüksek anahtarlama sinyallerinde kullanmak mümkündür [22-24].

Konvertör devrelerinin ve deney setinin diğer kısımlarının kontrolü ise PIC16F877 mikrodenetleyicisi ve C programlama dilinde hazırlanmış yazılım ile sağlanmıştır. PIC serisi mikrodenetleyiciler, EEPROM hafızası ve ADC özelliğinin bir arada bulunmasının yanı sıra;

- Fiyatının oldukça ucuz olması,
- Kolay temin edilmesi,

gibi avantajlara sahiptir [25-28]. Bunun yanı sıra mikrodenetleyici hafızasına yazılan program kayıtlarının silinip yenilenebilme özelliğine de sahiptir.

Çalışmada hedeflenenlerden bir diğeri ise, elektrik makinaları laboratuvarına ait bir alt yapı oluşturmakla birlikte tez çalışmasında gerçekleştirilen deney setini, yapılacak deneysel çalışmalarda kullanmaktır. Bu çalışmada, yazılım CCS C (Custom Computer Services Inc.) adında bir C derleyici program dilinde hazırlanmıştır. CCS C derleyicisi içinde bulunan hazır fonksiyonların yanında çevresel birimler ve iletişim protokolleri için hazır bir çok kütüphane dosyası bulunmaktadır [29]. Bu yazılım yardımı ile mikrodenetleyici tarafından, alternatörlerin paralel bağlanma şartlarından olan; faz sırası esitliği, gerilim esitliği, frekans esitliği ve faz açısı esitliğini sağlayan bir devre tasarlanmakta ve uygulaması gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştirilen deney seti, yazılım ve yazılım komutları doğrultusunda çalışan donanımdan oluşmaktadır. Donanım ise DA motor-alternatör seti, buck konvertör devreleri, mikrodenetleyici tabanlı koruma ve alarm devresi, otomatik paralel bağlanma ünitesi ve bu üniteye gerekli bilgileri ulaştıran gerilim ve akım algılama devreleri, AA/DA konvertör, faz sırası kontrol devresi ve sıfır geçiş anahtar devresinden oluşmaktadır.

Sistemin kontrolünü sağlayacak program yazılımı hazırlanmadan önce alternatörlerin paralel bağlanmasının temel kriterleri göz önüne alınarak bilgisayar akis diyagramı çıkartılmıştır. Gerekli kontrolleri sağlayacak bir mikrodenetleyici seçimi yapıldıktan sonra simülasyon çalışmaları için PROTEUS bilgisayar programı kullanılmıştır. PROTEUS programı; elektronik alanında en yetenekli, devre çizimi, benzetim ve

baskili devre çizimi yapabilen programlardan birisidir [30]. Bu program yardımı ile sistem ve sistemde kullanılan devrelerin tasarımları sanal ortamda hazırlanmaktadır.

Sistemde temel kriterlerden olan gerilim, frekans, faz açısı ve faz sırası esitliğini sağlayabilmek için gereken çalışma sinyallerine uygun akım ve gerilim algılama devreleri hazırlanarak, bu sinyalleri mikrodenetleyici girişlerine uygun DA sinyaline dönüştürecek AA/DA konvertör devresi ve kare dalgaya dönüştürecek sıfır geçiş anahtar devresi tasarlanarak uygulaması gerçekleştirilmektedir. Sistemde frekans esitliği ve faz açısı esitliğini sağlamak için DA motorunun hızı kontrol edilmektedir. Gerilim esitliğinin sağlanması alternatör uyarım sargısına uygulanan DA gerilim değeri ayarlanarak gerçekleştirilmektedir. Sistemde faz sıralarının esitliği ise, döner alan yönü esasına göre çalışan faz sırası rölesi ile sağlanmaktadır. Faz sırası rölesinin çıkış sinyali mikrodenetleyicinin sayısal girişine uygulanmaktadır. Mikrodenetleyici ise gelen sinyal doğrultusunda devreye aldığı kontaktörler yardımı ile faz sırası esitliğini sağlamaktadır.

Paralel bağlanma deney seti ve çalışan mekanizmaların güvenliği ise, tasarlanarak uygulaması gerçekleştirilen faz kopukluğu ve kontrol ünitesi yardımı ile sağlanmaktadır. Bu sistemi devreye otomatik paralel bağlanma ünitesi almaktadır. Faz kopukluğu ve alarm ünitesi sistemde meydana gelen her arıza sonrasında paralel bağlanma ünitesinin çalışmasını otomatik olarak sonlandırmaktadır. Çıkışına bağlı sesli ve ışıklı alarm devreleri yardımı ile de sistem operatörünün uyarılması sağlanmakta ve arıza giderilinceye kadar paralel bağlanma ünitesinin çalışmasını engellemektedir.

Paralel bağlanma gerçekleştirildikten sonra, sistem otomatik olarak alternatörün üzerine yük alınmasını sağlamaktadır. Yükte oluşabilecek dengesizliklerin ölçümü, akım algılama devresi tarafından alınan yüke ait sinyallerin AA/DA konvertör devresinde DA'ya dönüştürülmesi ve bu sinyallerin mikrodenetleyici tarafından kontrol edilmesi ile sağlanmaktadır. Yükte bir dengesizlik olduğunda ve bu dengesizlik çalışma sınırları dışına çıktığında, sistem ve sisteme ait yazılım, alternatörün otomatik olarak devre dışı kalmasını sağlayacak şekilde tasarlanmakta

ve uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Yükteki dengesizlik, alternatör fazları arasındaki akım oranının $1/3$ ' ü aşması ve alternatörün akım kapasitesinin üzerine çıkması durumlarında meydana gelmektedir [31].

Çalışmadaki nihai hedef ise, tasarlanarak uygulaması gerçekleştirilen eğitim amaçlı deney setinin etkililiğinin araştırılmasıdır. Araştırma konusuna yönelik olarak deney seti üzerinde eğitimleri tamamlanan öğrencilere yönelik anket çalışması hazırlanmıştır. Anket çalışması ve deneysel sonuçların yorumlanması ile gerçekleştirilen çalışma sonucunda sistemin etkililik derecesi ortaya konulmaktadır.

Bu tez çalışması on iki bölüm olarak hazırlanmıştır. Tezin giriş bölümünde alternatörlerin paralel bağlanmasının gerekliliği ve yapılan çalışmalar anlatılmış ve literatür özeti çıkarılmıştır. İkinci bölümde, alternatörlerin paralel bağlanması ve paralel bağlamada dikkat edilmesi gereken unsurlara yer verilmektedir. Bunun yanında paralel bağlanma gerçekleştirildikten sonra yük alma ve paralel bağlanma şartları bozulunca yapılacak işlemler detaylı olarak incelenmektedir. Üçüncü bölümde ise, senkron makinelerin yapısı, karakteristikleri, çeşitleri, esdeğer devreleri ve parametrelerinin ölçümleri konuları ele alınmaktadır. Dördüncü bölümde alternatöre hareket enerjisini sağlayan DA motorları anlatılmakta, DA motor sürücüleri ve sürücülerin kontrolü hakkında genel bilgi verilmektedir. Beşinci bölümde, hazırlanan deney setinin tüm kontrolünü sağlayan PIC mikrodenetleyicisi, PIC mikrodenetleyicisinin özellikleri, kullanım alanları, kullanım aşamaları ve tercih sebepleri ele alınmaktadır. Tezin altıncı bölümünde, tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen deney setinde DA motor hız kontrolünü ve alternatör uyarım sargısı kaynak gerilimini sağlayan buck konvertörler (azaltan kıyıcılar) anlatılmaktadır. Yedinci bölümde ise, tasarlanan deney setinde kullanılan devrelerin uygulamaları gerçekleştirilmeden önce yapılan simülasyon çalışmaları ve sistemin kontrolünü sağlayan mikrodenetleyicinin C programlama dilinde hazırlanan yazılım ile gerçekleştirilen benzetim çalışmaları ele alınmaktadır. Çalışmanın sekizinci bölümünde benzetim çalışmaları tamamlanan deney seti, deney setinde kullanılan devreler ve bu devre elemanlarına ait bilgilere yer verilmektedir. Dokuzuncu bölümde, gerçekleştirilen deney setinin kullanımı ve meydana gelebilecek arıza

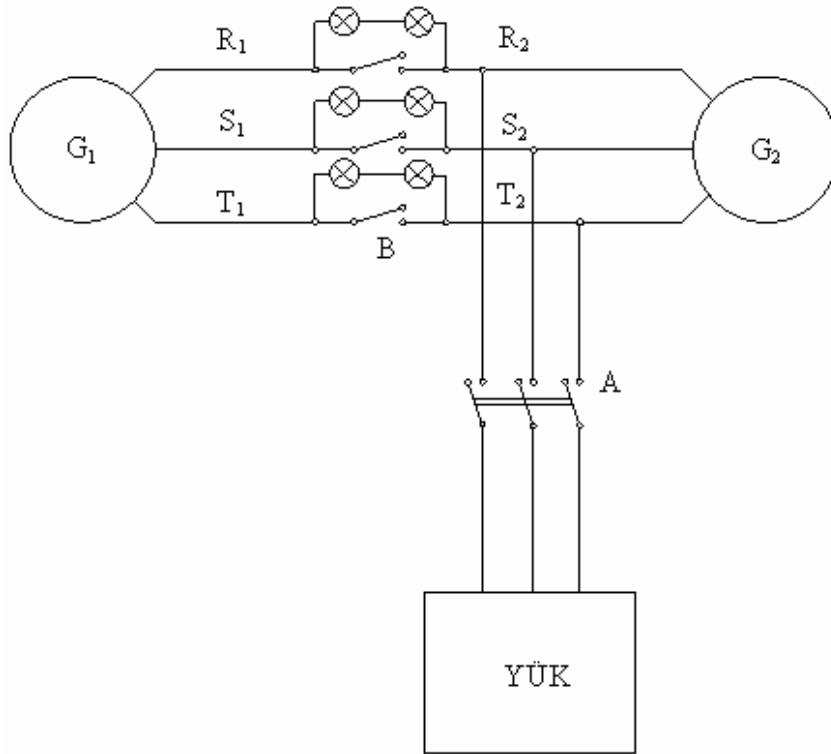
durumlarında yapılacak müdahalelere ait işlem sıraları ele alınmaktadır. Tez çalışmasının onuncu bölümünde ise, deney seti ile değişik yüklerde gerçekleştirilen deneyler, bu deneylere ait sonuçlar ve bu sonuçların analizleri yapılmaktadır. Onbirinci bölümde tez çalışmasında tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen deney setinin ölçme ve değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu bölümde, teknik eğitim ve mühendislik öğrenimi gören öğrencilere yaptırılan deneyler hakkında hazırlanan anket çalışması ve ankete verilen cevapların analizleri de yer almaktadır. Onikinci bölümde ise, çalışmanın genel bir değerlendirilmesi yapılmakta ve çalışmanın sonuçları incelenmektedir. Alınan sonuçlar doğrultusunda öneriler sunulmaktadır.

2. ALTERNATÖRLERİN PARALEL BAGLANMASI

Bu bölümde alternatörlerin paralel bağlanması hakkında genel bilgiler verilecek geleneksel paralel bağlanma metodları ve otomatik paralel bağlanma ile ilgili temel kriterler anlatılacaktır. Ayrıca paralel bağlanma gereklilikleri hakkında temel bilgiler aktarılacaktır.

2.1. Paralel Bağlanma

Günümüzde tüm alıcıların ihtiyacını karşılayabilecek güçte alternatör üretilemediğinden, birden fazla küçük güçlü alternatör kendi aralarında paralel bağlanarak büyük güçlü alıcıları beslerler.



Sekil 2.1. İki alternatörün paralel bağlanması

Bir alternatörün tek basına müstakil yükleri beslemesi ise nadiren rastlanan bir uygulamadır. Tüm yükler aynı sebeke üzerinden beslenmektedirler. Buradan, bir

alternatörün beslediği yükün değişken olduğu söylenebilir. Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi alternatörlerin paralel bağlanmasını gerektiren sebepler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Bir alternatöre göre, çok alternatör daha fazla güçteki yükleri besleyebilirler.
- Birden fazla alternatörün paralel bağlanarak yükü beslemesi sistemin güvenilirliğini artırır. Alternatörlerden birisinin arızalanması durumunda yükün tamamı enerjisiz kalmaz.
- Paralel bağlı alternatörlerden bakıma ihtiyacı olanlar devre dışı alınabilir. Bu durumda yükü diğer alternatörler beslerler.
- Belirli bir güçteki yükü tek alternatör besliyor ise, yük miktarı azaldığında bu alternatör tam yükünde çalışmayacağından verimi düşer. Fakat aynı güçteki yükü birden fazla küçük güçlü alternatörler besliyorsa, yükün azalması durumunda azalan yük miktarı kadar alternatör devre dışı yapılarak, diğer alternatörlerin daha verimli çalışması sağlanır.

Ancak tüm bu nedenlerden dolayı alternatörlerin paralel bağlanabilmesi için bazı şartların sağlanması gerekmektedir.

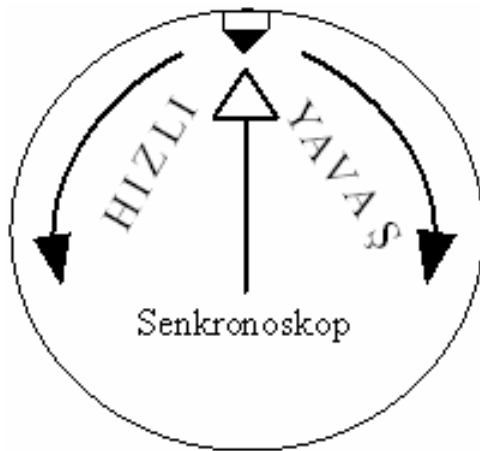
- G_1 ve G_2 alternatörlerinin terminal gerilimlerinin faz sıraları aynı olmalıdır. Yani; ($R_1-S_1-T_1$ ve $R_2-S_2-T_2$) gibi.
- G_1 ve G_2 alternatörlerinin aynı fazlarına ait terminal gerilimleri eşit olmalıdır ($V_1=V_2$).
- G_1 ve G_2 alternatörlerinin frekansları eşit olmalıdır ($f_1=f_2$) veya G_2 'nin (paralel bağlanacak olanın) frekansı G_1 'in frekansından çok az bir miktar fazla olmalıdır.

- G_1 ve G_2 alternatörlerinin aynı fazlarına ait gerilimlerin faz açılarının aynı olması gerekir. Yani senkronize anının yakalanması gerekir [31].

2.2. Paralel Bağlanma Sartlarının Kontrolü

Paralel bağlanma şartlarının kontrolü aşağıdaki gibi yapılır.

- *Gerilim kontrolü:* Gerilimler arası fark varsa alternatör uyartım akımı ayarlanarak istenilen değer elde edilir.
- *Frekans eşitliği kontrolü:* Frekans devir sayısı ile ilgili olduğundan Alternatör milinin devir sayısı kontrol edilerek bu eşitlik sağlanır.
- *Faz sıralarının aynı olması:* Döner alan yönlerinin aynı olması demektir. Dönüş yönünün değiştirilmesi ile sağlanır. Alternatör bağlantı uçlarının ikisinin yerinin değiştirilmesi ile sağlanır.
- *Senkron anının belirlenmesi:* Paralel bağlanacak alternatörlerin gerilimleri arasındaki faz farkının sıfır olduğu anın yakalanmasıdır. Bu an aşağıdaki metotlarla belirlenir.



Sekil 2.2 Senkronoskop

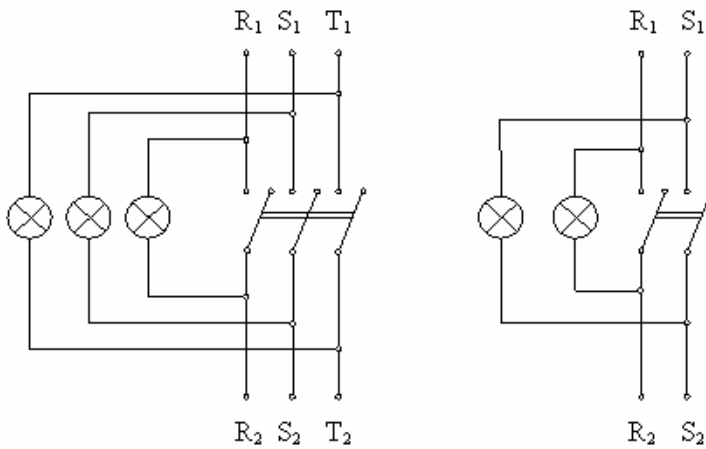
Senkronoskop: Rotordan beslenen bir endüksiyon motorudur. Aletin ibresi stator ve rotorunda meydana gelen döner alanın etkisi ile hareket eder. İbre senkron isareti üzerine geldiğinde gerilimler arasındaki faz farkı sıfırdır. Şekil 2.2.'deki anda paralel bağlanma gerçekleştirilmelidir.

Sifir voltmetresi metodu: Sifir voltmetresi her iki alternatörün aynı adlı uçlarına bağlanır. Gerilimler aynı fazda ise 0 (sifir)'i gösterir. Bu anda paralel bağlanma gerçekleştirilmelidir.

Lamba montajları: Senkronize anının belirlenmesi için görsel izleme metodudur. Üç şekilde yapılır.

- **Karanlık bağlama** (Sönen ışık): Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi bir ve üç fazlı sistemlerde kullanılır. Lambalar alternatörlerin her ikisinin aynı adlı uçlarına bağlıdır. Alternatör gerilimleri arasında frekans farkı bulunursa, lambalar yanıp sönerler. Yanıp sönmeye anlarının kısıllığı frekans farkının küçüklüğünü, uzunluğu ise frekans farkının büyüklüğünü gösterir.

$$E_R = E_{G1} - E_{G2} \quad \text{veya} \quad E_R = E_{G2} - E_{G1} \quad (2.2.3)$$



Şekil 2.3. Karanlık Bağlantı Seması

Sebeke gerilim vektörünü oluşturan hız w_{G1} Esitlik 2.1.'de verilmiştir.

$$w_{G1} = 2pf_{G1} \quad (2.1.1)$$

Paralel girecek alternatör gerilim vektörünü oluşturan hızı w_{G2} Esitlik 2.2.1.'de verilmiştir.

$$w_{G2} = 2pf_{G2} \quad (2.2.2)$$

Sekil 2.3.'deki bağlantıda R fazındaki lambada bulunan gerilim E_R 'nin değeri Esitlik 2.3., 2.4., 2.5., 2.6.'da verilmiştir.

$$E_{G1} = E_{\max} \sin w_{G1}t \text{ ve } E_{G2} = E_{\max} \sin w_{G2}t \text{ olur.} \quad (2.2.4)$$

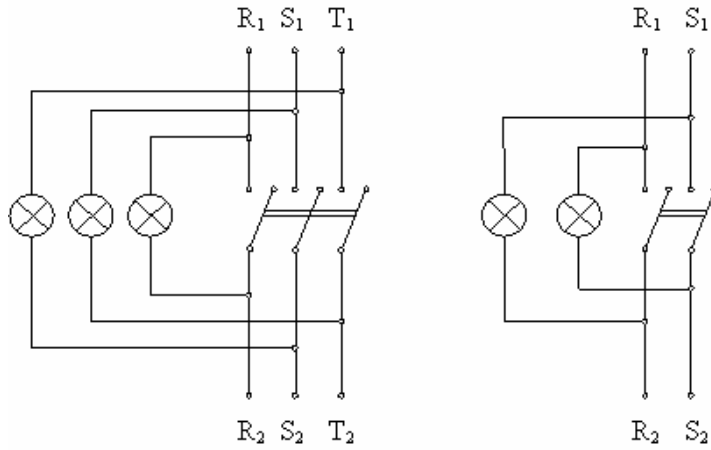
$$E_R = E_{\max} \sin w_{G2}t - E_{\max} \sin w_{G1}t \quad (2.2.5)$$

$$E_R = 2E_{\max} \sin\left(\frac{w_{G2} - w_{G1}}{2}t\right) * \cos\left(\frac{w_{G2} + w_{G1}}{2}t\right) \quad (2.2.6)$$

Gerilimler eşit ve senkronize olduğu anda $E_{G1} = E_{G2}$ sönerler. Bu anda paralel bağlanma gerçekleştirilir. Lamba gerilim değerini $E_{G1} + E_{G2}$ kadar seçmek gerekir.

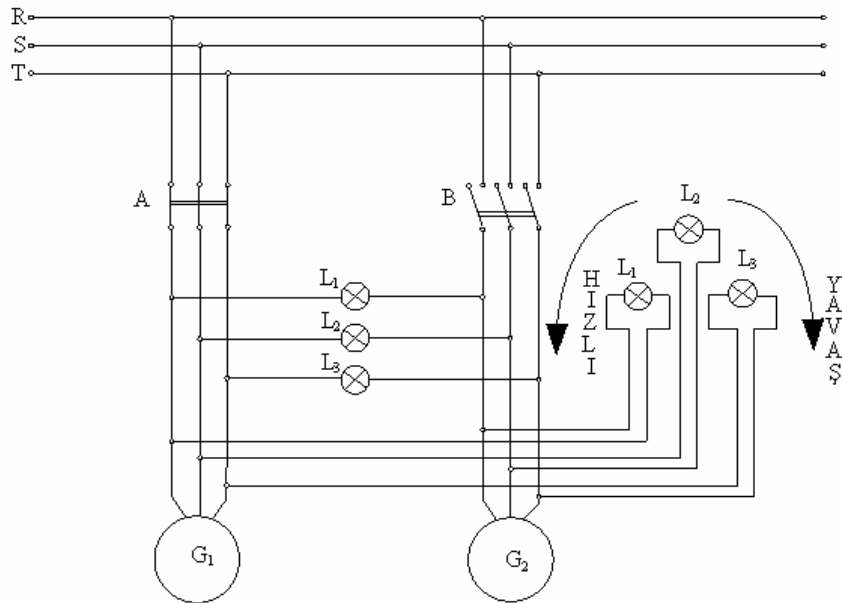
- **Aydınlık bağlama:** Bir fazlı sistemlerde iyi sonuç verir ve kullanılır. 3 fazlı sistemlerde kullanılmaz. Değişik adlı uçlar arasına (R_1 - S_2 gibi) lamba grupları Sekil 2.4.'deki gibi bağlanır. Lambaların uçlarındaki gerilim, faz geriliminin iki ($2E_f$) kati olduğu zaman lambalar en parlak şekilde yanmaya başlarlar. Fakat bu an senkron anı değildir. Lamba uçlarındaki gerilim, faz geriliminin $\sqrt{3}E_f$ kati olduğu zaman faz ve gerilim farkının bulunmadığı senkronize anıdır. Bu zaman üç fazlı alternatörlerde gözle tespit edilemediği için aydınlık bağlantı sadece bir fazlı

alternatörlerin paralel bağlanmasında kullanılır. Paralel bağlanmaya geçme zamanı $2E_1$ veya $2E_2$ anında değil de, senkron anı olan $\sqrt{3}E_1$ veya $\sqrt{3}E_2$ olduğu zaman olmalıdır.



Şekil 2.4. Aydınlik bağlantı seması

- **Karisik baglama:** Üç fazlı sistemlerde kullanılır. Senkron anında karanlık bağlantı lambaları sönerken aydınlik bağlantı lambaları en parlak şekilde yanmaya baslarlar. Lamba uçlarındaki gerilim değeri 0 ile $2E_f$ değeri arasında değişmektedir.



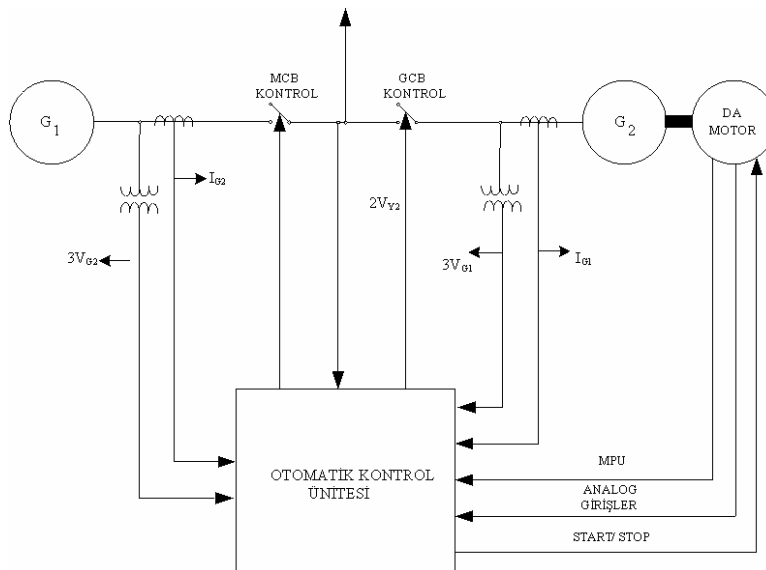
Şekil 2.5 . Karisik bağlama metodu

- Bu bağlantıda hem yanan hem sönen lamba grupları bulunduğu için yanıp sönmeler alternatör frekansına bağlı olarak belirli bir yönde yanıp sönerler. Senkronize ani R_1 - R_2 arasındaki lambaların söndüğü diğer lambaların en parlak olduğu andır. Paralel bağlanma Şekil 2.5.'de görüldüğü anda yapılmalıdır. Yukarıda anlatılan ve genellikle el ile yapılan bu türden paralel bağlantı teknikleri günümüzde çoklu olmayan ve eğitim amaçlı uygulamalarda görülmektedir [32].

2.3. Otomatik Paralel Bağlanma Şartları ve Kontrolü

Gerilim, frekans, faz açısı gibi temel ölçümlerin dışında alternatör ve yükü korumak için diğer gerekli parametrelerde günümüz paralel bağlantı otomasyonunda gelişmiş mikroislemciler veya sayısal sinyal işlemciler yardımıyla yapılabilmektedir. Bu otomasyonun görsel hale getirilmesi sonucunda endüstriyel bir sistem eğitim amaçlı olarak güvenilir bir şekilde kullanılabilir.

Alternatörlerin kendi aralarında veya şebekeyle otomatik paralel bağlanması esnasında ve devamında Şekil 2.6.'daki yoğun matematik işlemler, harici analog ve sayısal girişlerin yanında kesme girişleri de kullanılmaktadır. Koruma ve bilgilendirme amaçlı olarak ise sayısal çıkışlar kullanılmaktadır [33].

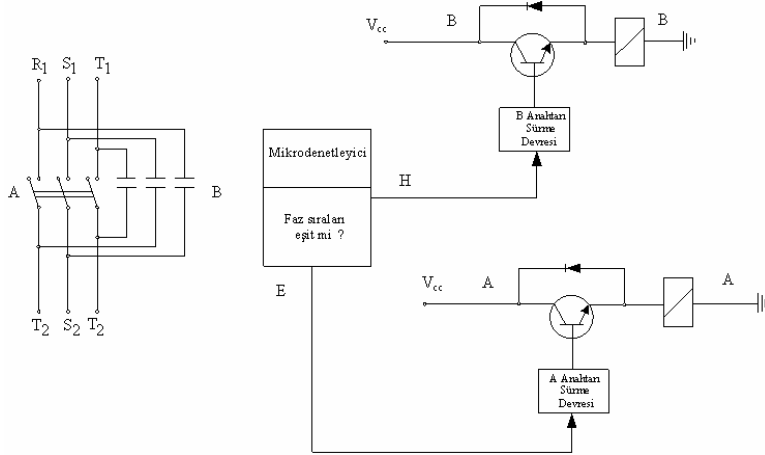


Şekil 2.6. Alternatörlerin otomatik paralel bağlanma şeması

2.3.1. Faz sıralarının esitliği

Gerilim algılayıcı devresinden gelen G_1 ve G_2 fazlarına ait olan sinüs dalga şekilleri mikrodenetleyici tarafından karşılaştırılır. Faz sıraları aynı ($R_1-S_1-T_1$ ve $R_2-S_2-T_2$) ise Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi faz sıraları esit olduğundan mikrodenetleyici "A" anahtarına ait sürme devresini tetikler ve "a" kontaktörünün kontakları kapatılarak paralel bağlanma gerçekleştirilir. G_1 ve G_2 fazlarının sıraları farklı ise ($R_1-S_1-T_1$ ve $S_2-R_2-T_2$ gibi) döner alan yönleri terstir. Alternatörler farklı yönlerde dönmektedir.

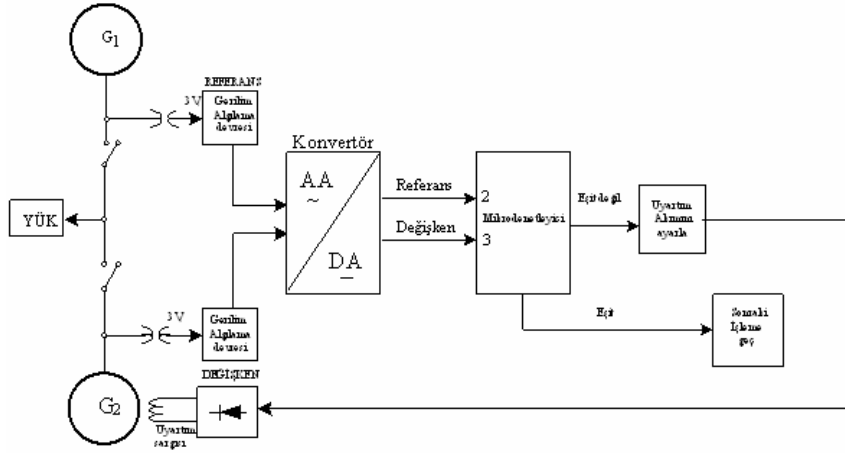
Mikrodenetleyici "B" anahtarlama elemanının sürme devresini tetikler. Anahtarlama elemanı "b" kontaktörünü çalıştırır ve "b" kontakları kapanarak faz sırasını değiştirir. G_1 ve G_2 'nin döner alan yönleri esitlenir. Alternatörlerin paralel bağlanma şartlarından faz sırası esitliği otomatik olarak sağlanmış olur. Bu işlem sadece bir kez gerçekleştirilir.



Şekil 2.7. Faz Sırasını Otomatik Değiştirme Devresi

2.3.2. Gerilim esitliği

Şekil 2.8.'deki blok diyagramda görüldüğü gibi G_1 ve G_2 alternatör fazlarından düşürücü gerilim transformatörü ile algılanan her faza ait gerilimler AA/DA konvertör devresinde DA seviyeye dönüştürülür.

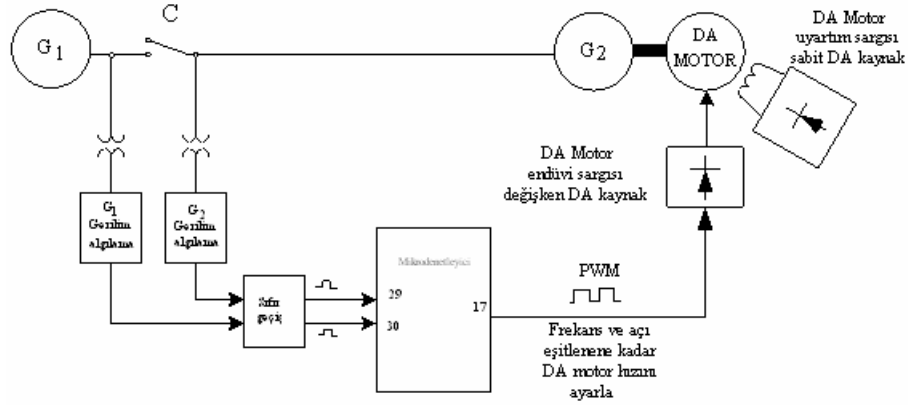


Sekil 2.8. Gerilim Esitliğinin Otomatik Sağlanması

Aynı adlı olanlardan (R_1 - R_2 , S_1 - S_2 , T_1 - T_2 gibi) iki tanesi karşılaştırılmak üzere mikrodeneleyici analog girişlerine uygulanır. G_1 referans kabul edilir. G_2 değişken olarak girilir. Aralarında fark var ise mikrodeneleyici tarafından üretilen PWM sinyalinin darbeleme oranı değiştirilerek G_2 alternatörünün uyarım sargı gerilimi ayarlanır. G_1 ve G_2 terminal gerilimleri eşitleninceye kadar bu işlem devam eder. Terminal gerilimleri eşitlendikten sonra mikrodeneleyici paralel bağlanma şartlarından frekans eşitliğini sağlamak için bir sonraki kontrollere baslar.

2.3.3. Frekans eşitliği

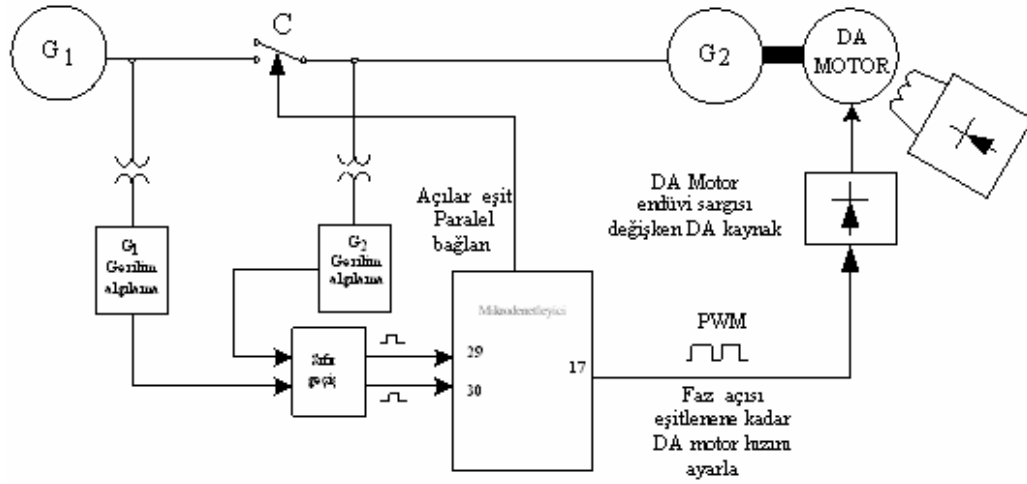
Sekil 2.9.'da G_1 ve G_2 'ye ait fazlardan düşürücü gerilim transformatörü ile algılanan her faza ait gerilimlerden aynı adlı olanlar (R_1 - R_2 , S_1 - S_2 , T_1 - T_2 gibi) sıfır geçiş anahtar devresinde kare dalga sinyale dönüştürülür. Kare dalga sinyaller mikrodeneleyicinin sayısal girişleri olan 29 ve 30 nolu pinlere girilir. Sebekeye ait olan kare dalga sinyal referans kabul edilir. Alternatör sinyali değişkendir. Her iki sinyalin sıfır olma anları sayılır. Sifra düşme anlarında fark varsa mikrodeneleyici ürettiği PWM sinyalinin darbeleme oranını değiştirmek suretiyle DA motorunun ayarlamaya baslar. Sinyallerin sifra düşme anları eşit olduğunda mikrodeneleyici ayarlam işlemi bitirir. Bu anda ($f_1=f_2$) frekans eşitliği sağlanmıştır. Mikrodeneleyici faz açısı kontrolüne baslar.



Sekil 2.9. Frekans esitligi (Senkron aninin kaba ayarlanması)

2.3.4. Faz açılarının esitligi

Sekil 2.10.'daki blok diyagramda görüldüğü gibi frekans esitligi ile kaba senkronizasyon saglandıktan sinyallerin arasındaki açısal farkında sıfır olması sağlanmalıdır.



Sekil 2.10. Faz açıları esitligi (Senkronizasyon durumu)

Sıfır geçiş anahtar devresinden gelen sinyaller mikrodenetleyicide karşılaştırılır. Her iki sinyalin sıfır olma anları farklı ise arasındaki fark kadar mikrodenetleyici ürettiği PWM sinyalinin darbeleme oranını değiştirerek DA motorunun hızını ayarlar. Bu

2.4.1. Otomatik paralel bağlanmada temel değerler

Alternatörlerin otomatik paralel bağlanmasındaki temel değerler ve açıklamaları ise;

Analog giriş bilgileri:

Alternatör-sebeke gerilimleri ve akımları, alternatör uyarım akımı, gerilimi ve çevre sıcaklığı bilgileri.

Sayısal girişler

Devir veya frekans bilgisi, motorlu salter veya kontaktörlerin açık, kapalı, uyarı bilgileri, acil durum kapatma bilgisi ve diğer cihazlarla haberleşme girişi.

Sayısal Çıkışlar

Salter veya kontaktör gibi cihazların kontrol çıkışları, diğer cihazlara uyarı ve bilgi gönderen çıkışlar ve gerekli durumda kullanılacak sürme sinyaller (PWM vb).

Kesme Girişleri

Faz açısı, devir gibi kritik ve çok hızlı olması gereken ölçümleri yapan girişlerdir.

Analog Giriş-Çıkışlar

Yapılması gerekli olan bu giriş ve çıkışlardan bilgi gönderilmesi ve okunmasının yanında aşağıda belirtilen hesaplamaların da paralel bağlanma esnasında ve sonrasında yapılması gereklidir. Bunlar;

1. Alternatör ve sebekenin aktif, reaktif, görünür güçleri ve dengesizlik oranı,
2. Her bir fazın güç faktörü ve alternatör devir ve frekans değerleri,

seklindedir. Dikkat edilmesi gereken diğer bir durum ise bir çevrim süresinde bütün bu işlemlerin tamamlanmasıdır. Bu sebeple bu türden işlemler genellikle 32 bit işlemciler veya DSP'ler kullanılarak yapılabilmektedir. Bu tür kontrol sistemlerini içerisinde bulunduran ve bu işlemleri gerçekleştiren cihazlar mevcuttur [34].

2.4.2. Otomatik paralel bağlanmanın özellikleri

Otomatik paralel bağlanmanın yapılabilmesi için aşağıdaki temel değerlerin bilinmesi ve bunları kullanılan paralel bağlama ünitesinin mikrodenetleyici tarafından değerlendirilmek suretiyle gerekli çıkarımlar elde edilmelidir [35]. Otomatik paralel bağlanmada temel değerler şunlardır.

- Gerilim değerleri (G1, G2 ve Bara) 8 Adet
- Akım değerleri (G1, G2 ve Bara) 4 Adet
- Frekans
- Faz açısı
- Devir ayarı ve asiri devir koruma
- Bosta çalışma
- Senkronoskop
- Manyetik pickup girişi (Devir bilgisi veren sensör)
- Konfigüre edilir: Alt/Üst ayarların nazari değerleri
- Konfigüre edilir: Korumalar/Alarm gecikme süresi

2.4.3. Otomatik paralel bağlanmada korumalar ve iletişim

Otomatik paralel bağlanmada korumalar ve iletişim hakkındaki temel şartlar uluslararası standartlar doğrultusunda düzenlenmiştir. Bu şartlar ve tanımlanmaları aşağıda verilmiştir.

Gerilim:

Paralel bağlanacak olan alternatörde asiri/düşük gerilim, alternatör gerilimindeki sapmalar 30 saniye içerisinde + %5 ile -%10 aralığını aşmayacak şekilde olmalıdır. Aksi takdirde sebekeden otomatik olarak bağlantısını kesecektir. +%10 veya -%30 aralığında bir sapma olursa 10 periyot içinde sebekeden ayrılmalı ve üreticinin gerilimi kararlı hale geldiğinde otomatik olarak geri bağlanabilmelidir.

Flicker:

Flicker, devam eden gerilim sinyalinin harmoniklerinin meydana getirmiş olduğu gerilim çökmesine denir. Alternatör asiri gerilimden dolayı flicker'e neden olmayacak ve flicker'dan dolayı oluşan gerilim çökmesi nominal değerin %3'nü aşmayacağı IEEE519'da tanımlanmıştır.

Frekans:

Paralel bağlanacak olan alternatörde (G2), alternatör frekansı +0.5 Hz ile -0.7 Hz'den fazla frekans sapmasına neden oluyorsa ve bu durum 15 periyot sürüyorsa alternatör paralel bağlantıdan ayrılacaktır. (Sebekeye paralel ise sebekeden ayrılacak) 15 periyottan daha az ise paralel bağlı çalışma devam edecektir.

Hata ve hatayı silme:

Bir yada birden fazla fazın gerilimi sebeke nominal gerilimin --%30 nun altına düşmüştü ve 10 periyot (cycles) sürüyorsa sebekeden ayrılmalıdır.

Alternatör gerilimi ve frekansi normal aralığa dönüp kararlı olduğunda tekrar paralel bağlanmalıdır.

Harmonikler:

Temel frekansa göre hesap edilen toplam gerilim harmonik miktarı %5'den fazla olmamalı ve ayrıca bu harmoniklerin içerisindeki her bir harmonik temel bileşeni %3'den büyük olmamalıdır.

Tersine güç:

Paralel bağlanacak alternatöre şebekeden veya yük paylaşımına gireceği alternatör üzerinden gelen ters güç.

Tersine VAR (Reaktif güç):

Asiri uyarıma girme durumudur.

Asiri akım bilgisi:

Alternatör fazlarından çekilen akım alternatör fazlarının akım kapasitesinin üzerinde olması durumunda verilen uyarı sinyalidir.

Şebeke güç kaybı algılama:

Şebekeden beslenen alıcıların sistemden ayrılması.

Frekans /hız uyumsuzluğu:

Frekansın düşmesi senkronizasyonun bozulmasına yol açacağından yük/devir sayısı sabit tutulmalıdır.

Yük kesintisi:

Sistemin üzerine aldığı yükün kalkması durumudur.

İletişim:

Sistem parametreleri ve donanımları arasındaki bilgi alışverişinin tamamı bu konumda sağlanmaktadır. Bunlar ise;

- G_1 ve G_2 arasındaki veri iletişiminin mikrodenetleyici üzerinden sağlanması,
- Alternatör otomatik kontrol ünitesinin kontrolünü LCD’de görme,
- Alternatörler arası yük paylaşımını iletişim ağı ile görüntüleme,
- Alternatör otomatik kontrol ünitesini yazılım dosyalarını bilgisayar aracılığı ile arabirim programı içinden PIC’ e yükleme/bosaltma.
- Paralel bağlanacak alternatör fazları arasında 1/3 yük oranı asılması durumunda dengesiz yüklenme bilgisinin LCD’ye yazdırılması ve sistemin çalışmasının durdurulması,
- Paralel çalışacak alternatörlerin fazlarında kopukluk meydana gelmesi durumunda çalışmanın durdurulmasını sağlayacak bilgilerin mikrodenetleyici tarafından algılanmasının sağlanmasıdır.
- Paralel bağlanacak alternatörlerin sinyalleri benzer yada es olmalıdır [36].

Alternatörlerin birbirleri ve sebeke ile paralel bağlanması öncesi ve sonrasında takip edilecek işlemler eksiksiz olarak yerine getirilmelidir. Şartlarda oluşan bozulmalar göz önüne alınmadığı takdirde akım ve gerilimde oluşacak darbeler sonucunda paralel bağlanacak sistemler zarar görecektir. Gerçekleştirilecek paralel bağlanma

sistemlerine ait temel kriterler saglandigi sürece çalışma sürdürölmeye devam etmelidir. Temel kriterlerin saglanması ve sistem sürekliliğinin devam ettirilmesi ise sağlıklı bir iletişim ile mümkün olacaktır.

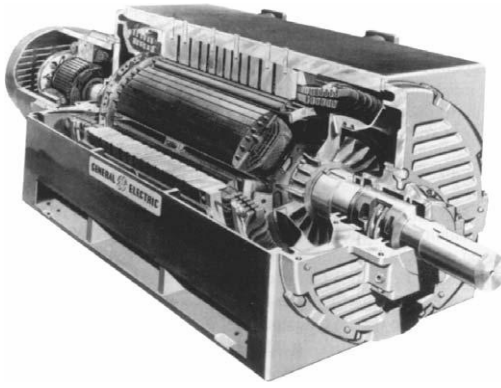
3. SENKRON MAKINALAR

Senkron makina frekans ve kutup sayisiyla orantili sabit bir hızda çalışan bir alternatif akım makinasidir. Hem alternatör olarak mekanik enerjiyi elektrik enerjisine, hem de motor olarak elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirir. Senkron makinaların sabit olan bir dönme sayısında çalışmaları , endüstride motor olarak kullanılma olanaklarını sınırlar. Senkron makinalar , elektrik enerjisi üretiminde, büyük enerji üretim merkezlerinde (santrallarda) alternatör olarak en yaygın kullanılan makinalardır. 2000 MVA güçlere kadar imal edilebilmektedir. Birim güç başına maliyetlerinin düşük olması, artan güç ile verimlerinin yükselmesi, ayrıca bakım ve kontrol işlemlerinin az olması çok büyük güçlerde imal edilmelerini sağlamaktadır

Senkron makinalar sabit duran kısım stator (endüvi) ve hareketli kısım rotor olmak üzere iki kısımdan oluşur. Stator saç paketlerinden yapılmış olup iç kısmına sargıların yerleştirilmesi için oluklar açılmıştır. Senkron makinalar, uyarma sargılarını taşıyan rotorun yapısına göre iki gruba ayrılır. Stator ve rotor arasındaki hava aralığının her yerde sabit olduğu makinalara “Yuvarlak Rotorlu (turbo) Senkron Makinalar” ve stator iç çevresinin düzgün olmasına karşın rotor dış çevresinin düzgün olmadığı makinalara da “Çıkık Kutuplu Senkron Makinalar” denir.

Yuvarlak (Silindirik) rotorlu senkron generatörler küçük kutup sayısı ve yüksek senkron devir sayısı için imal edilmekte ve yüksek devirli buhar türbinlerinde kullanılmaktadır. Yüksek devirli buhar türbini uygulamasında kullanılan makinaların rotor boyları uzun ve çapları küçüktür. Çıkık kutuplu senkron generatörler ise genellikle çok kutuplu olarak ve düşük senkron devir sayısı için imal edilmektedir. Bu tip senkron makinaların rotor boyları kısa, çapları ise geniş olmaktadır. Hidroelektrik santrallerde elektrik üretimi için çıkık kutuplu senkron makinalar kullanılır. Sebekenin güç katsayısının düzeltilmesinde senkron motorlar kompanzasyon amaçlı kullanılır.

Senkron makinalar yapı itibariyle doğru akım makinasının tam tersidir. DA makinasında kutuplar duran kısımda ve hareketli rotorda alternatif akım üretilir (kolektör yardımı ile doğrultulur). Resim 3.1.'de görüldüğü gibi senkron makinada alternatif akım üreten sargılar statora alınmış ve kutuplar ise hareketli olan rotora yerleştirilmiştir [37]. Bunun gerekçesi gerilim üreten yüksek güçlü, çok fazlı alternatif akım sargılarının rotorda izolasyonun sağlanmasının güç olmasındandır. Hareketli kutup tekerlegine, yalıtılmış fırça - bilezik düzeni üzerinden doğru akım verilerek, zamana göre yön değiştirmeyen doğru bir alan üretilir. Senkron makinalarda üretilen gerilim ve bu gerilime etki eden faktörler detaylı olarak verilecektir.



Resim 3.1. Senkron makine kesit görüntüsü

3.1. Senkron Makinaların Çalışma Prensipleri

Senkron makinalar aynı yapı ile hem motor ve hem de alternatör olarak çalıştırılabilirler. Biot-Savart yasası uyarınca Esitlik 3.1.1.' de;

$$E = B \ell v \quad (3.1.1)$$

görüldüğü gibi manyetik alan veya statora yerleştirilen iletkenler hareket etmeyince iletkenlerde gerilim endüklenmez. Bu nedenle rotor bir tahrik aracı tarafından döndürülür. Böylece kutuplarda oluşturulan genliği değişmeyen bu doğru alan, rotorun (kutup tekerlegi) döndürülmesi ile hareket ederek statordaki iletkenleri keser

ve bu iletkenlerde gerilim endükler. Senkron makinanın alternatör çalışmasını açıklayan bu durumda, doğru akım ile uyarılmış kutup tekerlegine (rotor) mekanik enerji verilip, statordan elektrik enerjisi (alternatif akım) elde edilir. Rotorun döndürülmesi suretiyle genliği değişmeyen ve hareket etmeyen alan döner alan haline gelir. Statordaki çok fazlı alternatif akım sargısına çok fazlı alternatif akım uygulanırsa, statorda döner bir magnetik alan oluşur. Bu alanın hızı Esitlik 3.1.2.'de görüldüğü gibidir ;

$$n_s = \frac{60 f_1}{p} \quad (3.1.2)$$

f_1 = elektriki frekansı (Hz)

n_s = manyetik alanın mekanik hızı (d/d)

p = toplam kutup sayısı'dir.

Kutup sargılarının doğru akım ile uyarılmış ve bir dış tahrik aracı ile n_s devrine getirilip serbest bırakıldığı düşünülürse (bu olaya senkronlama denir), stator ve rotor alanları birbirine kenetlenecek ve rotor statoru n_s hızında takip edecektir. Bu takipte rotor bir dış fren makinesi ile az miktarda yüklenecek olursa, rotorun S kutbu kenetlenmiş olduğu statorun N kutbundan küçük bir açı farkı ile geride kalır. Bu esnada motor çalışmadadır ve daha sonra yük açısı olarak tanımlanacak olan d yük açısının negatif olacağını gösterir (rotor geriden gelmektedir). Alternatörde ise durum tersinedir. Rotor alanı, statorda yük akımlarının oluşturduğu döner alandan ileridedir. Rotordan verilen mekanik güç, statordan çekilen elektrik gücü ile frenlenir. Dolayısı ile, aynen motorda olduğu gibi, rotorun belirli bir moment ile tahrik edildiği düşünülürse, statordan çekilen elektrik gücü arttıkça stator alanı kutup tekerlegi alanın gerisinde kalacaktır. Bu nedenle yük açısı $d > 0$ olacaktır [38].

3.2. Senkron Makinaların Yapısı

Senkron makinalar, bir, iki veya çok fazlı olarak üretilirler. Senkron makinalar senkron hızda dönerler. Ancak direkt olarak sebekeye bağlandığında çalışmazlar,

özel yolverme yöntemleriyle çalıştırılırlar. Stator sargisi alternatif akım (AA) kaynağına, rotor sargisi ise doğru akım (DA) kaynağına bağlanır. Dolayısıyla bu makina çift uyarımlı makineler sınıfına girer. Endüktör (rotor) devresinde harcanan güç, endüvi devresi gücünün %3'üne kadar çıkabilmektedir. Senkron makina, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmek için kullanılıyorsa alternatör, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek için kullanılıyorsa senkron motor olarak adlandırılır [39]. Senkron makineler kutup yapısına göre iki gruba ayrılır;

1. Silindirik kutuplu senkron makineler
2. Çikik kutuplu senkron makineler

Silindirik kutuplu senkron makinelerin endüktörlerinin boyları uzun (bir kaç metre) ve çapları küçük (1.2 m kadar) olup, mili yere paralel olarak kullanılır. Bunlar yüksek hızlarda döndürülüp genellikle az kutup sayılarında (2 veya 4 kutuplu) yapılırlar. Endüvi ve endüktör arasındaki hava aralığı sabittir. Çikik kutuplu senkron makineler ise çok kutuplu olup boyları kısa (bir kaç metre), güçleri bir kaç yüz MW, çapları 1.2 m'den büyük ve mili yere dik olarak kullanılır. Endüvi ve endüktör arasındaki hava aralığı çikik kutuptan dolayı değişkendir. Bu makineler çok kutuplu olup düşük hızlarda çalıştırılırlar. Kutupların toplu sarılmasından dolayı yüksek hızlarda santrafuj etkisiyle uyarım sargılarında şekil bozuklukları meydana gelebilir.

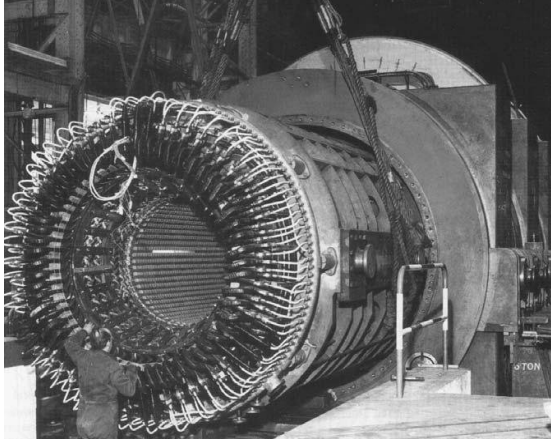
3.2.1. Stator yapısı

Resim3.2'de görüldüğü gibi stator ve statorda bulunan çok fazlı endüvi sargisi yapı itibarı ile aynı asenkron makinadaki gibidir. Stator magnetik malzemesinin değişken magnetik akı içinde bulunmasının neden olacağı demir kayıplarını azaltmak için, magnetik domenleri yönlendirilmemiş silisyumlu saçların preslemesinden oluşur. Makina gücü arttıkça, akımın ve dolayısı ile kayıpların artmaması için stator m_1 fazlı ve orta gerilimli olarak tasarlanır. m_1 fazlı alternatif akım sisteminde, stator çevresinde her bir faza $2p/m_1$ radyanlık bölgeler tahsis edilir. Ardisil stator olukları arasındaki geometrik açı Esitlik 3.2.1.'de verilmistir [39].

$$g_g = \frac{2p}{Q_1} \text{ radyan} \quad (3.2.1)$$

Q_1 = Stator oluk sayısı

g_g = Stator oluklari arasindaki geometrik açi'dir.



Resim 3.2. Stator yapisi

Q_1 stator oluk sayi iken dis tahrik makinesi tarafindandöndürülen p çift kutuplu kutup sargilarinin sirali stator oluklarinda endüklediği gerilimler arasindaki elektriki aci Esitlik 3.2.2.'de verilmistir;

$$g_e = p g_g = p \frac{2p}{Q_1} \text{ raydan} \quad (3.2.2)$$

olur ve stator faz sargilarinin uçlari $\frac{2p}{m_1}$ kadar elektriki açi farklı oluklardan çıkartilir. Üç fazli stator için faz sargilari uçlari (asenكرون makinada olduğu gibi) u-x, v-y, w-z olarak adlandırilip bir terminal kutusunda toplanilir [39].

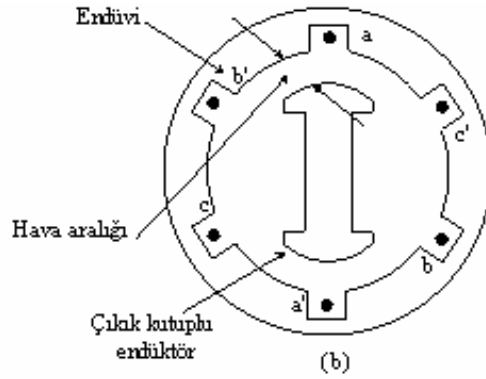
3.2.2. Rotor yapisi

Kutuplar (DA. makinalarında olduğu gibi) dökme çelikten veya stator yapısında bahsedilen silisyumlu saçlardan yapılmaktadır. Ayrıca küçük güçlü senkron

makinalarin kutuplarında sabit mıknatıslarda kullanılmaktadır. Kutup yapıları tip bakımından, çıkık kutuplu rotor ve silindirik kutuplu rotor olmak üzere ikiye ayrılır.

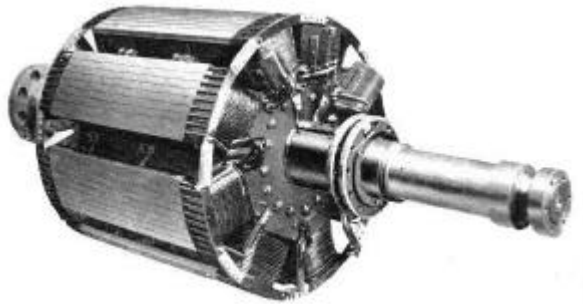
3.2.3. Çıkık kutuplu rotor

Hava aralığı endüksiyonunun sinüsoidal dağılması için Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi kutup başlarına özel şekiller verilir. Endüksiyonda bulunabilecek yüksek harmonik döner alanları ve mekanik titreşimleri bastırmak için kutup başlarına açılan oluklara kısa devre amortisör sargısı yerleştirilir.



Şekil 3.1. Çıkık kutuplu rotor

Bu sargılar çevre boyunca kısa devre halkaları ile birleştirilir (sincap kafesli asenkron motorlardaki gibi). Çıkık kutuplu makinalarda hava aralığı kutup taksimatının $1/50$ ile $1/60$ ' i kadardır.

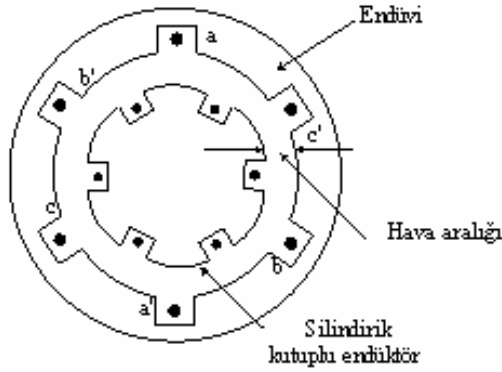


Resim 3.3. Çıkık kutuplu rotor

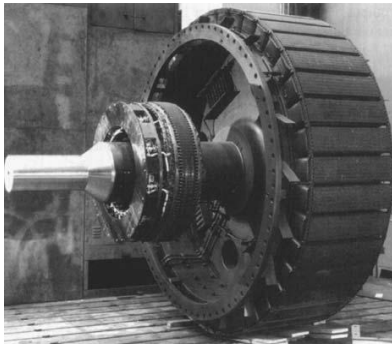
Çıkık kutuplar çevresine sarılan uyarma sargıları aralarında seri bağlandıktan sonra, milden izole edilmiş bilezik-fırça düzeni ile ayrı bir terminal kutusuna çıkartılır ve I - K harfleri ile adlandırılırlar. Resim 3.3.'de çıkık kutuplu rotor görülmektedir.

3.2.4. Yuvarlak (Silindirik) kutuplu rotor

Yuvarlak rotorlu generatör çoğunlukla 3000 dev / dak yada bazen 1500 dev / dak için tasarlandıklarından bu generatöre turbo generatör (turbo alternator) de denilir. Bu hızda rotorun savrulma kuvvetlerine mukavemetini arttırmak için, dökme çelikten imal edilip hassas bir balans ayarına tabii tutulur. Silisli sacdan yapılan rotorlarda vardır. Sinusoidal endüksiyon dağılımının sağlanması için rotorun 2/3 sarılıp 1/3'ü boş bırakılır. Şekil 3.2.'de yuvarlak (silindirik) rotor şekli ve Resim 3.4.'de ise fotoğrafı görülmektedir.



Sekil 3.2. Silindirik kutuplu rotor



Resim 3.4. Silindirik kutuplu rotor

Bu yapıda hava aralığı akisinda 3 ve 3'un kati harmonik alanlar olusmaz. Alanin çeyrek dalga simetrisi oldugundan çift harmonikler yoktur. Ayrıca tek fonksiyon olması nedeni ile sadece sinüslü harmonikler vardır. Bazı durumlarda harmonik eliminasyonu yapmak için oluk aralıkları farklı yapılır. Oluk ağzına kısa devre amortisör (damper) sargısı yerleştirilir. Endüvi rotor arasındaki hava aralığı çıkık kutupluya göre daha büyüktür yani ;

$$d \approx \frac{1}{40} t_p$$

Yuvarlak rotorlu alternatörlerde rotor sargılarını kademeli sarmak, alternatör uç gerilimlerinin düzgün bir bir sinüs dalgası şeklinde olmasının sağlanmaktadır.

3.2.5. Alternatör rotor hızının seçilmesi

Elektromekanik enerji dönüşümü düzeneklerinde yüksek verimin sağlanması için alternatörün hızı, tahrik makinesi veriminin yüksek olduğu bölgede (hızda) planlanır. Tahrik makinesi, Francis veya Kaplan türbini (Hidrolik santraller) olduğunda yüksek verimli devir sayıları 60 - 300 dev / dak arasındadır. Esitlik 3.2.3.'de görüldüğü gibi;

$$p = \frac{60f_1}{n_s} \quad (3.2.3)$$

olacağından, küçük devirlerde büyük çift kutup p sayıları gerekmektedir. Büyük kutup sayılarında rotor çevresine sinüsoidal yayılmış bir magnetik endüksiyon üretebilmek için uygun rotor yapısı, çıkık kutuplu rotordur. Çok sayıda çıkık kutuplu rotor çekirdeği çevresine montajlanması durumunda rotor çapı oldukça büyümekte (büyük güçlü makinalarda 10-16 m) ve makinenin sabitleştirilmesi dik rotor durumunda kolay olabilmektedir. Bu yüzden hidrolik santrallerde rotor dikey olarak dönmektedir. Bu rotorlarda aksiyel uzunluk çapa göre küçüktür. Buhar türbinleri ise yüksek devirlerde (çoğunlukla 3000 dev / dak) verimli çalışmaktadır. Yüksek devirde çalışacak alternatörün rotorunun çevresel hızının, atalet (savrulma) momentinin

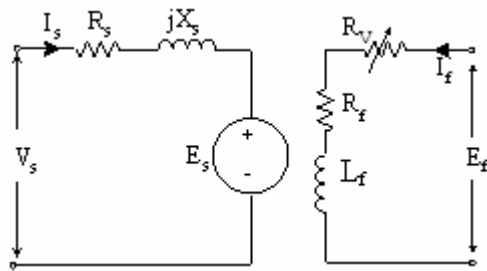
küçük tutulması için rotor çapının küçük yapılması gerekmektedir. Bu şartları tatmin eden rotor tipi, silindirik rotorlu yapidir. Makina gücünün temini için aksiyel uzunluk çapa göre büyüktür. Tipik bir örnek verilirse, 1200 MVA 'lık bir silindirik rotorlu bir alternatörün rotoru 100 ton, çapı 1250 mm, aksiyel uzunluğu 8m 'dir. Silindirik rotorlu makinalar çoğunlukla yüksek devir sayıları için tasarlandıklarından, bu tip makinalara turbo generatör/motor da denilir. Paralel çalışan generatörlerden biri asiri yüklenmeden dolayı senkronizmadan çıkarsa bu alternatörün rotoru ambale olur ve nominal hızının %180-250 katına çıkar. Bu durum, savrulma kuvvetleri nedeni ile kutup tekerlegini ciddi şekilde zorlayan bir olaydır. Generatör paralel çalışmadan çıkartılmalıdır. Eger çıkartılmazsa, sebebe daha yüksek frekanslı genlik modülasyonlu bir akım verir. Ambale olma durumu sistemin döner makina aksami ve hareket aktarma organları için ciddi tehlikeler doğurabilir. Asiri yükten dolayı senkronizması kırılan bir senkron motor moment üretmez ve rotor durmaya giderken sebekten de asiri akım çekilir [39].

3.3. Senkron Makinaların Esdeğer Devreleri

Senkron makinalar bir , iki ve çok fazlı olarak yapılmaktadırlar. Bu bölümde bir, iki ve üç faz esdeğer devreleri üzerinde durulacaktır.

3.3.1. Senkron makinaların bir faz esdeğer devresi

Bir fazlı silindirik kutuplu senkron makinanın elektrik esdeğer devresi Sekil 3.3.'de verilmistir.



Sekil 3.3. Bir fazlı senkron makinanın elektrik devresi

Burada senkron makina, motor olarak gösterilmiştir. Alternatör durumunda I_s akiminin yönü ters olacaktır. Uyarım devresindeki R_v direnci degisken olup uyarım akimini kontrol etmek için bağlanmıştır. Çikik kutuplu bir fazli senkron makinalarda da durum aynıdır. Ancak stator kaçak reaktans enine ve boyuna iki bileşene ayrılacaktır. Sekil 3.3.'de;

I_s = Endüvi (stator) akim vektörünü (A)

R_s = Endüvi direncini (Ω)

$X_{s\ell}$ =Endüvi kaçak reaktansini (Ω)

E_s = Endüvi sargısında endüklenen gerilim vektörünü (V)

R_v = Uyarım akim ayar direncini (Ω)

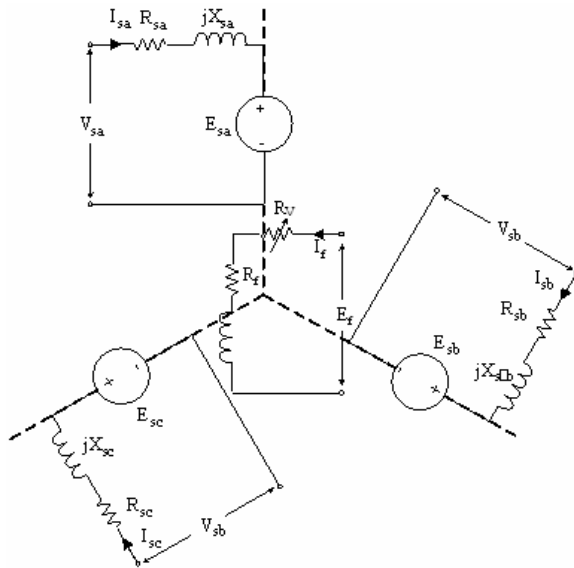
R_f = Uyarım devresi direncini (Ω)

E_f = Uyarım devresine uygulanan gerilimini (V)

I_f = Uyarım devresi akimini (A)

3.3.2. Senkron makinalarin üç faz esdeger devresi

Üç fazli silindirik kutuplu senkron motorun yapisi Sekil 3.4.'de gösterilmiştir.



Sekil 3.4. Üç fazli senkron makine

Burada her bir faza ait elektriki esdeger devreler aralarinda 120° elektriki açi olacak sekilde yerlestirilmistir. Üç fazli senkron motorun statoru duruma göre ya üçgen, ya da yildiz baglanabilir [38, 39]. Sekil 3.4.'de;

I_{sc} = C fazinin endüvi akim vektörünü (A)

R_{sc} = C fazinin endüvi direncini (Ω)

X_{sc} = C fazinin endüvi kaçak reaktansini (Ω)

E_{sc} =C fazinin endüvi sargisinda endüklenen gerilim vektörünü (V)' dür.

3.4. Senkron Makinalarda Döner Alan Hizi

Senkron makinalarda döner alan hizi makinanın dönüs hizi ile senkronize olarak ayni degeri alır. Dolayisiyla stator döner alan hizi ile stator frekansi arasinda Esitlik 3.4.1.'de verildigi gibi bir iliski mevcuttur;

$$f_e = \frac{n_m p}{120} \quad (3.4.1)$$

Burada;

f_e = elektriki frekansi (Hz)

n_m = manyetik alanin mekanik hizini (d/d)

p = toplam kutup sayisidir

3.5. Alternatörlerde Üretilen Gerilim

Alternatörlerde ya uyartim (kutup) sargilarini tasiyan rotor, ya da alternatif akim sargilarini tasiyan stator hareket edebilir. Kutuplar DA gerilimle uyartildiginda, rotor dönüyorsa, kutupların olusturdugu bir döner alan sabit olan statordaki sargilari keser. Rotor sabit bir DA gerilimle uyartildiysa, dönen stator sargilari kutup sargilarinin olusturdugu manyetik alan tarafından kesilir. Bundan dolayi döner alan içerisinde kalan bir bobinde veya sabit alan içerisinde dönen bir bobinde Faraday kanununa göre Esitlik 3.5.1., 3.5.2. ve 3.5.3. arasindaki gerilim endüklenir [38,39].

$$e = \frac{df}{dt} = N \frac{dj}{dt} \quad (3.5.1)$$

$$E_{rms} = 4.44 N k_p k_d f f_{max} = K f f_{max} \quad (3.5.2)$$

$$K = 4.44 N k_p k_d \quad (3.5.3)$$

Burada;

E_{rms} = Dolayisiyla endüklenen gerilimin rms degeri

e = bobinde endüklenen gerilimini (V)

N = bobinin siper sayisini

f = bobin sargilarini kesen aki miktarini (Wb)

f_{max} = nüve akisinin maksimum degerini (Wb)

ω = açisal frekansini = $2\pi f$ (rad/s)

f = frekansini (Hz)

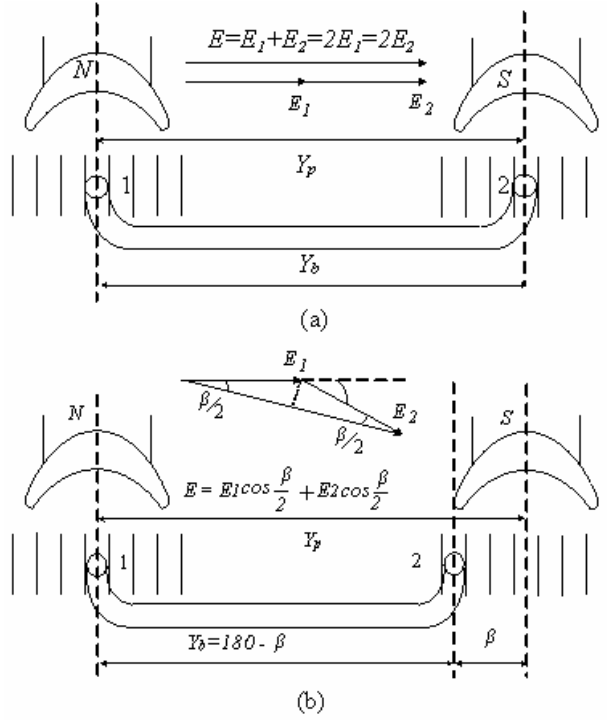
k_p = adim katsayisini

k_d = dagitim katsayisi' dir.

3.5.1. Alternatörlerde adim ve dagitim katsayilari

Alternatörlerin endüvi sargilarinda üretilen gerilimin sinüsoidale yakin olmasini saglamak için, endüvi sargilarinin dagitilmasi ve kutup adimlarinin tam adim yerine kesirli adim yapılmasi gerekmektedir.

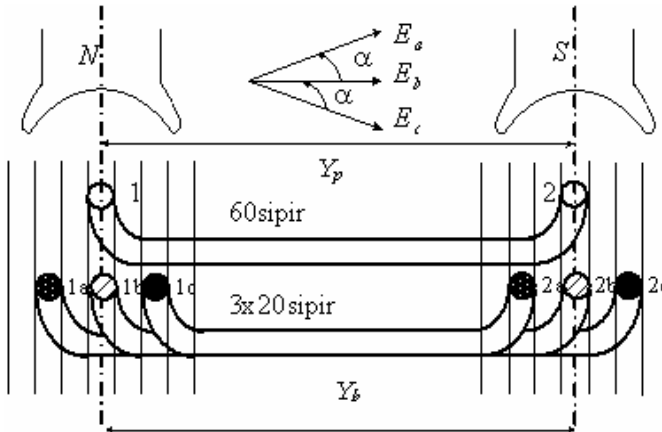
Adim Katsayisi: Sekil 3.5.'de görüldüğü gibi alternatörün bir fazina ait endüvi sargisinin bir kenarinin endüktörde bulunan kutuplardan birinin altına, ayni faza ait sarginin diger kenarinin da diger kutup altinda bulunmasina tam adimli sarim denir. Bir kutup çifti altindaki ayni faza ait bobin kenarindan 1. kenar N kutubunun tam merkezinde iken, diger 2. kenar S kutubundan b açisi kadar geride olacak sekilde yerlestirilirse, bu tür sarima kisaltilmis adimli sarim denir [38, 39].



Sekil 3.5. Tam adımli bobin ve kisaltimis adımli bobin ve endüklenen gerilim

a) Tam adımli sarım b) Kisaltimis adımli sarım

Dagitim Katsayisi: Sekil 3.6.'da alternatörlerde üretilen gerilimin sinüsoidale yaklasmasi için yapılan diger islemdede, bir kutup altındaki bir faza ait bobini tek oluga yerlestirme yerine, bu bobinin birden fazla oluga yerlestirilmesi. Zaten bir kutup altında ayni faza düşen birden fazla oluk var ise, bobin dagitilarak her oluga esit miktarda sarım yerlestirilir.



Sekil 3.6. Dagitilmis sarımlı bobin ve endüklenen gerilim

Dagitilmiş bobinlerde endüklenen toplam gerilimin, dagitılmamış bobinlerde endüklenen toplam gerilime oranı dagitim katsayısı k_d olarak adlandırılır ve Esitlik 3.5.4. ile tanımlanır [39].

$$k_d = \frac{E_b + 2E_b \cos(a)}{3E_b} \quad (3.5.4)$$

$$k_d = 2E_a \cos\left(\frac{a}{2}\right) \quad (3.5.5)$$

$$c = \frac{x}{(p)(m)} \quad (3.5.6)$$

$$Y_x = \frac{x}{p} \quad (3.5.7)$$

$$a = \frac{180}{Y_x} \quad (3.5.8)$$

k_d = dagitim katsayısını

c = bir kutup altındaki bir faza ait oluk sayısını

p = toplam kutup sayısını

m = faz sayısını

x = toplam oluk sayısını

Y_x = bir kutup altındaki oluk sayısını

a = oluklar arası açı'dır.

3.6. Senkron Makinaların Kutup Yapılarına Göre Esdeger Devreleri

Senkron makinalar ister silindirik kutuplu olsun, isterse çıkık kutuplu olsun, stator yapıları itibarıyla birbirlerinin aynisidirlar. Ancak silindirik ve çıkık kutuplu senkron makinaların rotor yapıları farklıdır. Silindirik kutuplu senkron makinalarda stator ile rotor arasındaki hava aralığı değişmez iken, çıkık kutuplu senkron makinalarda stator ve rotor arasındaki hava aralığı değişkendir. Yani çıkık kutuplu senkron makinalarda, rotor üzerine yerleştirilmiş çıkık kutuplar ile stator arasındaki mesafe az iken, rotorun

kutup olmayan kısmı ile stator arasındaki mesafe fazladır. Senkron makinelerin bir faz esdeğer devreleri çizilirken rotor yapılarındaki bu fark göz önünde bulundurulmuştur.

3.6.1. Silindirik kutuplu senkron makinelerin bir faz esdeğer devresi

Silindirik kutuplu bir senkron makinenin statoruna ait bir faz esdeğer devresi asenkron motorun bir faz esdeğer devresine benzemektedir. Her iki makinenin de statorları alternatif akım sargılarından oluşmuştur. Makinenin statoruna alternatif gerilim uygulandığında stator sargılarından akım geçer. Stator akımı, nüve üzerine sarılmış olan stator sargıları etrafında zamana bağlı olarak değişen manyetik akı oluşturur. Bu manyetik akının çok az bir kısmı havadan kaçak olarak devresini tamamlarken, geriye kalan miktarı da stator ve rotor demir nüveleri ile stator rotor arasındaki hava boşluğundan devresini tamamlar. Havadan devresini tamamlayan kaçak akılardan dolayı statorda kaçak endüktans $L_{s\ell}$ ve dolayısıyla kaçak reaktans $X_{s\ell}$ oluşur. Ayrıca stator sargılarının iç direnci R_s de, stator devresinde, stator reaktansına seri bağlanır. Statora uygulanan gerilimin frekansı f_s ise, stator kaçak endüktansı ve reaktansı Eşitlik 3.6.1.'de ifade edilmiştir [39- 42].

$$L_{s\ell} = \frac{N_s^2}{\mathfrak{R}_{AG}} = \frac{l_{s\ell}}{I_s} \Rightarrow X_{s\ell} = 2\pi f_s L_{s\ell} \quad (3.6.1)$$

$L_{s\ell}$ = stator kaçak endüktansı (H)

$\hat{A}_{AG}$ = havanın relüktansı (ATur/Wb)

f_s = stator toplam kaçak akısı (Wb)

N_s = stator sargı sayısı (Tur)

I_s = stator akım vektörü (A)

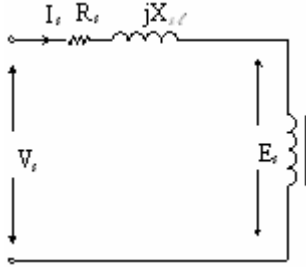
f_s = statora uygulanan gerilimin frekansı (Hz)

$X_{s\ell}$ = stator kaçak reaktansı (Ω)

olarak tanımlanır. Stator sargılarında endüklenen E_s gerilimi, statora uygulanan V_s gerilimi ile stator direnç ve kaçak reaktansında düşen gerilimlerin farkına esittir. Eşitlik 3.6.2.'de stator sargılarında endüklenen gerilim verilmiştir.

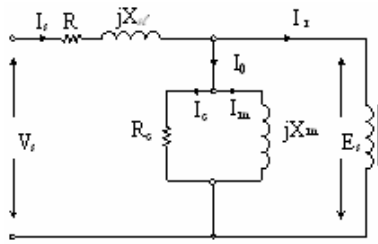
$$E_s = V_s - I_s (R_s + jX_{s\ell}) \quad (3.6.2)$$

Dolayısıyla stator devresi Şekil 3.7.'deki gibi çizilir. Ancak statordan çekilen I_s akımı, uyartım devresinden geçen akımı karşılamaktadır.

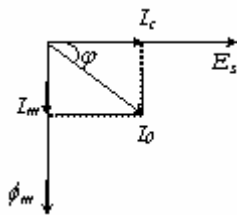


Şekil 3.7. Bir faz stator esdeger devresi

Stator ve manyetik devresi ise Şekil 3.8.'de görülmektedir. Uyartım devresi akımı bileşenleri Şekil 3.9.'da verilmiştir.

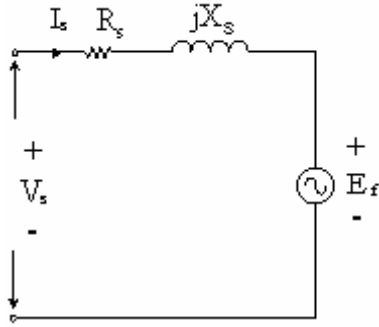


Şekil 3.8. Bir faz stator esdeger devresi ve uyartım sargısı esdegeri



Şekil 3.9. Uyartım devresi akımı ve bileşenleri

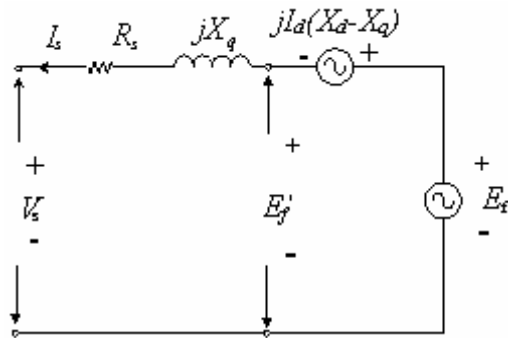
olarak tanımlanır. Esdeğer devrede gerekli sadeleştirmeler yapıldıktan sonra Şekil 3.11.'deki devre elde edilir. Büyük güçlü senkron makinalarda stator direnci R_s reaktansla karşılaştırıldığında çok küçük olduğundan, çoğu zaman ihmal edilir. Neticede senkron makinayı sadece senkron reaktans ve endüklenen gerilim E_f ile Şekil 3.11.'deki gibi göstermek mümkündür.



Şekil 3.11. Silindirik kutuplu senkron motorun reaktansları birleştirilmiş bir faz esdeğer devresi

3.6.2. Çıkık kutuplu senkron makinaların bir faz esdeğer devresi

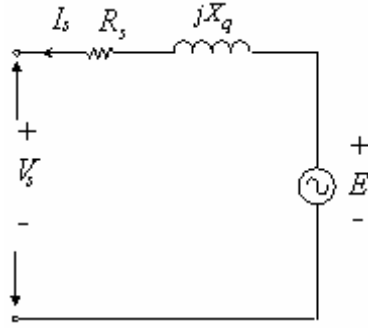
Şekil 3.12.'de verilen çıkık kutuplu alternatörün bir faz esdeğer devresi, Şekil 3.13.'de verilen silindirik kutuplu alternatörün bir faz esdeğer devresine benzemektedir. Aralarındaki fark sadece X_s senkron reaktans yerine senkron reaktansın enine bileşeni X_q 'nın gelmesi ve E_f yerine E_f' değerinin gelmesidir. Bu durum Esitlik 3.6.3 ve 3.6.4.'de görülmektedir.



Şekil 3.12. Çıkık kutuplu bir alternatörün Esitlik 3.6.3 ve 3.6.4.'e göre çizilmiş bir faz esdeğer devresi.

$$E_f = E'_f + jI_d(X_d - X_q) \quad (3.6.3)$$

$$E'_f = V_s + I_s R_s + jI_s X_q \quad (3.6.4)$$



Sekil 3.13. Çıkık kutuplu bir alternatörün basitleştirilmiş bir faz esdeger devresi

3.7. Senkron Makinaların Esdeger Devre Parametrelerinin Ölçülmesi

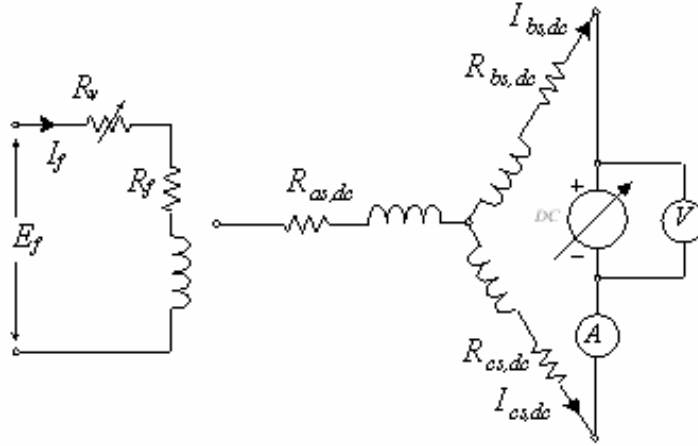
Gerçek bir senkron makinanın davranışlarını tamamen tanıyabilmek için makinanın esdeger devresindeki üç değerin bilinmesi gerekmektedir.

- Uyarım akımı ve aki (dolayısıyla uyarım akımı ile endüklenen gerilim E_f) arasındaki bağıntı
- Senkron reaktans
- Endüvi direnci

Senkron makinanın endüvi direncini ve senkron reaktansını hesaplayabilmek için, DA test, yüksüz çalışma testi ve kısa devre testi olmak üzere üç değişik deney yapılır. Bu testler sırayla alt başlıklar halinde verilmiştir.

3.7.1. Senkron makinalarda DA deneyi

DA deneyi yapılacak olan bir senkron makinanın üç faz esdeger devresi Sekil 3.14.'de verilmiştir. Burada, ayarlı bir DA kaynaktan alınan DA gerilim, senkron makinanın B-C terminal uçlarına bağlanmıştır.



Sekil 3.14. DA deneyi yapılan senkron makinanın üç faz esdeger devresi

Senkron makinanın A terminal ucu ise boş bırakılır, uyarım devresine ise herhangi bir gerilim uygulanmaz. Sekil 3.14.'de;

E_f = uyarım devresi direnci (V)

I_f = uyarım devresi akımı (A)

R_v = uyarım devresi akım akım ayar direnci (Ω)

$I_{as,DA}$ = stator devresi A fazının DA akımı (A)

$I_{bs,DA}$ = stator devresi B fazının DA akımı (A)

$I_{cs,DA}$ = stator devresi C fazının DA akımı (A)

$R_{as,DA}$ = stator devresi A fazının DA direnci (Ω)

$R_{bs,DA}$ = stator devresi B fazının DA direnci (Ω)

$R_{cs,DA}$ = stator devresi C fazının DA direnci (Ω)

olarak ifade edilmektedir. DA kaynagından alınan gerilim yavaş yavaş artırılır. Sargıdan geçen doğru akım senkron makinanın anma akım değerine gelince gerilimdeki artış durdurulur. Sonra sargılardan geçen doğru akım ve sargılara uygulanan DA gerilim ölçülür. Senkron makina yıldız bağlı olduğundan, her iki sargının DA dirençleri birbirlerine seri bağlanmışlardır. Buna göre ölçülen DA gerilimin DA akıma bölümü her iki sargının toplam DA direncini verir. Bulunan bu direnç değeri ikiye bölünerek, tek sargının direnci bulunur. Sonuçta, senkron

makinanin AA direnç degerini bulabilmek için, direnç degeri Eşitlik 3.7.1.'deki 1.11 veya 1.5 gibi bir katsayı ile çarpılır [43- 45].

$$\left. \begin{aligned} R_{dc} &= \frac{V_{dc}}{I_{dc}} = R_{bs,dc} + R_{cs,dc} \Rightarrow R_{bs,dc} = R_{cs,dc} = \frac{R_{dc}}{2} \\ R_{bs,ac} &= R_{cs,dc} = kR_{dc} \Rightarrow k = 1.11-1.5 \end{aligned} \right\} \quad (3.7.1)$$

3.7.2. Senkron makinalarda bos çalışma deneyi

Sekil 3.15.'de bos çalışma deneyi bağlantı seması görülmektedir. Deneyde generatör anma hızında döndürülür. Terminal uçları yükten ayrılır. Uyarım akımı da sıfıra getirilir. Daha sonra, uyarım akımı adım adım anma degerine kadar artırılır. Her adımda terminal gerilimi ölçülür. Terminaller açık olduğundan $I_s=0$ A'dır. Dolayısıyla, $V_s = E_f$ dir. Bos çalışma deneyinde;

$I_{as,n\ell}$ = stator devresi A fazinin akımı (A)

$I_{bs,n\ell}$ = stator devresi B fazinin akımı (A)

$I_{cs,n\ell}$ = stator devresi C fazinin akımı (A)

$E_{as,n\ell}$ = stator devresi A fazında endüklenen gerilim (V)

$E_{bs,n\ell}$ = stator devresi B fazında endüklenen gerilim (V)

$E_{cs,n\ell}$ = stator devresi C fazında endüklenen gerilim (V)

R_{as} = stator devresi A fazinin direnci (Ω)

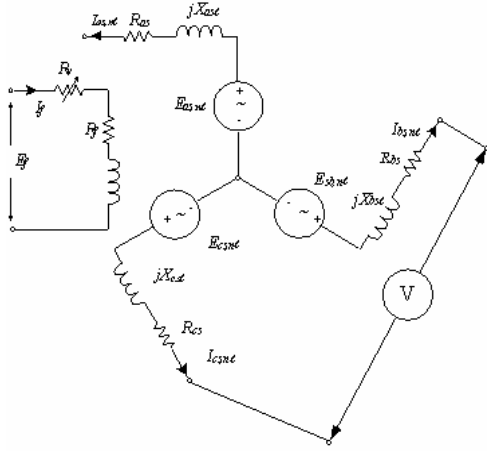
R_{bs} = stator devresi B fazinin direnci (Ω)

R_{cs} = stator devresi C fazinin direnci (Ω)

$X_{as\ell}$ = stator devresi A fazinin kaçak reaktansı (Ω)

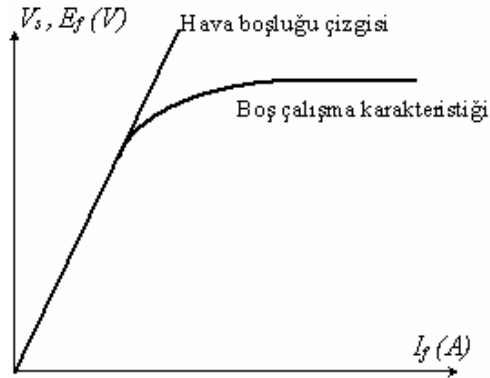
$X_{bs\ell}$ = stator devresi B fazinin kaçak reaktansı (Ω)

$X_{cs\ell}$ = stator devresi C fazinin kaçak reaktansı (Ω)



Sekil 3.15. Senkron makinanin bos çalışma deneyi için üç faz esdeger devresi

olarak ifade edilmektedir. Ölçülen değerlere göre uyartım akimina karşılık gelen terminal gerilimi V_s 'nin veya endüklenen gerilim E_f 'nin grafiğini çizmek mümkündür. Sekil 3.15.'de uyartım akimina karşılık gelen terminal gerilimi bulunabilir.

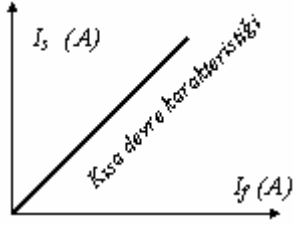


Sekil 3.16. Senkron makinanin bos çalışma karakteristik eğrisi

Bos çalışma eğrisi, doyum noktasına kadar lineerdir. Çünkü senkron makinanın relüktansı, havanın relüktansından bir kaç bin kez küçüktür. Dolayısıyla tüm mmf hava boşluğunu geçer. Neticede oluşan aki lineerdir. Demir nüve doyuma başlayınca, nüvenin relüktansı artmaya başlar. Sekil 3.16.'de görüldüğü gibi mmf'deki artışa karşılık, akıdaki artış çok yavaş olur. Eğrinin lineer kısmı hava boşluğu çizgisi olarak bilinir.

3.7.3. Senkron makinalarda kısa devre deneyi

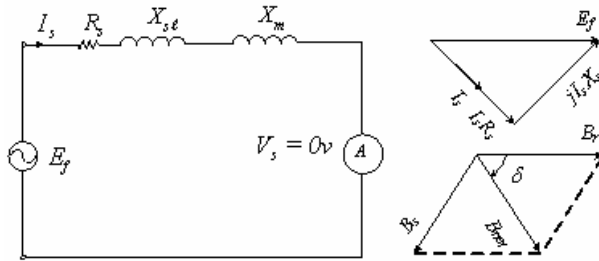
DA test ve bos çalışma deneyinden sonra yapılacak olan üçüncü işlem ise Sekil 3.17.'de verilen kısa devre deneyidir.



Sekil 3.17. Senkron makinanın kısa devre karakteristik eğrisi

Bu test için, uyarım akımı sifıra getirilir, terminaller ampermetre üzerinden kısa devre edilir. Daha sonra, generatör bir tahrik makinesi tarafından döndürülür. Anma hızında dönen generatörün uyarım akımı kademe kademe artırılır. Her kademedeki uyarım akımı ve endüvi hat akımı kaydedilir. Uyarım akımına karşılık endüvi akımının grafiği çizilir. Bu grafiğe generatörün kısa devre karakteristiği denir. Endüvi akımı Esitlik 3.7.2.'den bulunur;

$$I_s = \frac{E_f}{R_s + jX_s} = \frac{E_f}{\sqrt{R_s^2 + X_s^2}} \quad (3.7.2)$$



Sekil 3.18. Senkron makinanın kısa devre bir faz esdeğer devresi ve fazör diyagramı

Kısa devre deneyi yapılan generatörün bir faz esdeğer devresi ve fazör diyagramı Sekil 3.18.'de verilmiştir.

3.7.4. Kisadevre oranı

Alternatör bosta çalışırken, anma uc gerilimini elde etmek için gerekli olan bir $I_{f-n\ell}$ uyarım akım değerine sahiptir. Bu uyarım akım değerinin, alternatör terminalleri kısa devre edildiği durumda anma akım değerini elde etmek için gerekli olan uyarım akımına I_{f-sc} oranına kısa devre oranı (SCR) denir. Bu ifadeden Esitlik 3.7.3.'ü yazmak mümkündür.

$$SCR = \frac{I_{f-n\ell}}{I_{f-sc}} \quad (3.7.3)$$

SCR değeri per-unit cinsinden senkron reaktansın tersi şeklinde Esitlik 3.5.4.'deki gibi de yazılabilir;

$$SCR = \frac{1}{X_{s,pu}} \quad (3.7.4)$$

Kısa devre oranı, makinanın yüke bağlı olarak değişen hassasiyeti hakkında bilgi verir. Yüksek kısa devre oranına sahip bir alternatör fiziki olarak büyük, ağır olarak fazla ve maliyeti büyüktür. Fakat gerilim regülasyonu, kısa devre oranına düşük olan alternatöre göre daha düşüktür. Kısa devre oranı düşük olan senkron makinanın senkron reaktansı büyük olduğundan, yükteki küçük değişimlere karşı uyarım akımında hızlı ve büyük değişiklik gösterebilecek gerilim regülasyon sistemlerine ihtiyaç vardır [38- 45].

3.7.5. Senkron makinalarda soğutma

Senkron makinalarda oluşan bakır kayıpları, demir kayıpları ve mekanik kayıplar ısı şeklinde açığa çıkarlar ve makinanın ızalasyonuna zarar verirler. Kayıpların meydana getirmiş olduğu bu ısı, bir sistem tarafından makinadan uzaklaştırılmalıdır. En basit, ucuz ve genellikle küçük güçlü makinalarda kullanılan soğutma sistemi, bir fanın

makine miline tutturularak havayı makine gövdesine ve sargılarına doğru üflemesiyle elde edilir. Sogutma sistemi sıcaklık dönüştürücüsü olarakta bilinir. Fan ile yapılan havali sogutma sistemlerinden baska, sulu sogutma sistemleri de mevcuttur. Su, bir tüp içerisinde dolastirilarak motor sargılarından ve gövdesinden bir fan yardimiyla almış olduğu isiyi havaya aktarır. Büyük güçlü senkron makinaların sogutulmasında ise hidrojen kullanılmaktadır. Hidrojenin ısı iletimi havaya göre 7 kat daha iyidir. Ayrıca hidrojenin yoğunluğu düşük olduğundan, hidrojenin üflenmesi için gerekli olan enerji havaya göre 10 kat daha azdır. Bazı büyük güçlü senkron makinalarda ise içi boş boru şeklindeki iletkenler kullanılmaktadır. Bu iletkenler aynı anda hem akımı iletmektedirler, hem de sargılardaki ısı iletken içerisinde dolastirılan sıvı yardimiyla sogutulmaktadır. Bu tür sogutma sistemleri isiyi en iyi ve en kısa sürede sargılardan uzaklastıran sistemlerdir [38- 45].

4. DOGRU AKIM MOTORU, DA MOTOR SÜRÜCÜLERİ ve KONTROLÜ

Alternatörlerin otomatik paralel bağlanması adlı çalışmada alternatörün mekanik enerjisi DA motoru ile sağlanmıştır. Yapılan çalışmada doğru akım motorunun tercih edilmesinin nedeni kontrolünün kolaylığı ve yüksek performansta çalışma karakteristğine sahip olmasındandır. Bir doğru akım motorunun elektronik hız kontrolü kolaydır, kontrol komutlarına ve ani yüklerle kusursuz cevap verir. Bunun yanında DA motorunun en büyük dezavantajı, bir kolektörü akımla besleyebilmek için fırçaların kullanılması zorunluluğudur. Fırçalar bu işi kolektöre sürtünerek gerçekleştirir, dolayısıyla da kolektörü hem aşındırır, hem de kıvılcım üretir.

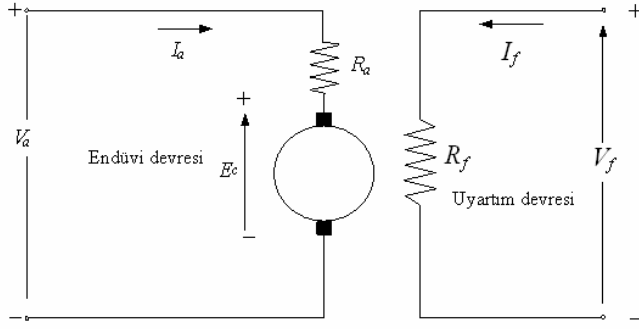
Mikroişlemci ve güç elektronisindeki hızlı gelişmeler DA motor kontrolünde büyük kolaylıklar sağlamıştır. Alternatörün paralel bağlama şartlarını yerine getirirken DA motorunun hız kontrolü tek anahtarlı buck konvertörün mikroişlemci kontrollü olarak tasarlanması ile gerçekleştirilmiştir.

4.1. DA Motorları

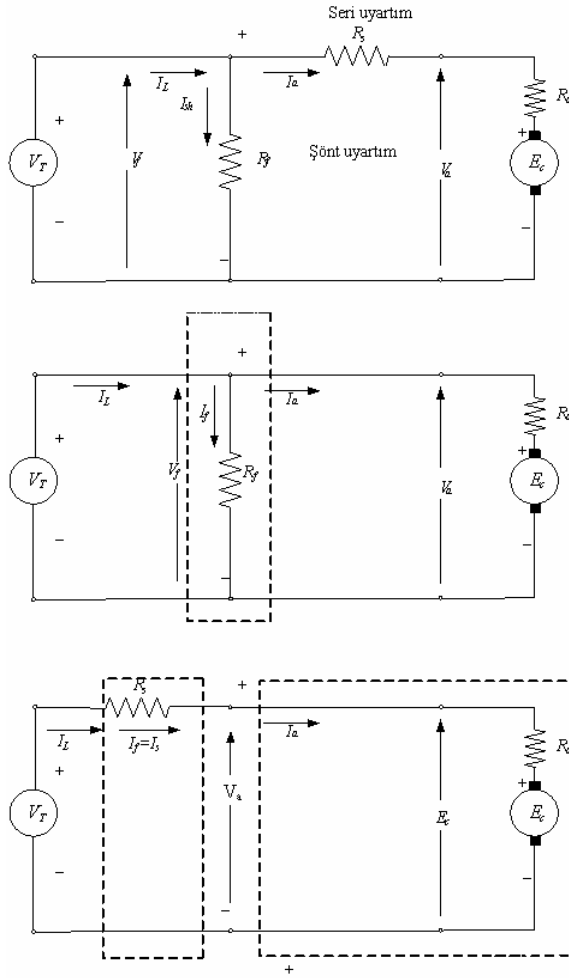
DA motorları, bir manyetik alan içerisinde bir iletkenin akım geçirilmesi sonucunda, o iletkenin kuvvet etki etmesi prensibiyle çalışırlar. DA motorlarda manyetik alanın oluşturulması için statorda bir alan sargısı ve rotorda da dönme hareketinin sağlanması için bir endüvi sargısı bulunur. DA gerilim dönen kısma da uygulandığından fırça kolektör düzeni kullanılmaktadır. DA motorları endüstride ayarlanabilir hız ve hassas konumlandırma uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar. Doğru akım motoru, DA elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirir. DA motoru endüvi devresi ve uyarım devresi olarak iki model ile temsil edilir.

DA motorları uyarım sargısının durumuna göre kendinden uyarımlı ve yabancı (serbest) uyarımlı olarak iki gruba ayrılır. Serbest uyarımlı DA motorlarda, uyarım sargısı ve besleme sargısı elektriksel olarak birbirinden bağımsız olan iki kaynaktan beslenir. Şekil 4.1’de yabancı uyarımlı DA motor modeli görülmektedir. Kendinden uyarımlı DA motorları uyarım sargısının endüvi devresine

baglanmasına göre seri, sönt ve kompond olmak üzere üç guruba ayrılmaktadır [46]. Sekil 4.2’de bu bağlantı şekilleri verilmistir. Bu çalışmada yabancı uyartımlı DA motoru kullanılmistir.



Sekil 4.1. Yabancı uyartımlı bir DA motorunun esdeğer devresi



Sekil 4.2. DA motoru seri, sönt ve kompond uyartım devre semaları

DA motorlarının genel kontrol prensipleri temel iliskilerden elde edilmektedir. Sekil 4.1’de bir DA motoruna ait esdeger devre verilmiştir. Bu esdeger devrede;

V_a = Endüvi gerilimini (V)

I_a = Endüvi akimini (A)

R_a = Endüvi devresi direncini (Ω)

E_a = Endüvi sargılarında endüklenen gerilimi (V)

R_f = Uyartım devresi sargı direncini (Ω)

V_f = Uyartım devresi gerilimini (V)

I_f = Uyartım devresi akimini (A)

göstermektedir.

Endüvi gerilimi veya zit e.m.k. Esitlik 4.1 ile tanımlanmıştır.

$$E_a = V_a - I_a R_a \quad (4.1.1)$$

veya kutup akisi ve açısal hız cinsinden Esitlik 4.2 ile tanımlanmıştır.

$$E_a = K f_f w \quad (4.1.2)$$

K = Makine sabitini

f_f = Bir kutbun manyetik akisini (Wb)

w = Açısal hızı (rad / s)

Esitlik 4.1 ve 4.2 kullanılarak açısal hız ifadesi Esitlik 4.3’ deki gibi yazılabilir;

$$w = \frac{V_a - I_a R_a}{K f_f} \quad (4.1.3)$$

Esitlik 4.3' de görüldüğü gibi hıza (w) etki eden degerler; endüviye uygulanan gerilim V_a endüvi akimi I_a endüvi direnci R_a ve kutup akisi f_f ' dir. Burada yabancı uyartimli bir motor kullanildigindan, uyartim devresi endüvi devresinden elektriki olarak tamamen bagimsiz olup, uyartim devresi akimi ve gerilimi sabittir [46]. Yapilan uygulamada DA motorunun hizi endüvi geriliminin ayarlanması ile kontrol edilmistir.

Endüvi ve alan sargilarinin ayri kaynaklardan beslendigi serbest uyartimli DA motoru vasitasi ile çok esnek kontrol yapılabilmektedir. Endüvi gerilimi kontrollü bir dogrultucu veya bir kıyıcıdan kontrol edilebilmektedir. Eger uyarma akimi kontrol edilmek istenirse, benzer düzenleme geçerli olabilmektedir [47].

4.1.1. DA Motorunun yolalması (Baslaması)

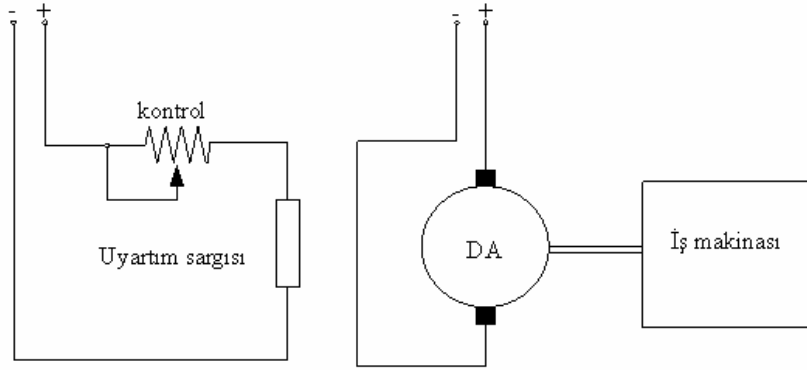
Motor dururken, motor devir sayisinin ve zit emk 'in sıfır olduğu açıktır. Endüvi devresine sabit kaynak geriliminin uygulanması çok yüksek akim ile sonuçlanacaktır. Esitlik 4.1.4'de $E_c=0$ iken baslama akimi;

$$I_{a,st} = \frac{V_a}{R_a + R_s} \quad (4.1.4)$$

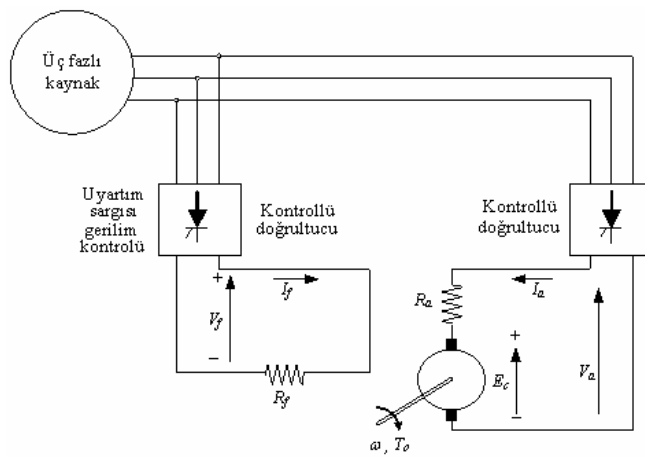
olur. Baslama akimini sınırlamak için iki tedbir alınabilir. Birincisi motora ayarlı DA gerilim kaynagından azaltılmış gerilim uygulamaktır. İkincisi ve klasik olanı ise akim degerini kabul edilebilir sınırdaki tutacak yolverme (starting) direnci (R_{st}) kullanmaktır. Bu direnç ayarlı olup motor devir sayısı arttıkça devreden çıkarılarak sıfır yapılır. Motor, yolaldıktan sonra eğer motor direnci devrede bırakılırsa motor düşük devir (performans) ile çalışacaktır.

4.2. Dogru Akim Motor Kontrolü ve Sürücüleri

Dogru akim kullanildigi dönemlerde is makinalarini sürmek için sabit bir gerilim hattindan beslenen DA motorlari kullanilmistir. Hiz kontrolü ise sadece motor akisinin ayarlanmasi suretiyle yapilmistir. Bu durum o dönemde komitasyon kavraminin da iyi anlasilmamasi sebebiyle sirasi ile kollektör kivilcimlari, kollektör ve fırça ömürlerinde azalma gibi birkaç problem olusturmustur. Sonuç olarak çoğu sürücü sabit hızda kullanilmistir. Degisken hizli sürücüler ise, Sekil 4.3.'de görüldüğü gibi alan akisini degistirmek sureti ile yapilmistir.



Sekil 4.3. Klasik hiz kontrollü DA sürücünün temel prensip semasi



Sekil 4.4. DA Motorunun elektronik sürücü devresi

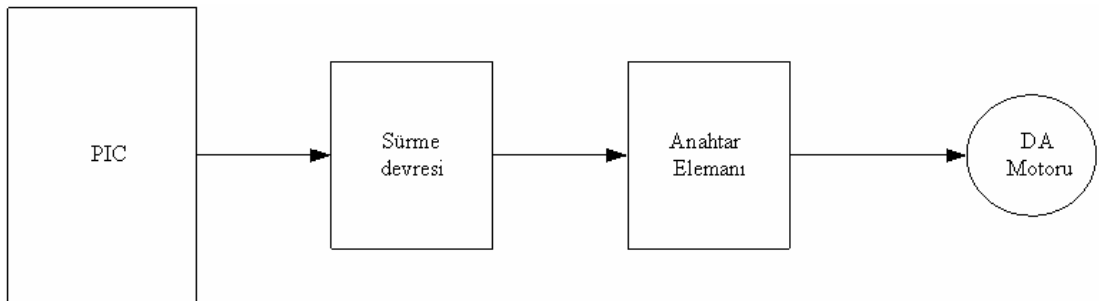
Bu sürücülerde genellikle küçük mekanik ve elektriksel zaman sabitine sahip kuvvetli, dayanikli motorlar kullanilmistir. Elektronik kontrol sistemindeki

gelişmelerle birlikte DA motor kontrolünde Sekil 4.4.'de görüldüğü gibi elektronik kontrol önem kazanmıştır [48].

Buna paralel olarak bilgisayar teknolojisindeki yeni gelişmelerle birlikte kontrol sistemlerinde ağırlıklı yazılıma dayalı kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada yazılım esaslı olan PIC tabanlı buck konvertörlerle DA motor kontrolü endüvi sargı gerilimi ayarlanarak gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Mikrodenetleyici ile kontrol

Son yıllarda mikroislemci teknolojisindeki hızlı gelişmelerle birlikte yüksek hızlı, çok fonksiyonlu, daha güçlü ve kontrol amaçlı üretilen mikrodenetleyiciler ön plana çıkmış durumdadır. Mikrodenetleyici daha çok fonksiyon sağlaması, sistem maliyetlerini düşürmesi ve daha küçük sistem yapısına imkan tanınması sebebiyle, sayısal (dijital) kontrol sistemlerinde mikrodenetleyiciler daha fazla tercih edilmeye başlamıştır. Sekil 4.5.'de PIC kontrollü bir sistemin blok diyagramı görülmektedir. Analog kontrol yöntemlerinin bazı dezavantajları vardır. Bunlar analog işaretlerin iletiminde ortaya çıkan güçlük, sıcaklık nedeniyle oluşan hatalar, elemanların yıpranması, analog elemanlarda oluşan kayma ve sapmalar, dağılmış bozucu etkiler gibi özelliklerdir. Bir sayısal kontrol sisteminde ise bu dezavantajlar yoktur. Sayısal bir kontrol uygulamasında hız bilgisi, frekansı motor hızıyla orantili olarak değişen darbe dizilerini üreten bir sayısal takometreden elde edilebilmektedir.



Sekil 4. 5. PIC kontrollü sistemin blok diyagramı

Darbe dizileri bir sayıcıya verilmek suretiyle sayısal bilgiye dönüştürülerek bu bilgi hız bilgisi olarak mikrodenetleyiciye verilmektedir. Bazı mikrodenetleyiciler de kendi içerisinde sayıcı bulunmaktadır. Ayrı bir sayıcı sisteme gerek kalmamaktadır ki nitekim bu tezde mikrodenetleyicinin içerisinde bulunan sayıcı kullanıldı. Sistem gerilimi ve akımıyla ilgili analog işaretler, A/D (analog/dijital) çeviriciler kullanılarak sayısal bilgi sekline getirilerek bu bilgiler Mikrodenetleyici tarafından alınmaktadır. Elde edilen bilgiler bir kontrol algoritmasından geçirilerek sürücü devredeki anahtarlama elemanları için gerekli kontrol işaretleri Mikrodenetleyici tarafından üretilmektedir. Aynı zamanda sayısal kontrol sistemlerinde ölçülemeyen büyüklükler, ölçülen büyüklükleri kullanarak yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilebilmektedir.

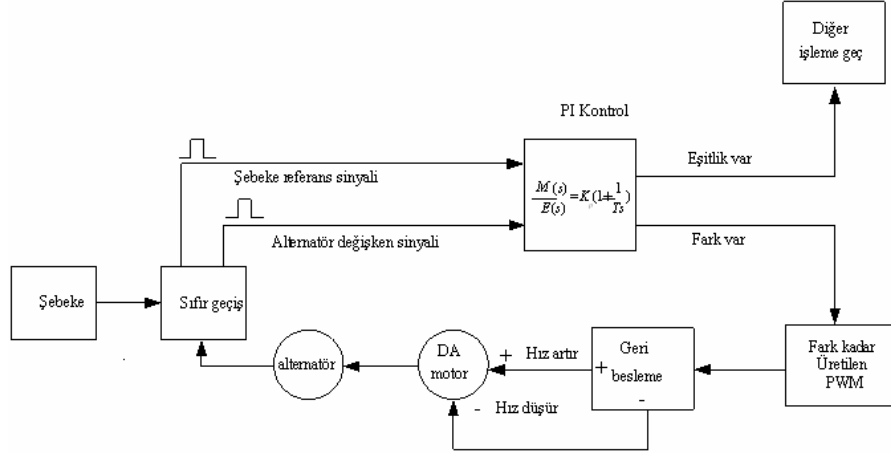
Bazı modern kontrol yöntemleri, analog devrelerle gerçekleştirmek çok zor olmakta veya mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda mikrodenetleyicilerin kullanılması büyük kolaylık ve çalışma esnekliği sağlamaktadır. Bir tasarımcı için donanım yerine yazılımı değiştirmek suretiyle kontrol sisteminde değişiklik yapmak önemli bir özelliktir. Bu şekilde aynı sistem için değişik kontrol algoritmalarını uygulamak mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada DA motorunun hız kontrolün de mikrodenetleyici tabanlı kontrol sistemi kullanılmıştır. Hız bilgisi alınırken takogeneratör kullanılmamıştır. Mikrodenetleyicinin kontrol algoritmalarından faydalanılarak sebeke sinyali referans alınmıştır. Alternatör uç geriliminden alınan değişken frekans bilgisi, referans olan sebeke frekansı ile mikrodenetleyicinin sayısal girişlerinde karşılaştırılmıştır. Aralarındaki fark kadar konvertör anahtar sinyalinin darbeleme oranı değiştirilerek mikrodenetleyici tarafından sağlanmıştır.

4.3. Kontrol Sistemi

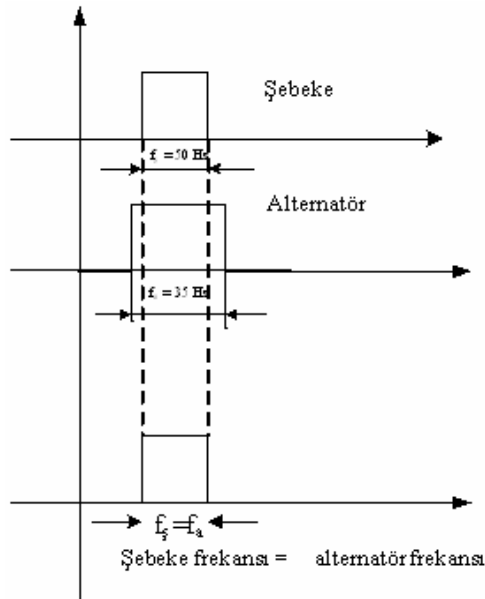
Yapılan çalışmada kontrol sisteminde C yazılım programı kullanılmıştır. Program içerisindeki kontrol parametreleri PI ve PD olarak kullanılmıştır. Alternatör ve

sebekeye ait olan sinüs referans sinyalleri sıfır geçiş anahtar devresinde kare dalgaya dönüştürülerek mikrodenetleyici girişlerine uygulanmıştır.



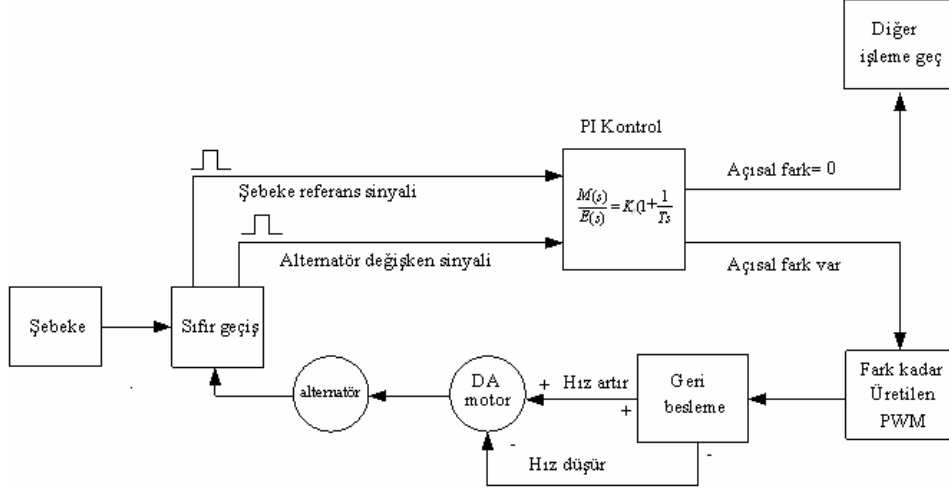
Sekil 4.6. Frekans kontrol ünitesi sinyal blok şeması

Mikrodenetleyici gelen sinyalleri integrasyon denetimi uygulayarak başlangıç anlarını esitleyerek faz açısı kontrolü, genliklerini esitleyerek Şekil 4.6’da görüldüğü gibi frekans eşitliğini sağlamaktadır. Şekil 4.7’de ise eşitlik dalga şekilleri görülmektedir.

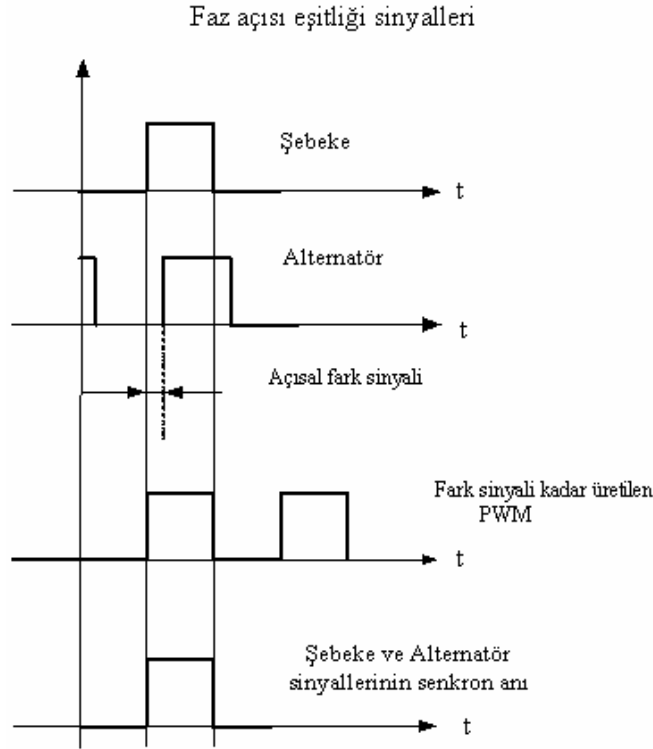


Sekil 4.7. Frekans eşitliği ayar sinyalleri

Faz açısı eşitliği devresi de frekans eşitliğinin sağlandığı gibi yapılmaktadır.



Sekil 4.8. Faz açısı eşitliği kontrol devresi sinyalleri blok seması



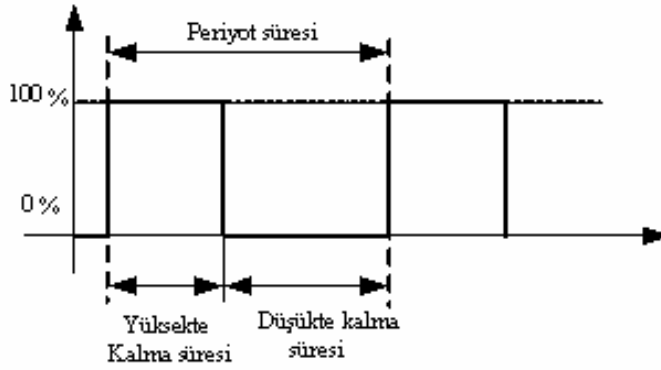
Sekil 4.9. Faz açısı eşitliği sinyalleri

Burada Sekil 4.8.'de görüldüğü gibi sebekesinyal girişi referans alınıp alternatör sinyalinin başlangıcı sebekesinyal ile aynı zamanlı (senkron) olmasını sağlamak için DA

motorunun hizi ayarlanmak suretiyle saglanmaktadır. Sekil 4.9.'da bu sinyallere ait dalga sekilleri görülmektedir.

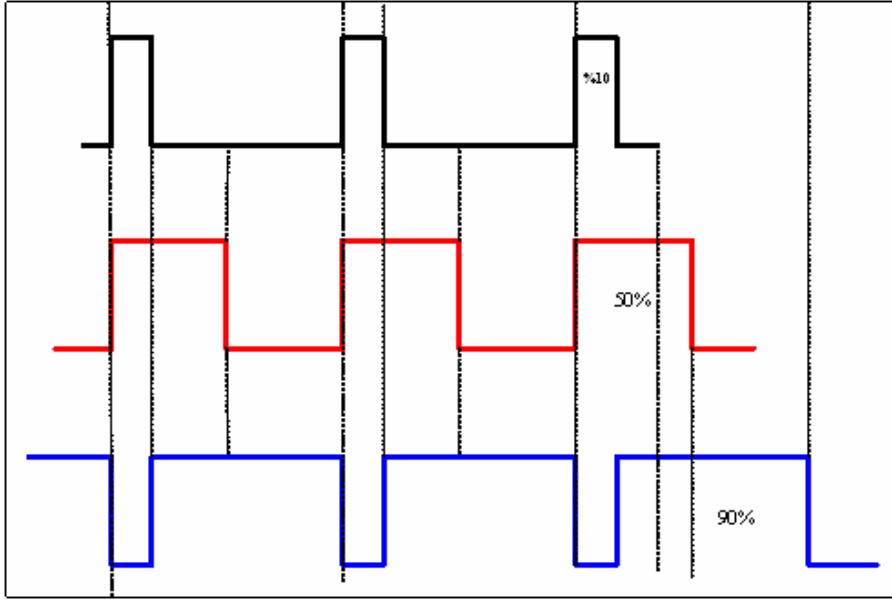
4.3.1. PWM

PWM, Darbe genislik modülasyonu (Pulse-width modulation), üretilecek olan darbelerin, genisliklerini kontrol ederek, çıkışta üretilmek istenen analog elektriksel degerin veya sinyalin elde edilmesi teknigidir. Bir PWM dalga yapisi ise Sekil 4.10.'da görüldüğü gibi bir periyot, yüksekte kalma (doluluk oranı) düşükte kalma süresinden oluşmaktadır [49]. Görüldüğü gibi PWM dalga yapisi bir kare dalgaya benzemektedir. Dalganın tepe noktasındaki degerini V_{cc} , çukurdaki degerini ise V_{ss} kabul edilirse, $V_{ss} = 0$, $V_{cc} = 5$ volt degerini alır. PWM sinyalinin V_{cc} 'de ve V_{ss} 'de kalma süresinin oranini degistirilerek V_{cc} ile V_{ss} arasında olusabilecek bütün gerilim degerleri elde etmek mümkün olur.



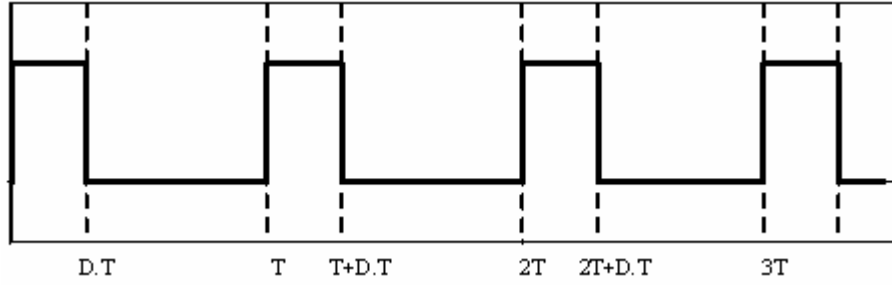
Sekil 4.10. PWM Dalga Yapisi

PWM sinyalinin V_{cc} degerinde olmasının bir periyot degerine oranına Duty cycle (kullanım oranı, darbeleme oranı) denir. Duty Cycle=Yüksek Voltajda Kalma Süresi/Periyot'tur. Örneğin darbeleme oranı=50% ise V_{cc} nin uygulanma süresinin periyoda oranı $\frac{1}{2}$ ' dir. Baska bir deşikle V_{cc} ' nin uygulanma süresi V_{ss} ' nin uygulanma süresine esittir. Sekil 4.11.'de deşisik darbeleme oranına sahip dalgalar görülmektedir. Dalga 1' in darbeleme oranı yaklaşık %10 iken, bu deger yaklaşık olarak dalga 2'de, %50 dalga 3'de, ise %90 dir.



Sekil 4.11. Çesitli Duty Cycle Oranlari

Sekil 4.12’de görüldüğü gibi üretilen kare dalga darbe sinyallerinin genisliklerinin ortalamasi, çikista üretilcek olan analog degerin elde edilmesini saglar.



Sekil 4.12. Kare Dalga

Kare dalganin frekansina $f(t)$, en düşük genlik degerine $y_{\min}$, en yüksek genlik degerine $y_{\max}$ ve sinyal oranina (duty cycle) D diyelim, Esitlik 4.3.1’ de ortalama sinyal;

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (4.3.1)$$

$f(t)$ kare dalga oldugundan, $f(t)$, $y_{\max}$ için;

$$0 < t < D.T$$

ve $y_{\min}$ için;

$$D.T < t < T$$

degerlerini alabilir.

Buradan Esitlik 4.5 ;

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^{DT} y_{\max} dt + \int_{DT}^T y_{\min} dt = \frac{D.T.y_{\max} + T(1-D)y_{\min}}{T} = D.y_{\max} + (1-D)y_{\min} \quad (4.3.2)$$

elde edilir.

Yukarıda verilen esitlik genellikle $y_{\min} = 0$ iken, Esitlik 4.6 olarak kullanılır.

$$\bar{y} = D.y_{\max} \quad (4.3.3)$$

Görüldüğü gibi elde edilecek ortalama deger direk sinyal oranına (duty cycle) baglidir. PWM dalgalarının üretilmesi için degisik pek çok metot vardır. Örneklerde görüldüğü gibi kare dalga olmak zorunda degildir. Fakat bu dalgaların frekansının yüksek olması gereklidir [50].

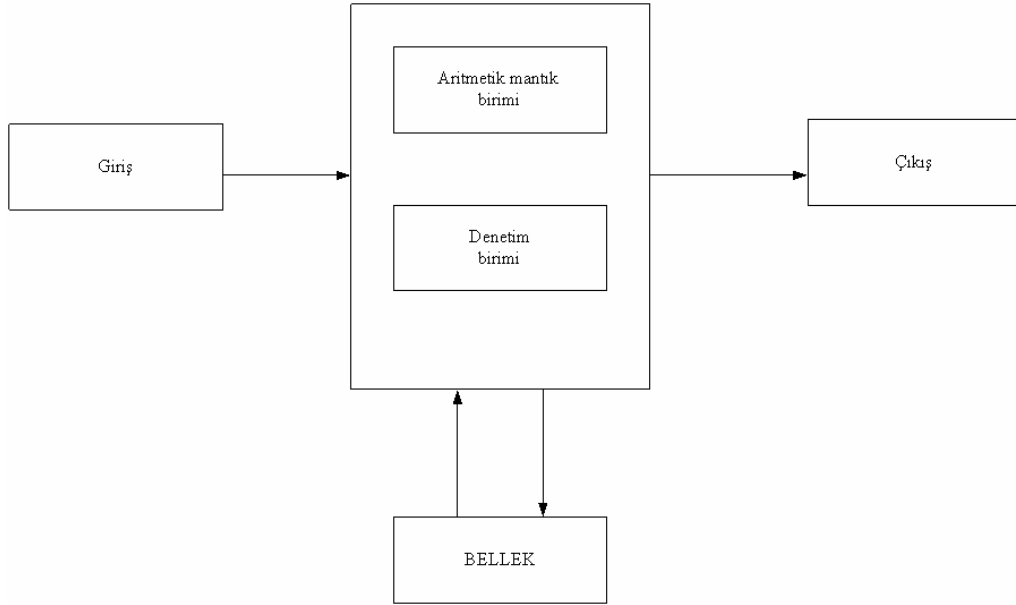
5. MIKRODENETLEYICILER

Mikrobilgisayarlar, günlük yasantimizda kullanım alanlari gün geçtikçe artmaktadır. Bir mikrobilgisayarın temel yapisi, bir digerinden pek farkli degildir. 1960’larda bilgisayarlar, fiyatlarının çok yüksek olması nedeni ile sadece büyük sirketler, gelismis üniversiteler ve devlet daireleri tarafından kullanılabilirdi. Yari iletken teknolojisindeki hizli gelismeler neticesinde, 1960 lardaki bilgisayar kapasitesi günümüzde 10 dolardan daha ucuz olan mikroislemci denilen tümlesik devrelere sigdirilmektedir. Bir mikroislemci kullanarak tasarimlanan bilgisayara mikrobilgisayar denilmektedir.

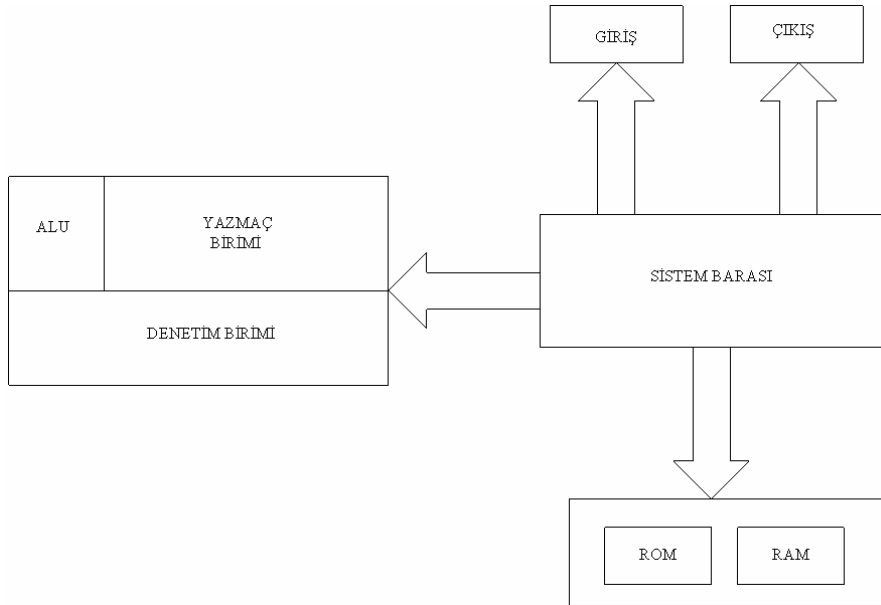
Bilgisayarlar bit adi verilen, 0 ve 1 sayilarini kullanan ikili sayi sistemi ile çalisir ve haberlesirler. Her bilgisayarın Kendine özgü, makine dili denilen ve ikili kodlardan olusan sabit bir komut kümesi vardır. Makine dili ile çalışmak zor olduğundan ikili kodlanmış komutların her biri isimlendirilmiştir. Bu komut isimlerine ‘mnemonic’ denir. Mnemoniklerle yazılan programlar ‘assembly’ dili ile yazılmış olurlar. Ancak bilgisayarlar ikili sayılarla çalıştığından assembly programın, makine diline çevrilmesi gerekir.

Çevirme işlemine derleme denir. Derleme işlemi tablolardan faydalanılarak yapılır. Bu işlemin elle yapılması oldukça zordur. Bu yüzden her mikroislemci ailesine ait bir derleyici program (Cross Assembler) geliştirilmiştir. Kullanıcı, programlarını O dili ile de yazabilmektedir. Ancak bunun derleyicisi de farklıdır. Fiziksel olarak bir mikrobilgisayar temel yapisi Şekil 5.1.’de verilmiştir [51].

Giris : Çalışma esnasında kullanıcının veri girebildiği kısımdır. Basit anahtarlar, klavye veya başka bir devre olabilir. Çıkis. yapılan işlemlerin neticesinde elde edilen sonuçların disariya çıkarıldığı kısımdır. Gösterge, yazıcı veya bir devre olabilir. Giris/Çıkis birimlerine çevre birimi (Peripheral) denir [52].



Sekil 5.1. Temel mikrobilgisayar blok diyagramı



Sekil 5.2. Temel mikroislemci blok diyagramı

CPU (Central Processing Unit, Merkezi İşlem Birimi): Sistemin beynidir. Bilgi depolama için kullanılan çeşitli yazmaçlar, Aritmetik Mantık Birimi, komut çözücü, sayıcı ve denetim hatlarından oluşur. Bellekten komutları okur ve gerekli işlemleri yapar. Diğer birimler ile iletişimi sağlar. Sekil 5.2.'de temel CPU yapısı verilmiştir.

ALU (Aritmetik Logic Unit, Aritmetik Mantık Birimi): Toplama çıkarma gibi aritmetik işlemler ile VE, VEYA ve Seçkin VEYA gibi mantıksal işlemleri yapan birimdir.

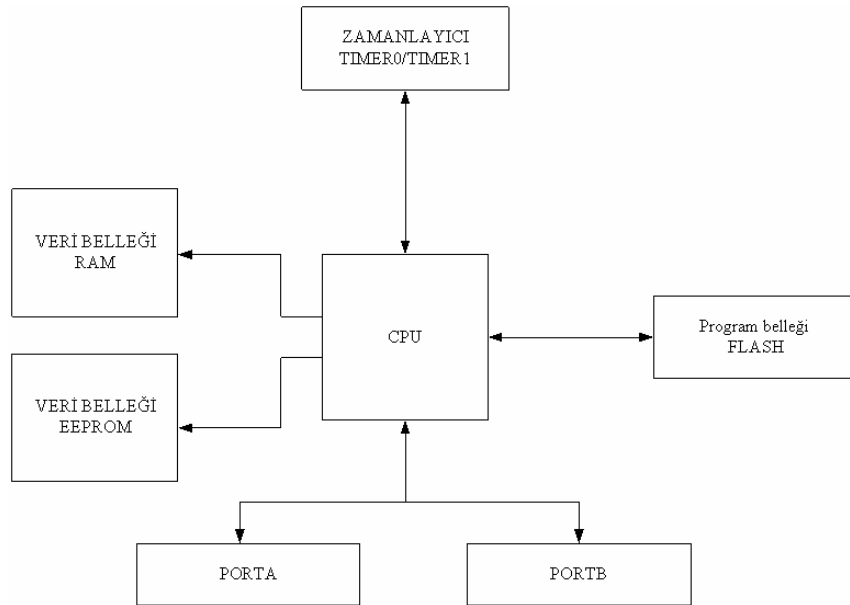
Yazmaç birimi: Çalışma esnasında, geçici veya kalıcı olarak bilgi depolanan yazmaçları içeren kısımdır.

Denetim birimi: bir komutun işlenmesi esnasında gerekli olan tüm zamanlama ve denetleme çıkışlarını sağlayan kısımdır.

Sistem barası (System bus): mikroislemci ile çevre birimlerinin iletişimini sağlayan bir bağlantı yoludur. Adres, veri ve denetim bitlerinden oluşur [52].

5.1. PIC Mikrokontrolörlere Giriş

PIC' in kelime anlamı PERIPHERAL INTERFACE CONTROLLER giriş-çıkış işlemcisidir.



Sekil 5.3. Mikrodenetleyici blok seması

İlk olarak 1994 yılında 16 bitlik ve 32 bitlik büyük işlemcilerin , giriş ve çıkışlarındaki yükü azaltmak ve denetlemek amacıyla çok hızlı ve ucuz bir çözüme ihtiyaç duyulduğu için geliştirilmiştir. Şekil 5.3.'de mikrodeneleyici blok şeması verilmiştir [51,52].

5.2. PIC Mikrokontrolerlerinin Tercih Sebepleri

- Lojik uygulamalarının hızlı olması
- Fiyatının oldukça ucuz olması
- 8 bitlik mikrokontroller olması ve bellek ve veri için ayrı yerleşik bus' ların kullanılması
- Veri ve belleğe hızlı olarak erişimin sağlanması
- PIC' e göre diğer mikrokontrolörlerde veri ve programı taşıyan bir tek bus bulunması, dolayısıyla PIC' in bu özelliği ile diğer mikrokontrolörlerden iki kat daha hızlı olması.
- Herhangi bir ek bellek veya giriş/çıkış elemanı gerektirmeden sadece 2 kondansatör ve bir direnç ile çalışabilmeleri.
- Yüksek frekanslarda çalışabilme özelliği
- Standby durumunda çok düşük akım çekmesi.
- İnterrupt kapasitesi ve 14 bit komut işleme hafızası. j) Kod sıkıştırma özelliği ile aynı anda birçok işlem gerçekleştirebilmesi PIC mikrokontrolörleri çeşitli özelliklerine göre PIC16C6X, 16C7X, 16C5X ,16F8X, 16F87X gibi gruplara ayrılırlar [53].

5.3. PIC Mikrokontrolörlerin Kullanımı İçin Gerekli Asamalar

I/O (Giriş / Çıkış) : Mikrokontrolcünün dış dünya ile ilişkisini sağlayan, girdi ve çıktı şeklinde ayarlanabilen bir bağlantı pinidir. I/O çoğunlukla mikrokontrolcünün iletişim kurmasına, kontrol etmesine veya bilgi okumasına izin verir.

Yazılım : Mikrokontrolcünün çalışmasını ve işletilmesini sağlayan bilgidir. Başarılı bir uygulama için yazılım hatasız (bug) olmalıdır. Yazılım C, Pascal veya Assembler gibi çeşitli dillerde veya ikilik (binary) olarak yazılabilir.

Donanım : Mikrokontrolör, bellek, arabirim bileşenleri, güç kaynakları, sinyal düzenleyici devreler ve bunları çalıştırmak ve arabirim görevini üstlenmek için bu cihazlara bağlanan ve birlikte çalışan tüm bileşenlerdir.

Simülatör : PC üzerinde çalışan ve mikrokontrolcünün içindeki işlemleri simüle eden MPASM gibi bir yazılım paketidir. Hangi olayların ne zaman meydana geldiği biliniyorsa bir simülatör kullanmak tasarımları test etmek için kolay bir yol olacaktır. Öte yandan simülatör, programları tümüyle veya adım adım izleyerek bug'lardan arındırma fırsatı sunar.

ICE : PIC MASTER olarak da adlandırılır. (In-Circuit Emulator / İç devre takipçisi) PC ve Mikrokontrolcünün yer alacağı soket arasına bağlanmış yararlı bir gereçtir. Bu gereç yazılım, PC'de çalışırken devre kartı üzerinde bir mikrokontrolcü gibi davranır. ICE, bir programa girilmesini, mikro içinde neler olduğunu ve dış dünyayla nasıl iletişim kurulduğunun izlenilmesini mümkün kılar.

Programcı : Yazılımın mikrokontrolcü belleğinde programlamasını ve böylece ICE'nin yardımı olmadan çalışmasını sağlayan bir birimdir.

Kaynak Dosyası : Hem assembler'ın hem de tasarımcının anlayabileceği dilde yazılmış bir programdır.

Assembler : Kaynak dosyayı bir nesne dosyaya dönüştüren yazılım paketidir. Hata araştırma bu paketin yerleşik bir özelliğidir. Bu özellik assemble edilme sürecinde hatalar çıktıkça programı bug'lardan arındırırken kullanılır. MPASM, tüm PIC ailesini elinde tutan Microchip'in son assemble edicisidir.

Nesne dosyasi (object file) : Assembler tarafından üretilen bu dosya; programci, simülatör veya ICE' nin anlayabilecekleri ve böylelikle dosyanin islevlerinin çalismasini saglayabilecekleri bir dosyadir.

5.4. PIC Mikrokontrolörlerinin Özellikleri

Güvenirlilik: PIC komutlari bellekte çok az yer kaplarlar.

Hiz : PIC oldukça hizli bir mikrokontrolör' dür. Her bir komut döngüsü 1µsn' dir.

Komut seti : PIC' in 16C5X ailesinde bir yazilim yapmak için 33 komuta ihtiyaç duyarken 16CXX araçlari için bu sayi 35' tir. PIC tarafından kullanılan komutlari hepsi yazmaç (register) temellidir. Komutlar 16C5X ailesinde 12 bit, 16CXX ailesindeyse 14 bit uzunlugundadir. PIC' te CALL, GOTO ve bit test eden BTFSS ve INCFSZ gibi komutlar disinda diger komutlar 1 saykil çeker. Belirtilen komutlar ise 2 saykil çeker.

Statik Islem : PIC tamamiyla statik bir işlemcidir. Yani saat durdurulduğunda da tüm yazmaç içeriği korunur. Pratikte bunu tam olarak gerçeklestirebilmek mümkün degildir. PIC mikrosu programi isletilmedigi zaman uyuma (sleep) moduna geçirilerek mikronun çok düşük akim çekmesi saglanir.

Sürme özelligi (Sürücü kapasitesi): PIC yüksek bir çıktı kapasitesine sahiptir. Tek bacadan 40mA akim çekebilmekte ve entegre toplami olarak 150mA akim akitma kapasitesine sahiptir. Entegrenin 4mHz osilatör frekansinda çektiği akim çalışırken 2mA, stand-by durumunda ise 2µA kadardir.

Seçenekler : PIC ailesinde her türlü ihtiyaçlari karsilanacagi çeşitli hiz, sıcaklik, kilif, I/O hatlari, zamanlama (Timer) fonksiyonlari, seri iletisim portlari, A/D ve bellek kapasite seçenekleri bulunur.

Çok yönlülük : PIC çok yönlü bir mikrodur ve ürünün içinde, yer darlığı durumunda birkaç mantık kapisinin yerini değiştirmek için düşük maliyetli bir çözüm bulunur.

Güvenlik : PIC endüstride en üstünler arasında yer alan bir kod koruma özelliğine sahiptir.

Geliştirme: PIC program geliştirme amacıyla programlanabilip tekrar silinebilme özelliğine sahiptir. (EPROM, EEPROM) Aynı zamanda seri üretim amacıyla bir kere programlanabilir (OTP) özelliğine sahiptir.

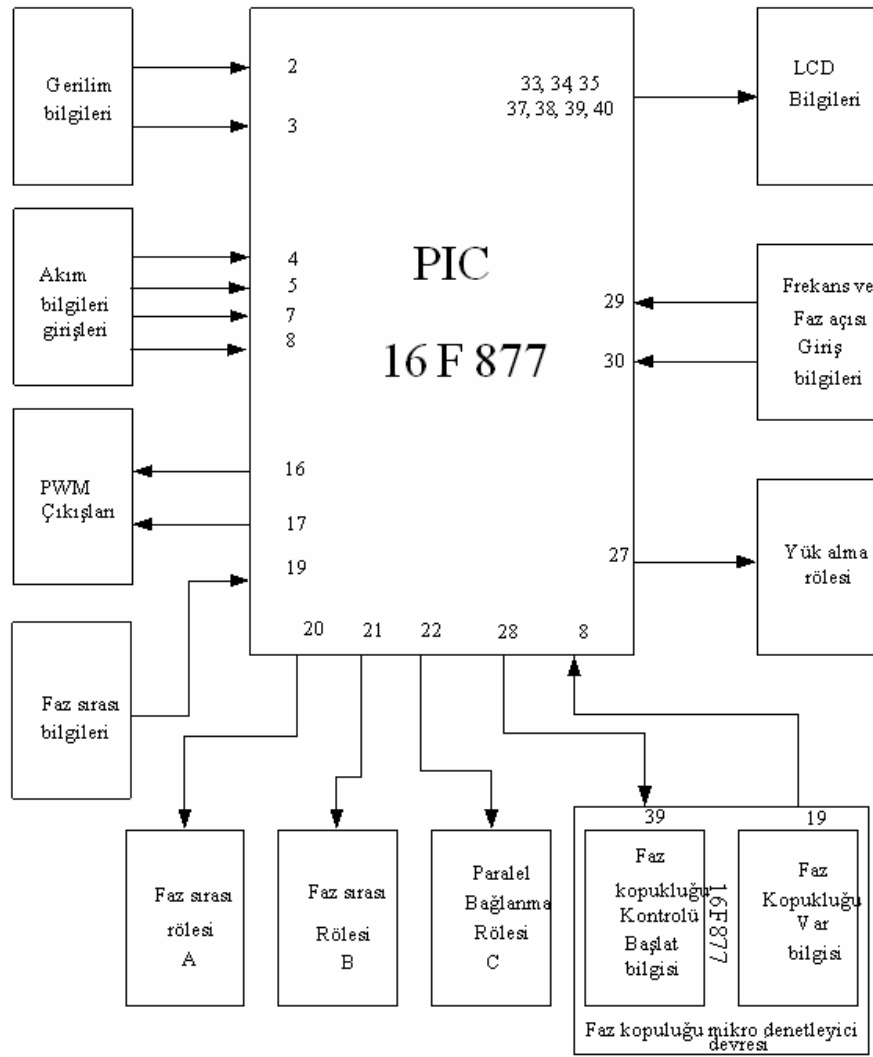
Liste dosyası : Assembler tarafından yaratılan ve kaynak dosyadaki tüm komutları hexadecimal sistemdeki değerleri ve tasarımcının yazmış olduğu yorumlarıyla birlikte içeren bir dosyadır.

Diğer dosyalar : Hata dosyası hataların bir listesini içerir. Uzantisi .COD olan dosyalar emülatör tarafından kullanılırlar.

Bug'lar : Tasarımcının farkında olmadan yaptığı hatalardır [51-53].

5.5. PIC16F877 Mikrodenetleyicisi

Yapılan çalışmada PIC 16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Şekil 5.4.'de kullanılan mikrodenetleyici giriş ve çıkış bilgileri verilmiştir. Mikrodenetleyici CCS C programlama dilinde yazılan program doğrultusunda işlemleri gerçekleştirmektedir. Tasarım ve uygulama bölümünde yapılan işlemler ve hazırlanan programın akış seması verilmiştir.



Sekil 5.4. Çalışmada kullanılan 16F877 giriş çıkış bilgileri

6. DA/DA KONVERTÖRLER

Yapılan çalışmada DA motorunun hız kontrolü endüvi gerilimi ayarlanarak yapılmıştır. Alternatör çıkış gerilimi alternatör uyartım sargisinin gerilimi ayarlanarak gerçekleştirilmiştir. Her iki kontrolde mikrodenetleyici tabanlı buck konvertörlerin darbeleme oranları değiştirilerek sağlanmıştır. Buck konvertörlerde anahtar elemanı olarak IGBT kullanılmıştır.

Bilindiği gibi gücün DA'den DA'ye dönüştürülmesi anahtarlama tip güç konvertörleri ile yapılır. Konvertörler reaktif elemanlar ve anahtarlardan meydana gelir [54]. Çalışma prensibi devrede kullanılan anahtarların iletim ve kesim sürelerinin ayarlanması ile yapılır. Yükü besleyen gerilimin frekansı büyük değerlerde ise pratik olarak yüke kesintisiz DA güç aktarımı mümkün olur. Böyle konvertörlerin, tatmin edici işletimi, reaktif elemanların uygun konfigürasyonuna ve uygun anahtarlama metodlarına bağlıdır.

Anahtar mode DA/DA konvertörler lineer olmayan ve zamanla değişen sistemlerdir. DA/DA konvertörleri yaptıkları işlemlere göre şöyle sınıflandırabiliriz [55].

- Buck konvertör (Step-Down)
- Boost konvertör (Step-Up)
- Buck-boost konvertör (Step-Down/Up)
- C $\bar{U}$ k konvertör
- Tam-köprü konvertör

Buck ve boost konvertörler temel konvertörlerdir. Buck-boost ve cuk konvertörleri temel konvertörlerin kombinezyonlarından oluşmuştur. Tam-köprü konvertör ise buck konvertörden elde edilmiştir. Konvertörlerin varyasyonları belirli uygulamalarına bağlı olarak anahtar mod DA güç kaynakları ve DA motor uygulamaları olarak tanımlanmıştır.

6.1. DA/DA Konvertör Kontrolü

DA/DA konvertörlerin ortalama çıkis gerilimleri, kontrol geriliminin seviyesine bağlıdır. Giriş gerilimi ve yük gerilimi titresebilir. Konvertörün çıkis değeri istenilen bir düzeyde sabitlenmelidir. DA/DA konvertörde bir veya daha fazla anahtar kullanılır, güç aktarımı bu anahtarlar yardımı ile yapılır. Bir konvertörde uygulanan giriş gerilimi ile çıkis geriliminin kontrol edilmesi anahtarların iletim ve kesim sürelerinin ayarlanması ile mümkündür [56]. Bu kavram Şekil 2.2.a.'da ifade edilmiştir. Kontrol işlemlerinde kullanılan yöntemlerin bir tanesi, anahtarlama işleminin sabit frekansta yapılmasına dayanır. Frekansın sabit olması ise periyotun sabit olması anlamına gelir bu durum Esitlik 6.1.1.'de görülmektedir. Yani;

$$T_s = t_{on} + t_{off} \quad (6.1.1)$$

demektir. Burada;

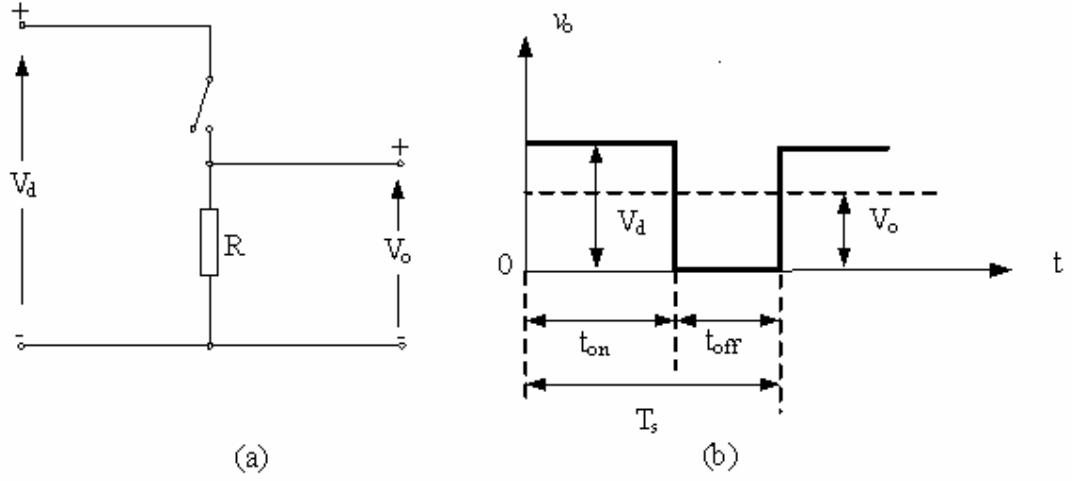
T_s = Toplam periyot

t_{on} = İletim süresi

t_{off} = Kesim süresi' ni

göstermektedir.

Bu tip yapılan işleme PWM (Darbe Genislik Modülasyonu) denir. Diğer yöntem daha genel bir yöntemdir. Bu yöntemde sabit bir frekans dolayısıyla periyot yoktur. İletim ve kesim süreleri değişkendir, bu tip uygulama daha çok tristör'ün anahtar olarak kullanıldığı konvertörlerde yapılmaktadır. Darbe genişlik modülasyonu (PWM) kontrollü DA/DA konvertörler $v_{kontrol}$ sinyali ile periyodik bir sinyalin karşılaştırılmasından elde edilir. $v_{kontrol}$ sinyali asıl çıkis gerilimi ile istenilen çıkis gerilimi arasındaki farkın güçlendirilmesi ile elde edilir [57]. Bu durum Şekil 6.1.a.'da görülmektedir.



Sekil 6.1. Anahtar mod DA/DA dönüsmü a) Devresi b) Kontrol sinyali

Sekil 6.2.'de görüldüğü gibi, anahtarlama frekansini belirleyen sinyal, sabit genligi olan ve testere disi seklinde gösterilen v_{st} sinyalidir. Bu frekans PWM metodunda sabit tutulur ve birkaç kilo hertz ile birkaç yüz kilo hertz arasında degisen bir deger seçilir. Güçlendirilen hata sinyali ($v_{kontrol}$), testere disi sinyaline (v_{st}) göre daha yavas degisen bir sinyaldir ve hata sinyalinin testere disi sinyalden büyük olduğu durumlarda anahtari kontrol eden sinyal yüksek degerlere ulasir. Bu durumda anahtar iletim, diger durumda anahtar kesimdedir. Bu ifade Esitlik 6.1.2.' de verilmistir.

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} = \frac{v_{kontrol}}{\hat{V}_{st}} \quad (\text{Buck konvertör}) \quad (6.1.2)$$

Burada;

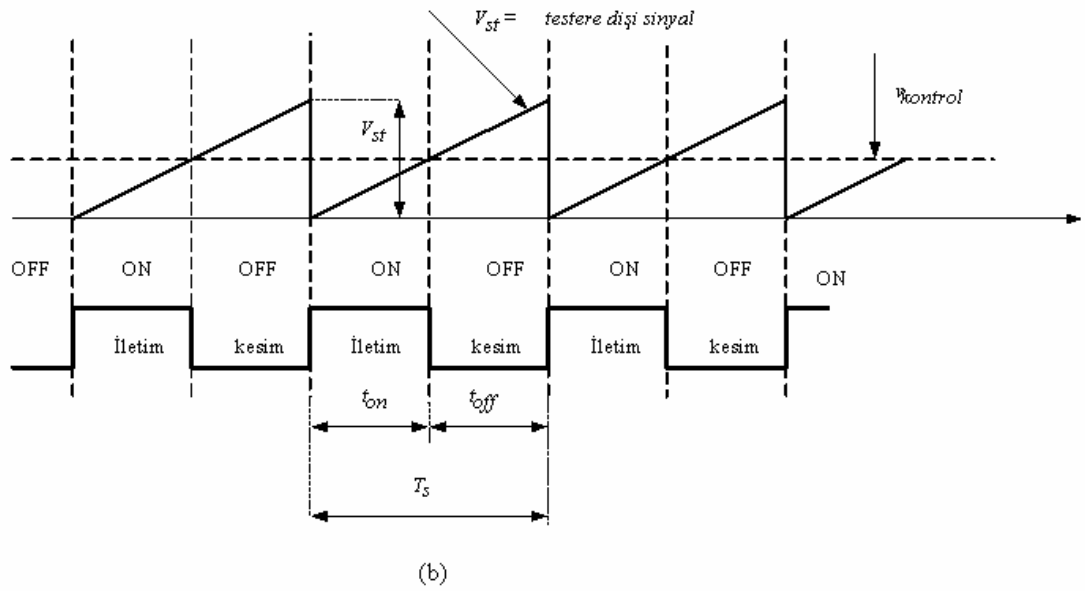
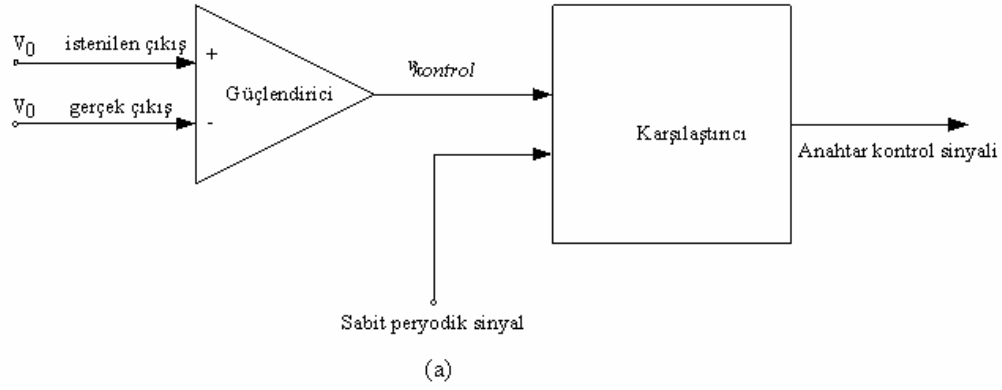
D = Darbeleme oranı

t_{on} = İletim süresi

T_s = Toplam periyot

$v_{kontrol}$ = Güçlendirilen hata sinyali

$\hat{V}_{st}$ = Osilatör sinyalinin tepe degeri' dir.



Sekil 6.2. Darbe genislik modülasyonu a) Blok diyagram b) Karsilastirici

DA/DA konvertör, sürekli akım modu ve kesintili akım modu olmak üzere iki modda çalışır. Uygulamada bir konvertör her iki mod'dada çalışmak durumunda kalabilir ve bu modların çalışma karakteristikleri birbirinden oldukça farklıdır. Bu nedenle DA/DA konvertör tasarımı yapılırken her iki modda çalışmak zorunda kalabileceği göz önüne alınmalıdır, tasarım her iki modda çalışacak şekilde yapılmalıdır.

6.2. Gerilim Dönüştürme Oranları

Yukarıda belirtilen konvertörler, herbirinden elde edilebilir gerilim dönüştürme oranlarının ana prensipleri üzerine adlandırılmışlardır. Her bir konvertörün ortalama gerilim dönüştürme oranları, kararlı durumda bir saykıldan diğer saykıla bobinde muhafaza edilen aki (gerilimin ikinci integrali) gerçeğinden hareketle hesaplanır. Aşağıdakiler konvertörlerin ortalama gerilim dönüştürme oranlarıdır.

Buck konvertör (Step-Down): $\frac{V_o}{V_d} = D$

Boost konvertör (Step-Up): $V_o/V_d = 1/(1-D) \quad \frac{V_o}{V_d} = \frac{1}{1-D}$

Buck-Boost konvertör (Step-Down/Up): $\frac{V_o}{V_d} = D \times \frac{1}{1-D}$

Burada V_o ortalama yük gerilimini, V_d ortalama kaynak gerilimini ve D ise ortalama duty oranını temsil eder. Buck konvertörün gerilim dönüştürme oranı 0-1 arasında, boost konvertörün gerilim dönüştürme oranı 1 ve daha yukarıdır, buck-boost ise 0, 1 ve daha üzerinde olabilir (Kaynak geriliminin çarpanı olarak).

6.3. Step-Down (Buck) Konvertör

Yaptığımız çalışmada DA motor hız kontrolünde ve alternatör uyartım sargısının gerilim kontrolünde buck konvertör (Step-down konvertör-Azaltan kıyıcı) kullandığımız için bu bölümde buck konvertör hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Buck konvertörler isminden de anlaşıldığı gibi DA giriş geriliminden daha küçük bir çıkış gerilimi vermektedir. En yaygın olarak kullanıldığı yerler;

- a.) Regüle edilmiş DA güç kaynakları
- b.) DA motor hız kontrol devreleri

dir.

Kavram olarak basit semasi Sekil 6.3.a.'da omik yükü olan buck konvertör konvertör ifade edilmistir. Ideal bir anahtar ve omik bir yük varsayildiginda anlik çikis gerilimi anahtarın durumuna baglidir. Sekil 6.3.b.'den ortalama çikis gerilimi V_0 anahtar darbeleme oranı'na bagli olarak Esitlik 6.3.1.'de görüldüğü gibi ifade edilir [54-57].

$$V_0 = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} V_{0(t)} dt = \frac{1}{T_s} \left(\int_0^{t_{on}} V_d dt + \int_{t_{on}}^{T_s} 0 dt \right) = \frac{t_{on}}{T_s} V_d = D V_d \quad (6.3.1)$$

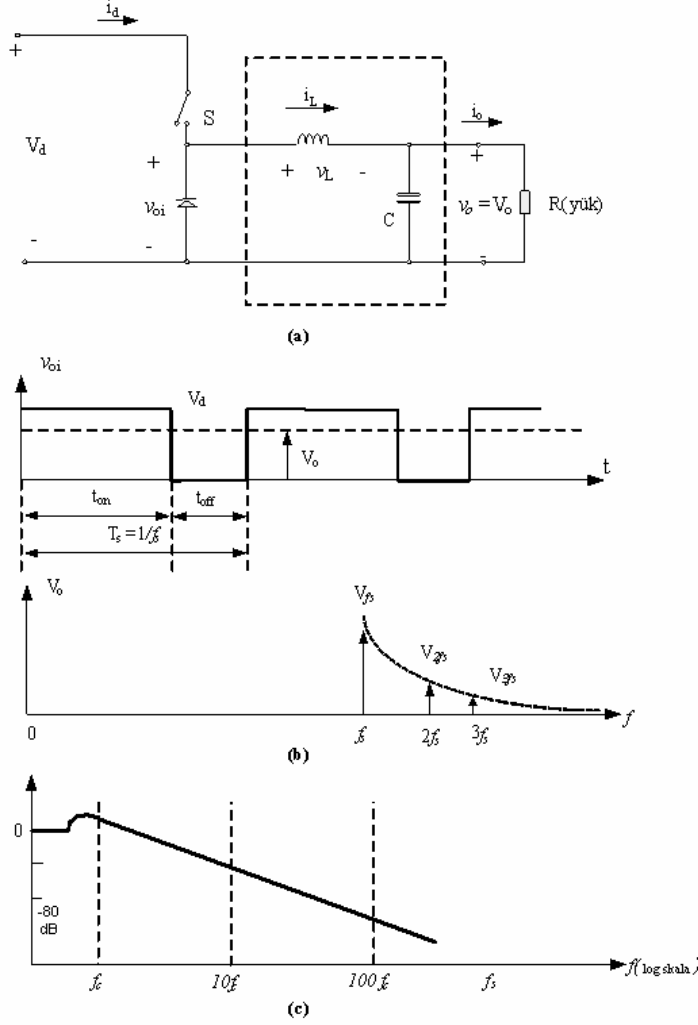
Daha önce hesap edilen D 'nin degeri Esitlik 6.3.1.'de yerine konursa V_0 çikis gerilimi asagida elde edilen Esitlik 6.3.2.'deki k sabitine dayanarak anlatilir. D darbeleme oranı' nin degeri degistirilerek V_0 gerilimi kontrol edilebilir.

$$V_0 = \frac{V_d}{\hat{V}_{st}} v_{kontrol} = k v_{kontrol} = \frac{V_d}{V_{st}} = \text{sabit} \quad (6.3.2)$$

V_0 lineer yükselteçlerde olduğu gibi kontrol gerilimine bagli olarak dogrusal bir degisim gösterir. Sekil 6.8.'deki bu sistemin iki mahzuru vardır.

- Gerçekte yük tamamen omik degil, endüktif olabilir. Bu durumda anahtar endüktif enerji tüketir ve bu nedenle bozulur.
- Çikis gerilimi 0 ile V_d arasında salinim yapar bu ise bir çok uygulamada kabul edilemez.

Depolanan endüktif enerji problemi Sekil 6.8.a.'da gösterildiği gibi bir diyot yardımı ile giderilebilir. Çikis gerilim degismeleri (bozulmaları) alçak geçiren (Low-pass) filtre kullanılarak yok edilebilir. Sekil 6.3.a.'daki filtre endüktif ve kapasitif elemanlardan oluşur.



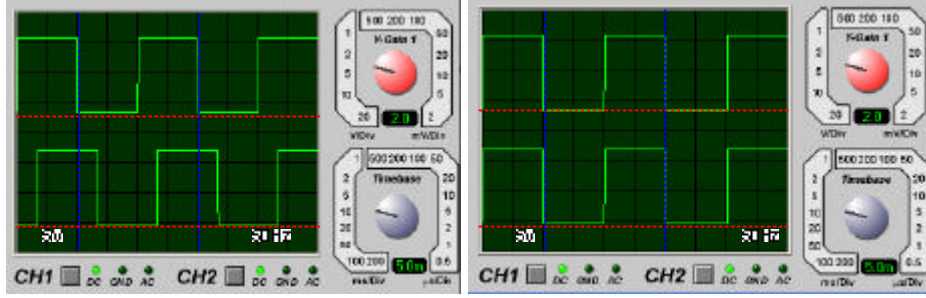
Sekil 6.3. Buck konvertör DA/DA Konvertör

a). Buck konvertör konvertör ve filtre devresi, b) Kontrol sinyali ve frekans spektrumu, c) Kazanç eğrisi

Sekil 6.3.b.'de alçak geçiren filtre girişinde bulunan sinyal v_{oi} gösteriliyor. Bu sinyal, filtre olmasaydı Sekil 6.1.b.'nin aynısı olurdu. Bu sinyal, DA çıkış gerilimi V_o ve onun anahtarlama frekansındaki harmoniklerinden oluşur ve Sekil 6.3.b.'de gösterildiği gibidir. Alçak geçiren filtrenin karakteristiği Sekil 6.3.c.'de gösterildi. Filtrenin köşe frekansı f_c anahtarlama frekansından çok daha küçük olacak şekilde seçilmiştir ve böylece anahtarlama frekansının çıkış gerilimi üzerindeki istenmeyen etkileri giderilmiş olur. Anahtarın iletim zamanı t_{on} Sekil 6.3.a.'daki diyot ile biaslanmıştır, dolayısıyla giriş sinyali yüke ve bobine enerji sağlar. Anahtar kesimde

iken t_{off} bobin akimi diyot üzerinden akmaya baslar ve enerjinin (depo edilen enerji) bir kismini yüke iletir. Sistem kararli durumda iken çikistaki kondansatörün çok büyük olduğu varsayilir. Bu durum oldukça sabit çikis gerilimi gerektiren durumlarda geçerlidir. $v_o(t) = V_o$ kondansatör gerilimindeki bozulmalar (ripple) daha sonra hesap edilmistir. Sekil 6.3.a.'da ortalama bobin akimin ortalama çikis akimina esit olduğu görülüyor, çünkü ortalama kondansatör akimi kararli durumda sifirdir.

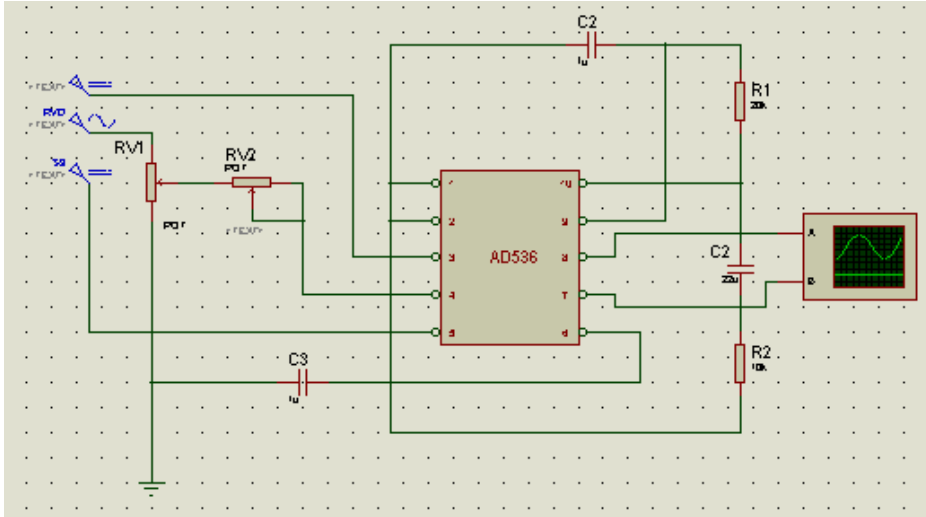
Sekil 7.2. AA/AA sinyal algılama arayüz devresi simülasyon giriş- çıkış sinyali



Sekil 7.4. Sifir Geçiş anahtar devresi proteus ortamında gerçekleştirilen simülasyon çalışmasının sinyal çıkış şekilleri

7.3. AA/DA Konvertör Devresi ve Simülasyonu

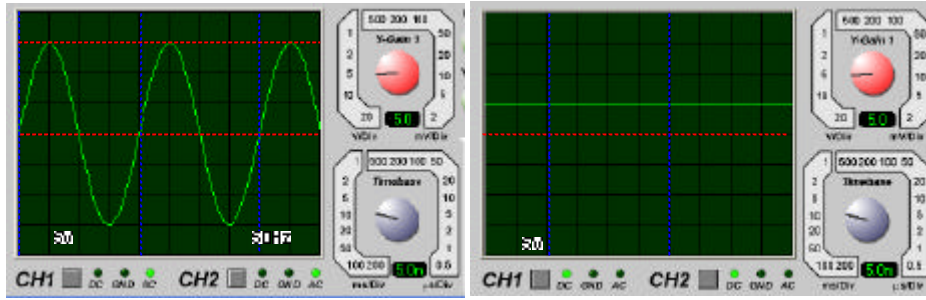
Sekil. 7.5.'deki devre AA sinyali DA sinyale dönüştüren devredir. Bu devre yardımı ile alternatör ve sebekeye ait olan akım ve gerilim değerlerinin büyüklükleri DA' ye dönüştürülüp karşılaştırılmak üzere mikro denetleyiciye gönderilir.



Sekil 7.5. AD536 entegresi ile proteus ortamında gerçekleştirilen AA/DA konvertörün simülasyon devresi

Dönüştürülen gerilimin değeri ise [58];

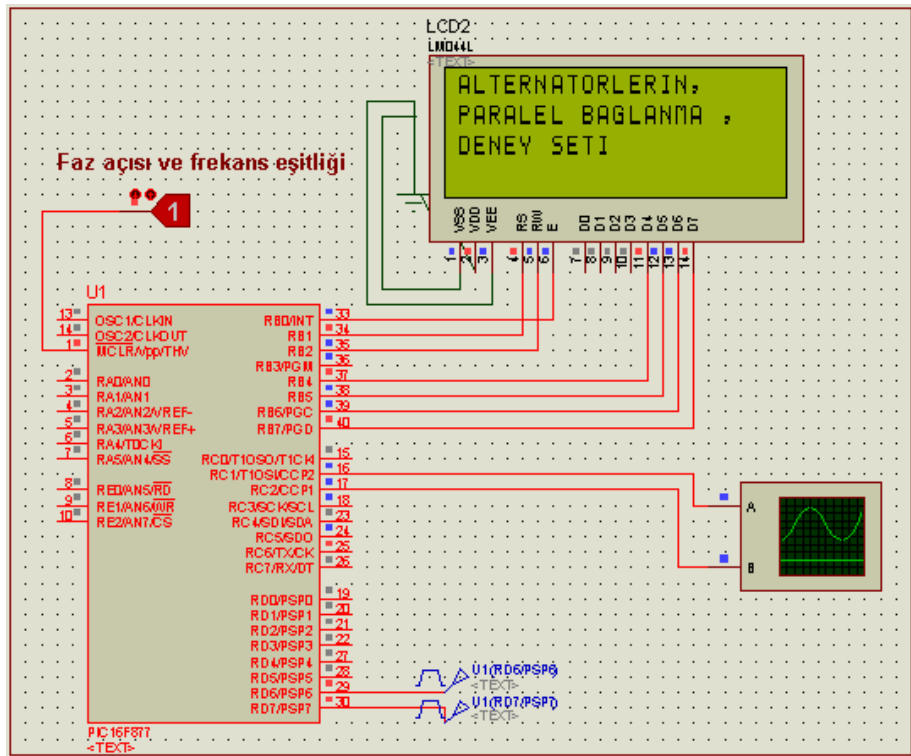
$$V_0 = 2R_2 I_{rms} \text{ ve } V_0 = V_{in_{rms}} \text{ ' e esit olur.}$$



Sekil 7.6. AD536 entegresi ile proteus ortamında gerçekleştirilen AA/DA konvertörün simülasyon devresinin giriş çıkış dalga şekli

7.4. Mikrodenetleyici Devresi ve Simülasyonları

Proteus bilgisayar programında simülasyon yapabilmek için programca tanımlanabilen Sekil 7.7.'de görülen PIC16F877 mikrodenetleyici kullanılmıştır.



Sekil 7.7. Mikrodenetleyici simülasyon devresi

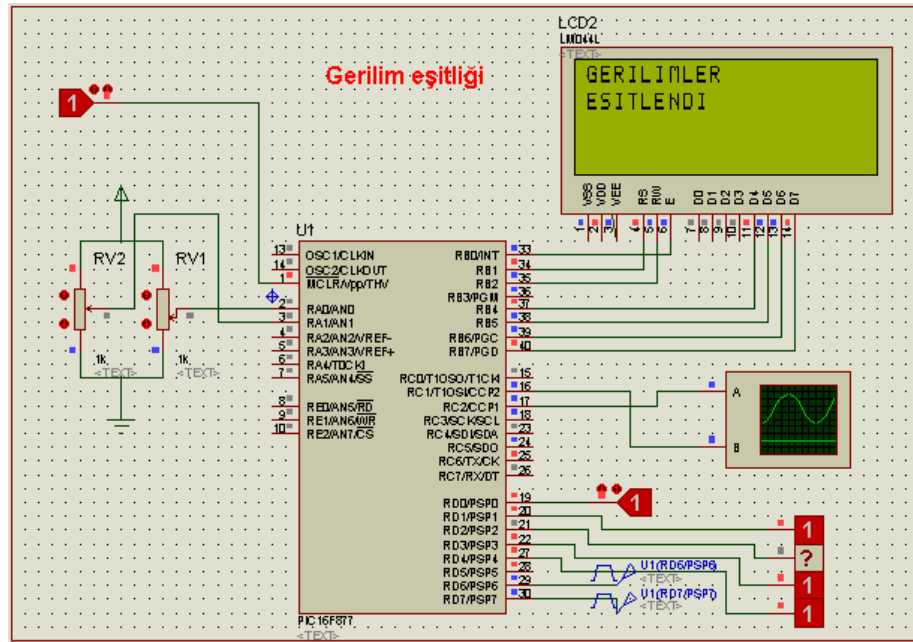
CCS C program dilinde yazılan program yardımı ile gerçekleştirilen simülasyonlarda temel şartlar olan;

- Gerilim esitligi
- Frekans esitligi
- Faz açisi esitligi
- Faz sirasi esitligi
- Paralel baglanma
- Yük alma

İle ilgili sartlar sirasi ile gerçekteştirilmiştir. Yapılan simülasyon çalısmalarından sonra deney setinin tasarim ve uygulaması yapılmıştır. Sekil 7.7.'de paralel baglanma deney setinin proteus ortamında geçekteştirilen simülasyon görüntüsü verilmiştir.

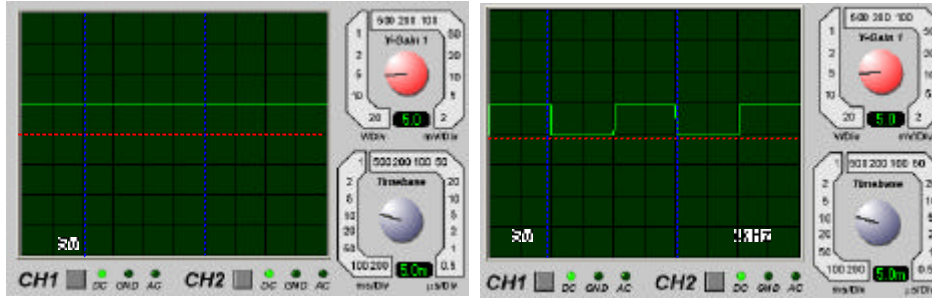
7.4.1. Gerilim esitligi

Alternatör gerilimindeki sapmalar 30 saniye içerisinde + %5 ile -%10 araligini asmayacak sekilde olmalıdır. +%10 veya -%30 araliginda bir sapma olursa 10 periyot veya daha fazla sürerse alternatör paralel baglantidan otomatik olarak ayrilacaktır.



Sekil 7.8. Gerilim esitligi simülasyon devresi

Alternatör uyarti akimi ayarlanarak çıkis gerilimi istenilen seviye getirilecektir. Alternatör gerilimi kararlı hale geldiginde ise otomatik olarak paralel baglanacaktır. Devrenin simülasyon çalışması ise Sekil 7.8.'de görüldüğü gibi, mikrodnetleyicinin 2 ve 3 nolu analog girişlerine alternatör ve sebekeye fazlar AA/DA konvertör çıkisinda DA seviyede girilir.

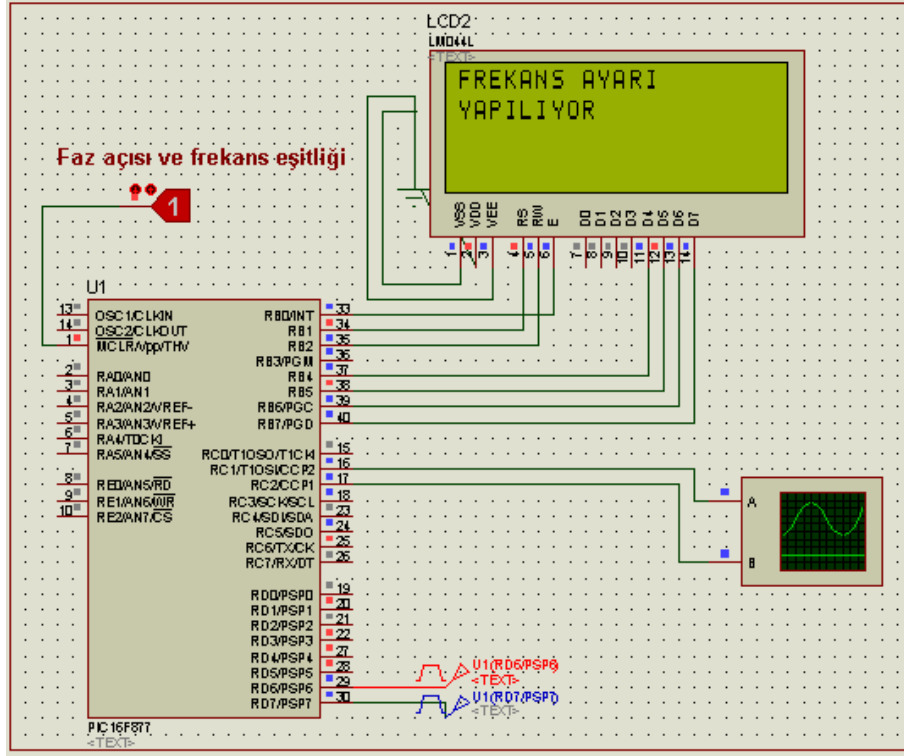


Sekil 7.9. Gerilim esitligi simülasyon dalga sekileri (DA giriş ve PWM çıkis sinyalleri)

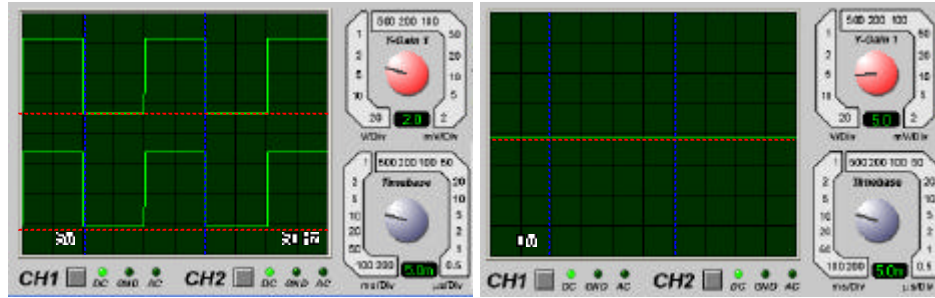
Mikrodnetleyici alternatör uç gerilimi sebekeye esit oluncaya kadar DA/DA konvertörün anahtarlama sinyalinin darbeleme oranini degistirmek suretiyle alternatör uç gerilimini ayarlayarak gerilim esitligini saglar. Simülasyon programi “CCS C” program dilinde yazilmistir. Sekil 7.9.'da mikrodnetleyici giriş sinyali ve üretilen PWM sinyalinin çıkisi görülmektedir.

7.4.2. Frekans esitligi

Frekans ve faz açisi esitlikleri sıfır geçiş anahtar devresinden alınan sebeke ve alternatöre ait kare dalga sinyallerin mikrodnetleyicinin 29 ve 30 nolu sayısal girişlerine uygulanır. Burada mikrodnetleyici frekans esitligini saglamak için döngü içresinde yaptığı matematiksel işlemler sonucunda DA/DA konvertörün anahtarlama sinyalinin darbeleme oranini degistirmek suretiyle Sekil 7.10.'da görüldüğü gibi frekans esitligini saglar. Sekil 7.11.'de frekans esitligi anındaki simülasyon dalga sekileri görülmektedir. Simülasyon programi “CCS C” program dilinde yazilmistir.



Sekil 7.10. Frekans esitligi simülasyon devresi

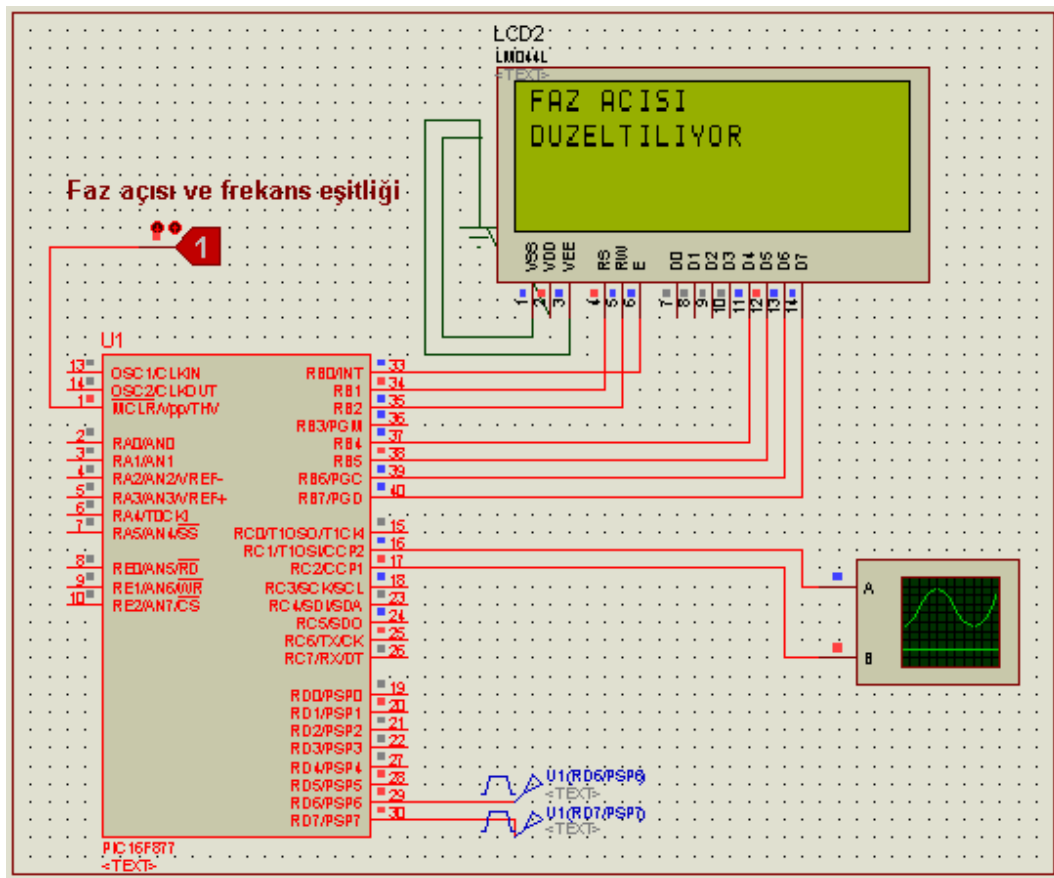


Sekil 7.11. Frekans esitligi simülasyon dalga sekelleri

7.4.3. Faz sirasi esitligi

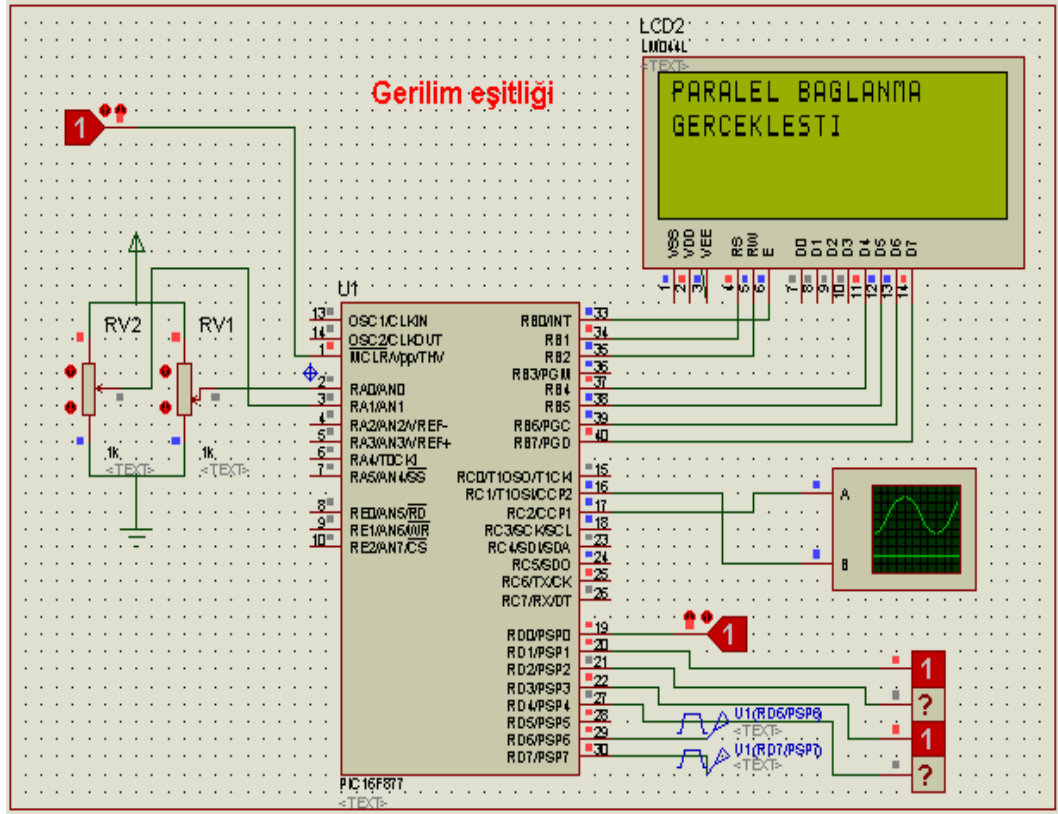
Sekil 7.12.'de görüldüğü gibi mikrodnetleyicinin 19 nolu sayisal girisine faz sirasi düzeltme devresinden gelen 1 vey 0 sinyaline göre A vey B rölesi ile faz siralari esitlenir. Burada A rölesi A kontaktörünü devreye alır. B rölesi ise iki fazin yeri degistirilmis olarak baglandigindan devreye alindiginda faz siralari otomatik olarak mikrodnetleyici tarafından düzeltilmis olur.

Sekil 7.14.'de görüldüğü gibi 29 ve 30 nolu mikrodenetleyici girişlerine uygulanan alternatif ve sebeke fazlarına ait kare dalga sinyallerin bu defa sifira düşme anları arasındaki fark ölçülür. Sekil 7.13.'de görülen bu fark, iki sinyal arasındaki açı farkıdır. Fark sıfır oluncaya kadar DA motorunun hızı artırılır sıfır olduğu anda Sekil 7.15.'deki devrede paralel bağlan bilgisi gönderilir.



Sekil 7.14. Faz açisi esitligi simülasyon devresi

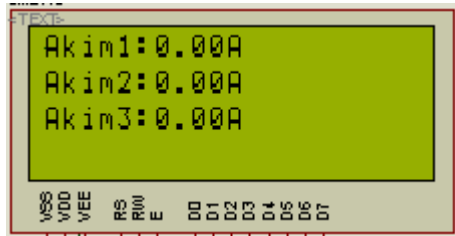
Paralel baglan bilgisini alan mikrodenetleyici 22 nolu çıkisından C rölesi sürme devresini çalıştıran sinyali gönderir ve C rölesi çalıştırılır. C rölesinin kontrol ettiği paralel baglanmayı sağlayan C kontaktörünü devreye alarak paralel baglanma gerçekleşir.



Sekil 7.15. Paralel bağlanmanın simülasyon devresi

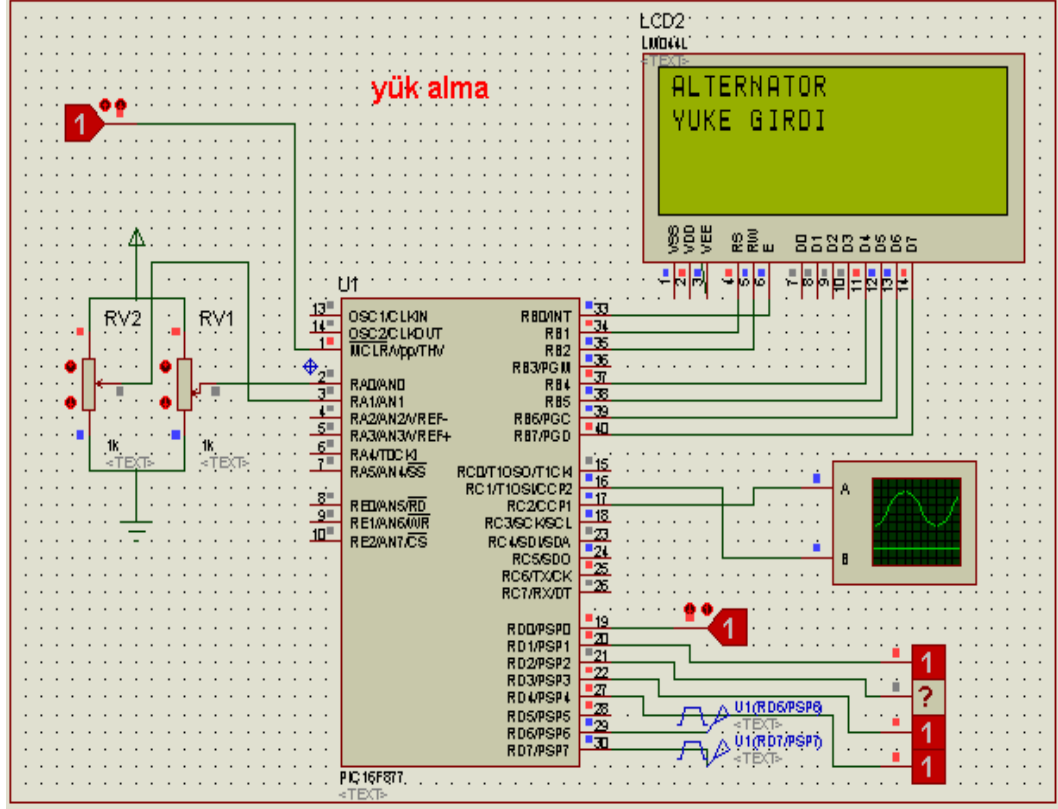
7.4.5. Sistemin üzerine yük alması

Paralel bağlanma gerçekleştirildikten sonra sistemin yük alması için mikrodeneleyici 27 nolu çıkışından D röle sürme devresini çalıştırır. Aynı zamanda paralel bağlı durumda iken ise DA motoruna hız artırma bilgisi ve alternatör uyarım sargısı kontrol devresine uyarımı artır bilgisi gönderir.



Sekil 7.16. Faz akımları simülasyon bilgileri

D rölesi ve D kontaktörü üzerinden sistem yüke bağlanır. Alternatör üzerine hız artır bilgisi ile aktif yük, uyarım artır bilgisi ile reaktif yük alır. Sekil 7.16.'da görüldüğü gibi mikrodenetleyici alternatör fazlarına ait akımları kontrol etmeye baslar. Sekil 7.17.'de yük alma simülasyon devresi görülmektedir.



Sekil 7.17. Yük alma simülasyon devresi

8. TASARIM VE UYGULAMA

Bu tez çalışmasında, alternatörün sebekeye otomatik paralel bağlanmasını sağlayan bir sistem tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde, sebeke fazına ait sinyaller referans olarak alınmış ve alternatör fazlarına ait sinyaller bu referansa esitlenmek suretiyle paralel bağlanma şartları olan gerilim, frekans, faz sırası ve faz açisi esitlikleri sağlanmıştır. Bu temel değerlerin ayarlanabilmesi için gerilim ve akım algılama devreleri, sıfır geçiş anahtar devresi, alternatif akım (AA)/ doğru akım (DA) dönüştüren konvertör, buck konvertör, faz kopukluk alarm devresi, faz sırası esitleme devresi, mikrodenetleyici kontrol devresi, LCD ve sistemin çalışmasını sağlayan C dilinde yazılmış bir yazılım programı kullanılmıştır. Tasarım işlemi ve uygulama gerçekleştirildikten sonra çalışmanın ikinci temel amacını taşıyan öğrencilerin eğitim düzeylerine etkilerini araştırma amacına yönelik bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda alınan veriler çalışmanın değerlendirilmesi bölümümde detaylı olarak verilecektir.

Tasarım ve uygulama, laboratuvar ortamında gerçekleştirildiğinden, alternatör mekanik enerjisi bir DA motoru tarafından sağlanmıştır. DA motorunun hız kontrolü ile frekans ve faz açisi esitlikleri sağlanmıştır. Kullanılan DA motorunun kontrolü tasarlanan bir buck konvertör (azaltan kıyıcı) ile gerçekleştirilmiştir. Buck konvertörde anahtar elemanı olarak IGBT kullanılmıştır. IGBT'nin gate sinyali ise mikrodenetleyici tarafından üretilen PWM sinyalidir. Sebeke ve alternatör fazlarına ait kare dalga sinyalleri mikrodenetleyici tarafından ölçülüp aralarındaki fark kadar PWM sinyalinin darbeleme oranı değiştirilir. PWM sinyalinin darbeleme oranının değişimi ile buck konvertörün anahtarlama elemanı IGBT ve sürücü devresi DA motorunun endüvi gerilimini ayarlar. Bu işlem alternatörün ve sebekeye senkron olması sağlanana kadar sürer. Senkronizasyon sağlandığında alternatör sebeke otomatik olarak paralel bağlanır.

Sistemde ikinci kontrol ise, alternatör uyarım sargısı gerilimini ayarlamak suretiyle gerilim esitliğinin sağlanmasıdır. Gerilim esitliğini sağlamak için de, frekans esitliğinin sağlanmasında kullanılan kontrol sistemine benzer bir buck konvertör

uygulamasi gereklestirilmistir. Tasarlanan buck konvertör alternatör uç gerilimini sebeke gerilimine esitlemek için kullanilmistir. Sebeke ve alternatör fazlarına ait gerilim sinyalleri gerilim algılama devresinde dösüröldükten sonra AA/DA konvertör yardimi ile DA seviyesine dönöstürölür. Bu sinyaller mikrodnetleyicinin analog girislerine uygulanir ve aralarındaki fark kadar PWM sinyali üretilir. Üretilen ve darbeleme oranı ayarlanan PWM sinyali, sürme devresi yardimi ile IGBT anahtar elemaninin gate'ne uygulanir. Uç gerilimleri esit oluncaya kadar alternatör uyarım sargısına uygulanan DA gerilimin değeri ayarlanır.

Sistemde bir diğeri işlem ise, faz sırası esitliğinin sağlanmasıdır. Bu işlem faz sırası doğruluk devresi tarafından alternatör döner alan yönünün sebeke döner alan yönüyle aynı olup olmadığına bakılır. Döner alan yönleri aynı ise, mikrodnetleyiciye sayısal “1” sinyali gönderilir ve mikrodnetleyici B röle sürme devresini ve bağıli kontaktörü devreye alarak, sebeke ve alternatörün fazlarını doğru olarak bağlanmasını sağlar. Döner alan yönleri farklı ise, mikrodnetleyiciye sayısal “0” sinyali gönderilir. Mikrodnetleyici B röle sürme devresini ve bağıli A kontaktörünü devreye alarak alternatörün iki fazının yerini değitirmek suretiyle, döner alan yönlerini yani faz sıralarını düzelterek sebekeye paralel bağlanmasını sağlar.

Paralel bağlanmadan önce ve sonra sistemin güvenliğinin sağlanması amacıyla bir faz kopukluk devresi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu devre alternatör ve sebeke fazlarını çalışma süresince kontrol etmek için yapılmıştır. Faz kopukluğu kontrol devresi gerilim algılama devresinden alınan sebeke ve alternatör fazlarına ait gerilim sinyallerini AA/DA konvertörde DA seviyesine dönöstürölür. DA sinyalleri mikrodnetleyici analog girislerine “1” sinyali olarak girer. Mikrodnetleyici, bu sinyaller olduğu sürece, sistemin normal çalışmasını sürdürür. Bu sinyallerden herhangi birisi “0” olduğu zaman, paralel bağlanma ünitesine kesme sinyali göndermek suretiyle, sistemin çalışmasını sonlandırır. Faz kopukluğu kontrol devresi kendisine bağıli alarm devresini çalıştırarak sistem operatörünün uyarılmasını da sağlar.

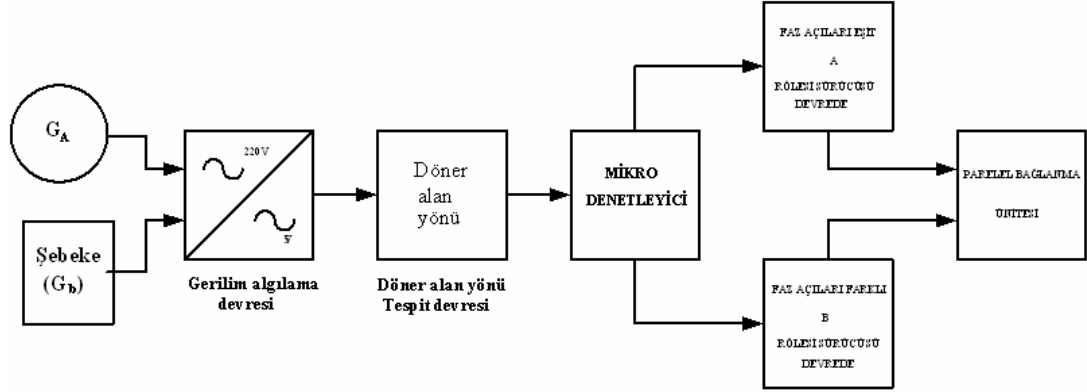


Resim 8.1. Deney seti resmi

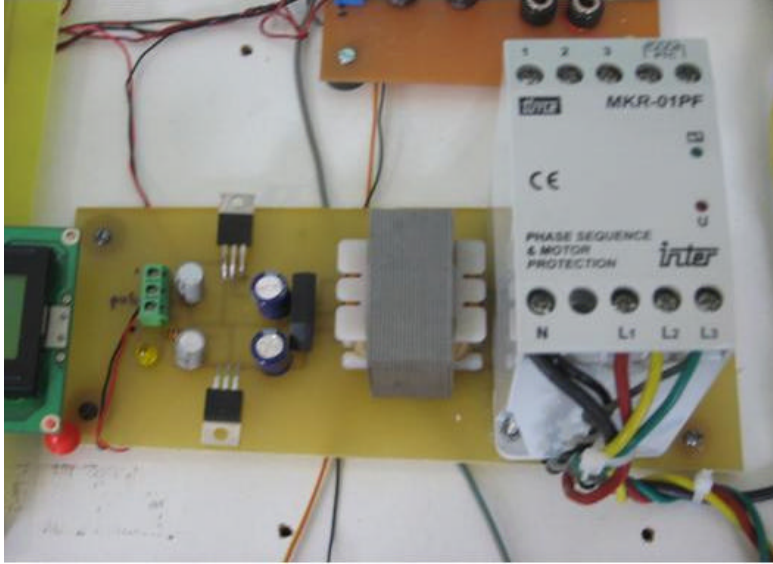
Her iki asamada, uygun konfigürasyon ve C programlama dilinde hazırlana yazılım üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sekil 8.1.'de görülen blok diyagram aşamaları tasarlanarak sirasi ile uygulanmıştır. Paralel bağlanacak alternatörlerde sağlanması gereken şartlarından olan; faz sıraları esitliği, frekans esitliği, gerilim esitliği ve faz açısı esitliği şartları paralel bağlanmadan önce yerine getirilmelidir. Bu blok diyagram, iki adet alternatör, bir DA motor, sürme devreleri, yük, ve kontrol devresinden oluşmaktadır. Kontrol devresi ise; mikrodnetleyici kartı, LCD ekran, faz sirasi kartı, akim ve gerilim algılama kartı, güç devresi, röle kartı ve kontaktörlerden oluşmaktadır. Tasarım ve uygulamaları gerçekleştirilen bu devrelere ait bilgiler ve devre semaları aşağıdaki alt başlıklarda detaylı olarak verilmiştir.

8.1.1. Faz sirasi esitliği

Sekil 8.2.'deki blok diyagramdaki devreler hazırlanmış ve Resim 8.2.'de görülen faz sirasi esitliği devresi gerçekleştirilmiştir.



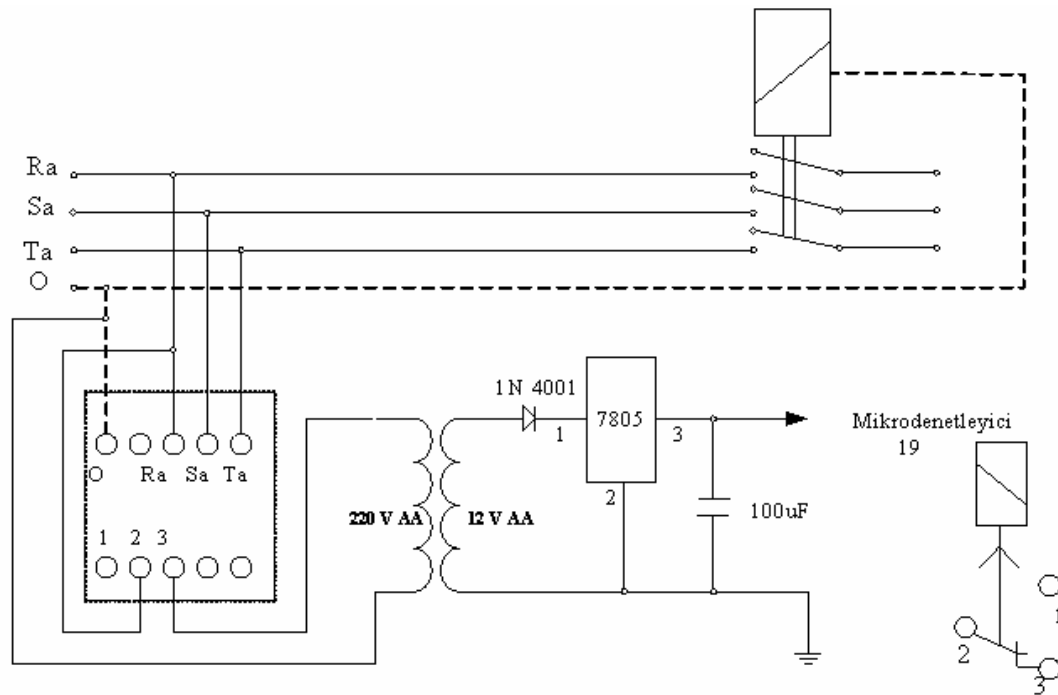
Sekil 8.2. Faz sirasi esitligi uygulama blok semasi



Resim 8.2. Faz sirasi devre resmi

Faz sirasi esitligi devresi, Sekil 8.3.'de görüldüğü gibi faz sirasi rölesi, doğrultucu ve mikrodenetleyiciden oluşmaktadır. Devre döner alan yönü esasına göre çalışmaktadır. Faz sirasi rölesinde, fazlar doğru sıralandığı zaman 3 nolu kontak ucu çıkış verir. 3 nolu çıkışa bağlı olan trafo enerjilenir ve çıkışındaki gerilim değeri doğrultulup 7805 entegresi ile 5V' ta regüle edilir. Bu sinyal paralel bağlanma mikro denetleyicisinin 19 nolu digital girişine "1" bilgisi olarak girer. Bu bilgi faz sirasi doğru olduğunda B rölesini devreye alır. Paralel bağlanma işlemi B rölesi ve ona bağlı B kontaktörü üzerinden gerçekleşir. Faz sirasi hatalı olduğu zaman 3 nolu çıkış sıfır olacaktır. Dolayısıyla çıkışında herhangi bir gerilim oluşmaz ve

mikrodenetleyicinin 19 nolu digital girişine “0” bilgisi gönderilir. Mikrodenetleyici kendisine gelen bu bilgi doğrultusunda A rölesini devreye alır. A rölesine bağlı A kontaktöründe iki fazın yeri değiştirilerek bağlanmış olduğundan, faz sırası düzeltilmiş olur ve paralel bağlanma doğru olarak A kontaktörü üzerinden gerçekleştirilir.



Sekil 8.3. Faz sırası esitliği devresi

Sistemin avantajı:

Döner alan yönü esasına göre çalıştığından sistemde hata yapılmamaktadır. Güvenilir olmasından dolayı tercih edilmiştir.

Sistemin dezavantajı:

Ek malzeme gerektirmektedir. Faz sırası rölesi v.s. gibi

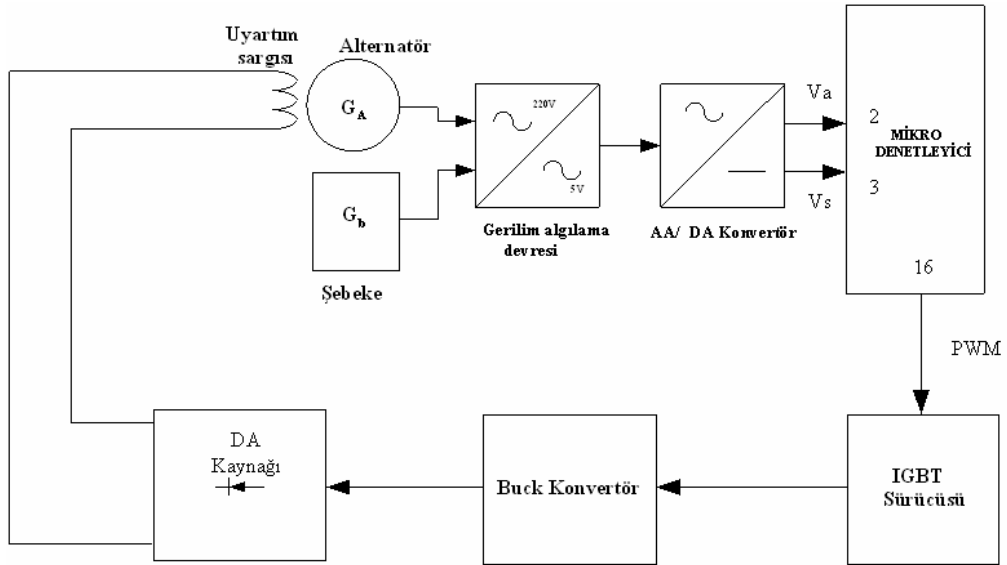
Resim 8.2.'de faz sırası esitliği devresinin fotoğrafı görülmektedir. Resim 8.3.'de ise faz sırası devresi çalıştığında LCD ekrana yazdırılan bilgiler verilmiştir.



Resim 8.3. Faz sirasi LCD bilgileri resmi

8.1.2. Gerilim esitligi

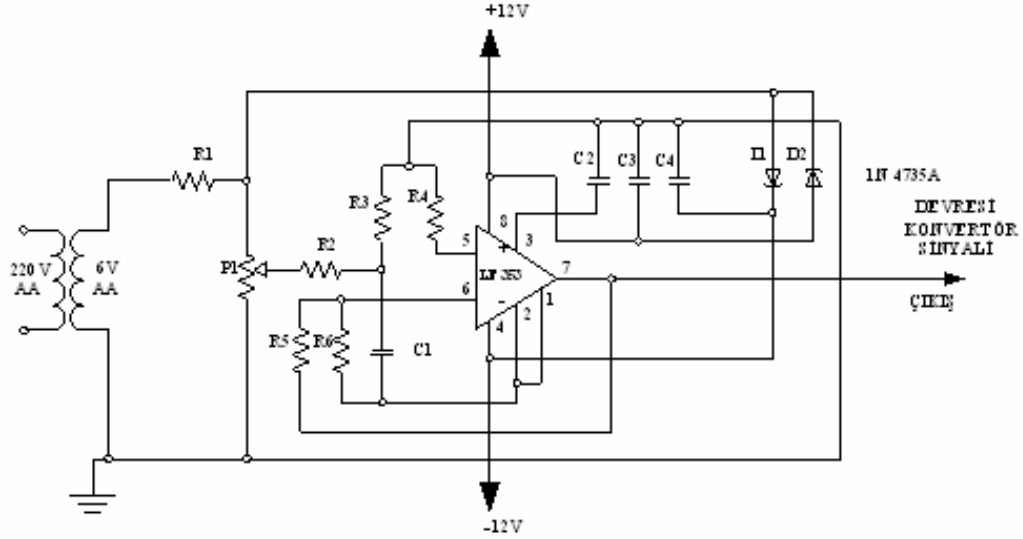
Sekil 8.4.'deki gerilim esitligi blok diyagramında görülen devrelerin tasarımı yapılmış ve uygulama devresi gerçekleştirilmiştir. Devrede diğer parametrelerin sağlanmasında kullanılan gerilim algılama, AA/DA konvertör, mikrodenetleyici, buck konvertör ve LCD kullanılmıştır.



Sekil 8.4. Gerilim esitligi sağlanması blok diyagram

Sebeke ve alternatöre ait faz gerilimleri algılama devresi tarafından AA/DA konvertör girişine uygun AA sinyale dönüştürülür. Bu sinyal AA/DA konvertör tarafından mikrodenetleyici girişine uygun DA sinyaline dönüştürülür. Mikrodenetleyici, ürettiği PWM sinyalinin darbeleme oranını (duty cycle) alternatör

ve sebeke arasındaki gerilim farkı kadar ayarlar. Bu sinyal buck konvertör tarafından alternatör uyarım sargısı gerilimini ayarlamak suretiyle alternatör uç gerilimlerini sebekeye eşit duruma getirir.



Sekil 8.5. Gerilim algılama devresi

Gerilim algılama devresi: Sekil 8.5.'deki gerilim algılama devresinde LF353N entegresi, direnç ve kondansatör gurupları kullanılmıştır. Bu devre sistemin kararlılığını sağladığı gibi, kısa süreli ani değişimlere hızlı tepki vermesini engellemek amacıyla yönelik olarak da kullanılmıştır. Devre şu şekilde çalışır. Gerilim algılayıcı devresinden gelen paralel bağlanacak alternatörlere (veya alternatör-sebeke) ait R_a - R_b , fazlarının sinüs sinyallerin değeri eşitlik 8.1.1' deki gibidir.

$$V_0 = \frac{V_{in}}{R} \times R_x \quad (8.1.1)$$

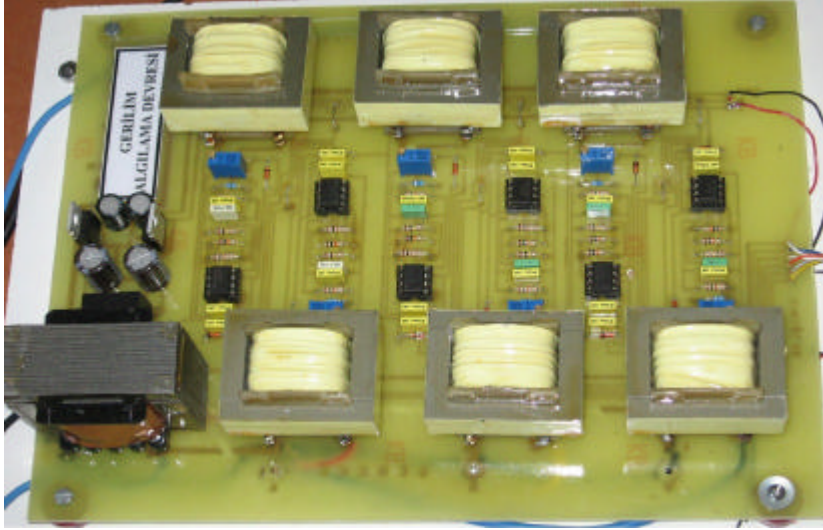
burada;

V_0 = çıkış gerilim seviyesi,

V_{in} = giriş gerilim seviyesi,

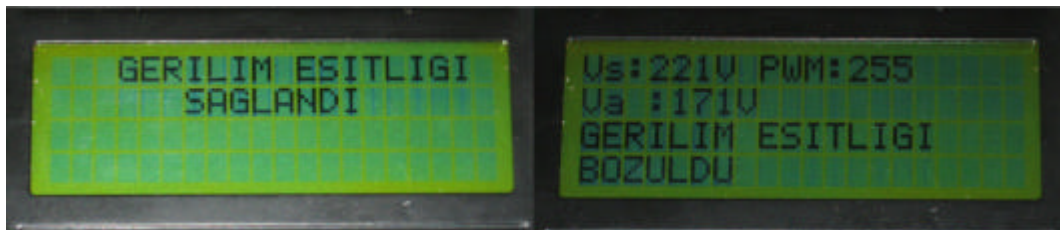
$\frac{R_x}{R}$ = sinyal çevirim oranı' dir.

Gerilim algılama devresinden alınan sebeke ve alternatöre ait sinüs sinyalleri AA/DA konvertör tarafından DA sinyaline dönüştürülerek mikrodenetleyicinin analog girişlerine uygulanır. Mikrodenetleyici iki sinyal arasındaki fark sıfır oluncaya kadar (gerilim esitliği toleransı %15'i kadar) alternatör uyarım akimini artırarak gerilim esitliğini sağlar ve bir sonraki işleme geçer. Çalışma ile ilgili değerleri LCD ekranda yazılı bilgi olarak verir. Resim 8.4.'de gerilim algılama devresinin görüntüsü verilmiştir.



Resim 8.4. Gerilim algılama devresi

Gerilim esitliğinin sağlanmasına ait LCD bilgileri Resim 8.5.'de görülmektedir.



Resim 8.5. Gerilim esitliği LCD bilgileri

AA/DA Konvertör devresi: Sekil 8.6.'da görülen devre, AD536 entegresi, lineer potansiyometreler, direnç ve kondansatörlerden gerçekleştirilmiştir. Akım algılama ve gerilim algılama devresi tarafından elde edilen AA sinyalleri AA/DA konvertör devresine gönderilir. Konvertör devresi gönderilen AA sinyali DA sinyaline çevirir. Çevrilen gerilimin DA değeri ise, Esitlik 8.1.2 ve 8.1.3.'de verilmistir.

$$V_0 = 2R_2 I_{rms} \quad (8.1.2)$$

$$V_0 = V_{inrms} \quad (8.1.3)$$

e esit olur [58]. Burada;

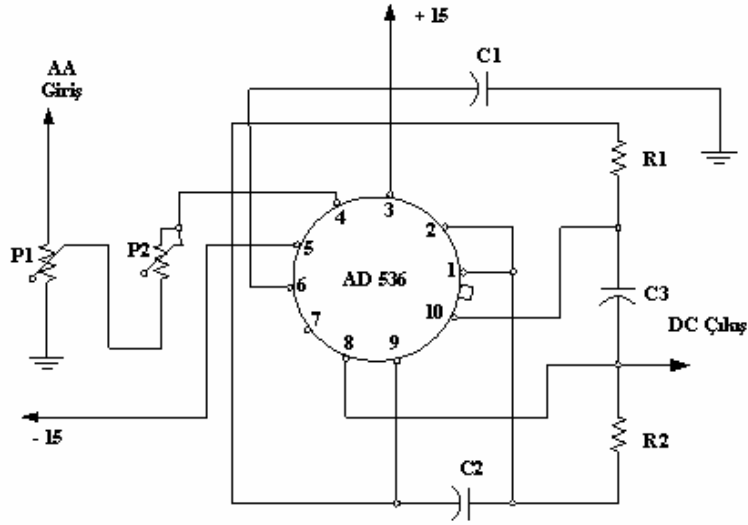
V_0 = Konvertör çıkis sinyal DA gerilim değeri

V_{inrms} = Konvertör giriş sinyal AA gerilim değeri

I_{rms} = Konvertör giriş AA akım değeri

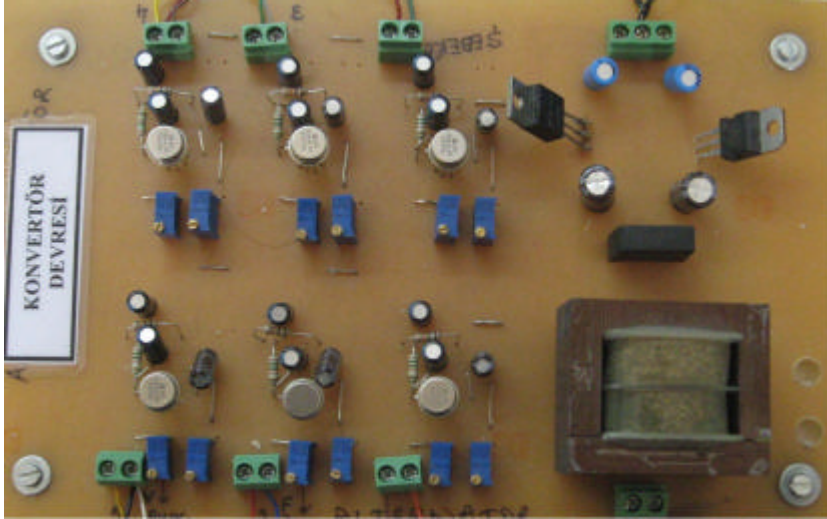
R_2 = Konvertör direnci

Esitlikten de anlasilacagi üzere, konvertör giriş AA gerilim değeri, çıkis DA değerine her zaman esit olur. Giriş değerindeki her türlü değişim çıkisida aynı oranda değitireceginden mikrodnetleyici bu değişimleri analog girişlerinden algılamak suretiyle buck konvertör anahtarlama sinyali olan PWM sinyalinin darbeleme oranini değistirir. Değişen darbeleme oranı alternatör uç geriliminin sebekeye sürekli esit olarak kalmasını sağlayacaktır. Bu esitlik akım algılama devresinde kullanıldığında ise, alternatör fazlarında dolasan akımı ölçer, mikrodnetleyici analog girişleri alternatör fazlarını analog girişlerinden sonra karşılaştırma yapar, aralarında 1/3 oranını asan dengesizlik varsa sistemi otomatik olarak durdurur. Konvertör giriş ve çıkislari ayarlanabilir olduğundan çalışma aralığının mikrodnetleyicinin giriş gerilimi olan 0-5V DA değeri asılmamalıdır [59].



Sekil 8.6. AA/DA konvertör

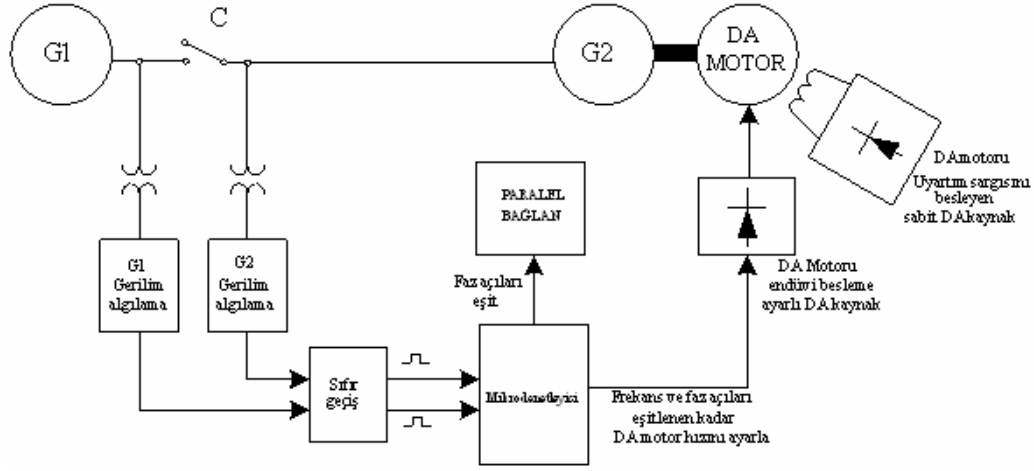
Mikrodenetleyici C programlama dilinde hazırlanmış yazılım ve sistemleri yardımı ile gerilim esitliğini sağlar. Resim 8.6.'da AA/ DA konvertör görülmektedir.



Resim 8.6. AA/DA konvertör devresi resmi

8.1.3. Frekans ve faz açısı esitliği

Sekil 8.7.'deki blok diyagramda görülen devrelerin tasarımı yapılarak uygulama devresi gerçekleştirilmiştir.

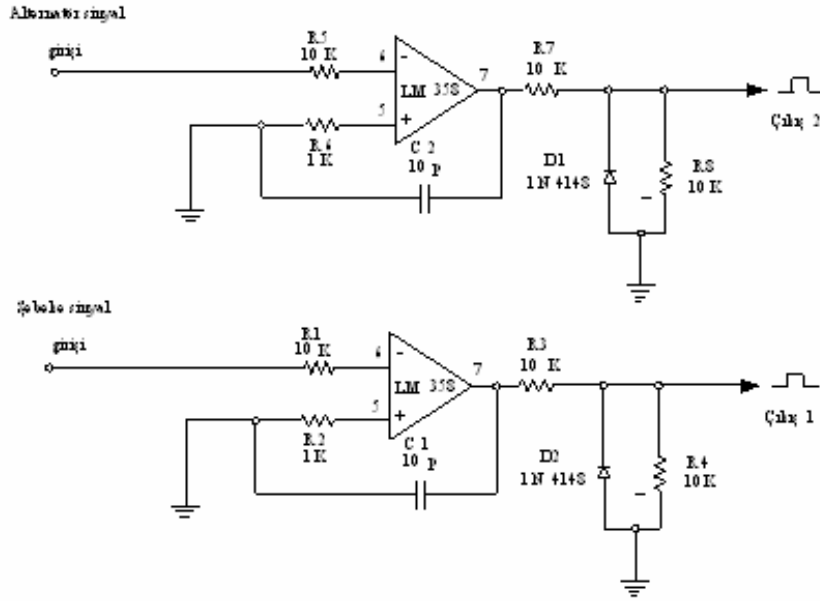


Sekil 8.7. Frekans ve faz açısı eşitliği devresi

Devrede diğer parametrelerin sağlanmasında kullanılan gerilim algılama, sıfır geçiş anahtar devresi, mikrodeneleyici, buck konvertör ve LCD kullanılmıştır. Gerilim algılayıcı devresinden gelen Alternatör (G_a) ve Sebeke (G_b) fazlarına ait R_a - R_b fazları Sekil 8.8.'deki sıfır geçiş anahtar devresinden geçirilerek kare dalgaya dönüştürülür. Sebeke ve alternatöre ait olan bu kare dalga sinyaller mikrodeneleyicinin 29 ve 30 nolu girişlerine uygulanır. Sinyaller önce frekans olarak karşılaştırılır. Aralarındaki fark kadar mikrodeneleyici tarafından PWM üretilen sinyalinin darbeleme oranı (duty cycle) değiştirilir. Darbeleme oranı ayarlanan PWM sinyali mikrodeneleyicinin 17 nolu çıkışından buck konvertörün anahtar elemanı IGBT' nin sürme devresine uygulanır. Buck konvertör DA motorunun hızını, frekans eşitliğini ve faz açısını eşitleyene kadar ayarlar. Bu anda alternatör ve sebeke senkron olurlar ve paralel bağlanmaya geçilir. Faz açısı ve frekans eşitliğini sağlayacak yazılım C bilgisayar programlama dilinde hazırlanmıştır. Senkronizasyon anı, sıfır geçiş anahtarından alınan sebeke ve alternatöre ait sinyallerin bu yazılım yardımı ile mikrodeneleyici kontrolü ile sağlanmaktadır.

Sıfır geçiş anahtarı : Sekil 8.8.'deki devre LM358 entegresi, direnç ve kondansatör gruplarından oluşmaktadır. Sıfır geçiş anahtarı devresi, gerilim algılama devresinden gelen AA sinyalleri kare dalgaya dönüştürür. Mikrodeneleyici girişine uygulanan sebeke ve alternatöre ait kare dalga sinyaller mikrodeneleyici tarafından

C programlama dilinde hazırlanmış olan yazılım yardımı ile PWM sinyalinin darbeleme oranı değiştirilir. Buck konvertör devresi tarafından DA motorunun hızı ayarlanarak faz açısı ve frekans eşitliği sağlanır.



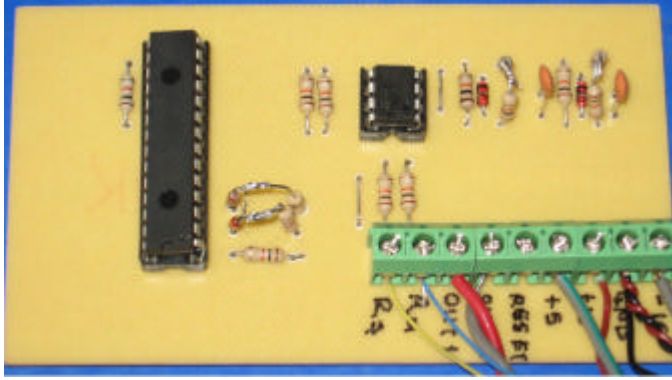
Sekil 8.8. Sifir Geçiş Anahtarı



Resim 8.7. Faz açısı ve frekans eşitliği LCD bilgileri

Faz açısı ve frekans eşitliğinin sağlanması ile ilgili LCD bilgileri Resim 8.7.'de verilmiştir. Resim 8.8.'de sıfır geçiş anahtar devre resmi gösterilmiştir. Sıfır geçiş anahtar devresi gerilim algımla devresinden gelen sinyalleri kare dalgaya

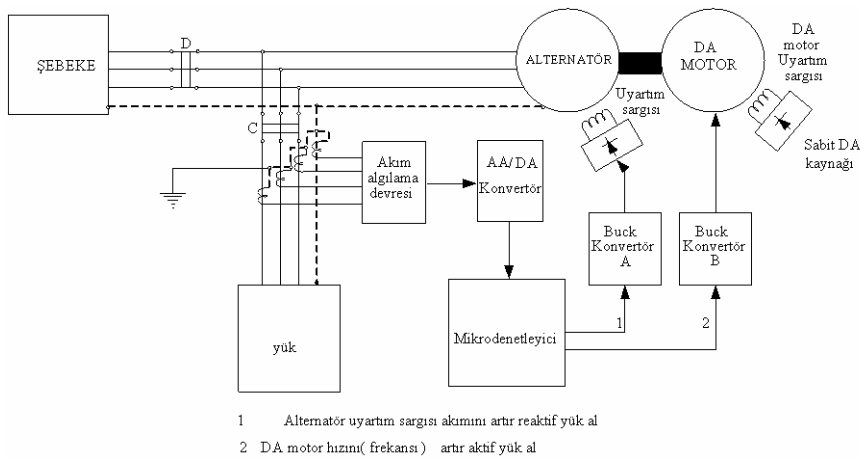
dönüştürerek mikrodenetleyicinin 29 ve 30 nolu sayısal girişlerine gönderir. LM358 entegresi direnç, diyot ve kondansatörlerden oluşmuştur.



Resim 8.8. Sifir geçiş anahtar devresi resmi

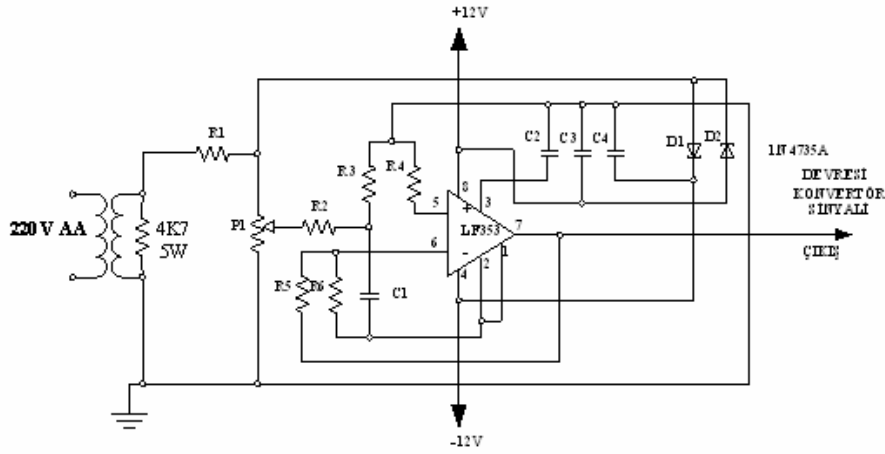
8.1.4 Yük alma ve paralel bağlantıdan ayrılma

Paralel bağlanma gerçekleştikten sonra, Sekil 8.9.'da görülen blok diyagramda olduğu gibi, DA motor hızını artırmak için endüvi gerilimini ve alternatör uç gerilimini artırmak için uyarım sargısına uygulanan DA gerilimini artırmaya çalışacaktır. Paralel bağlı durumda, DA motorunun hızı artmayacağından alternatör üzerine aktif yük almaya baslar. Paralel bağlı durumda alternatör uç gerilimleri artmayacağından alternatör üzerine reaktif yük almaya baslar.

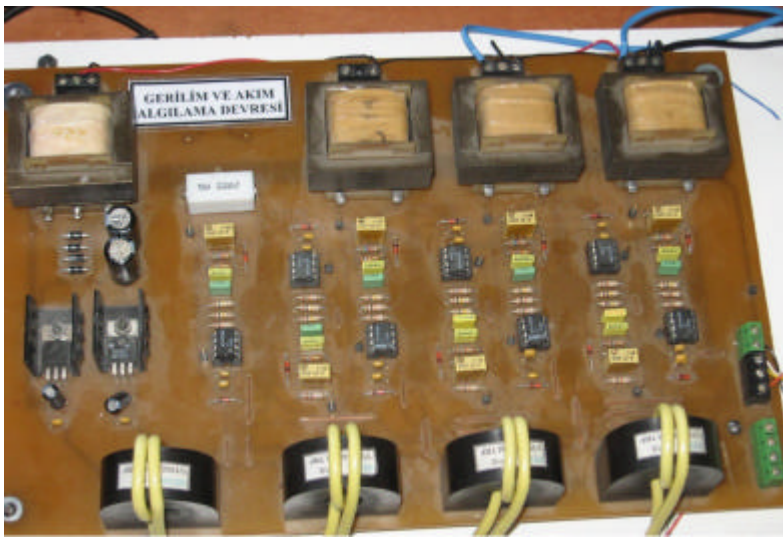


Sekil 8.9. Yük alma ve paralel bağlantıdan ayrılma blok diyagramı

Bu anda alternatör fazlarından çekilen akım, Sekil 8.10.'da görülen LF353 entegresi, akım trafosu, direnç ve kondansatör guruplarından oluşan akım algılama devresi tarafından ölçülmektedir. Ölçülen bu degerler ise, AA/DA konvertör üzerinden mikrodnetleyicinin analog girislerine karsilastirilmek üzere gönderilmektedir. Fazlar arasindaki akım dengesizlik orani %33' ün altinda oldugu sürece, alternatör yük altında çalışmaya devam eder. Bu oran asildigi zaman mikrodnetleyici paralel baglanma islemini otomatik olarak bitirir. Resim 8.9.'da akım algılama devresi görülmektedir. Resim 8.10.'da ise LCD bilgileri görülmektedir.



Sekil 8.10. Akım algılama devresi



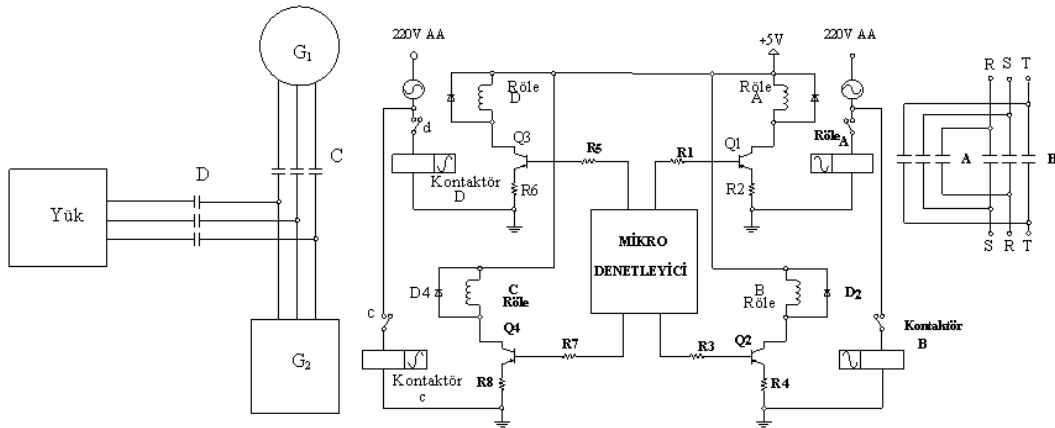
Resim 8.9. Akım algılama devresi resmi



Resim 8.10. Yük alma LCD bilgileri

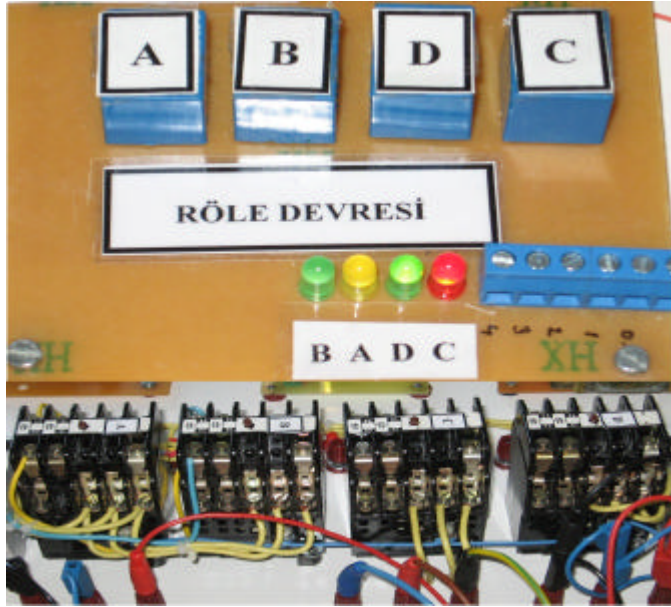
8.1.5. Sürme ve röle devreleri

Mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen bu devrede BC238 transistör ve DA rölesi kullanılmıştır.



Sekil 8.11. Sürme ve röle devreleri

Sekil 8.11.'deki devre mikrodenetleyicinin gönderdiği sinyallere bağlı olarak çalışan bir güç anahtarlama devresidir. Güç devresi faz sıralarının düzeltildiği ve paralel bağlantının gerçekleştirildiği yerdir. Faz sırası düzeltme anahtar elemanları olarak 2 adet, paralel bağlanma devre elemanı olarak da bir adet ve yük almak için bir adet kontaktör kullanılmıştır.



Resim 8.11. Röle, sürme ve kontaktör devreleri resmi



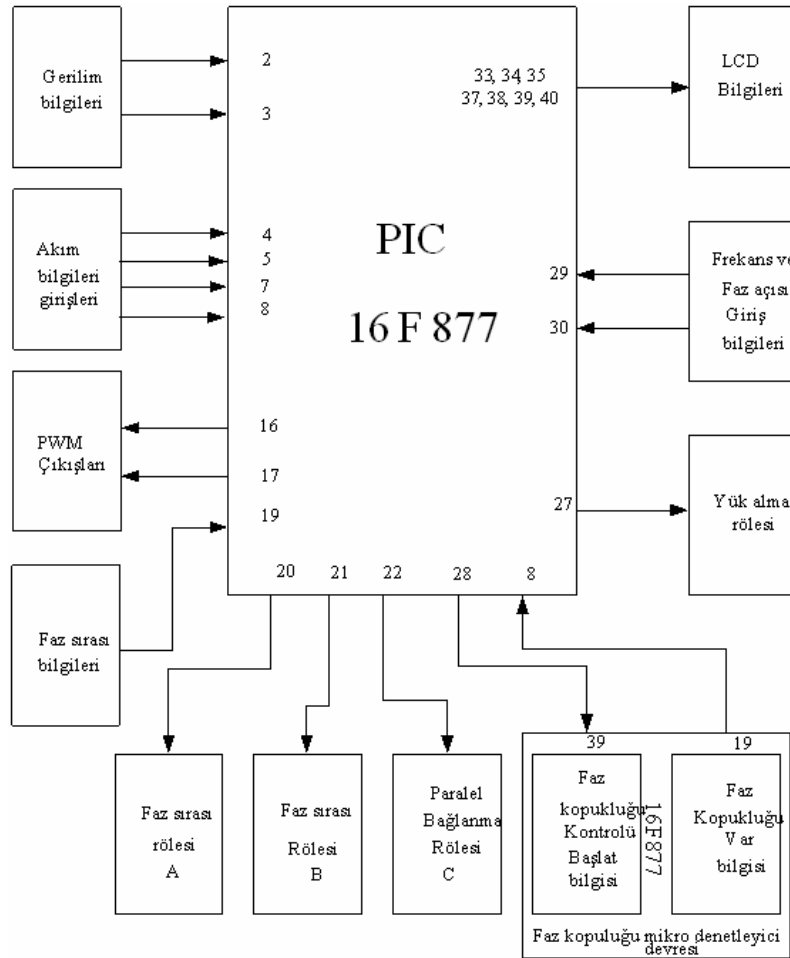
Resim 8.12. Röle ve sürme devreleri LCD bilgileri

Mikrodenetleyicinin 20 ve 21 nolu çıkışları faz sirasi esitleme devresinden gelen bilgi doğrultusunda, faz sirasini düzeltmek için A veya B röle sürme devresini çalıştırır. Faz sirasi düzeltilir. Bu işlemden sonra, 22 nolu çıkışı paralel bağlanma röle sürme devresini ve 27 nolu çıkışı ise yük alma röle sürme devresini çalıştırır. Bu devrelerde kontrol ettikleri kontaktörleri devreye alırlar.

Resim 8.11.'de röle sürme devresi ve kontaktörler görülmektedir. Resim 8.12.'de rölelerin devreye girmesi durumunda LCD ekranda görülen bilgileri verilmistir.

8.1.6. Mikrodenetleyici devresi

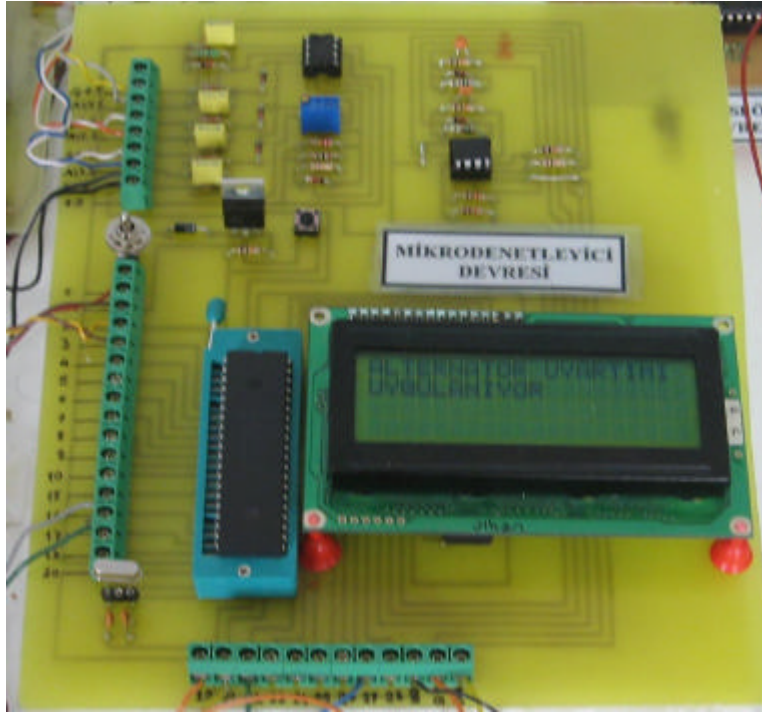
Paralel bağlanacak alternatörlere ait bilgi girişlerinin yapıldığı ve hazırlanan bilgisayar yazılım programı çerçevesinde işlem yapılarak, çıkış bilgilerinin üretildiği birim mikrodenetleyici devresidir. Şekil 8.12.'de mikrodenetleyici blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 8.12. Mikrodenetleyici giriş ve çıkışları

Mikrodenetleyici: Bir bilgisayar içerisinde bulunması gereken temel bileşenlerden RAM, I/O ünitesini tek bir chip içerisinde üretilmiş biçimine mikrodenetleyici denir. Bilgisayar teknolojisi gerektiren uygulamalarda kullanmak üzere tasarlanmış olan mikrodenetleyiciler, mikroislemciler göre çok daha basit ve ucuzdur. Günümüzün mikrodenetleyicileri otomatik kontrol sistemlerinde, otomobillerde, kameralarda, cep telefonlarında, fax-modem cihazlarında, fotokopi makinasında, radyo, TV, bazı

oyuncaklar gibi çok fazla alanda kullanılmaktadır. Bilgisayarda dahi ana işlemci yongası dışında, örneğin klavyede, ses kartında, görüntü kartı yada fare de dahi mikrodenetleyiciler kullanılmaktadır. Kısacası kontrol gerektiren her yerde mikrodenetleyiciler kullanılmaktadır [59].

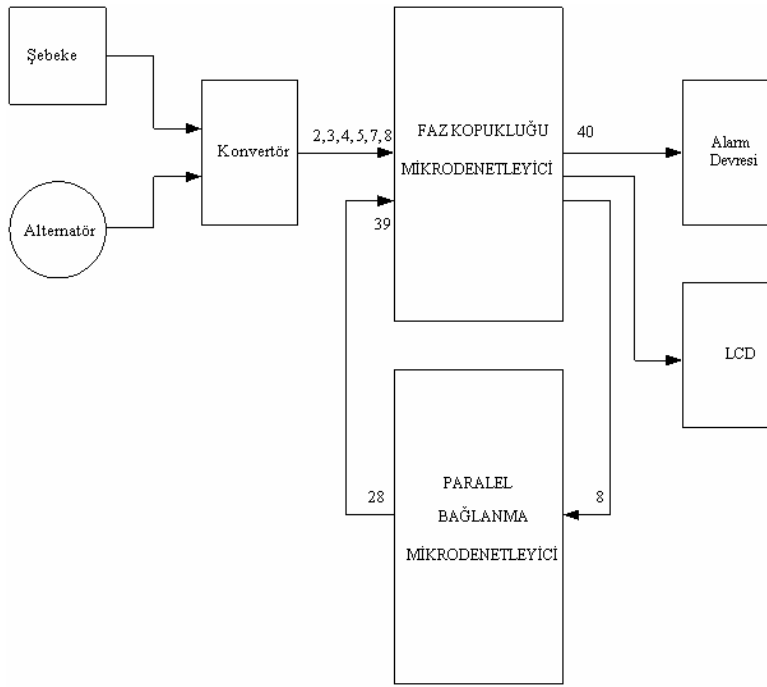


Resim 8.13. Mikrodenetleyici devresi resmi

Sekil 8.12.'de blok diyagram olarak verilen devrede 16F877 mikrodenetleyicisi, dört satır LCD ve C bilgisayar programlama dilinde yazılmış yazılım programı kullanılmıştır. Sekil 8.10.'da ise, sisteme ait bilgisayar akış diyagramı verilmiştir. Mikrodenetleyici devresinde, 19 nolu uç faz sırası esitliği için sayısal sinyal girişidir. 2 ve 3 nolu uçlar analog gerilim bilgisi girişleri 4, 5, 7 ve 8 nolu uçlar fazlar arası dengeli yük analog girişleridir. 29 ve 30 nolu uçlar sebeke ve alternatöre ait kare dalga giriş bilgileridir. 33, 34, 35, 37, 38, 39 ve 40 nolu uçlar LCD çıkış bilgileridir. 18 nolu uç DA motor kontrol sinyali, 17 nolu uç alternatör uyartım sargısı kontrol sinyalidir. 28 nolu uç faz kopukluğu kontrol devresine baslat bilgisi gönderir. 8 nolu giriş ise sistemde faz kopması olduğunda kopma olduğunu bildiren sinyal girişidir. Resim 8.13.'de mikrodenetleyici görüntüsü verilmiştir.

8.1.7. Faz kopukluğu kontrol ve alarm devresi

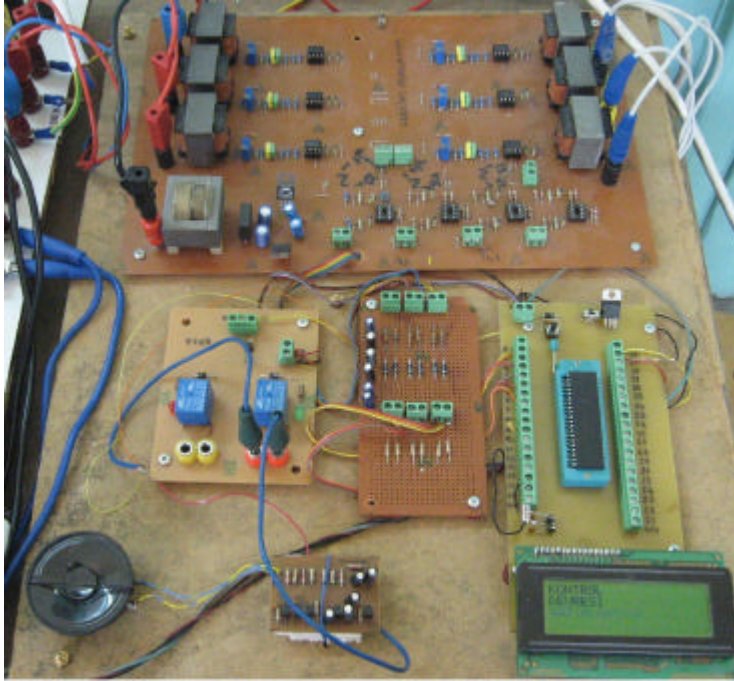
Faz kopukluğu devresi, Sekil 8.13.'de görüldüğü gibi alternatör ve sebeke fazlarına ait sinyalleri DA seviye dönüştüren konvertör devresi, mikrodnetleyici devresi ve alarm devresinden oluşmaktadır. Faz kopukluğu ve alarm devresi paralel bağlanma ünitesinin devreye alınmasından sonra, 19 nolu girişine gönderilen “1” bilgisiyle çalışmaya başlar.



Sekil 8.13. Faz kopukluğu kontrol ve alarm devresi

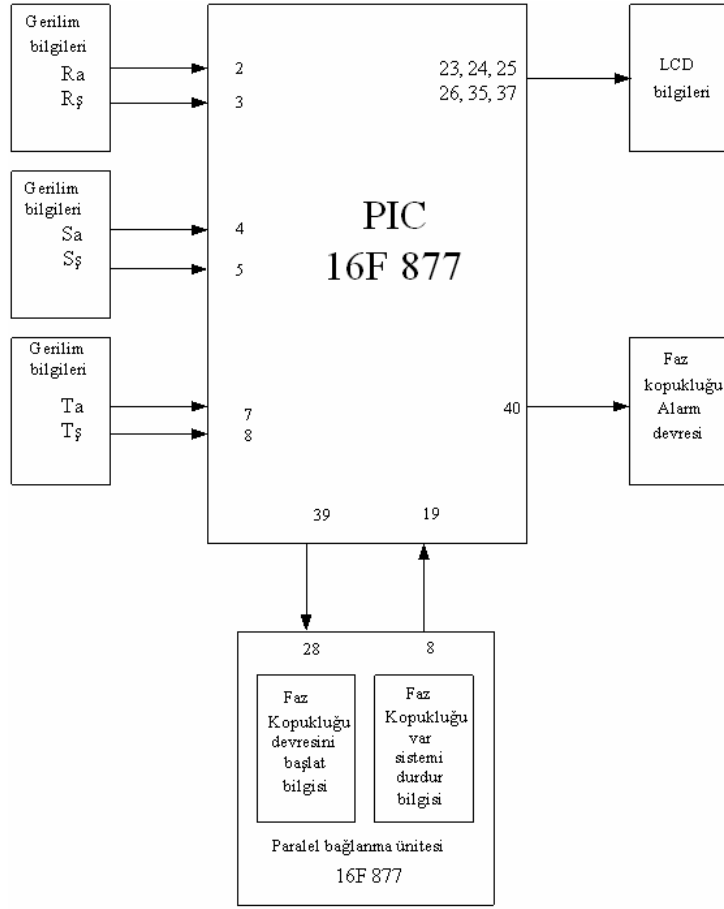
Sebeke ve alternatör fazlarına ait sinyaller konvertörde DA sinyallerine dönüştürüldükten sonra mikrodnetleyici 2, 3, 4, 5, 7 ve 8 nolu analog girişlerine “1” olarak uygulanır. Bu girişlerden herhangi birisi “0” olduğu zaman, mikrodnetleyicinin 40 nolu çıkışı kendisine bağlı olan alarm devresini çalıştırır. Aynı zamanda 19 nolu çıkışı paralel bağlanma ünitesine “ kopukluk var sistemi durdur” bilgisi göndererek, paralel bağlanma ünitesinin çalışmasını durdurup sistemin güvenliğini sağlamaktadır. Resim 8.14.'de görülen faz kopukluğu devresine ait bilgiler LCD ekranda yazdırılır.

Faz kopukluğu mikrodnetleyici devresi: Sekil 8.14.'de blok diyagram olarak verilen devrede bir adet 16F877 mikrodnetleyicisi, bir adet dört satır LCD ve C bilgisayar programlama dilinde yazılmış program kullanılmıştır. Mikrodnetleyici devresinde, 19 nolu uç kopukluk kontrol devresini çalıştır bilgisi sayısal sinyal girişidir. 2, 3, 4, 5, 7 ve 8 nolu girişler $R_1-S_1-T_1$, $R_2-S_2-T_2$ fazlarına ait analog giriş sinyalleridir. 39 nolu çıkış paralel bağlanma ünitesinin kopukluk var sistemi durdur bilgisinin gönderildiği çıkıştır. 23, 24, 25, 26, 35 ve 37 nolu uçlar ise LCD bilgilerine ait çıkışlardır.



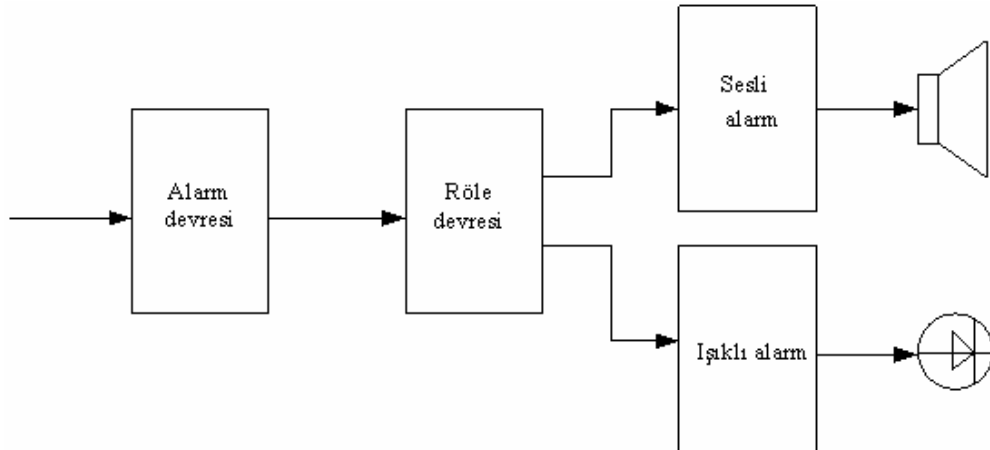
Resim 8.14. Faz kopukluğu kontrol ve alarm devresi görüntüsü

Resim 8.14.'de faz kopukluğu kontrol ve alarm devresi görüntüsü verilmiştir. Sekil 8.14.'de mikrodnetleyici devresi verilmiştir. Burada 2,3,4,5,7,8 nolu girişlerden sebeke ve alternatör fazlarına ait bilgiler girilmiştir. 19 nolu girişten paralel bağlanma ünitesinin kopukluk devre kontrol sistemini baslat bilgisi girmiştir. 39 nolu çıkış ise paralel bağlanma ünitesine hata var sistemi durdur bilgisinin gönderildiği çıkıştır. 23, 24, 25, 26, 35, ve 37 nolu uçlar ise LCD bağlantılarıdır.



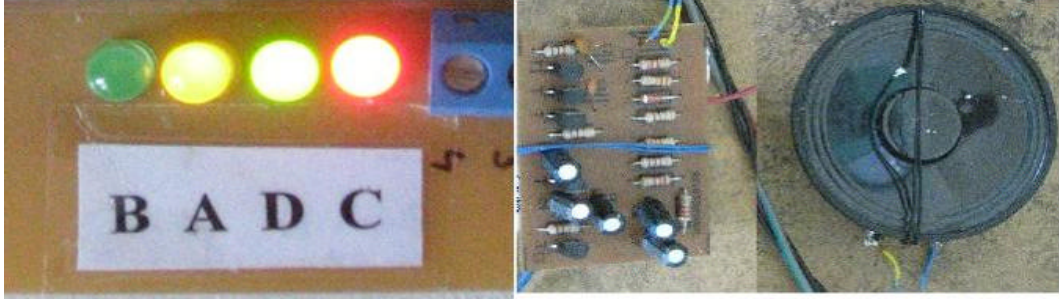
Sekil 8.14. Faz kopukluğu mikrodnetleyici devresi

Alarm devresi: Alarm devresi Sekil 8.15.'de görüldüğü gibi röle, ses ve isik sisteminden oluşmaktadır.



Sekil 8.15. Faz kopukluğu alarm devresi

Röle devresi mikro denetleyiciden aldığı kopukluk var “1” bilgisi ile devreye girer. Resim 8.15.’deki sesli ve isikli alarm devresi, sesli ikaz yapmaktadır. Isık devresi ise ledleri devreye alarak isikli ikaz yapmaktadır. Verilen bu ikazlar operatörü uyarmak amaçlıdır. Bu esnada mikrodenetleyici sistemi durdurmaktadır..



Resim 8.15. Alarm devresi görüntüsü

Faz kopukluğu ve alarm devresine ait bazı LCD bilgileri Resim 8.16.’da verilmistir.

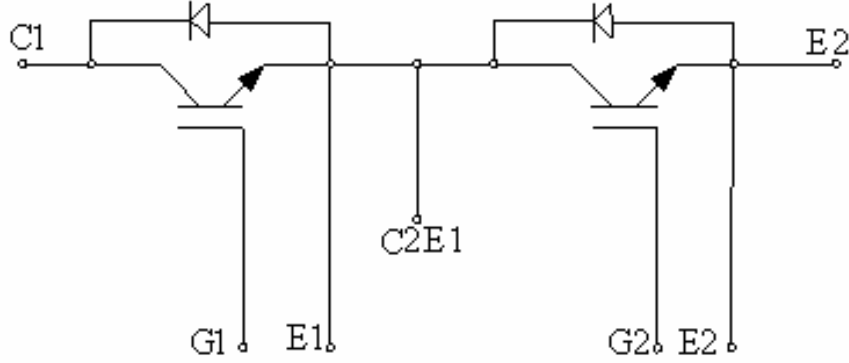


Resim 8.16. LCD bilgileri

8.1.8. IGBT anahtar elemanı ve IGBT sürücü devreleri

Frekans kontrolü için kullanılan DA motoru ve alternatör uyarım gerilimi ayarında konvertör anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmaktadır. DA motor kontrol tekniği olarak pek çok metot vardır. Bu çalışmada DA motor kontrolü için faz kontrol tekniği uygulanmıştır. Bu teknikte, DA motoru hız kontrolünün

gerçekleştirilebilmesi için görev saykili ayarlanabilen darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyaline, anahtarlama için DA/DA konvertör devresine, sürücü devresine, motorun hızının ölçülebilmesi için hız okuma arabirimine ve çeşitli lojik kapılara ihtiyaç vardır.



Sekil 8.16. IGBT sembolik gösterilisi

Bu işlemleri bir mikrodnetleyici kullanarak daha basit ve ucuz olarak gerçekleştirmek mümkündür. Mikrodnetleyici kullanılması, devre için gerekecek birçok elemanın azaltılmasını sağlamakta ve sistemin kontrolü daha kolay gerçekleştirilmektedir.

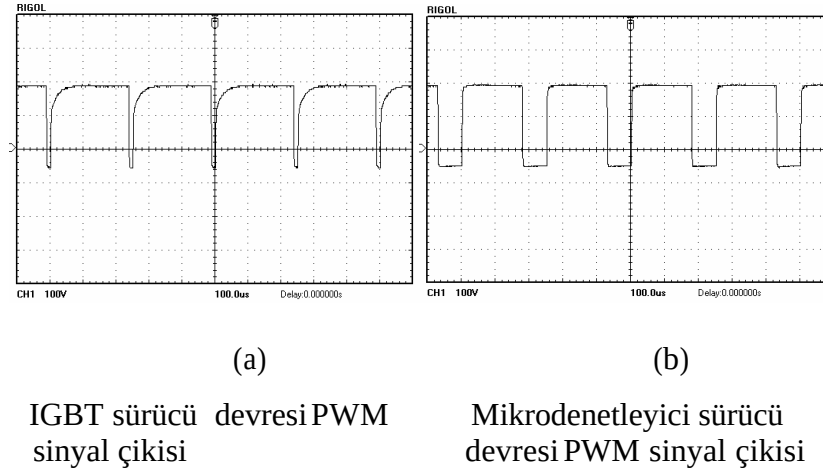


Resim 8.17. IGBT resmi

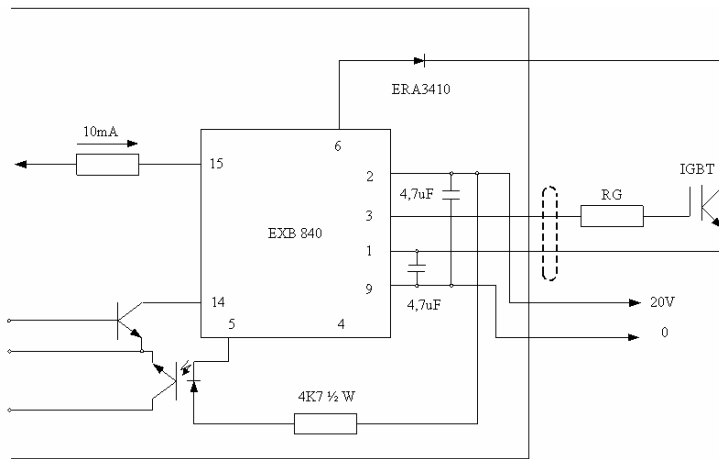
Yapılan çalışmada mikrodnetleyici ve C programlama dilinde yazılmış yazılım program kullanılmıştır. Sekil 8.16.'da IGBT anahtar elemanın sembolik şekli ve Resim 8.17.'de ise IGBT resmi gösterilmektedir.

8.1.9. IGBT sürücü devresi

Hız kontrol devresindeki IGBT' lerin çalışabilmesi için sürücü devreye ihtiyaç vardır.



Resim 8.18. IGBT ve Mikrodenetleyici PWM sinyalleri osiloskop görüntüsü



Sekil 8.17. IGBT sürücü devre seması

Resim 8.18.'de mikrodenetleyici tarafından üretilen PWM sinyali ve IGBT sürme devresinin çıkışından alınan IGBT sürme sinyali görülmektedir. Mikro denetleyici çıkış sinyali 5 volt seviyesinde iken, IGBT sürücü devresi çıkışının 18 volt seviyesinde olduğu görülmektedir.

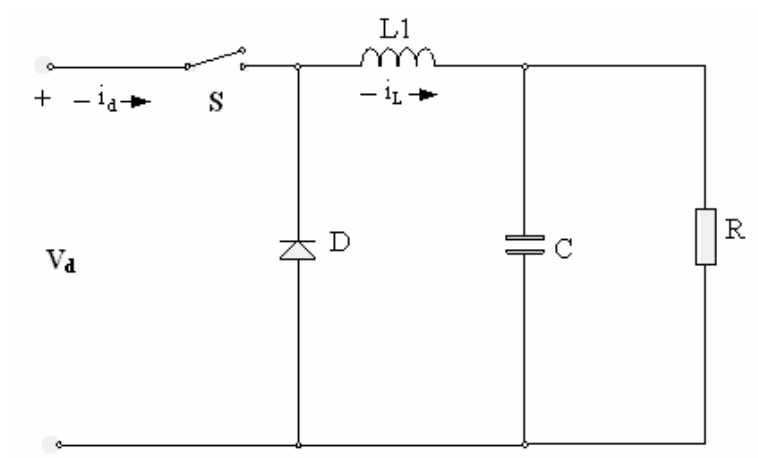


Resim 8.19. IGBT sürücü devre resmi

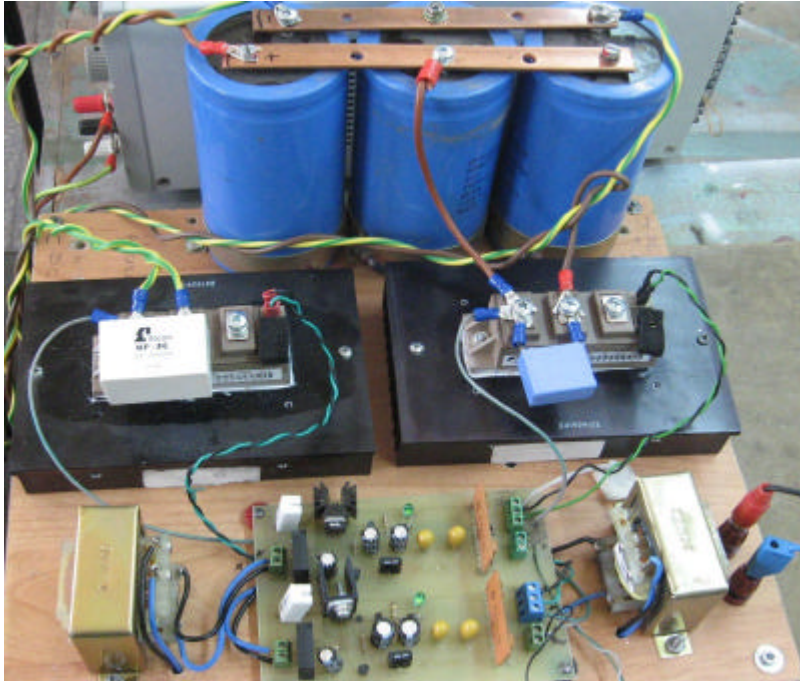
Her IGBT elemanini yalıtılmış kaynaktan sürmek gerekmektedir. Aksi takdirde DA gerilim sürücüler üzerinden kısa devre olmaktadır. Bu işlem için Sekil 8.17.'deki EXB840 sürücü devresi kullanılmıştır. Bu devre 20 V DA gerilimle beslenmekte ve çıkışta IGBT sürücüsünün çalışmasını sağlayacak sürme sinyalini vermektedir. Resim 8.19.'da ise çalışmada kullanılan IGBT sürme devresi verilmiştir.

8.1.10. Buck konvertör devresi

Deney setinde alternatöre mekanik enerji DA motoru tarafından verilmektedir. DA motorunun hız kontrolü ile alternatör parametreleri olan faz açısı, frekans esitlikleri sağlandığından sistemde otomatik kontrole ihtiyaç vardır. Mikrodenetleyici tarafından C programlama dilinde hazırlanmış olan yazılım ile bu otomasyon sağlanmıştır. Deney setinde, anahtar elemanı olarak IGBT kullanılmıştır. Anahtarlama işlemi ise, buck konvertör (azaltan kıyıcı) ile yapılmıştır. Alternatör ve akuple bağlı olduğu DA motorunun gücü 3kW ile sınırlı olduğundan tek anahtarlı buck konvertör tasarlanarak uygulama devresi gerçekleştirilmiştir. Sekil 8.18.'de buck konvertör (azaltan kıyıcı) devre şeması Resim 8.20.'de ise tasarlanan buck konvertör (azaltan kıyıcı) resmi verilmiştir. Konvertör eleman değerleri ise Çizelge 8.1.'de verilen DA motoru ve senkron motor parametrelerine göre seçilmiştir.



Sekil 8.18. Buck konvertör (tek anahtarlı azaltan kıyıcı) devre seması



Resim 8.20. Tasarlanan buck konvertör (tek anahtarlı azaltan kıyıcı) resmi

8.1.11. Deney setinde kullanılan DA motoru ve senkron motor

Deney setinde alternatöre mekanik enerji sağlamak için DA motoru kullanılmıştır. Alternatör ve DA motoruna ait parametreler Çizelge 8.1.'de verilmiştir. Resim 8.21.'de ise bu düzeneğe ait bir görüntü sunulmuştur.

Çizelge 8.1. Deney setinde kullanılan alternatör ve DA motor etiket değerleri

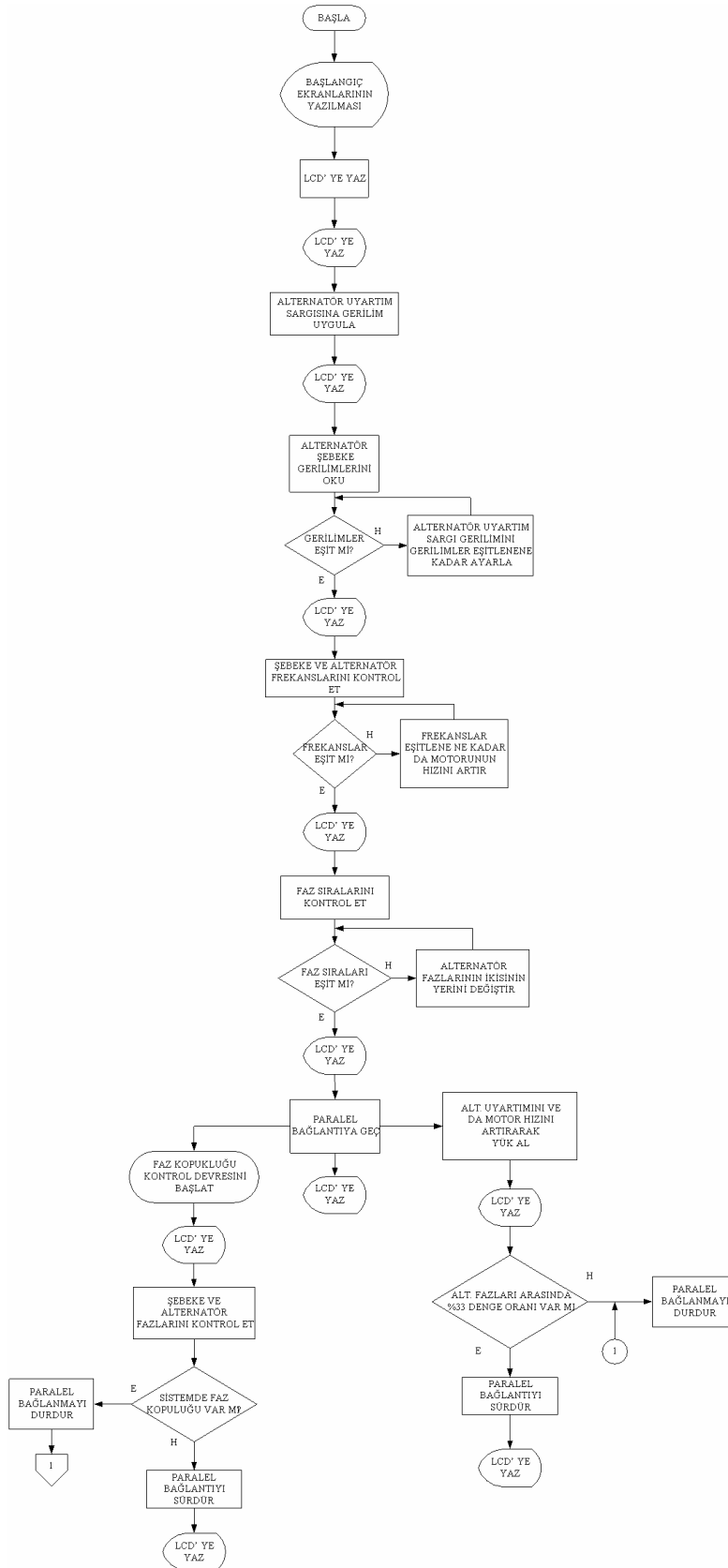
	Güç (Kilowatt)	Devir sayısı (d/dk)	Gerilim (Volt)	Akim (Amper)	Frekans Hz
DA motoru (Mekanik güç)	3	1200-1800	115	0-30	-
DA motoru Uyartım sargısı	-	-	110	1,55	-
Senkron motor (Alternatör)	5KVA 2,8	1200-1800	Y-400 Δ -231	10	40-60
Senkron motor Uyartım sargısı			110	1,2	



Resim 8.21. Deney setine ait DA motoru ve senkron motor(alternatör)

8.2. Sistemin Bilgisayar Akis Diyagramı

Sistemin Şekil 8.19.'da verilen akis diyagramında başla komutundan sonra alternatörlere ait faz gerilim değerleri okunur. Eğer eşitse, LCD'ye yazdırılıp sonraki komuta geçer. Değilse, alternatör uyartım akimini ayarlayan, 16 nolu uçtan alınan sinyalle gerilim eşitliğini sağlar. Bu bilgiler LCD'ye yazdırılır ve sonraki işleme



Şekil 8.19 Sistemin akis diyagramı

geçilir. Bir sonraki asamada frekans esitlikleri kontrol edilir. Frekanslar esit degilse DA motor sürücüsüne 17 nolu çıkıştan kontrol sinyali gönderilir ve frekans esitligi saglanır. Bilgiler LCD' de yazdırılır ve sonraki isleme geçilir. 33' nolu girise uygulanan sayisal sinyale bagli olarak, 39 veya 40 nolu çıkışlardan birisi kumanda ettigi röleyi devreye alarak esitligi saglar. Bu kontrolden sonra program dallanir. Paralel baglanma ünitesi 28 nolu çıkışından gönderdigi bilgi faz kopuklugu kontrol devresi mikrodnetleyicisinin 39 nolu girişine kontrol devresini çalıştır bilgisi gönderir. Faz kopuklugu devresi kontrole baslar. Kopukluk kontrol devresi mikrodnetleyicisinin 2, 3, 4, 5, 7, 8 nolu girişlerine alternatör ve sebeke faz bilgileri girilir. Bu fazlardan herhangi birisinde kopukluk olursa 8 nolu çıkışından paralel baglanma ünitesinin 19 nolu girişine çalışmayı sonlandır bilgisi gönderilir. Paralel baglanma ünitesi sistemin çalışmasını durdurur. Sistemde faz kopuklugu yoksa faz açisi esitligi kontrolü yapılır, esit degilse 16 nolu çıkışla DA motorun hizi ayarlanarak açisal esitlik saglanır. Bilgiler LCD' ye yazdırılarak paralel baglanma gerçekleştirilir. Paralel baglanma saglandıktan sonra 16 ve 17 nolu çıkışlarla sürme devreleri kontrol edilerek alternatör üzerine yük aldirilir. Bilgiler LCD' ye yazdırılır. Sistem alternatör fazlarından çekilen akimi kontrol ederek tolerans (%33) sinirlari içerisinde faz akimlarında denge varsa baglantıyı sürdürür. Bu oran asiliyorsa (%34....) ise sistem çalışmayı sonlandırir.

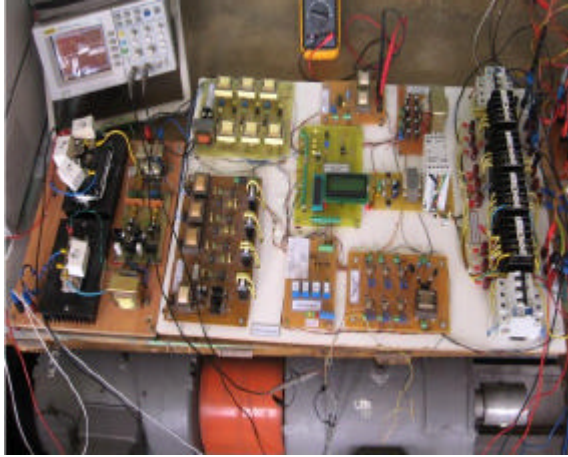
9. DENEY SETİNİN KULLANIMI VE İŞLEM BASAMAKLARI

Bu çalışmada hazırlanan alternatörlerin otomatik paralel bağlanma deney setinin kullanımı için yapılması gereken işlemler konusunda bilgi verilmesi gerekmektedir. Bu işlemler üç grupta toplanmıştır.

- Deneye başlamadan önceki işlemler,
- Deney sırasındaki yapılacak işlemler,
- Deney yapılırken meydana gelecek arızalar ve giderilmesi.

9.1. Deneye Başlamadan Önceki İşlemler

Resim 9.1.’deki deney setini kullanmaya başlamadan önce aşağıda sıralanan işlemlerin yapılması gerekmektedir.



Resim 9.1. Deney seti görünümü

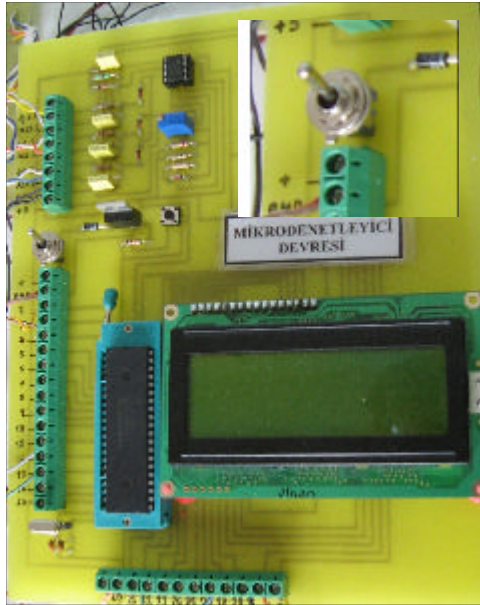
1. DA motorunun endüvi sargısının beslemesi için kullanılacak DA kaynağı “ON” konumuna alınmalıdır.
2. DA motorunun uyarım sargısını besleyecek DA kaynağı “ON” konumuna alınmalıdır.
3. Alternatör uyarım sargısının beslemesi için kullanılacak DA kaynağı “ON” konumuna alınmalıdır.

4. Otomatik paralel bağlanma mikrodenetleyicisine hazırlanan yazılım programı yüklenmelidir.
5. Mikrodenetleyici kontrol ünitesine yerleştirilmeli ve kontrol ünitesinin enerjisi verilmelidir.
6. Deney setinde kullanılacak olan osiloskop vs. gibi ölçü aletleri hazırlanıp ölçüm noktalarına bağlanmalıdır.

Yukarıda sirasi ile anlatılan işlemler gerçekleştirildikten sonra deney seti çalışmaya hazır hale gelmiştir.

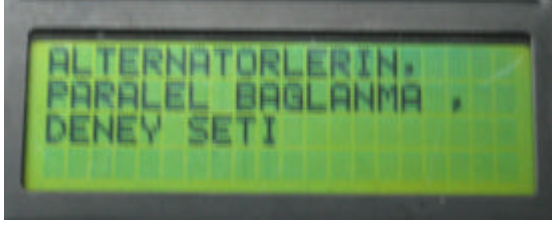
9.2. Deney Sirasında Yapılacak İşlemler

Kullanıma hazır olan deney seti kontrol panelindeki Resim 9.2.'de görülen anahtar açılınca çalışmaya başlar. Sirasıyla;



Resim 9.2. Kontrol ünitesi ve on/off anahtarı

1. Çalışan deney setinde kontrol ünitesinde bulunan Resim 9.3.'deki LCD ekranda “ALTERNATÖRLERİN OTOMATİK PARALEL BAGLANMASI DENEY SETİ” yazısı belirir.

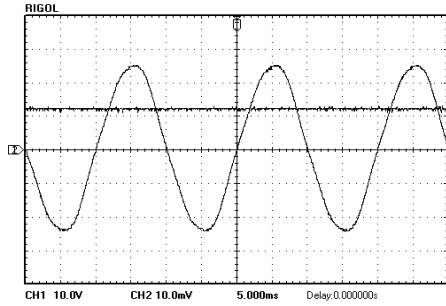


Resim 9.3. Deney seti baslangiç LCD ekran bilgisi

2. Sistem otomatik olarak DA motorunu kalkindirirken Resim 9.4.'de görülen LCD ekrana “DA MOTORA GERILIM UYGULANIYOR” aynı zamanda alternatör uyaritim sargisina DA gerilim uygulayarak alternatör Resim 9.5.'de görüldüğü gibi uç gerilimi üretmeye baslar.

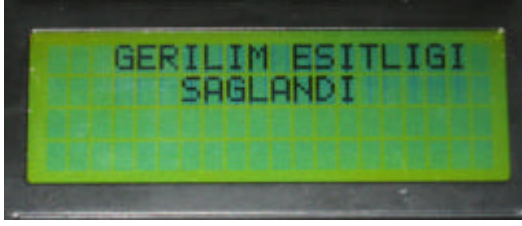


Resim 9.4. DA Motoruna gerilim uygulaniyor LCD bilgisi

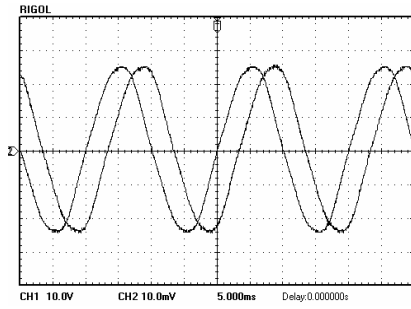


Resim 9.5. Alternatör gerilim sinyali

3. Kontrol sistemi alternatör ve sebeke uç gerilimlerini esit hale getirinceye kadar alternatör uyaritim sargisina uygulanan gerilimi artırir. Uç gerilimleri esit olunca LCD ekranda Resim 9.6.'daki “GERILIM ESITLIGI SAGLANDI” bilgisi yazdirilir. Resim 9.7.'de görüldüğü gibi osiloskopta gerilim sinyalleri elde edilir.



Resim 9.6. Gerilim esitligi LCD bilgileri



Resim 9.7. Gerilim esitligi osiloskop bilgileri

4. Kontrol sistemi frekans esitligini saglamak için alternatör ve sebeke sinyallerini karsilastirir ve frekanslar esit oluncaya kadar DA motorunun endüvisine uygulanan gerilim kontrol sistemi tarafından otomatik olarak artirilir. Frekanslar esit oldugu zaman LCD ekranda Resim 9.8.’deki “FREKANS ESITLIGI SAGLANDI” bilgisi yazdirilir.



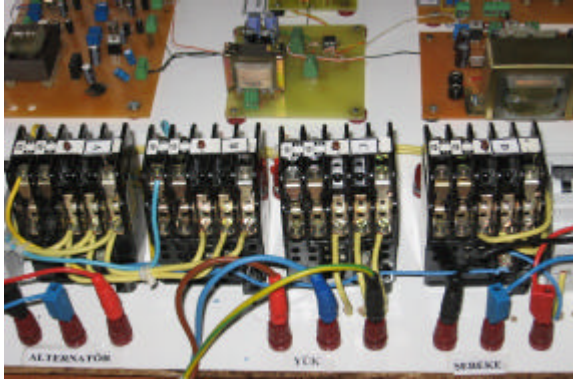
Resim 9.8. Frekans esitligi bilgileri

5. Gerilim ve frekans esitlikleri saglandiktan sonra kontrol sistemi faz sirasi kontrolü yapar. Faz siralari ayni ise Resim 9.9.’daki LCD ekranda “FAZ SIRALARI AYNI” degilse “FAZ SIRALARI DÜZELTILDI” bilgisi yazdirir.



Resim 9.9. Faz sirasi LCD bilgisi

6. Mikrodenetleyici faz sirasi bilgisine göre Resim 9.10.’daki A veya B kontaktörünü çalıştırır.



Resim 9.10. Kontaktörler

Alternatör çıkışları çalışan kontaktör üzerinde paralel bağlanmaya hazır hale gelir. Aynı zamanda mikrodenetleyici faz kopukluğu ve kontrol devresini aktif hale getirir.



Resim 9.11. Sebeke ve alternatör fazlari LCD bilgisi

Resim 9.11.’de görüldüğü gibi faz kopukluğu ve kontrol devresi LCD ekranına “SEBEKE VE ALTERNATÖR FAZLARI VAR” ve “FAZ KOPUKLUĞU KONTROL DEVRESİ HAZIRLANIYOR” bilgisi gelir.

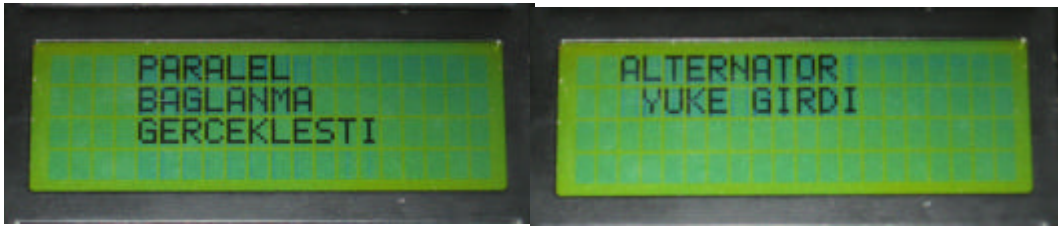
7. Sistem faz sirasi esitligini sagladiktan sonra faz açilarini kontrol eder. Faz açilari esit degilse mikrodnetleyici DA motorunun endüvi gerilimini ayarlarak faz açilarini esitler ve LCD ekranda Resim 9.11.'de görülen “FAZ AÇILARI ESITLENDİ” bilgisini yazdirir. Resim 9.12.'de görüldüğü gibi osiloskopta alternatör ve sebeke sinyalleri artık üst üstedir. Bu anda mikrodnetleyici C kontaktörünü çalıştırarak alternatör ve sebekeyi paralel baglar.



Resim 9.12. Faz açisi LCD bilgisi

8. Paralel baglanma gerçeklestikten sonra mikrodnetleyici DA motorunun endüvi gerilimi artirmaya çalışarak alternatörün üzerine aktif yük ve alternatör uyartım sargisi gerilimini artırarak reaktif yük alabilmesi için ayni zamanda D kontaktörünü çalıştırarak sistemi yüke baglar.

9. Paralel bagli çalışan sistem üzerine yükte aldıktan sonra mikrodnetleyici Resim 9.13.'de görüldüğü LCD ekrana bilgileri yazdirir.



Resim 9.13. Paralel baglanma ve yük alma LCD bilgileri

9.3. Deney Yapilirken Meydana Gelecek Arizalar ve Giderilmesi

Yukarida anlatilan islemler sistemin normal çalismasi esnasinda gerçeklesmektedir. Sistemde meydana gelecek belli basli arizalar ve giderilmesi ise asagidaki islem sirasi dahilinde yapılmalıdır.

Hata 1. Paralel baglanma ünitesi aktif hale getirildi ancak DA motoru kalkinamadi.

Çözüm.1 Acil olarak kontrol devresi üzerinde bulunan mikrodnetleyici reset butonuna basilmali ve kontrol ünitesi “OFF” edilmelidir. Sonra sirasiyla;

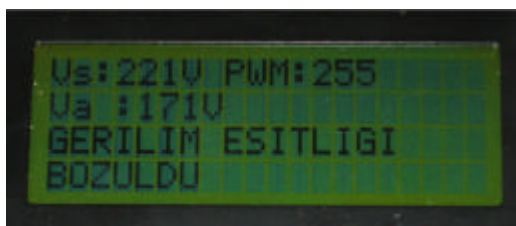
- a) DA motorunun uyartim sargisina uygulanan DA kaynagi aktif hale getirilmelidir.
- b) Kaynak aktif ise konvertör devresindeki sürücü devresinde hata aranmalıdır.

Hata 2. Sistem çalismaya basladi ancak alternatör uçlarında gerilim elde edilemedi

Çözüm 2. Acil olarak kontrol devresi üzerinde bulunan mikrodnetleyici reset butonuna basilmali ve kontrol ünitesi “OFF” edilmelidir. Sonra sirasiyla;

- a) Alternatör uyartim sargisina DA gerilim veren kaynak aktif hale getirilmelidir.
- b) Kaynak aktif ise konvertör devresi ve sürücü kontrol edilmelidir.

Hata 3. Sistem çalismaya basladi ancak alternatör uçlarında üretilen gerilim ile sebeke gerilimi arasinda esitlik saglanamadi Resim 9.14.’de görülen LCD ekranda “GERILIM ESITLIGI BOZULDU” bilgisi yazdirildi.



Resim 9.14. Gerilim esitligi bozuldu LCD bilgisi

Çözüm 3. Alternatör uyarım sargısına uygulanan DA yeterli değildir. Kaynak gerilimini sistem çalışmaya devam ederken esitlik sağlanıncaya kadar artırın.

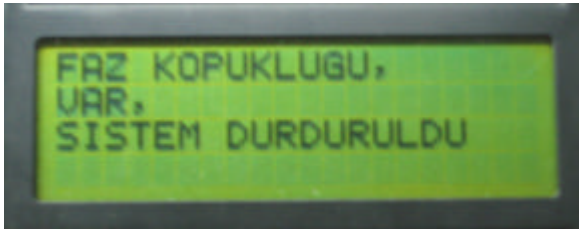
Hata 4. Paralel bağlanma ünitesi frekans esitliğini sağlayamıyor Resim 9.15.’de LCD ekranda “ FREKANS ESITLIGI BOZULDU” bilgisi yazdırıldı.



Resim 9.15. Frekans esitliği bozuldu LCD bilgisi

Çözüm 4. DA motorunun endüvisine gerilim uygulayan kaynak çıkışları yeterli değildir. DA akım kaynağını sistem çalışırken esitlik sağlanıncaya kadar artırabilirsiniz. Yine sağlanamıyorsa DA motorunun uyarım sargısı gerilimi ayarlanmalıdır.

Hata 5. Paralel bağlanma ünitesi çalışma esnasında otomatik olarak durduruldu ve Resim 9.16.’da görüldüğü gibi LCD ekranda “FAZ KOPUKLUGU SISTEM DURDURULDU” bilgisi yazdırıldı.



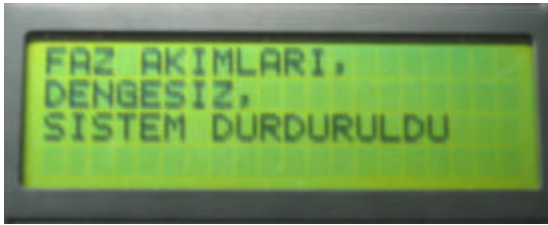
Resim 9.16. Faz kopukluğu LCD bilgisi

Çözüm 5. Sistemin çalışan bütün kaynakları devre dışı edilmeli ve faz kopukluğu kontrol devresi LCD ekranında hangi fazın kopukluğu görüldükten sonra arıza giderilip çalışmaya tekrar başlanmalıdır.



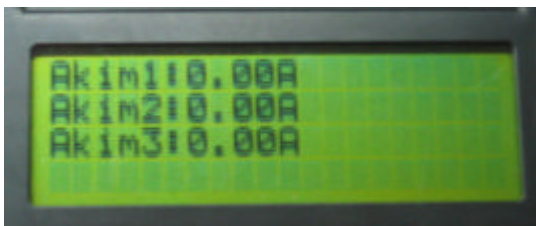
Resim 9.17. R1 faz kopukluğu LCD bilgisi

Hata 6. Çalışma esnasında deney seti LCD ekranında Resim 9.18.’de görülen “DENGESİZ YÜK” bilgisi yazdırıldı ve çalışma otomatik olarak durduruldu.



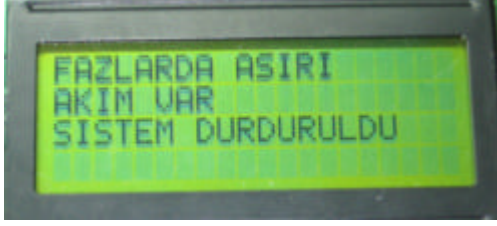
Resim 9.18 Dengesiz yük bilgisi

Çözüm. Paralel bağlanma ünitesi ve bağlı bütün besleme kaynakları durdurulmalı ve LCD ekrandan Resim 9.19.’da görüldüğü gibi dengesiz yüklenen faz tesbit edilmelidir. Hatanın alternatör sargılarından yada üzerine alınan yükten kaynaklandığı anlaşıldıktan sonra hata düzeltilmelidir.



Resim 9.19. Faz akımı LCD bilgileri

Hata 7. Paralel bağlanma deney seti LCD ekranında Resim 9.20.’de görülen “ ASIRI AKIM SİSTEM DURDURULDU” bilgisi yazdırılarak çalışma otomatik olarak durduruldu.



Resim 9.20. Asiri akimdan dolayı sistem durdurma bilgisi

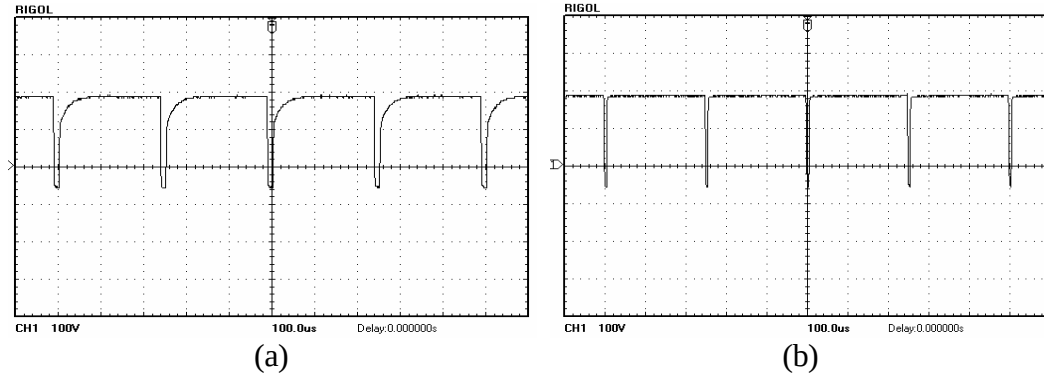
Çözüm. Alternatöre kapasitesinin üzerinde yük verilmiştir. Sistemdeki bütün kaynaklar devre dışı edilmeli ve sistemin beslediği yük değeri azaltılmalıdır.

Tasarlanıp uygulaması gerçekleştirilen deney seti normal çalışma koşulları dışında bir durumla karşılaştığında kendisi otomatik olarak korumaya alıp çalışma dışı kalacağından meydana gelebilecek kazalar önlenmiş olmaktadır. Ancak sistem yazılım esaslı otomasyon olduğundan çalışma koşulları kullanıcı tarafından iyice öğrenilmelidir. Yukarıdaki işlem sırası takip edildiği takdirde herhangi bir problemle karşılaşılmadan işletim sağlanabilir.

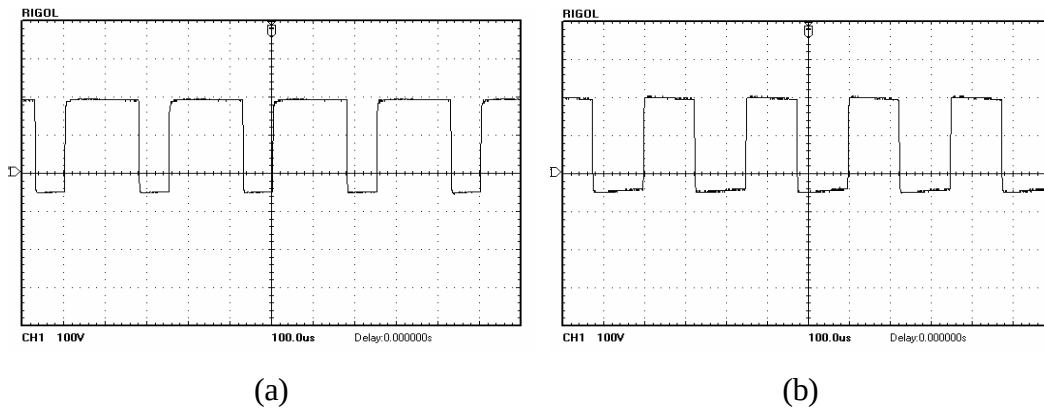
10. DENEYSEL SONUÇLAR

10.1. Deney Setinin Osiloskopla Yapılan Ölçüm Sonuçları

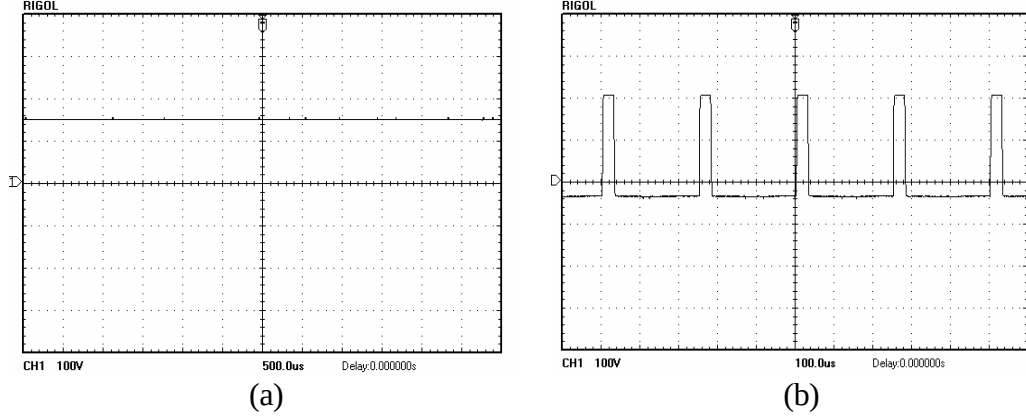
Tasarım ve uygulaması gerçekleştirilen deney seti üzerinde yapılan osiloskop ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir.



Resim 10.1.a. ve b.'de frekans esitliğinin sağlanabilmesi için DA motorunun hızını kontrol eden anahtar elemanının (IGBT) PWM oranlarının %90 ve %99 olduğu durumudur. Sistem frekans esitliğinin sağlanabilmesi için anahtarlama oranını değiştirmektedir.

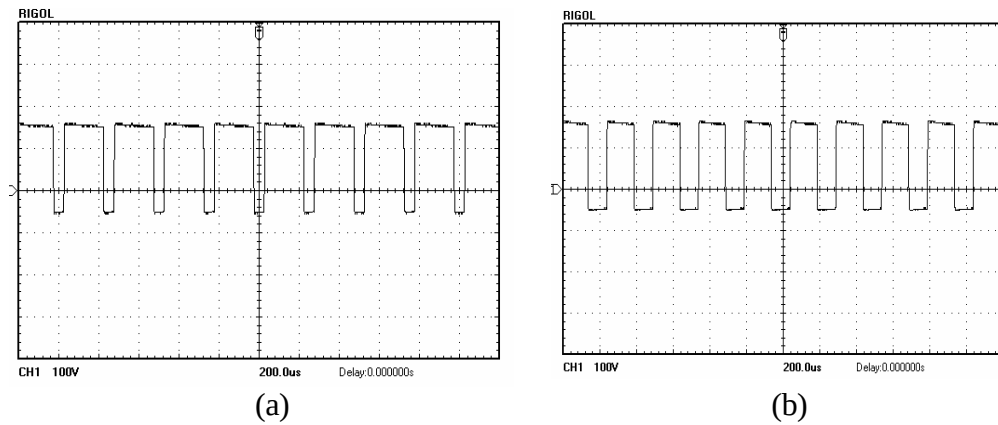


Resim 10.2.a. ve Resim 10.2.b.'de frekans esitliginin saglanabilmesi için DA motorunun hizini kontrol eden anahtar elemaninin (IGBT) PWM oranlarinin %70 ve %50 oldugu durumu göstermektedir. DA motoru anahtarlama degistikçe hizini artirip yükselterek frekans esitligini saglamaya çalışmaktadır.



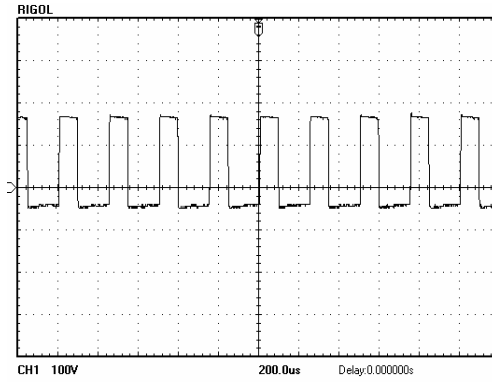
Resim 10.3. Frekans PWM orani a) %100 b)PWM orani %15

Resim 10.3.a. ve Resim 10.3.b.'de frekans esitliginin saglanabilmesi için DA motorunun hizini kontrol eden anahtar elemaninin (IGBT) PWM oranlarinin %15 ve %100 oldugu durumdur. Burada DA motorunun kalkinmasindan itibaren alternatör frekansi sebekeye esleninceye kadar degisen anahtarlama oranlari görülmektedir

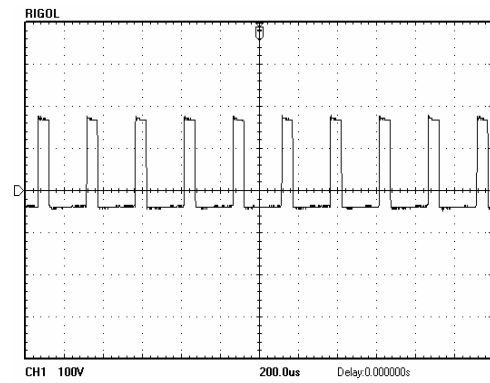


Resim 10.4. Frekans PWM orani a) %80 b)PWM orani %60

Resim 10.4.a. ve Resim 10.4.b.'de frekans esitliginin saglanabilmesi için DA motor hizini kontrol eden anahtar elemaninin (IGBT) PWM oranlarinin %80 ve %60 oldugu durumu göstermektedir.



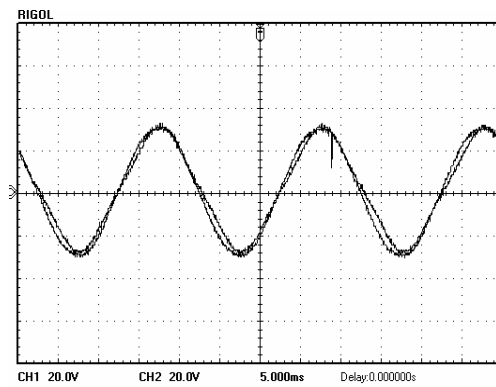
(a)



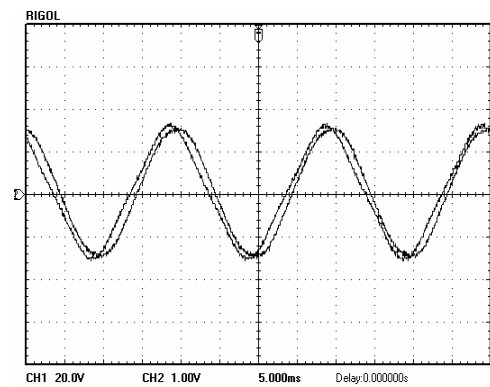
(b)

Resim 10.5. Frekans PWM orani a) %30 b) PWM orani %15

Resim 10.5.a. ve Resim 10.5.b.'de gerilim esitliginin saglanabilmesi için alternatör uyaritim sargisinin akimini kontrol eden anahtar elemaninin (IGBT) PWM oranlarinin %30 ve %15 oldugu durumu göstermektedir. Frekans esitliginde oldugu gibi gerilim esitliginin saglanmasinda anahtarlama oranlari degistirilmektedir.



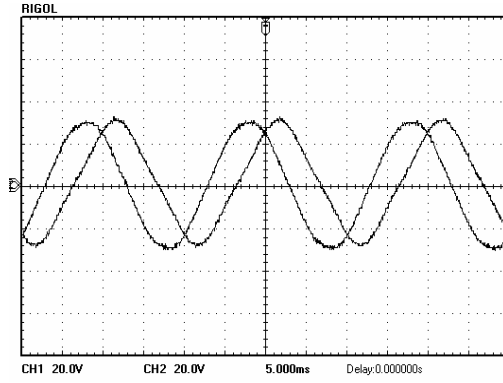
(a)



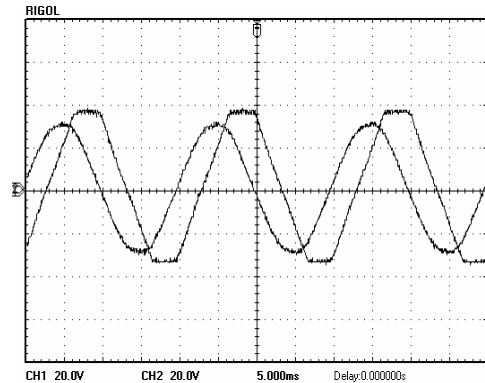
(b)

Resim 10.6. Senkron ani a) %100 senkron b) %95 senkron

Resim 10.6.a. ve Resim 10.6.b.'de sebeke ve alternatör çıkış sinyallerinin %100 ve %95 senkron anındaki dalga şekilleri görülmektedir. Alternatör v sebeke sinyalleri arasındaki açı farkının sıfıra çekildiği andır.



(a)

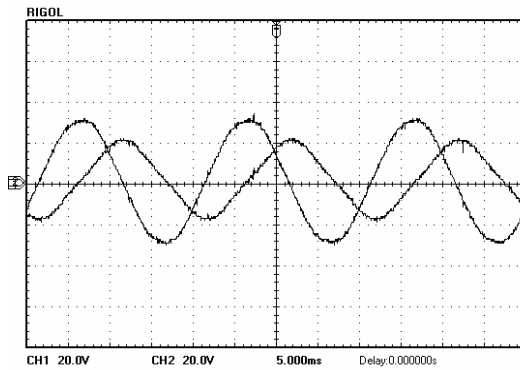


(b)

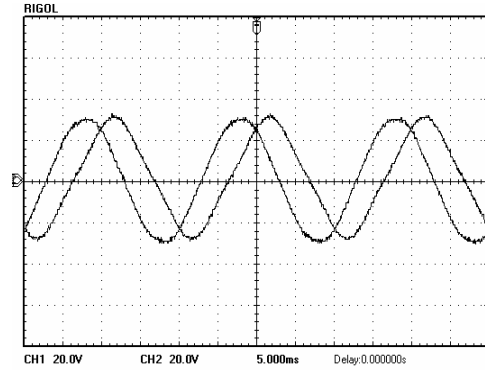
Resim 10.7. a) Sebeke-alternatör çıkış sinyalleri açılma fark anı

b) Alternatör uç gerilimi asiri uyarım anı

Resim 10.7.a. sebeke ve alternatör sinyalleri arasında 100° açısal fark olduğu andaki dalga şekilleri görülmektedir. Resim 10.7.b.'de ise alternatör uyarım sargısının asiri uyarıldığı durumdaki alternatör çıkış sinyali ile sebekenin çıkış sinyal şekilleri görülmektedir.



(a)



(b)

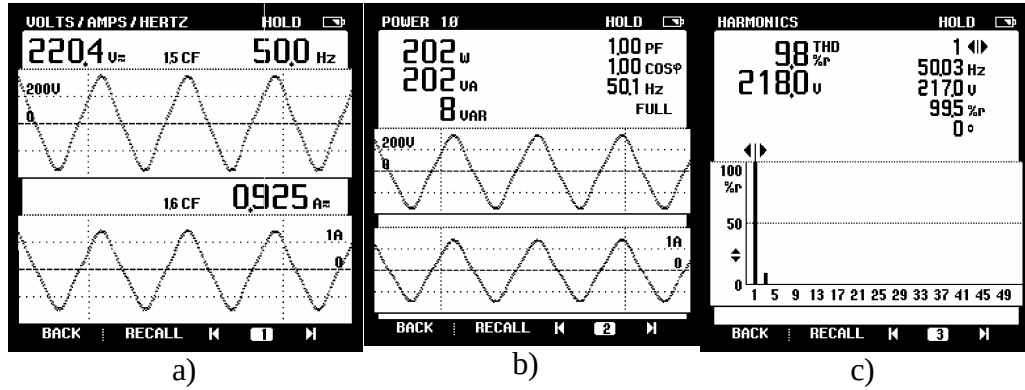
Resim 10.8. a) Alternatör düşük frekans ayar anı

b) Alternatör –sebeke frekansları eşit açısal fark anı

Resim 10.8.a.'da frekans ayarının yapılması anı gösterilmiştir. Resim 10.8.b.'de ve frekansların esitlendiği ancak aralarında açılma farkının olduğu an gösterilmektedir. Resim 10.6.a.'da ise tam senkronizasyon anı görülmektedir.

10.2. Deney Setinin Fluke İle Omik, Endüktif ve Kapasitif Yüklerde Yapılan Ölçümleri

Resim 10.9.a.'da görüldüğü gibi omik çalışmada akım ve gerilim aynı fazdadır ($\cos\phi=1$). Gerilim maksimum değerini aldığı zaman akım da maksimum değerini almış olur. Endüvi alanı, kutup alanını bir tarafta desteklemekte, diğer tarafta ise zayıflatmaktadır. Bunun sonucu manyetik alan ϕ açısı kadar faz farklıdır. Burada ana akıyı zayıflatma desteklemeden daha kuvvetlidir. Çünkü kutuplar doyuma ulaştığı için manyetik alan daha fazla artamaz fakat zayıflatma devam eder. Bunun sonucu omik çalışmada %10 - %20 arası bir gerilim düşümü gözlenir. Alternatör uç gerilimleri paralel bağlanma ünitesi tarafından DA motor hızı ve alternatör uyarımı ayarlanarak dengelenmiştir.

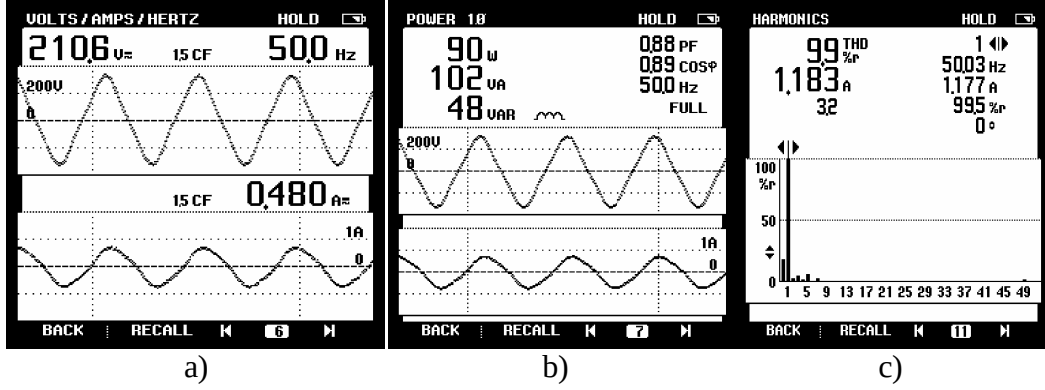


Resim 10.9. Omik yük durumu

a) Gerilim akım dalga şekli b) Güç durumu c) Harmonik durumu

Resim 10.9.b.'de alternatörün omik yük durumundaki değerleri görülmektedir. Resim 10.9.c.' de ise harmonik analizi incelendiğinde alternatörün omik yükte 3.harmonik ürettiği gözlemlenmiştir.

Resim 10.10.'da alternatörün endüktif yükte çalıştığında tepkilerine ait görüntüler verilmiştir. Akim gerilimden geri fazdadır ($\cos\phi=0$ geri). Endüvi alanı enine ve boyuna bileşen olmak üzere iki bileşene ayrılmıştır (θ_a). Enine bileşen aktif yük bileşeni, boyuna bileşen endüktif yük bileşenidir.



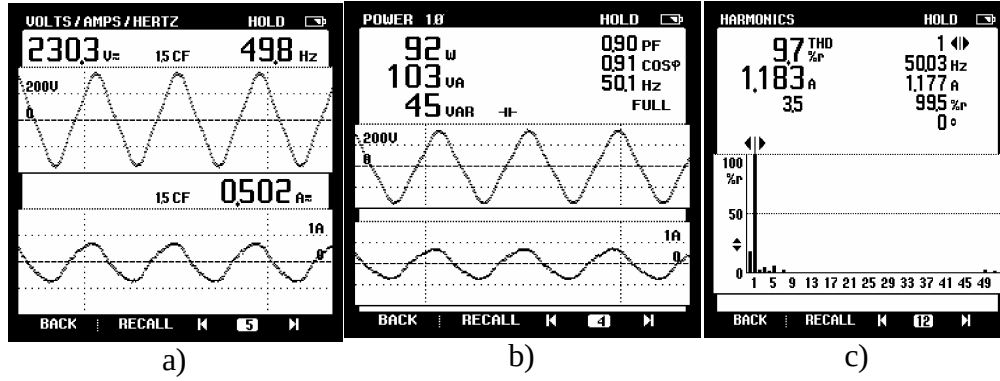
Resim 10.10 Endüktif yük durumu

a) Gerilim ve akım b) Güç durumu c) Harmonik durumu dalga şekilleri

Endüktif yük bileşeni (boyuna bileşen) ana manyetik akıyı zayıflatıcı karakteristige sahip olduğundan yük %100 endüktif özelliği gösterdiğinde aktif yük bileşeni sıfır olur. Ancak bu durum pratikte pek mümkün olmadıgından az da olsa endüktif yükün aktif yük özelliğide bulunmaktadır. Alternatör endüktif yükte iken Resim 10.10.a.'da görüldüğü gibi omik yük durumuna göre daha fazla alternatör uç geriliminde düşme görülmektedir (%20 ile %50). Resim 10.10.b.'de alternatörün endüktif yükteki güç durumu görülmektedir. Resim 10.10.c.'de alternatörün endüktif yükte daha fazla harmoniklerinin olustugu gözlemlenmiştir.

Resim 10.11.'de görüldüğü gibi kapasitif çalışmada ise akim gerilimden ileri fazdadır ($\cos\phi=0$ ileri). Yükün kapasitif olması durumunda θ_{ad} boyuna bileşeni θ_m ana akisini destekler. Yani endüvi alanının etki yönü toplam manyetik alan yönündedir. Bu yüzden toplam boyuna gerilim $\theta_b=\theta_m+\theta_{ad}$ olur. Sekil 10.11.a.'da görüldüğü gibi alternatörün uç geriliminde bir gerilim yükselmesi meydana gelir.

Gerilim yükselmesi miktarı yükün kapasitiflik miktarına göre %10 - %20 arasında değişir. Yaptığımız deneysel çalışmada alternatör uç gerilimlerinin yükselmesi sistemin program parametrelerinin üzerinde artması sonucu alternatör uyarım devresini kontrol eden konvertörün çalışmasını otomatik kontrol ünitesi sonlandırmıştır. Çalışmanın devamlılığı endüktif yük almak suretiyle sağlanmıştır.



Resim 10.11 Kapasitif yük durumu

a) Gerilim ve akım b) Güç durumu c) Harmonik durumu dalga şekilleri

Alternatörün kapasitif yükte çalışmasında oluşan harmonikler Resim 10.11.c.'de görülmektedir. Grafik incelendiğinde alternatör fazlarından 1.183 amper akım çekildiğinde THD oranı %9,7 oranında olduğu ve 7. harmonige kadar harmonik oluştuğu izlenilmektedir.

11 . ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Yapılan Çalışmanın değerlendirilmesi için eğitim alan öğrenciler üzerinde aşağıdaki anket çalışması yapılması planlanmıştır. Çalışma, 83 kişilik öğrenci grubu ile gerçekleştirilmiştir. Öğrenci grubu önce “Geleneksel paralel bağlanma deney seti” üzerinde eğitilmiş ve deneyler yaptırılmıştır. Daha sonra “Otomatik paralel bağlanma deney seti” üzerinde eğitim verilmiş ve deneyler yaptırılmıştır. Tamamlanan eğitim sonucunda hazırlanan anket çalışması öğrenciler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme hazırlanan anketteki her soru için ayrı ayrı yapılmış verilen cevaplar önce soru bazında daha sonra ise genel bir istatistikle değerlendirilmiştir. Yapılan anket çalışması Çizelge 11.1’ de görülmektedir.

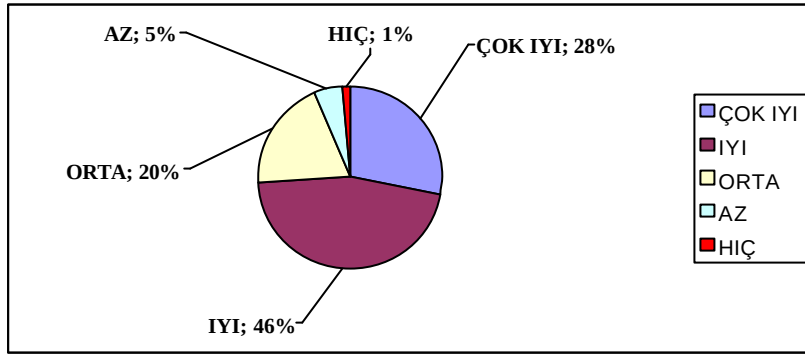
Çizelge 11.1. Hazırlanan ankete verilen cevaplar

1.Otomatik paralel bağlanma sistemi teorik bilgilerle paralellik sağlamış mıdır?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
29	49	2	2	1
2. Bu sistemin konuyu öğrenmenize katkısı oldu mu?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
14	45	17	5	1
3. Derste öğrenilen bilgilerin pekiştirilmesine sistemin katkısı oldu mu?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
22	44	10	3	2
4. Kontrol sistemi, gerilim esitliğinin sağlanmasında yeterli görsellik sağlıyor mu?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
32	32	14	3	-
5. Kontrol sistemi, frekans esitliğinin sağlanmasında yeterli görsellik sağlıyor mu?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
40	30	11	-	-
6. Kontrol sistemi, faz açısı esitliğinin sağlanmasında yeterli görsellik sağlamakta mıdır?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
26	33	17	5	-

7. Kontrol sistemi, fazlar arasi yük dagiliminda yeterli görsellik saglamakta midir?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
12	38	20	10	-
8. Kontrol sistemi ile yeterli deney tecrübesi saglanmis midir?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
9	36	25	10	1
9. Kontrol sistemi ile geleneksel yöntem arasında karsilastirilmali egitimün öğrenim durumunuza katkisi oldu mu?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
21	40	16	3	-
10. Kontrol sistemi ile yapılan deneylerin öğrenme isteginize katkisi nedir?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
20	42	13	4	1
11. Öğrenim sirasinda deney setine yeterince müdahale edilebiliniyor mu?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
16	24	25	13	2
12. Otomatik kontrol sistemi geleneksel metotla karsilastirildiginda egitim açısından üstünlük saglamakta midir?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
27	35	11	4	2
13. Sistem sizce yeterli midir?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
22	35	14	-	1
14. Sistemdeki güvenlik önlemleri yeterli midir?				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
22	31	22	1	-
GENEL TOPLAM				
A- Çok iyi	B- İyi	C-Orta	D- Az	E- Hiç
312	198	217	60	11

11.1. Anket Sorularina Verilen Cevaplarin Analizi

Bu kisminda anket sonuclarinin genel bir değerlendirilmesi yapıldıktan sonra hazirlanan grafikler dogrultusunda sistemin detayli analizleri yapılmıstır. Anketin tamami üzerinde bir değerlendirme yapıldıktan sonra her sorunun verilen cevap yzdelatine göre analizleri yapılarak değerlendirilmiştir.

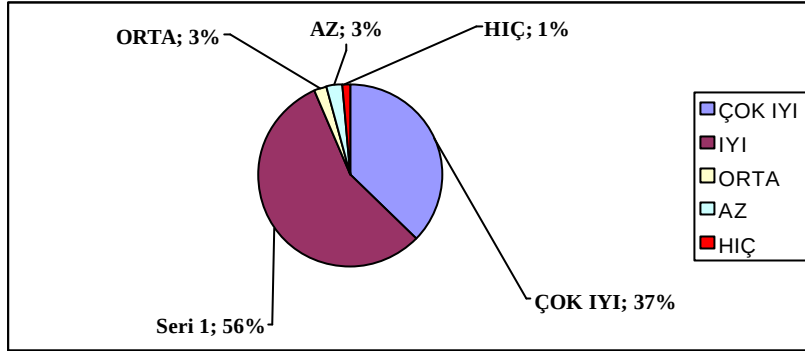


Sekil 11.1. Anket sorularinin tamamina verilen cevapların % dilimleri

Gerçekleştirilen ankete 83 ğrenci katılmıstır. Sekil 11.1.’deki grafikte görüldüğü gibi ankete katılan öğrencilerin %46’lık dilimi iyi, %28’lik dilimi çok iyi, %20’lik dilimi orta, %5’lik dilimi az ve %1’lik dilimi hiç seçeneklerini isaretlemislerdir. Gurubun tercihleri dogrultusunda gelistirilen sistemin eğitim faaliyetlerinde aktif olarak kullanılması sonucuna ulasılmıstır. Genel sonucun göstergesi dogrultusunda sorularin ve cevapların ayrı ayrı incelenmeleri yapılmıstır .

1.Sorunun analizi: Otomatik paralel bağlanma sistemi teorik bilgilerle paralellik sağlamış mıdır?

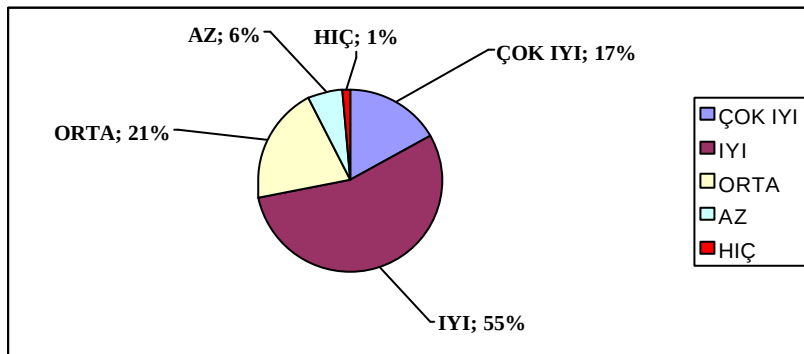
Bu soruya öğrencilerin verdiği cevaplar Sekil 11.2.’deki grafik incelendiğinde %96 olumlu olduğu görülmektedir. Buradan hazirlanan otomatik paralel bağlanma sisteminin teorik bilgilerle rtsmekte olduğu sonucuna ulasılmaktadır. %3’lk az ve % 1’lik hiç sonuçları genel durumun çok altinda kalmıstır.



Sekil 11.2. Birinci soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

2.Sorunun analizi: Bu sistemin konuyu öğrenmenize katkısı oldu mu?

Bu sorunun cevapları incelendiğinde konunun anlaşılmasında sistemin, öğrencilerin konuyu öğrenmesinde Sekil 11.3.'deki grafikte görüldüğü gibi %93 oranında etkili olduğu anlaşılmaktadır. %6'lık az ve %1'lik hiç oranı değerlendirildiğinde sistem anlatılırken teorik bilgi eksikliğinin az da olsa var olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

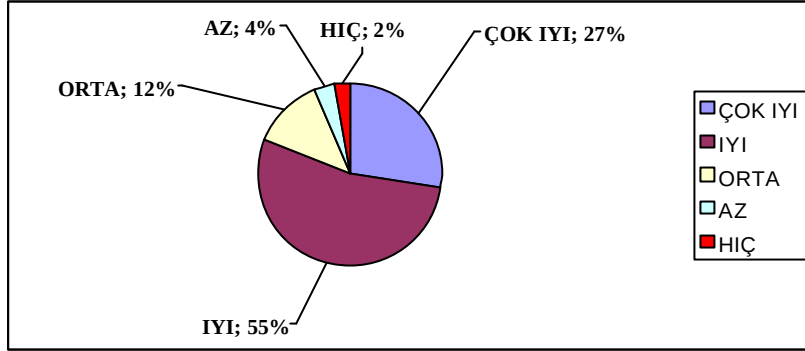


Sekil 11.3. İkinci soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

3.Sorunun analizi: Derste öğrenilen bilgilerin pekiştirilmesine sistemin katkısı oldu mu?

Bu soruya verilen cevaplara ait Sekil 11.4.'deki grafik incelendiğinde konunun anlaşılmasında sistemin etkilerinin %94 oranında olumlu olduğu anlaşılmaktadır. Ancak hiç seçeneği oranı %2 ve az seçeneği oranı %4 olduğundan öğrencilere

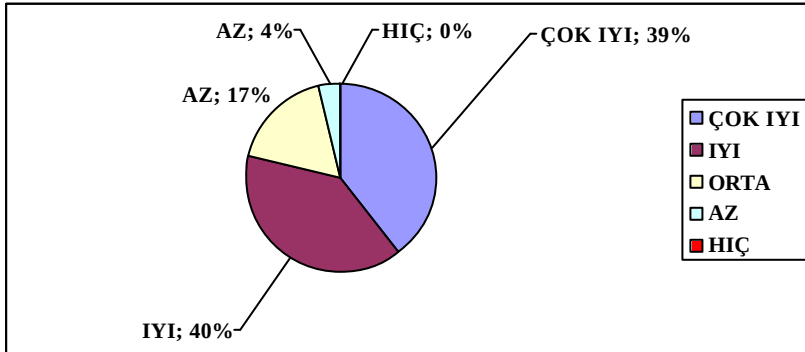
otomatik paralel bağlanma hakkında teorik bilgi kısmında detay anlatılması gereği ortaya çıkmıştır.



Sekil 11.4. Üçüncü soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

4.Sorunun analizi: Kontrol sistemi, gerilim esitliğinin sağlanmasında yeterli görsellik sağlamakta midir?

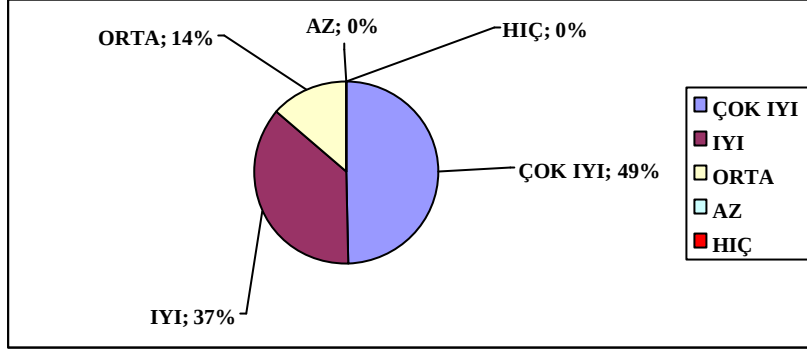
Sekil 11.5.'de görüldüğü gibi gerilim esitliğinin sağlanmasında sistem yeterli derecede etkili olduğu anlaşılmıştır.



Sekil 11.5. Dördüncü soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

5.Sorunun analizi: Kontrol sistemi, frekans esitliğinin sağlanmasında yeterli görsellik sağlıyor mu?

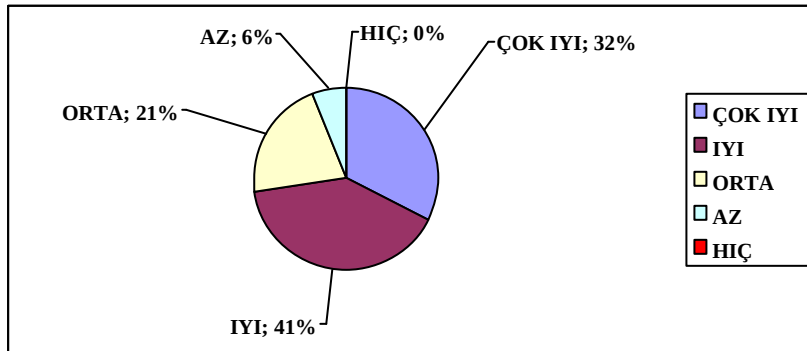
Sekil 11.6.'da görüldüğü gibi frekans esitliğinin sağlanmasında sistem yeteri derecede etkili olduğu anlaşılmıştır.



Sekil 11.6. Besinci soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

6.Sorunun analizi: Kontrol sistemi, faz açısı esitliğinin sağlanmasında yeterli görsellik sağlamakta midir?

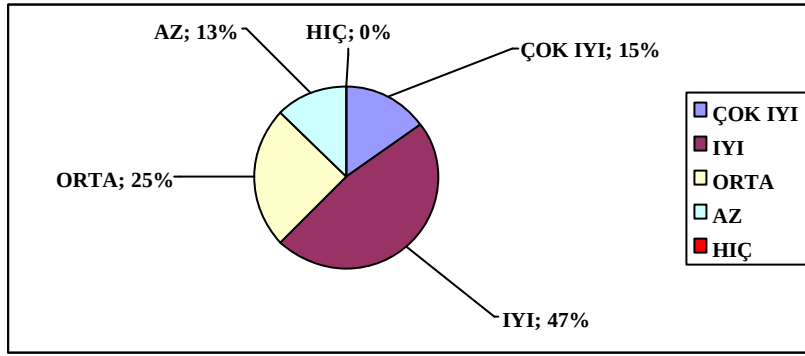
Sekil 11.7.'deki grafik incelendiğinde konunun anlaşılmasında sistemin etkilerinin %94 oranında olumlu olduğu anlaşılmaktadır. Ancak Az seçeneği oranı %6 olduğundan öğrencilere otomatik paralel bağlanma sisteminde faz açısı esitliğinin sağlanması hakkında teorik bilgi kısmında detay anlatılması gereği ortaya çıkmıştır.



Sekil 11.7. Altıncı soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

7.Sorunun analizi: Kontrol sistemi, fazlar arası yük dağılımında yeterli görsellik sağlamakta midir?

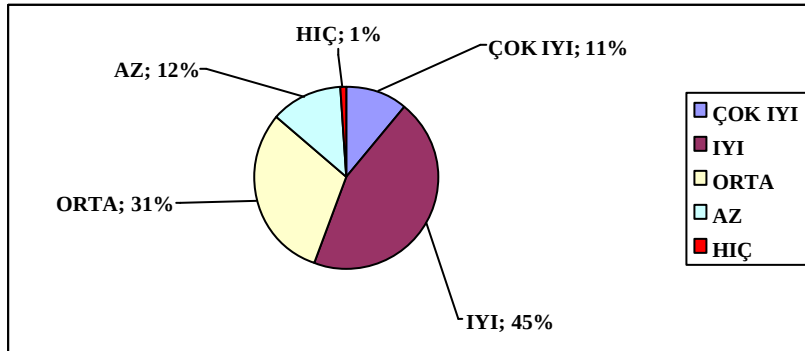
Yük dağılımının anlaşılmasında sistemin etkilerinin Şekil 11.8.'deki grafikte görüldüğü gibi %87 oranında olumlu olduğu anlaşılmaktadır. Ancak Az seçeneği oranı %13 olduğundan öğrencilere otomatik paralel bağlanma sisteminde yük dağılımında anlaşılabilirliğin sağlanması konusundaki eksikliklerin giderilmesi gerekmektedir.



Şekil 11.8. Yedinci soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

8.Sorunun analizi: Kontrol sistemi ile yeterli deney tecrübesi sağlanmış mıdır?

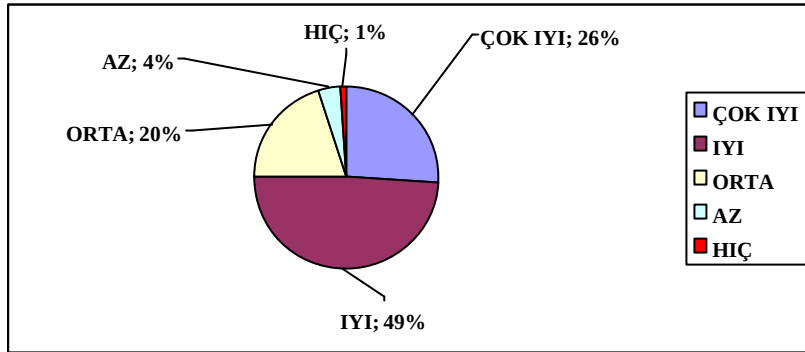
Şekil 11.9.'daki dağılımda %87 olumlu %13 olumsuz görüş belirtmiştir. Öğrencinin deneye katılımı sistemin yapısı gereği izleme düzeyinde kalmaktadır. Sistemin tam otomatik olmasından bu sonucun alınması normaldir.



Şekil 11.9. Sekizinci soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

9.Sorunun analizi: Kontrol sistemi ile geleneksel yöntem arasında karsilastirilmali egitimin öğrenim durumunuza katkisi oldu mu?

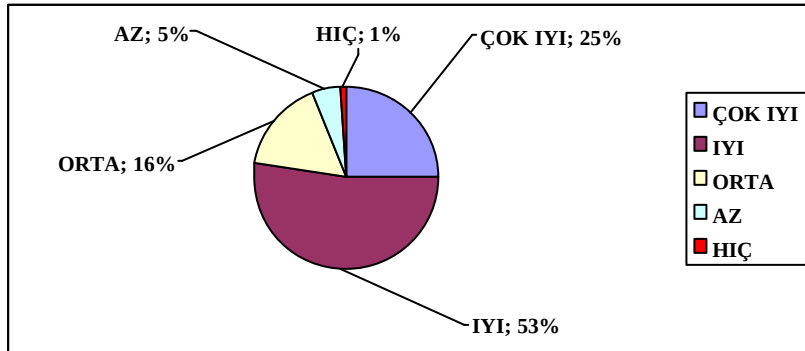
Kontrol sistemi ile geleneksel yöntem arasında karsilastirilmali egitimin öğrencilerin öğrenim durumlarini katkisi Sekil 11.10.'da görüldüğü gibi %95 oraninda olmustur.



Sekil 11.10. Dokuzuncu soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

10.Sorunun analizi: Kontrol sistemi ile yapılan deneylerin öğrenme isteginize katkisi nedir?

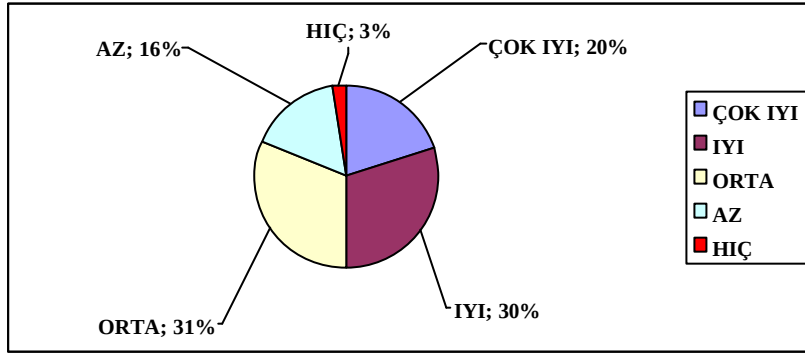
Kontrol sistemi ile yapılan deneylerin öğrenme istegini etkilediği ve öğrenciye %94 oranında olumlu katkı sağladığı Sekil 11.11.'den anlaşılmaktadır.



Sekil 11.11. Onuncu soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

11.Sorunun analizi: Öğrenim sırasında deney setine yeterince müdahale edilebiliyor mu?

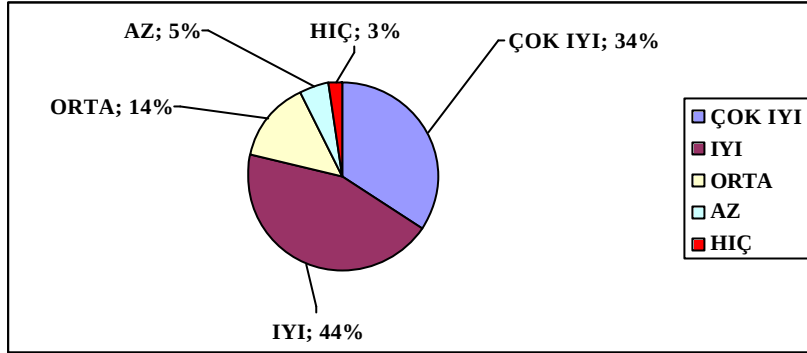
Sekil 11.12.'de görüldüğü gibi %81 oranında olumlu olduğu anlaşılmaya rağmen %19'luk bir grup olumsuz görüş belirtmektedir. Kontrol sisteminde öğrencilerin deney setine kısıtlı müdahale edebilmeleri daha çok gözlemlene ile neden sonuç ilişkilerini takip etmeleri sonucunu doğurmaktadır. Öğrencinin deney setine müdahale edebilecekleri noktaları artırmak gerekmektedir.



Sekil 11.12. Onbirinci soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

12.Sorunun analizi: Otomatik kontrol sistemi geleneksel metotla karşılaştırıldığında eğitim açısından üstünlük sağlamakta mıdır?

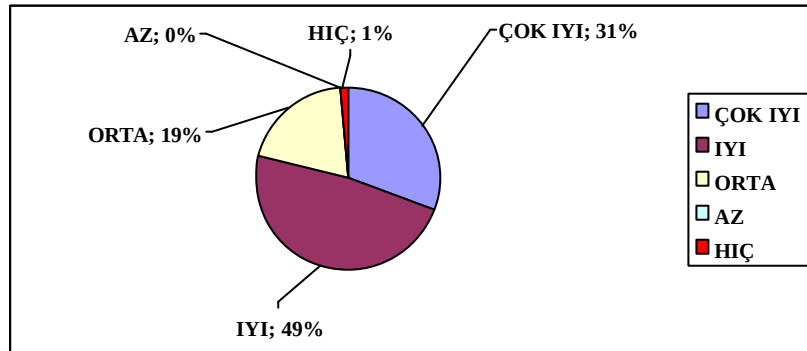
Kontrol sistemi eğitim metodu açısından geleneksel metoda karşı üstünlüğü ankete katılanlar tarafından Sekil 11.13.'deki grafikte görüldüğü gibi %92 oranında kabul edilmektedir. Buradan her iki sisteminde eğitim çalışmalarında kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.



Sekil 11.13. Onikinci soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

13.Sorunun analizi: Sistem sizce yeterli midir?

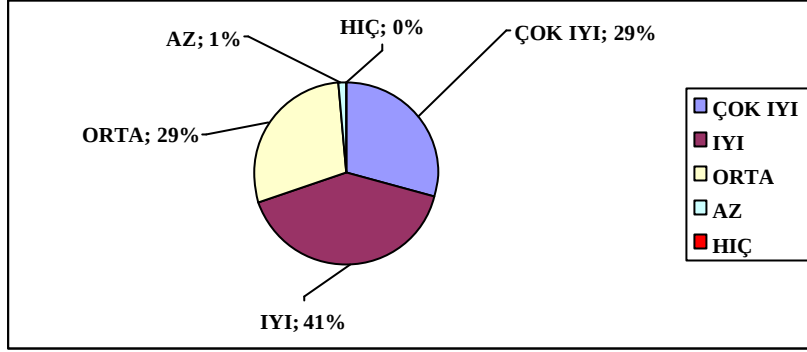
Sistemin yeterli olduğu ankete katılan öğrencilerin %96'si tarafından kabul edilmiştir.



Sekil 11.14. Onüçüncü soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

14.Sorunun analizi: Sistemdeki güvenlik önlemleri yeterli midir?

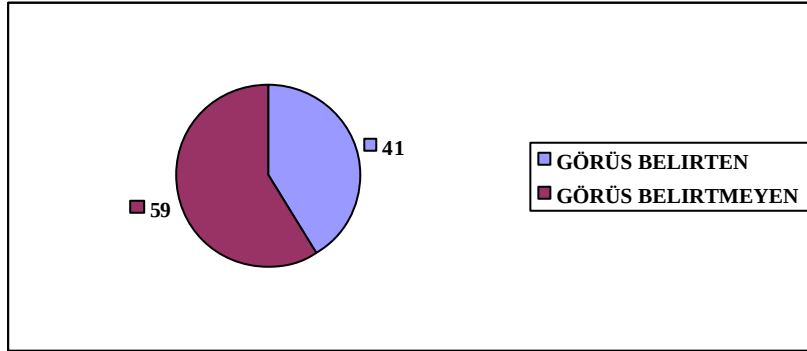
Sistemde alınan güvenlik önlemleri öğrencilerin %96'si tarafından yeterli bulunmuştur.



Sekil 11.15. Ondördüncü soruya verilen cevapların %'lik dağılımı

15.Sorunun analizi: Çalışmanın bir değerlendirmesini yapıp sizce eksik bulduğunuz yönlerini kısaca belirtiniz.

Anket çalışmasında sistem dezavantajlarını ortaya çıkarmak amacı ile hazırlanan 15. sorunun öğrenciden kendi fikirlerini açıklamaları istenmiştir. Bu kısımda ankete katılan öğrencilerin Sekil 11.16.'da grafikte görüldüğü gibi %41'i görüş belirterek ilave isteklerini bildirmişlerdir. %59' u herhangi bir fikir beyan etmemişlerdir.



Sekil 11.16. Onbesinci anket sorusuna katılım durumu

Görüş belirten öğrencilerin temel istekleri ise;

- LCD' nin yetersiz olduğu daha büyük ekran gerektiği
- Sisteme müdahale edebilme şansının az olması
- Elektronik kontrolün anlaşılmamasının zorluğu
- Sistemde meydana gelen arızaların sistem tarafından kayda alınması gerektiği

- Bilgisayar kontrolünün de sisteme ilavesi

Gerektigi seklinde siralanmaktadır. Bundan sonraki alismalarda bu istekleri de kapsayacak sekilde deney seti gelistirilmelidir.

12. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde tüm alıcıların ihtiyacını karşılayabilecek güçte alternatör üretilemediğinden, birden fazla küçük güçlü alternatörler paralel bağlanarak büyük güçlü alıcıların beslenmesi sağlanır. Bu nedenle elektrik şebekelerini besleyen santrallerde birden fazla alternatör bulunur. Yük durumuna göre bu alternatör kendi aralarında veya şebeke ile paralel bağlanırlar. Paralel bağlanabilmeleri için bağlantıdan önce yerine getirilmesi gereken şartlar vardır. Bu şartlar;

- Gerilim esitliği
- Frekans esitliği
- Faz sıralarının doğruluğu
- Faz açılarının esitliği

dir. Alternatörlerin paralel bağlanma işlemlerinin teknolojik gelişmelere paralel olarak otomasyon sistemleri ağırlık kazanmıştır. Bilgisayar kontrollü, mikro işlemcili, mikrodenetleyici kontrolü gibi pek çok otomasyon metodu vardır. Alternatörlerin paralel bağlanmaları esnasında gelişen otomatik paralel bağlanma metodları paralel bağlanma kriterlerine ilave zorunluluklar getirmiştir. Bu yeni durumda ise;

- Çıkış sinyallerinin benzer ya da aynı olması
- Harmoniklerin analizi
- Alternatörlere ait analog ve sayısal giriş ve çıkışlar
- Güç karakteristigine uygun arıza ve kesme bilgileri,

temel olmak üzere ilave şartlarında sağlanması gerektirmektedir. Bu tez çalışmasında mühendislik ve teknik eğitim fakültelerinde okuyan öğrencilerin eğitiminde kullanılmak üzere mikrodenetleyici tabanlı alternatörlerin otomatik paralel bağlanmasını sağlayan bir deney seti gerçekleştirilmiştir. Daha önce geleneksel metodlara dayalı yapılan paralel bağlanma deneylerine ilave olarak, endüstri ihtiyaçları doğrultusunda yeni deney seti otomasyon boyutunu da sağlamış olacaktır.

Bu alısmada bir alternatörün sebekeye paralel bağlantısına ilişkin olarak gerilim, akım, frekans, faz sırası, faz açısı gibi temel ölçümlerin yapılip, paralel bağlanmadan önce faz sırasının doğruluğu, frekans, faz açısı ve gerilim esitliği saglandıktan sonra otomatik olarak paralel bağlantının gerçekleştirilmesi saglanmıştır. Bu sistem laboratuvar ortamında kurulmuştur. Alternatöre mekanik enerji bir DA motoru ile saglanmıştır. Alternatör uyartım sargısı ve DA motorunu besleyen DA güç kaynakları birbirlerinden bağımsız olarak seçilmişlerdir. DA motoru ve alternatör uyartım sargısına uygulanan DA kaynaklarının kontrolü ile paralel bağlanma şartları yerine getirilmiştir.

Otomatik paralel bağlanma ünitesinde denetleyici olarak PIC 16F877 mikrodenetleyicisi seçilmiştir. Kontrol yazılımı CCS C programlama dilinde oluştırulmuştur. Sebeke sinyalleri referans alınmış ve alternatör uçlarından alınan sinyaller sebeke ile eslenerek gerilim, frekans faz açısı ve faz sıralarının esitliği saglanmıştır. Sisteme güç saglayan besleme kaynakları aktif hale getirilip, DA motora yol verme işlemi yapıldıktan sonra alternatör uyartım sargısına da gerilim uygulanarak alternatör uçlarında çıkış gerilimi elde edilmiştir. Elde edilen gerilimin sinyali ile sebekenin sinyalleri karşılaştırılarak paralel bağlanma şartlarının saglanmasına başlanılmıştır.

Gerilim esitliği saglanırken sebeke ve alternatör uç gerilimleri gerilim algılama devresi yardımıyla alınıp AA/DA konvertörde DA sinyaline dönüştürüldükten sonra mikrodenetleyici analog girişlerine sebeke referans olarak alternatör sinyali ise degişken sinyal olarak girilmiştir. PIC' de üretilen PWM sinyalinin iletim-kesim süreleri bu sinyaller arasındaki fark sıfırlanana kadar doğrusal olarak ayarlanmıştır. İletim-kesim süreleri ayarlanan PWM sinyali yardımıyla alternatör uyartım sargısını kontrol eden buck konvertör kontrol edilmiştir. Konvertörde anahtar elemanı olarak seçilen IGBT'nin sürme devresi, mikrodenetleyici tarafından kontrol edilerek anahtarın iletim kesim süreleri yukarıda anlatıldığı gibi ayarlanmıştır. Bu işlem gerilim esitlikleri saglanıncaya kadar devam etmiştir. Esitlik saglandıktan sonra ise çalışma süresince gerilimin sabit kalmasını saglamak için kontrol işleminin aynı şekilde devam etmesi saglanmıştır.

Gerilim esitliğini saglayan sistem daha sonra frekans esitliğini saglamak için DA motorunun hiz kontrolüne baslamistir. Alternatör uçlarından gerilim algilama devresi tarafından alinan sinyal sifir geçis anahtarında kare dalga sinyale dönüştürülmüştür. Sebeke ve alternatöre ait bu sinyaller mikrogenetleyicinin sayisal girislerine uygulanmistir. Mikrogenetleyicinin ürettiği PWM sinyalinin iletim-kesim süreleri sebeke sinyalinin genligi ile alternatör sinyalinin genligi esitlenene ayarlanmaktadır. Yapilan ayarlama islemi ile buck konvertör DA motorunun endüvi gerilimini saglayan kaynak gerilimini ayarlayarak frekans esitliginin gerçekleşmesini saglamistir. Mikrogenetleyici ayni sinyallerin sifira gelme anlarini sayarak aralarında fark varsa ürettiği PWM sinyalinin darbeleme oranini degistirmek suretiyle DA motor hizini kontrol ederek faz açilari esitligini de saglamaktadır.

Faz açisi ve frekans esitliklerini saglayan mikrogenetleyici faz sirasi dogrulugunu ise, faz sirasi rölesinin döner alan yönü esasina göre çalisan devrenin gönderdiği faz sirasi ayni ise “1”, farkli ise “0” sinyallerine bagli olarak çikisında kontrol ettiği röle devreleri yardimi ile saglamaktadır. Röle devreleri ise iki adet kontaktörü kontrol etmektedir. Sebeke ile paralel baglanmayi saglayan bu kontaktörlerin birisi digerine göre iki fazin yeri degistirilerek baglanmistir. Döner alan yönleri ayni ise A ve farkli ise iki fazin yeri degistirilerek baglanan B kontaktörü üzerinden baglanarak faz siralarinin her durumda sebekeyle ayni baglanmasini saglamaktadır. Sistemin her yeni çalismasında bu islem bir kez yapilmaktadır.

Paralel baglanma islemleri gerçekleştirildikten sonra alternatörlerin yük alma ve yükte çalismalari saglanmistir. Sistem arizalarinin ve yük korumalarinin gerçekleştirildiği bu kisimda, hem alternatör fazlari arasındaki yük dengesi kontrol edilmekte hem de alternatörün kapasitesi kadar üzerine yük almasi saglanmaktadır. Alternatörün yük kontrolü ise, akim algilama devrelerinden alinan alternatörün fazlarına ait akim bilgileri ile saglanmaktadır. Paralel baglanan alternatör fazlarına ait AA sinyaller, AA/DA konvertörde mikrogenetleyici analog girislerine uygun DA sinyaline dönüştürülür. Daha sonra mikrogenetleyicinin analog girislerine uygulanir. Mikrogenetleyici ise faz akimlari arasında ki denge $1/3$ oranında olduğu sürece sistemin çalismasini sürdürür. Bu oran bozulunca, mikrogenetleyici otomatik olarak

alternatörün paralel bağlantıdan ayrılmasını ve sistemin çalışmasını durdurmasını sağlamaktadır. İkinci bir kontrol ise, alternatör fazlarından çekilen akım değerinin alternatör akım kapasitesini aşması durumudur. Bu durumda ise, mikrodenetleyici alternatörün paralel bağlantıdan ayrılmasını ve sistemin çalışmasını durdurmak suretiyle de alternatörün asiri yük altında çalışması engellemektedir.

Sistem de diğer bir kontrol mekanizması ise paralel bağlanma ünitesinin kontrolünde çalışan faz kopukluğu ve alarm devresidir. Bu devre ise, sisteme giriş yapan alternatör ve sebeke fazlarının tamamının olup olmadığını kontrol etmektedir. Paralel bağlanma esnasından önce ya da sonra herhangi bir fazda arıza meydana geldiğinde paralel bağlanma ünitesine gönderdiği bilgi ile sistemin çalışmasını durdurmaktadır. Aynı zamanda da kontrol ettiği alarm devresini çalıştırarak sesli ve ışıklı ikazlarla sistem operatörünün uyarılmasını da sağlanmaktadır. Alarm devresi sistemde herhangi bir arıza oluştuğunda devreye girmektedir. Tez çalışmasında tasarlanan bu sistem ile çeşitli ölçümler gerçekleştirilmiştir. Alternatör omik, endüktif ve kapasitif yükte çalıştığında bu yüklerin deney seti üzerindeki etkileri gözlenmiş ve sonuçlara ulaşılmıştır;

- Alternatörün omik yük durumunun kontrol sistemine olumsuz bir etkisi gözlenmemiştir.
- Endüktif yük durumunda alternatör uç gerilimde belli bir değerde düşme gözlenmiştir. Ancak bu düşmenin kontrol sistemine olumsuz bir etkisi olmamıştır.
- Kapasitif yük durumunda ise alternatör uç gerilimde bir artış gözlenmiştir. Bu artıştan dolayı kontrol sistemi asiri uyarım bilgisi vererek alternatör uyarımını kesmiştir. Alternatörün kapasitif yüklenmesi durumunda ise, uç gerilimlerini dengeleyecek oranda endüktif yük alma özelliği sisteme ilave edilmelidir.
- Kontrol sistemi ortamda oluşan harmoniklerden az da olsa etkilenmektedir. Bu nedenle kontrol sistemi ile güç sistemi yakın olarak çalıştırılmamalıdır. Eğer çalışmak zorunluluğu var ise kontrol sistemi harmonikler ve ortam gürültülerine karşı filtre ve ekranlama çalışmaları ile korunmalıdır.

Çalışmanın tasarım ve uygulama kısmi bitirildikten sonra, öğrencilerle eğitim ve deney çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Senkron makinalar, DA motorları, otomatik kontrol ve güç elektronigi derslerini almış olan öğrencilere sistem tanıtılmış ve teorik bilgiler verilmiştir. Daha sonra bu öğrencilere, alternatörlerin geleneksel metotlarla çalıştırılması ve paralel bağlanması deneyleri yaptırılmıştır. Bu çalışma tamamlandıktan sonra otomatik paralel bağlama ünitesi ile deneyler yaptırılmıştır.

Çalışmaların sonucunda ise, deney setinin eğitimdeki etkililiğinin araştırılmasına yönelik cevapları çoktan seçmeli 14 sorudan oluşan anket hazırlanmıştır. Ayrıca kişisel yorumlarının da istendiği bir bölüm anket çalışmasına ilave edilerek ölçme ve değerlendirmenin yapılacağı anket çalışması gerçekleştirilmiştir.

Deneylere katılan öğrencilerin 83 tanesinin anket sorularına verdiği cevapların değerlendirilmesi sonucunda;

- % 46'lık dilimi iyi,
- % 28'lık dilimi çok iyi,
- % 20'lik dilimi orta,
- % 5'lik dilimi az
- % 1'lik dilimi hiç

seçeneklerini işaretlemişlerdir.

Ankette orta, iyi ve çok iyi seçenekleri olumlu olarak değerlendirilmiştir. Buradan anlaşılabileceği gibi öğrencilerin %94'lük bölümü geliştirilen sisteme olumlu yaklaşmışlardır. Anket çalışmasında sistem dezavantajlarını ortaya çıkarmak amacı ile hazırlanan 15. soru da ise, öğrenciden kendi fikirlerini açıklamaları istenmiştir. Bu kısımda ankete katılan öğrencilerin Şekil 10. 16' da grafikte görüldüğü gibi % 41'i görüş belirterek ilave isteklerini bildirmişlerdir. % 59'u herhangi bir fikir beyan etmemişlerdir. Görüş belirten öğrencilerin temel istekleri ise;

- LCD'nin yetersiz olduğu daha büyük ekran gerektiği,
- Sisteme müdahale edebilme şansının az olması,

- Sistemde meydana gelen arizaların sistem tarafından kayda alınması gerektiği

olmuştur. Anket çalışmasının sonucunda deney setinin eğitim çalışmalarında faydalı olacak aktif olarak kullanılması sonucuna ulaşılmıştır.

Koruma ve kontrol fonksiyonlarının geliştirilmiş olması nedeniyle, tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilen deney seti endüstriyel uygulamalarda da kullanılabilir yapıdadır. Ayrıca, mühendislik eğitiminde öğrenciler deneylerini daha görsel ve etkin bir ortamda gerçekleştirebileceklerdir. Öğrencilerin gerçekleştirebileceği bu deneyler;

- Alternatör ve sisteme ait gerilim, frekans, faz sırası ve faz açılarının ölçümleri,
- Paralel bağlantı için gerekli olan faz sırası eşitliği, frekans ,faz açısı ve gerilim eşitliklerinin nasıl sağlandığı,
- Paralel bağlantı şartlarından birisinin veya birkaçının yerine getirilmemesi durumunda paralel bağlantı yapıldığında, sistemde ne gibi tepkilerin oluşabileceği,
- Alternatörün paralel bağlantıya geçmesinden sonra, sistemde meydana gelecek arizalardan (faz kopması vb) sistemin tepkileri ve nasıl korunduğu,
- Paralel bağlı sistemin dengesiz yükler ve aşırı yük altındaki tepkilerini,
- Değişik yükler altında (omik, endüktif ve kapasitif yükler) oluşacak tepkiler ve bu tepkilerin nasıl giderileceğini,

öğrenecekler ve bu işlem sıralarını LCD ekranda takip edebileceklerdir. Tasarlanan otomatik paralel bağlanma deney seti önemli kazanımlar elde edilmesini de sağlamıştır. Bu kazanımlar ise;

- Deney setinde mikrodenetleyici kullanıldığı için maliyet düşürülmüş ve kullanılan harici eleman sayısı (voltmetre, ampermetre, senkronoskop) ve bu elemanlara ait olan karmaşık kablo bağlantıları ortadan kaldırılmıştır.
- Devrenin fiziki yapısı küçülmüş, düşük maliyetli ve güvenilir olması sağlanmıştır.

- Sayisal bir kontrol yöntemi kullanılarak yanlış bağlantı ve hatalı ölçüm gibi sakıncalar ortadan kaldırılmıştır
- Devrede kullanılan donanım yapısı öğrencilerin ilerde endüstride karşılasacakları ürünlerle benzer yapıda olduğundan mezuniyet sonrası yeni bir ürünü öğrenme sürecini kısaltacaktır.

KAYNAKLAR

1. Çolak I., Bayindir R., Sefa I., "Experimental Study on Reactive Power Compensation Using A Fuzzy Logic Controlled Synchronous Motor", ***Energy Conversion And Management***, 45 (13): 2189-2204 (2003).
2. Kobayashi, T., Yokoyama, A., "An adaptive neuro-control system of synchronous generator for powersystem stabilization", ***Energy Conversion, IEEE Transaction on***, 11 (3): 621-630 (1996).
3. Montero L.R.R., Mota W. S., Gemerts M.W., "Monitoring and Control System Based On Microcomputer For Synchronous Generator", ***IEEE Transaction on Energy Conversion***, 14 (4):1424-1429 (1999).
4. Teng J.H., Chan S-Y., Lee J-C., "A labview based virtual instrument for power analyzers", ***Power system technology, powercon 2000, International conference on***, 1 (5): 179-184 (2000).
5. Mozina J. C., "Interconnection Protection of IPP Generators at Commercial Industrial/Facilities" ***IEEE Transaction on Industry Applications***, 37 (3): 681-687 (2001).
6. Wenhua L., Ding R., Zhonghong W., "Integrated Optimal Control of Speed, Excitation and Load Sharing of Parallel Operating Diesel Generator Sets", ***IEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management***, 1 (5): 142-146 (1993).
7. Eberly W. T., Schaefer C. R., "Voltage Versus Var/Power-Factor Regulation on Synchronous Generators", ***IEEE Transaction on Industry Applications***, 38 (6): 1682-1687 (2002).
8. Walsh J. P., Hancock G. C., Zeng Y., Malik O. P., "Measurement setup for a power laboratory motor generator station", ***IEEE Transactions on education***, 38 (2): 150-157 (1993).
9. Godhwani A., Basler M.J., "A digital excitation control system for use on brushless excited synchronous generators", ***Energy Conversion, IEEE Transaction on***, 11 (3): 616-620 (1996).
10. Liu W., Ding R., Wang Z., "Integrated Optimal Control of Speed, Excitation and Load Sharing of Parallel Operating Diesel Generator Sets", ***IEEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control***, (1): 142-146 (1993).

11. Henderson D. S., Lothian K., Priest J., "PC Based Monitoring and Fault Prediction for Small Hydroelectric Plants", ***Power Station Maintenance: Profitability Through Reliability***, (2): 28-31 (1998).
12. LaMeres B. J., Nehrir M.H., "Design And Implementation Of A Fuzzy Logic-Based Voltage Controller For Voltage Regulation Of A Synchronous Generator", ***IEEE Computer Applications in Power***, 19 (4): 12 2117-2118 (2004).
13. Kadwane S. G., Vepa S.P., Karan B.M., Ghose T., "Converter Based DC Motor Speed Control Using TMS320LF2407A DSK", ***Industrial Electronics and Applications, 2006 1ST IEEE Conference on***, (1): 1-5 (2006).
14. Linares-Flores J. And Ramirez H.S., "DC Motor Velocity Control Through a DC-to-DC Power Converters", ***43rd IEEE Conference on Decision and Control***, 5: 5297-5302 (2004).
15. Internet :Microchip, "DC Motor Control Tips'n Tricks", <http://ww1.microchip.com> (2004).
16. Castagnet, T., Nicolai, J., "Digital Drive for Home Appliances", ***IEE Colloquium on DC motor Variable Speed Drives and Motion Control***, 30 (4): 883-888 (1992).
17. Andrzejewski A., "The Time-Minimal and Without Overshoot Speed Control of DC Motor", ***Eurocon Conference***, 1: 1792-1799 (2007).
18. Jeftenic,B.I, "Four Quadrant DC Drive with *B*-Predictive Integro-derivative Speed Regulators" ***IEEE International Symposium on***, 6: 391-396 (1993).
19. Kayalvizhi R., Natarajan S.P.,Anbumalar S., 'Development of fuzzy logic control for paralleled positive output elementary luo converters", ***Industrial Electronics and Applications,IEEE Conference on***, 10: 1 - 6 (2006).
20. El Fadil H. and Giri F., "Accounting of DC-DC Power Converter Dynamics in DC Motor Velocity Adaptive Control", ***Control Applications, 2006. CCA '06. IEEE International Conference on***, 10: 3157-3162 (2006).
21. Fang Lin L., Hon g Y., 'Switched inductor two-quadrant DC/DC converter with fuzzy logic control", ***Power Electronics and Drive Systems, PEDS '99. Proceedings of the IEEE 1999 International Conference on***, 2: 773 – 778 (1999).
22. Tasi-Fu W., Yu-Kai C., "Modeling PWM DC/DC converters out of basic converter units", ***Power Electronics, IEEE Transactions on***, 13(5):870 - 881 (1998).

23. Tunca, D., “Serbest uyarımlı doğru akım motorunun mikrokontrolör tabanlı dört bölgeli hız kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 25-34 (1997).
24. Morrison R., Egan M.G., “A new modulation strategy for a buck-boost input AC/DC converter”, ***Power Electronics, IEEE Transactions on***, 16 (1): 34 - 45 (2001).
25. İbrahim D., “Motor kontrol projeleri”, PIC C Motor kontrol projeleri, ***Bilesim Yayincilik***, İstanbul, 82-193 (2004).
26. Bodson, M., “Electronic Chips for Electric Motor Control”, ***American Control Conference***, 1: 252–256 (1997).
27. İnternet: MICROCHIP “Embedded Control Handbook”, www.microchip.com (2008).
28. Altınbaşak O., “Pic donanım özellikleri 2. bölüm”, Mikrodenetleyiciler ve PIC programlama, ***Altas Yayincilik***, İstanbul, 27-97 (2005).
29. Çiçek S., “CCS C ile program derlemek ve denemek”, CCS C ile PIC Programlama, ***Altas Yayincilik***, İstanbul, 87-101 (2007).
30. Şahin H., “İsis ve Ares uygulamaları ”, Bilgisayar destekli tasarım Proteus, ***Altas Yayincilik***, İstanbul, 78-250 (2004).
31. Pesint A., “ Alternatörlerin paralel bağlanması”, Senkron Makinalar, ***M.E.B***, Ankara, 35-110, (1975).
32. Çolak I., “Senkron makinaların yapısı ve endüklenen gerilim”, Senkron Makinalar, ***Gazi Üniversitesi***, Ankara, Bölüm 1., 2-45 (2003).
33. Pierce A.C., , “Generator Protection Application Guide”, ***IEEE Guide for Generator Ground Protection***, 103 (7): 1743-1748 (1984).
34. Bodson, M., “Trends in Electronics for Electric Motor Control”, ***IEEE Control Systems Magazine***, 16 (5): 88-96 (1996).
35. Pope J. W., “A Comparison of 100% Stator Ground Fault Protection Schemes for Generator Stator Windings”, ***IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems***, 103 (4): 832-840 (1984).
36. İnternet: Unit Load Share Generator System Control Package (Woodward), “Woodward data sheet”[http:// www.woodward.com](http://www.woodward.com) (2005).
37. İnternet: Electricity By Photos, “Synchronous machine ”, <http://emadrlc.blogspot.com> (2008).

38. Internet: Turan M., Elektrik makinalari2, "Senkron makinada endüvi reaksiyonu", bölüm 8, <http://mustafa.turan.googlepages.com> (2007).
39. Çolak I., "Senkron makinalarin esdeger devreleri", Senkron Makinalar, **Gazi Üniversitesi**, Ankara, 2: 46-72, (2003).
40. Keyhani, A. Tsai, H., "Identification of high-order synchronous generator models from SSFR test data", **Energy Conversion, IEEE Transaction on**, 9 (3): 593-603 (1994).
41. Strang, W.M., Mozina, C.J., "Generator synchronizing industry survey results", **Power Delivery, IEEE Transactions on**, 11 (1): 174-183 (1996).
42. Arnalte S., "Fuzzy logic-based voltage control of a synchronous generator", **International Journal of Electrical Engineering Education**, 37, (4): 333-343 (2000).
43. Lin H. C., "Remote Power System Harmonics Measurement and Monitor via the Internet", **International Journal of Electrical Engineering Education**, 42 (3): 267-279 (2005).
44. Grono, A.J., Wlodarski, J.J., "Setting and testing automatic generator synchronizers", **Computer Applications in Power, IEEE**, 12 (1): 38-40 (1999).
45. Basler Electric, "Automatic synchronizing considerations and applications", **Introduction to Synchronizing**, Highland USA (1994).
46. Bal, G., "Dogru akim makinalari ve yapisi", Dogru Akim Makinaleri ve Sürücülere, **Seçkin Yayıncılık**, Ankara, 55-194 (2006).
47. Bose K.B. and Jentzen K.J., "Digital Speed Control of a DC Motor with Phase- locked loop Regulation", **IEEE Transaction on Industrial Electronics and Control Instrumentation**, 1 (25):No. 1 (1978).
48. Internet: Tübitak, "Otomotiv sektöründeki elektrik sistemleri" <http://www.tubitak.gov.tr/>, (2008).
49. Bose, B.K., "Power Electronics-Recent Advances and Future Perspective", **International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation**, 1: 14-16 (1993).
50. Garip I., "0-650W Çikisi Ayarlanabilir DC/DC Konvertör Tasarimi ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 13-23 (1996).

51. Altinbasak O., "Giris1", Mikrodenetleyiciler ve PIC programlama, **Altas Yayincilik**, Istanbul, 11-25 (2005).
52. Dogan I., "Mikrodenetleyiciler Bölüm2", Pic ve PC Iletisim Projeleri, **Bilesim Yayincilik**, Istanbul, 7-20 (2004).
53. Microchip, "Microchip Pic" Çeviri Editörü/Editörleri, Köksal Z., Samanci K., **Beti Bilisim Teknolojileri**, Ankara, 2- 25 (2006).
54. Bose B. K., "Power electronics and ac drives", **PUBLISHER Englewood Cliffs**, N.J. Prentice-Hall, New York. 24-32 (1986).
55. Mohan N., Unlead T.M., Robbins W.P., "Power Electronics", **John Wiley & Sons Ltd.**, England, 185-191 (2002).
56. El Fadil H., GIRI F., "Robuts Control of Motor Velocity Through DC-DC Buck Power Converter", **IEEE Industrial Electronics, IECON 2006 - 32nd Annual Conference on**, 10: 1563-1568 (2006).
57. Brown R., Gale P., Cunningham K., Tinson R., "Power System Simulator for the Training of Protection Engineers", **International Conference on Digital Power System Simulators**, 3: 11-114 (1997).
58. Internet: Analog Devices Inc. "Anaolog to Digital Converters" <http://www.analog.com/>, (2008).
59. Dogan I., "Pic Mikrokontrolör", Pic C Motor Kontrol Projeleri, Bilesim Yayincilik, Istanbul, 23-35 (2004).

EKLER

ALTERNATÖRLERİN PARALEL BAĞLANMA DENEY SETİNİN EĞİTİM AMAÇLI TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

İbrahim SEFA, Mehmet DEMİRTAS, İlhan GARİP ve İlhami ÇOLAK

GEMEC-Gazi Elektrik Makineleri ve Enerji Kontrol Grubu

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü,

06500 Besevler Ankara,

isefa@gazi.edu.tr , mehmetd@gazi.edu.tr, milhangarip@hotmail.com,
icolak@gazi.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada alternatörlerin paralel bağlantısını gerçekleştirebilecek eğitim amaçlı mikrodenetleyici tabanlı bir deney seti tasarlanmıştır. Tasarlanan deney seti, paralel bağlanma şartlarından öncelikle faz sıralarının doğruluğunu otomatik olarak denetlemekte, uygun değil ise otomasyon yardımıyla düzeltmektedir. Daha sonra ise sırasıyla gerilim, frekans, faz açılarını ölçerek bunların eşitliğini sağlamaktadır. Yapılan ölçümler PIC16F877 mikrodenetleyicisi tarafından değerlendirilmekte ve şartların uygun olması halinde paralel bağlantı otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Öğrencilerin laboratuvar ortamında yapacakları paralel bağlantıya yönelik işlem basamaklarını takip etmeleri ve olabilecek hataları görsel ortamda izlemeleri mümkün olmaktadır. Ayrıca deney setinin koruma özellikleri yardımıyla bağlantı ve işlem hatalarından dolayı olabilecek arızaları önlemek mümkün olabilmektedir. Geliştirilen deney seti alternatörlerin dengesiz yüklenmesi, iki faza kalması, uyarım devresi arızası gibi durumlarda endüstriyel kullanıma yönelik koruma ve uyarı ünitesi olarak da kullanılabilir yapıdadır.

Anahtar kelimeler: Paralel bağlama, mikro denetleyici, faz sırası, faz açısı, frekans ve gerilim eşitliği.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF PARALLEL OPERATION SET OF ALTERNATORS FOR EDUCATION PURPOSE

ABSTRACT

In this paper a microcontroller based experimental unit for parallel connection of alternators for education purposes has been designed and implemented. This experimental set designed detects the incorrect phase order firstly, which is one of the conditions of parallel connection, and corrects it automatically. The other three conditions of parallel connection, the equality of voltages, frequencies and phase angles of two alternators are then obtained by the experimental set. All these measurements are processed numerically by 16F877 microprocessor and the parallel connection is achieved automatically. As a consequence, students can see the faults of parallel connection which occurred during the application in the laboratory studies. Since all the processes of parallel connection of two alternators are visualised, students can find solutions for the faults and prevent them. In addition, this experiment unit developed can be used as an alarm circuit for industrial purposes at the conditions of phase disconnections. **Key words:** Parallel connection, microcontroller, phase lines, phase angle, equality of frequencies and voltages

Semboller (Nomenclature)

V_0	= f/V konvertörde dönüştürülen frekansın DA gerilimi(V)
F_i	= f/V konvertörün giriş frekansı(Hz)
R_L	= f/V konvertör çıkış direnci(?)
R_{V1}	= f/V konvertör hassasiyet çıkış ayar potansiyometresi (?)
R_5	= f/V konvertör hassasiyet çıkış direnci (?)
R_T	= f/V konvertör kazanç direnci (?)
C_T	= f/V konvertör kazanç kapasitörü (Farad)
E_a	= Dönüştürülmüş alternatör faz gerilimi (V)
E_s	= Dönüştürülmüş sebeke faz gerilimi (V)
$V_{ÇIKIŞ}$	= AA/DA konvertör DA çıkış gerilimi

1. GİRİS (INTRODUCTION)

İşletme veriminin yükseltilmesi, arz güvenliğinin sağlanması ve tüm alıcıların ihtiyacını karşılayabilecek güçte alternatör üretilmesi gibi sebeplerle alternatörler güç ihtiyacına göre paralel bağlanarak alıcıların beslenilmesi sağlanır. Bu nedenle elektrik sebekelerini besleyen santrallerde birden fazla alternatör bulunur. Yük durumuna göre bu alternatörler kendi aralarında veya sebeke ile paralel bağlanırlar. Alternatörlerin paralel bağlanma işlemini gerçekleştirebilmek için bazı şartlar yerine getirilmelidir. Bir alternatörün başka bir alternatöre veya sebekeye paralel bağlanması işleminde en önemli unsur, akım darbesi ve gerilim dalgalanması oluşturmamaktır. Paralel bağlamayı gerçekleştirmek için aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır [1, 2, 3].

- Paralel bağlanacak alternatörlerin gerilimleri eşit olmalıdır.
- Gerilim dalga şekilleri aynı olmalıdır.
- Paralel bağlanacak alternatörlerin frekansları eşit olmalıdır.
- Paralel bağlanacak alternatörlerin döner alan yönleri (faz sıraları) aynı olmalıdır.
- Alternatörlerin faz açıları aynı olmalıdır. Paralel bağlantı işlemi senkronizasyon anında gerçekleştirilmelidir.

Alternatörler birçok nedenden dolayı paralel çalışmak zorundadırlar. Büyük güçteki tek alternatörün verimi aynı yükü besleyen iki ya da daha fazla alternatöre göre daha düşüktür ve en küçük arıza durumunda sistem devre dışı kalacağından enerji güvenliği ortadan kalkmaktadır. Oysaki paralel bağlı küçük güçlü birkaç alternatörün aynı yükü beslemesi durumunda herhangi bir alternatörün arızalanması durumunda diğerleri güç vermeye devam edeceklerinden, sistemin enerji güvenliği daha yüksektir. Yük değişimlerin de ise, verimi yüksek tutmak amacıyla harcanan güç kadar alternatör devreye alınarak sistemin verimi yükseltilebilir [1]. Geleneksel olarak alternatörlerin paralel bağlantısının gerçekleştirilmesinde gerilim, frekans, faz sırası ve faz açıları eşitlikleri lamba ve senkronoskoplar ile tespit edilmektedir [1, 2]. Günümüzde ise teknolojik

gelişmelere uygun olarak paralel bağlanma sistemlerinde otomasyon önem kazanmıştır. Otomatik paralel bağlanmada, geleneksel yöntemlerde olduğu gibi faz sırası, faz açısı, frekans ve gerilim eşitliği göz önüne alınmakta, ancak bu şartlar mikrodeneleyici, mikro işlemci yada bilgisayar kontrollü olarak sağlanmaktadır. [3, 4, 5, 6, 7]. Türbinler ve senkron makinelerin sinyal devreleri için bir data acquisition kartının kullanıldığı kontrol ve gözlem sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde, sensörler ve mikro bilgisayarlar aracılığı ile yük açısı, faz açısı, güç katsayısı ve frekans kontrol edilip izlenmektedir [7]. Bu gelişmeye paralel olarak mikro işlemci ve LABVIEW tabanlı grafik programlama ile güç sistem harmoniklerinin internet aracılığı ile uzaktan gözlemlenmesi ve ölçümü gerçekleştirilmiştir [6]. Ayrıca paralel bağlanma sisteminin, gerilim ve akım bilgilerini değerlendirilmesi ve rölelerin kontrolü mikrodeneleyici ile sayısal olarak yapılmaktadır [3]. Bunlara ilaveten sistem parametrelerinin değişiminin alternatör üzerindeki etkileri araştırılmış ve sabit reaktif yük için generatör alan akımı ile sistem geriliminin değişimi incelenmiştir [4]. Diğer bir çalışmada ise, kontrollü doğrultucuyu besleyen paralel bağlı dizel generatör setlerinin kontrol parametreleri hız, uyarım ve yük paylaşımını dikkate alınarak hesaplanmıştır [5]. Yapılan çalışmalar generatörlerin paralel bağlanabilmesi için benzer karakteristik özelliklerde olması gerektiğini, frekans farkı, faz açısı farkı ve gerilim farkının minimum olması gerekliliğini göstermiştir [8]. Bir başka çalışmada, motor-generatör setlerinde ölçümler yapabilen sistemler geliştirilmiş ve üniversite öğrencilerinin yaptığı deneylerin sonuçları olan çeşitli elektriksel ve mekaniksel değerleri ekranda görebilmeleri sağlanmıştır [9].

Yapılan bu çalışmalarda mikrodeneleyicilerin önemi kuskusuz çok büyüktür. Mikrodeneleyiciler güç katsayısı ölçme işlemi ve reaktif güç kompanzasyonu, senkron motorun uyarım akımını değiştirerek güç katsayısının kontrolü, sürtünme kaynak makinesinin kontrolü ve asenkron motorlar için yol verme ve koruma rölesi uygulaması gibi çok farklı uygulamalarda kullanılmaktadır [11, 12, 13, 14]. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, henüz alternatörlerin paralel bağlanmasının eğitimine yönelik bir çalışmanın yapılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada öğrencilerin eğitimini güncel teknolojilerle desteklemenin yanında, mikrodeneleyicilerin farklı alanlarda uygulanabilirliğine bir örnek olması açısından, teknik eğitim ve mühendislik eğitiminde yeni bir yaklaşımın hayata geçirilmesi amaçlanmıştır. Alternatörlerin paralel bağlanma işlemi mikrodeneleyici yardımı ile sağlanmıştır. Klasik yöntem için gerekli olan ölçü aletleri ve sistemlerine gerek kalmadan paralel bağlama işleminin gerçekleştirilebileceği gösterilerek güç sistemleri için hassas, güvenli ve ekonomik bir paralel bağlama sistemi elde edilmiştir. Çalışmanın diğer bir amacı da, Elektrik Makineleri Laboratuvarına bir alt yapı oluşturmak ve yapılacak deneysel çalışmalarda

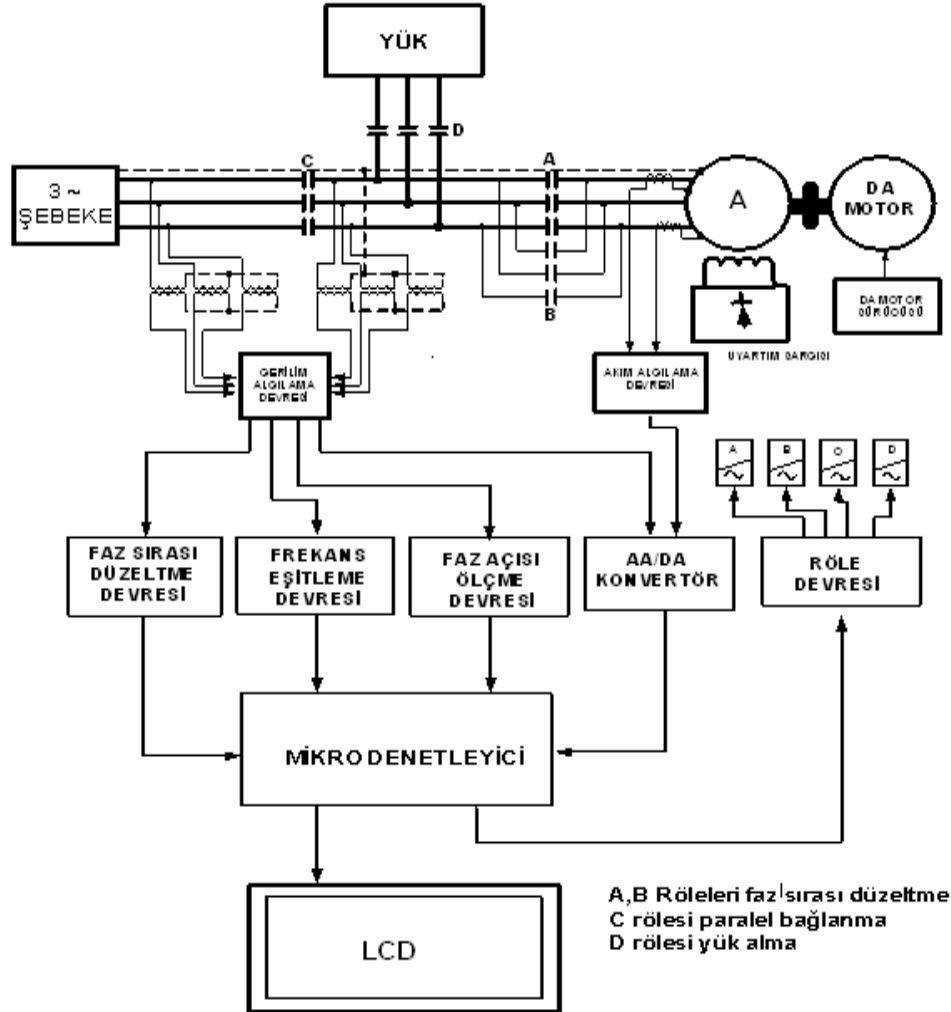
kullanılmaktadır. Çalışmada C programlama dili kullanılarak hazırlanan yazılım ile mikrodenetleyici programlanmıştır. Alternatörlerin paralel bağlanma şartlarından olan; faz sırası, gerilim, frekans ve faz açısı eşitliklerini sağlayan mikrodenetleyicili devre tasarlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bu devre ile aynı zamanda üç fazlı sistemlerde faz sırası ve faz kopukluğu kontrolü de yapılmaktadır. Sisteme ait bilgiler LCD ekran üzerinden görsel olarak takip edilebilmektedir.

2. UYGULAMA DEVRELERİ VE ÇALIŞMALARI (APPLICATION CIRCUITS AND THEIR OPERATIONS)

Alternatörlerin paralel bağlanma şartlarının sağlanmasının eğitim amaçlı bir deney seti üzerinde gerçekleştirilmesi için bu çalışma yapılmıştır.

Çalışma; tasarım ve uygulama olmak üzere iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Her iki çalışma da

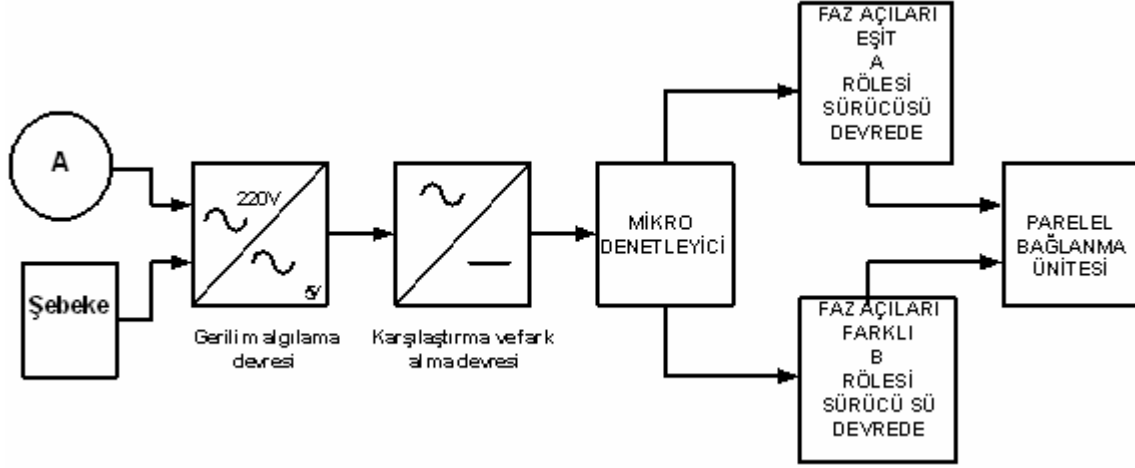
uygun konfigürasyon ve C programlama dilinde yapılan yazılım üzerinden gerçekleştirilmiştir. Şekil.1’ de görülen blok diyagram aşamaları tasarlanarak sırası ile uygulanmıştır. Bu blok diyagram, bir adet alternatör, Doğru akım (DA) motoru, sürme devreleri, yük, ve kontrol devresinden oluşmaktadır. Kontrol devresi ise; mikrodenetleyici kartı, LCD ekran, faz sırası kartı, faz açısı kartı, akım ve gerilim algılama kartı, konvertör, güç devresi, röle kartı ve kontaktörlerden oluşmaktadır. Tasarım ve uygulamaları gerçekleştirilen bu devrelere ait bilgiler ve devre semaları aşağıdaki alt başlıklarda detaylı olarak verilmiştir.



Şekil.1. Otomatik paralel bağlanma deney setinin blok diyagramı (Block diagram of the automatic parallel operation experiment unit)

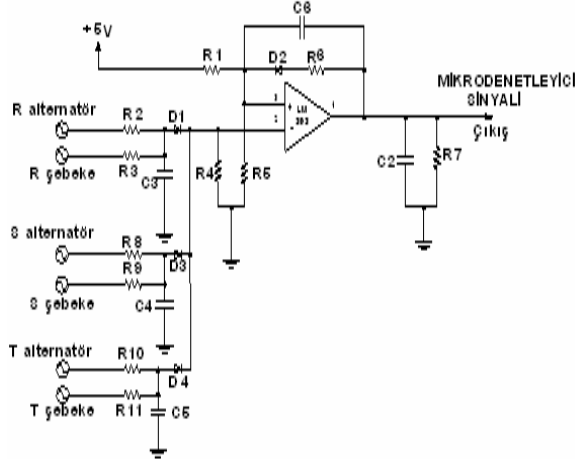
2.1. Faz sıralarının eşitliği (Equality of phase orders)

Faz sırası eşitliği için Şekil 2'deki blok diyagramda verilen devreler sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Gerilim algılayıcı devresinden gelen Alternatör (A) ve Şebeke fazlarına ait R_a-R_s , S_a-S_s , T_a-T_s fazları LM393 entegresi, direnç ve kondansatör guruplarından



Sekil 2. Faz sırası eşitliği uygulama blok seması (Block diagram of phase orders equality)

Fazlar arasında açılal fark yok ise, karşılaştırma devresi mikrodnetleyiciye sayisal olarak 0 degerini gönderir ve mikrodnetleyici A rölesini devreye alarak faz sıralarının dogru olarak baglanmasını sağlar. DA seviyeye döndürülen bu fazlara ait sinyallerin farkları mikrodnetleyici tarafından sayisal 1, 0 olarak karşılaştırılır. Faz sıraları dogru ise (R_a-R_s ve S_a-S_s fazları arasındaki açılal sıfır) fazlar arasındaki açılal farkı sıfır olup mikrodnetleyiciye 1 gönderilir.



Sekil 3. Karşılaştırma ve fark alma devresi (Comparison and derivator circuits)

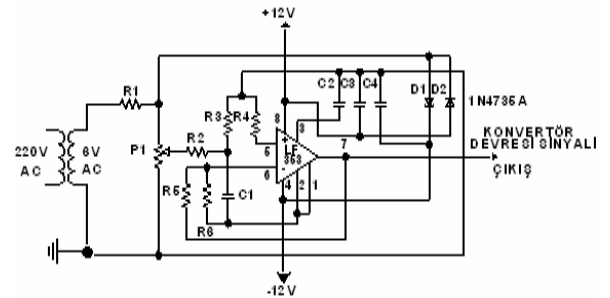
Mikrodnetleyici A rölesine ait sürme devresini çalıştırarak, dogru faz sırasını A rölesi üzerinden gerçekleştirir. Fazlar arası açılal farkı 120° olduğunda ise mikrodnetleyici karşılaştırma devresinden gelen 0 sinyali ile B rölesi sürme devresini çalıştırarak dogru faz sırasını B rölesi üzerinden gerçekleştirir. B rölesi kontakları B alternatörüne ait olan iki fazın yerinin değiştirilmiş olarak uç bağlantıları gerçekleştirildiği

olusan, Şekil 3' deki karşılaştırma ve fark alma devresinden geçirilir. Karşılıklı fazlar arasında fark var ise, bu sinyal devre çıkışından mikrodnetleyiciye sayisal olarak 1 degeri gönderir ve mikrodnetleyici B rölesini devreye alarak faz sıralarının değısmesini, açılal farkın sıfır olmasını ve faz sıralarının dogru olarak baglanmasını sağlar.

için, alternatör faz sıraları yanlış bağlanmış olsa dahi, paralel bağlantı dogru uçlar üzerinden bağlanacaktır. (R_a-R_s ve S_a-S_s durumuna getirilir). Uygulama devresine ait bu veriler LCD'de görsel olarak izlenir. Bu çalışma sonucunda alternatörlerin paralel bağlanma şartlarından faz sırası eşitliği otomatik olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Gerilimlerin eşitliği (Equality of voltages)

Faz gerilimini mikrodnetleyici girişine uygun seviyeye sinüs sinyali olarak dönüştürür. Bu dönüştürmede bütün fazların gerilim değımleri eşit olarak ayarlanır. Ani salınımlara karşı giriş değımleri bu devre üzerinde sınırlandırılmaktadır. Şekil 4. deki devrede LF353N entegresi, direnç ve kondansatör gurupları kullanılmıştır.



Sekil 4. Gerilim algılama devresi (Voltage sensing circuits)

Bu devre sistemin kararlılığını sağladığı gibi kısa süreli ani değışimlere hızlı tepki vermesini engellemek amacıyla yönelik olarak da kullanılmıştır.

2.3. Frekansların eşitliği (Equality of frequencies)

Çalışmada kullanılan DA motorun hızı alternatör frekansını sağladığından frekans esitliği direkt olarak DA motorun hızının ayarlanması ile sağlanır. Paralel bağlanacak alternatöre ait frekans değeri ve referans frekans değeri Şekil 5’ görülen LM331 entegresi, direnç ve kondansatörlerden oluşan, f/V (frekans/gerilim) konvertörde DA gerilime dönüştürülerek mikrodeneleyicinin analog girişlerine uygulanır ve frekans esitliği sağlanıncaya kadar DA motor hızını artırır veya azaltır. Esitlik sağlandığında bir sonraki işleme devam edilir. Elde edilen veriler LCD ekranda yazılı bilgi olarak verilir.

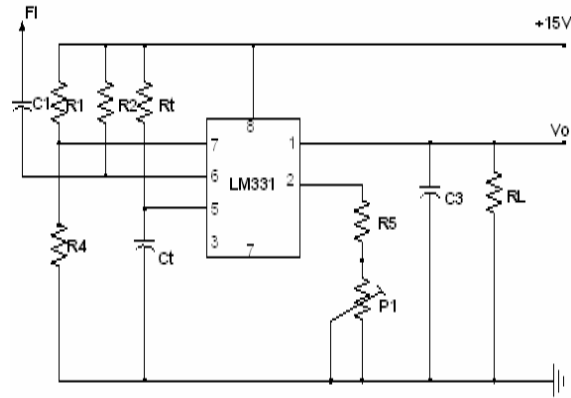
Dönüştürülen frekans değerinin gerilim olarak karşılığı ise aşağıdaki esitlikle elde edilir [16].

$$V_0 = F_i 2,09 \frac{R_L}{(R_5 + R_{V1})} (R_t C_t) \text{ burada;}$$

V_0 =Dönüştürülen frekansın DA değeri

F_i =Alternatör frekansı değeri

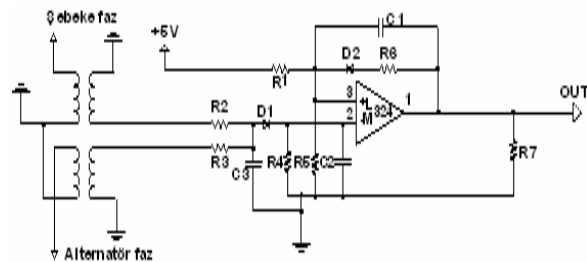
R_{V1} =Çıkış değerinin hassasiyet ayar değeri olarak verilmiştir.



Şekil 5. Frekans gerilim çevirme devresi (Frequency to voltage converter circuit)

2.4. Faz açılarının esitliği (Equality of phase angles)

Faz açılarını esitliği paralel bağlanmadan önce son olarak yerine getirilmesi gereken şarttır. Paralel bağlanacak alternatörün sinyal başlangıcı sebebin ilerisinde veya gerisinde olabilir [1, 2]. Sinyalleri üst üste getirme zorunluluğu olduğundan tasarlanan faz açısı ölçme devresinde elde edilen sinyaller mikrodeneleyicinin analog girişine uygulanır.



Şekil 6. Faz açısı ölçme devresi (Phase angle measuring circuit)

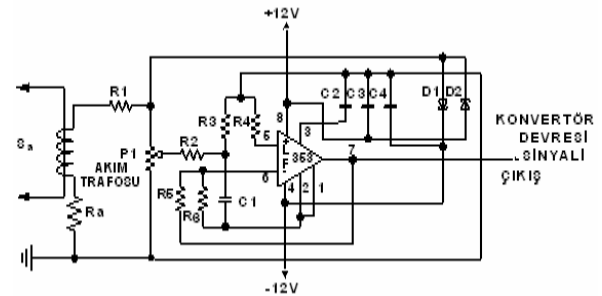
Mikrodeneleyici sinyaller arası fark sıfır oluncaya kadar DA motorun hızını artırır veya düşürür. Fark

sıfır olduğu anda faz açısı esitliği (ince senkronizasyon) sağlanmıştır. Bu anda mikrodeneleyici paralel bağlanma rölesini devreye alır. Otomatik paralel bağlanma gerçekleştirilir. Şekil 6’ da görülen, LM324 entegresi, ölçü trafoları, direnç ve kondansatör gruplarından oluşan devrenin çalışması aşağıdaki gibidir.

Faz açısı ölçme devresi paralel bağlanacak sebeke ve alternatörlerin aynı fazları arasındaki açılal farkı DA sinyale dönüştürür. $E_a - E_s = e$ gibi bir gerilim farkı var ise fazlar arasında açılal fark var demektir. Mikrodeneleyici bu fark sinyali kadar PWM üreterek DA motorun (alternatörün) dönüş hızını artırmak suretiyle $E_a - E_s = 0$ olmasını sağlar. Bu şart sağlandığında fazlar arasındaki açı farkı 0° olmuştur. Paralel bağlanma şartlarından faz açılarını esitliği sağlanmıştır.

2.5. Yük alma ve paralel bağlantıdan ayrılma (Load sharing and disconnection of parallel operation)

Paralel bağlanma gerçekleştirildikten sonra, hazırlanan program gereği olarak mikrodeneleyici alternatörün üzerine yük alması için DA motor hızını ve alternatör uç gerilimini artırmaya çalışacaktır. Paralel bağlanma gerçekleştikten sonra DA motorun hızı artmayacağından alternatör üzerine aktif yük almaya başlar.



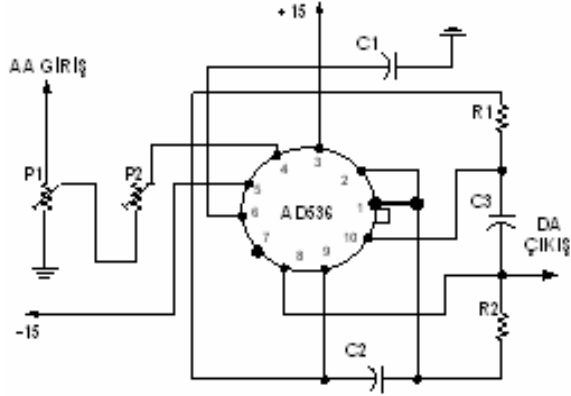
Şekil 7. Akım algılama devresi (Current sensing circuit)

Alternatör uç gerilimleri artamayacağından alternatör üzerine reaktif yük almaya başlar. Bu anda alternatör fazlarından çekilen akım, Şekil 7’ de görülen LF353 entegresi, akım trafosu, direnç ve kondansatör gruplarından oluşan akım algılama devresi tarafından ölçülmektedir. Ölçülen bu değerler ise; AA/DA konvertör üzerinden mikrodeneleyicinin analog girişlerine karşılaştırılmak üzere gönderilmektedir. Fazlar arasındaki akım dengesizlik oranı %33’ ün altında olduğu sürece alternatör yük altında çalışmaya devam eder [15]. Bu oran aşıldığı zaman mikrodeneleyici paralel bağlanma işlemini otomatik olarak bitirir.

2.6. AA/DA Konvertör devresi (AC/DC converter circuit)

AA/DA konvertör devresi gerilim sinyal algılama devresinden ve akım sinyal algılama devresinden

gelen alternatif akım (AA) sinyalleri DA seviyeye dönüştürerek mikrodenetleyiciye analog sinyal olarak aktaran devredir. Gerilim ve akım algılayıcı devrelerinden gelen paralel bağlanacak alternatörlere (veya alternatör-sebeke) ait R_a - R_s , fazlarının sinüs sinyalleri, Sekil 8.'de görülen AD536 gerçek etkin değerden DA'ya dönüştürücü, lineer potansiyometreler, direnç ve kondansatörlerle gerçekleştirilen konvertör devresine gönderilir.

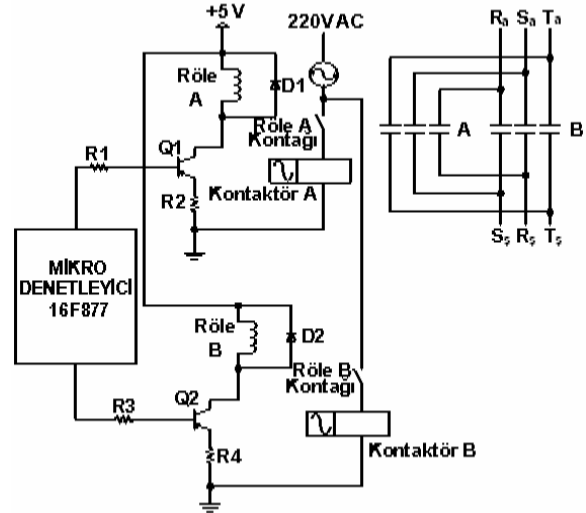


Sekil 8. AA/DA Konvertör devresi (True RMS to DC Converter circuit)

Burada; AA olan sinyaller DA' ya dönüştürölüp mikrodenetleyici ölçüm sınırları içinde olan 3V seviyesine indirilir [15]. Mikrodenetleyicinin analog girişlerine uygulanır. Mikrodenetleyici iki sinyal arasındaki fark sıfır oluncaya kadar (gerilim eşitliği toleransı %15'i) alternatör uyarım akımını artırarak gerilim eşitliğini sağlar ve bir sonraki işleme geçer. Çalışma ile ilgili değerleri LCD ekranda yazılı bilgi olarak verir [15]. Alternatör uç gerilimlerinin ayarlanması için burada elde edilen sinyaller kullanılır. Sekil 8' deki devre; AD536 dönüştürücüsü, lineer potansiyometreler, direnç ve kondansatörler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Devrede dönüştürülen gerilim ise; $V_{ÇIKIŞ} = 2R_2 I_{RMS}$ ve $V_{ÇIKIŞ} = V_{GİRİŞ}$ e eşit olur [16]. Mikrodenetleyici giriş gerilimi 0-5 Volt olduğundan bu değer asılmamalıdır [1, 2, 10].

2.7. Sürme ve röle devreleri (Drive and relay circuits)

Mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen bu devrede BC238 transistör ve DA röle kullanılmıştır. Sekil 9' daki devre mikrodenetleyicinin gönderdiği sinyallere bağlı olarak çalışan bir güç anahtarlama devresidir. Güç devresi faz sıralarının düzeltilmesi ve paralel bağlantının gerçekleştirildiği yerdir.

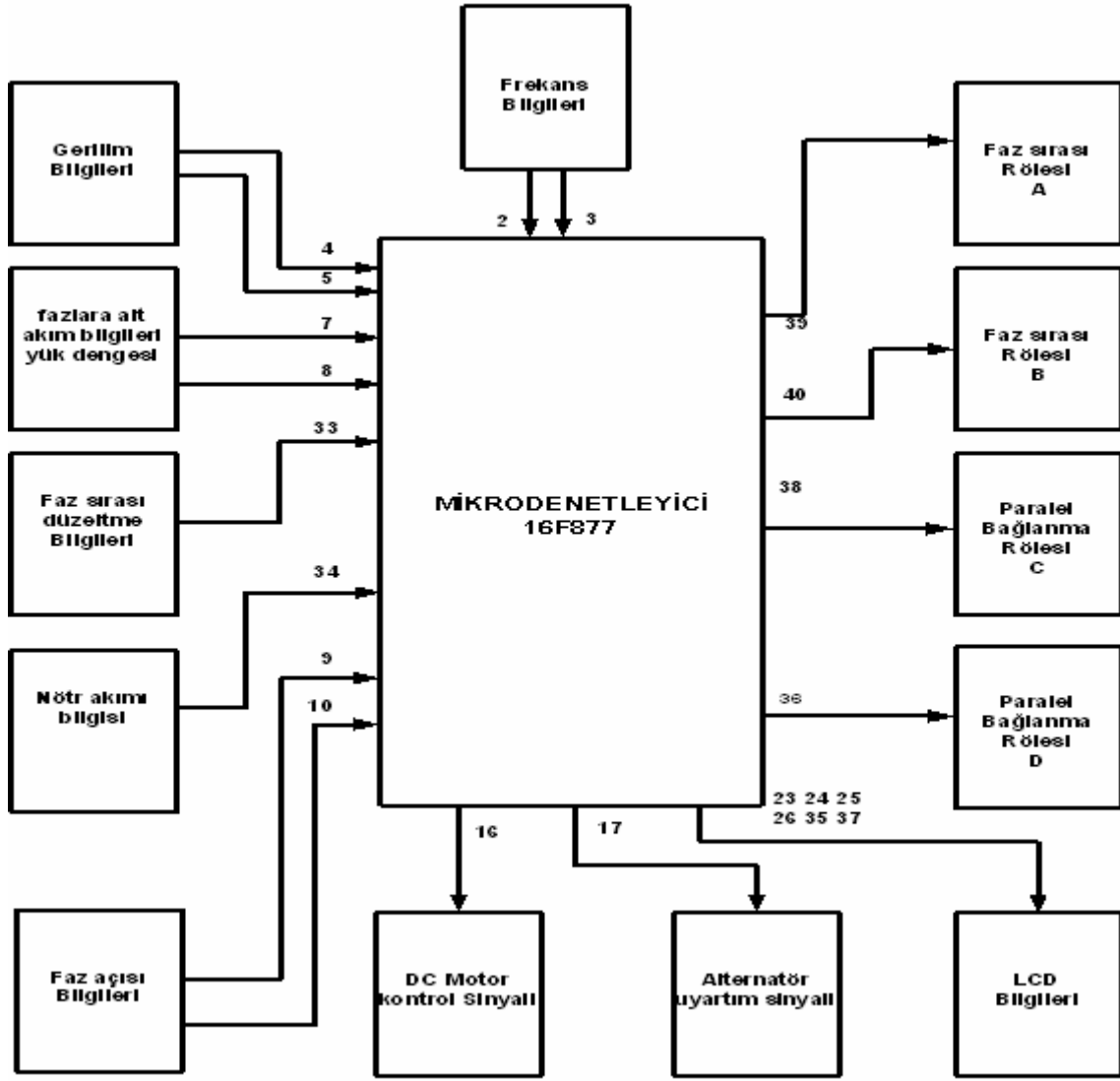


Sekil 9. Sürme ve röle devreleri (Drive and relay circuits)

Faz sırası düzeltme anahtar elemanları olarak 2 adet, paralel bağlama devre elemanı olarak 1 adet kontaktör kullanılmıştır. Elektriksel açı farkı olduğunda döner alan yönü değişeceğinden, 1. anahtar devresinde paralel bağlantı uçları bağlanmıştır. Ancak yapılan bu bağlantının hatalı olacağı düşünülerek ikinci anahtar devresinde herhangi iki faz yerleri değiştirilerek bağlanmıştır. Mikrodenetleyici karşılaştırma devresinden gelen 1 ve 0 sinyallerine bağlı olarak A veya B kontaktörünü devreye almış ve her durumda doğru faz sırasını sağlamıştır. Faz açısı, frekans, gerilim ve faz sırası şartları yerine getirildikten sonra, mikrodenetleyici paralel bağlama rölesini devreye alarak paralel bağlanmayı gerçekleştirir. Bu bilgiler LCD ekranda görsel olarak izlenebilmektedir. Sistemin akis diyagramı Sekil 10' da verilmiştir. Bu çalışmada yukarıda anlatılan teoriler sırası ile uygulanarak deney gerçekleştirilmiştir. Deney sonucuna ait veriler ve osiloskop görüntüleri deney sonuçları bölümünde sunulmuştur.

2.8. Mikrodenetleyici devresi (Microcontroller circuit)

Paralel bağlanacak alternatörlere ait bilgi girişlerinin yapıldığı ve hazırlanan bilgisayar yazılım programı çerçevesinde işlem yapılarak, çıkış bilgilerinin üretildiği yer mikrodenetleyici devresidir. Sekil 10' da blok diyagram olarak verilen devrede 16F877 mikrodenetleyicisi, dört satır LCD ve C bilgisayar programlama dilinde yazılmış program kullanılmıştır.



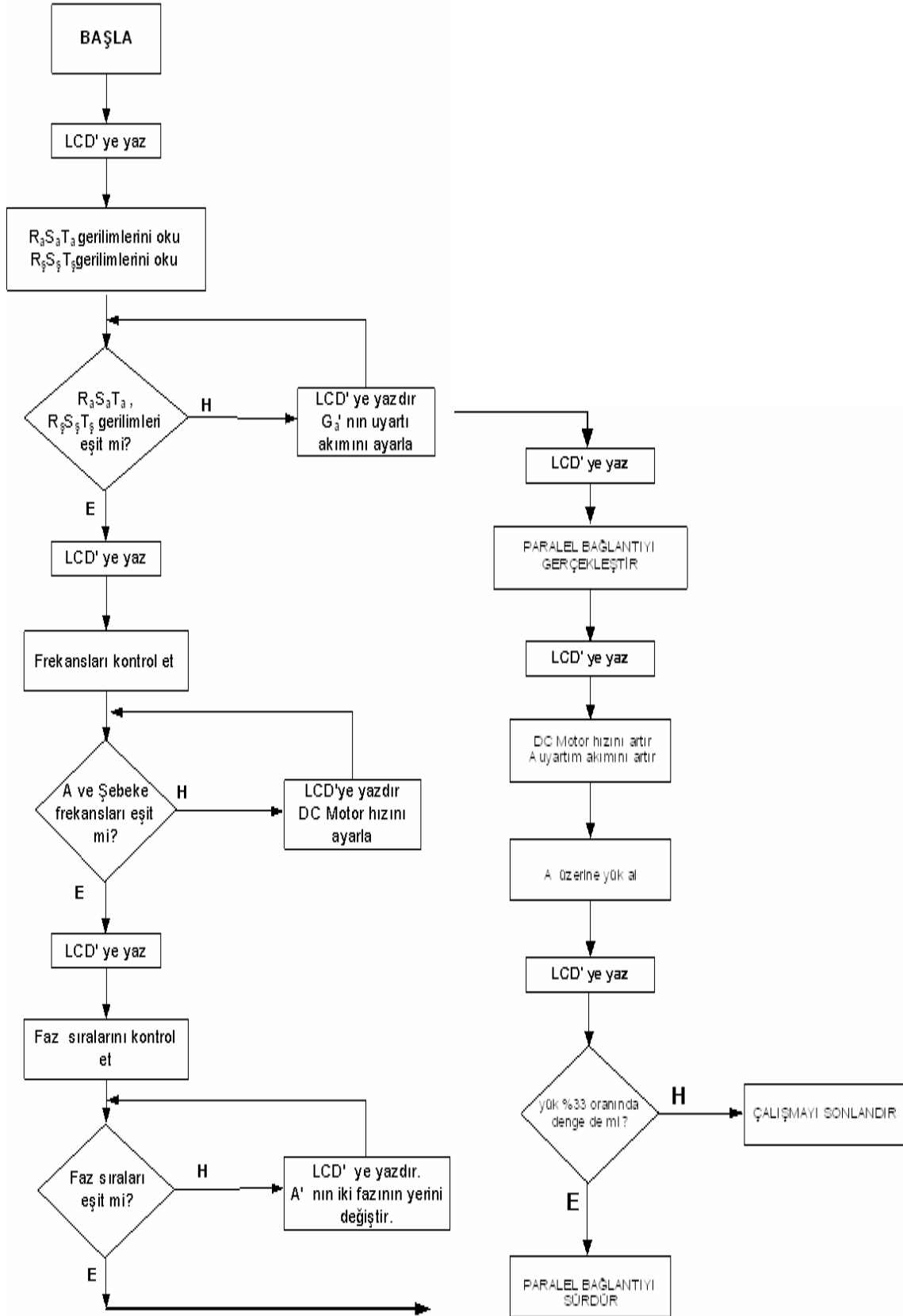
Sekil 10. Mikrodenetleyici giriş ve çıkışları (Inputs and outputs of microcontroller)

Mikrodenetleyici devresinde, 33 nolu uç faz sırası esitliği için sayısal sinyal girişidir. Giriş sinyaline bağlı olarak 39 ve 40 nolu uçlar A ve B rölesi kontrol sinyal çıkışlarıdır. 2 ve 3 nolu uçlar frekans bilgisi girişleri, 4 ve 5 nolu uçlar gerilim bilgisi girişleri, 9 ve 10 nolu uçlar faz açısı bilgileri girişleridir. 7 ve 8 nolu uç fazlar arası dengeli yük analog girişleri ve 34 nolu uç nötr hattı dengeli yük sayısal girişidir. 36 nolu uç yük alma rölesi kontrol sinyali çıkışı, 38 nolu uç paralel bağlanma rölesi kontrol bilgisi çıkışı, 16 nolu uç DA motor kontrol sinyali, 17 nolu uç alternatör uyarım sinyali kontrol sinyalidir. 23, 24, 25, 26, 35 ve 37 nolu uçlar ise LCD bilgilerine ait çıkışlardır.

2.9 Sistem akis diyagramı (Flowchart of the system)

Sistemin Sekil 11’ de verilen akis diyagramında, başla komutundan sonra alternatörlere ait faz gerilim değerleri okunur. Eğer gerilimler esitse, LCD’ ye yazdırılıp sonraki komuta geçilir. Değilse, alternatör uyarım akimini ayarlayan, 17 nolu uçtan alınan

sinyalle gerilim esitliğini sağlar. Bu bilgiler LCD’ ye yazdırılır ve sonraki işleme geçilir. Bir sonraki aşamada frekans esitlikleri kontrol edilir. Frekanslar esit değilse, DA motor sürücüsüne 16 nolu çıkıştan kontrol sinyali gönderilir ve frekans esitliği sağlanır. Bilgiler LCD’ de yazdırılır ve sonraki işleme geçilir. 33’ nolu girişe uygulanan sayısal sinyale bağlı olarak, 39 veya 40 nolu çıkışlardan birisi kumanda ettiği röleyi devreye alarak esitliği sağlar. Bilgileri LCD’ ye yazdırır ve sonraki işleme geçer. Faz açısı esitliği kontrolü yapılır, esit değilse 16 nolu çıkışla DA motorun hızı ayarlanarak açısı esitlik sağlanır. Bilgiler LCD’ ye yazdırılarak paralel bağlanma gerçekleştirilir. Paralel bağlanma sağlandıktan sonra 16 ve 17 nolu çıkışlarla sürme devreleri kontrol edilerek alternatör üzerine yük aldırılır. Bilgiler LCD’ ye yazdırılır. Sistem alternatör fazlarından çekilen akımı kontrol ederek tolerans (%33) sınırları içerisinde faz akımlarında denge varsa bağlantıyı sürdürür. Bu oran asiliyorsa (%34 ve daha fazla ise) sistem çalışmayı sonlandırır [15].

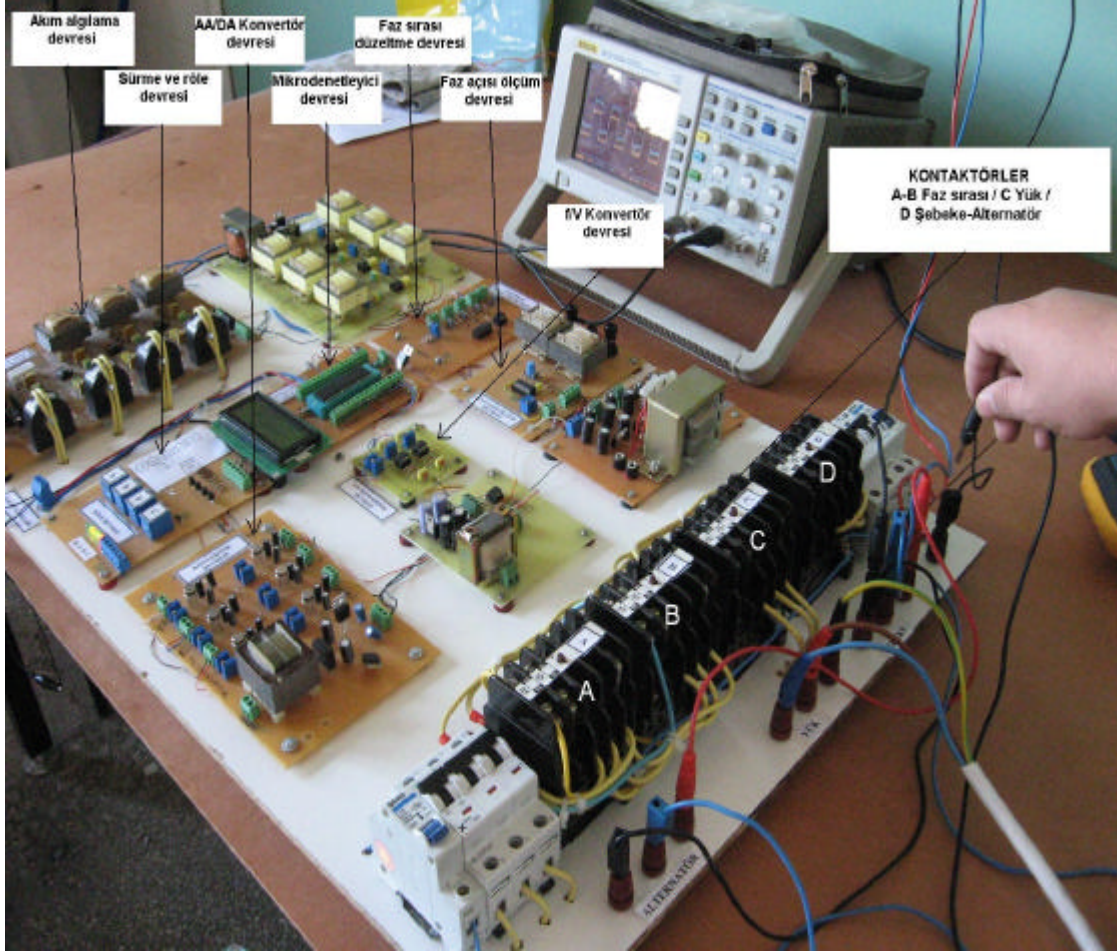


Sekil 11. Sistemin akis diyagramı (Flowchart of the system)

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR(EXPERIMENTAL STUDIES)

Sekil 12’de deney setine ait fotoğraf verilmiştir. Verilen fotoğraf üzerinde deney setinin her bir parçası ayrı ayrı gösterilmiştir. Bunlar sırası ile

gerilim ve akım algılama, konvertör, faz sırası düzeltme, faz açısı ölçme, f/V konvertör, mikrodenetleyici, röle ve kontaktör, güç ve faz açısı ölçme kartı olmak üzere dokuz ayrı kısımdan oluşmaktadır.



Sekil 12. Deney setine ait fotoğraf (Photograph of experimental unit)

Sekil.13’de uygulama gerçekleştirilirken sirasiyla LCD ekranda kullanıcıya verilen bilgiler gösterilmiştir. Verilen bu bilgiler ile kullanıcı paralel bağlantının her aşaması konusunda bilgilendirilmektedir.



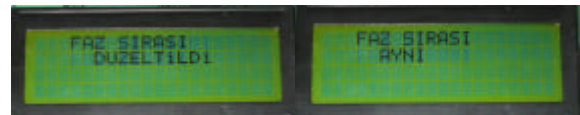
Sekil 13. LCD Ekran komut bilgileri (Informations of LCD screen statement)

3.1 Eğitim setinde yapılacak deneyin işlem sırası (Procedures of experiments performed on education set)

a) Paralel bağlantıya geçmeden önce, paralel bağlanacak alternatöre yol verilerek bosta çalışması sağlanır. Daha sonra şebeke, alternatör ve yük

bağlantıları gerçekleştirilir. Son olarak deney setine enerji verilir ve otomatik bağlanma süreci başlar.

b) Faz sırası kontrol devresi, gerilim algılama devresinden gelen alternatör ve şebekeye ait sinyalleri karşılaştırarak, R_a-R_s , S_a-S_s , T_a-T_s şeklinde olup olmadığını kontrol eder. Sinyaller aynı fazlara ait ise mikro denetleyiciye sayısal 1 sinyali gönderilir, mikrodenetleyici A rölesine ait sürme devresini çalıştırır. A rölesi ve ona bağlı A kontaktörü devreye girer.



Sekil 14. Faz sırası bilgileri (Information of phase orders)

Bu an faz sırası eşitliğinin olduğu andır ve bir sonraki işleme geçilir. Faz sırası eşit değilse (S_a-R_s , R_a-S_s , T_a-T_s gibiyse) mikrodenetleyiciye sayısal 0 sinyali gönderilir, mikro denetleyici B rölesi sürme devresini çalıştırır. B rölesi ve ona bağlı B kontaktörü devreye

girer. Bu anda faz sirasi R_a-R_s , S_a-S_s , T_a-T_s olarak düzeltilir. Sekil 14' deki bilgiler LCD ekranda yazdırılır.

c) Sebeke ve alternatöre ait frekans bilgileri f/V konvertörüyle DA gerilim değerine dönüştürülür. Sebeke frekansına ait DA değeri mikrodenetleyiciye “referans” olarak, alternatöre ait DA değeri ise mikro denetleyiciye “degisken” değer olarak girilir. Mikro denetleyici sinyal değerleri esit olursa bir sonraki isleme geçer ve çıkis bilgilerini LCD ekrana yazdırır. Sinyaller arasında fark varsa, degisken sinyal referans sinyale esit oluncaya kadar mikrodenetleyici DA motorunun hizini artırır veya düşürür.



Sekil 15. Frekans bilgileri (Information of frequencies)

Sinyaller esit olduğu zaman Sekil 15' de görüldüğü gibi “frekans esitligi saglandi” bilgisi verilir ve bir sonraki isleme geçilir.

d) Sebeke ve alternatöre ait gerilim bilgileri AA/DA konvertörde DA gerilim değerine dönüştürülür. Sebeke gerilimine ait DA gerilim değeri mikrodenetleyiciye “referans” olarak, alternatöre ait DA gerilim değeri mikro denetleyiciye “degisken” değer olarak girilir. Mikro denetleyici sinyal değerlerini kontrol eder. Sinyaller esit olursa bir sonraki isleme geçer ve çıkis bilgilerini LCD ekrana yazdırır. Sinyaller arasında fark varsa, degisken sinyal referans sinyale esit oluncaya kadar mikrodenetleyici alternatörün uyaritim akimini artırır veya düşürür. Sinyaller esit olduğu zaman Sekil 16' da görüldüğü gibi “gerilim esitligi saglandi” bilgisi verilir ve bir sonraki isleme geçilir.



Sekil 16. Gerilim bilgileri (Information of voltages)

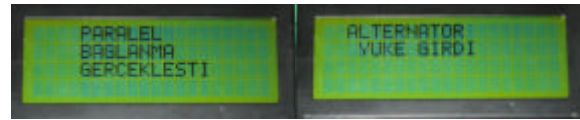
e) Sebeke ve alternatörün aynı adli fazlarına (R_a-R_s) ait gerilim bilgileri, faz açısı ölçme devresinde 1K' lik bir direnç üzerinden birleştirilir. Sinyaller arasında açısız fark var ise bu fark kadar bir sinüs elde edilir. Sinyaller arasında açısız fark yok ise birlesme noktasında 0 değeri elde edilir. Elde edilen bu açısız fark sinyalleri, faz açısı ölçme devresinde DA gerilim değerine dönüştürülür. Bu DA gerilim değeri, mikro denetleyiciye “degisken” değer olarak girilir. Açısız fark değerinin 0 olduğu andaki değer elde edilen DA gerilim değerinin en büyük olduğu değerdir. Bu DA gerilim değerine es bir sinyal ise mikrodenetleyiciye referans değer olarak girilir. Mikro denetleyici bu sinyalleri karsilastirir.



Sekil 17. Faz açısı bilgileri (Information of phase angles)

Elde edilen fark kadar DA motorunun hizini artırıp veya düşürerek “ Açısız fark'in 0 ” olması saglanır. Esitlik saglandıktan sonra Sekil 17'de görüldüğü gibi bu bilgiler LCD ekrana yazdırılır ve sonraki isleme geçilir.

f) Bu sartlar saglandıktan sonra sistem D kontaktörünü devreye alarak otomatik olarak paralel baglanma konumuna geçer ve Sekil 18'de görüldüğü gibi ekrana paralel baglanma bilgisi yazılır. Mikro denetleyici tüm sistemi çalışma süresince kontrol etmeye devam eder. Sartlardan herhangi birisi bozulduğunda LCD ekranına yazdırır ve D kontaktörü devreden çıkar. Paralel baglanti sona erer. Bozulan esitlik otomatik olarak yeniden saglandığında, paralel baglanma otomatik olarak yeniden saglanır.



Sekil 18. Sonuç bilgileri (Information of results)

g) Alternatör paralel bagli iken DA motorunun hizi ile alternatör üzerindeki aktif yük, alternatör uyaritim sargisi akimi ile de alternatör üzerindeki reaktif yük kontrol edilir. Bu islemler mikrodenetleyici tarafından otomatik olarak saglanır. Sekil 19'da görüldüğü gibi alternatör fazlari arasında dengesiz akim çekilir ve bu oran %33 asarsa çalışma otomatik olarak sonlandırılır.



Sekil 19. Akim dengesizlik bilgisi (Information of unbalance currents)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada bir alternatörün sebekeye paralel baglantisina iliskin eğitim amaçli PIC kontrollü bir deney seti gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, alternatör ve sebekeye ait gerilim, akim, frekans, faz sirasi, faz açısı gibi temel ölçümlerin yapilip, paralel baglanmadan önce faz sirasinin dogruluğu PIC yardimi ile saglandıktan sonra otomatik olarak paralel baglantisinin gerçekleştirilmesi saglanmıştır.

Bu çalışmada faz siralari yanlis baglanmis olsa dahi mikrodenetleyici yardimi ile faz sirasi otomasyon yardimiyla düzeltilmekte ve paralel baglanti gerçekleştirilebilmektedir. Sistemin her çalışmasında bu islem bir defa yapılmaktadır. Koruma ve kontrol fonksiyonlarının geliştirilmiş olması nedeniyle yapılan çalışmanın endüstride kullanılması mümkün olabilecek yapıdadır. Ayrıca, mühendislik eğitiminde öğrenciler deneylerini daha görsel ve etkin bir ortamda gerçekleştirebilecekler ve asagidaki belirtilen kazanimlari elde edeceklerdir:

1. Alternatör ve sisteme ait gerilim, frekans, faz sirasi ve faz açılarının ölçümlemleri yapabilecekler.
2. Paralel bağlantı için gerekli olan dört şartın nasıl sağlandığını öğrenecekler.
3. Paralel bağlantı şartlarından birisinin veya birkaçının yerine getirilmemesi durumunda paralel bağlantı yapıldığında, sistemde ne gibi tepkilerin olabileceğini görecekler.
4. Alternatörün paralel bağlantıya geçmesinden sonra, sistemde meydana gelecek arızalardan (faz kopması vb) sistemin nasıl korunduğunu görecekler.
5. Paralel bağlı sistemin dengesiz yükler altındaki tepkisini öğrenecekler.
6. Paralel bağlantı için işlem sırasını görsel olarak LCD ekrandan takip edecekler.
7. Sistemde meydana gelecek dengesizliğin (gerilim, frekans, faz açısı gibi) hangi noktada oluştuğunu LCD ekran üzerinden görüp, sistem tarafından nasıl düzeltildiğini takip edecekler.

Tasarlanan devre, faz kopukluğu, dengesizlik ve benzeri uyarıları LCD ekranda belirtmesinin yanında LED'ler yardımı ile sistem operatörünün uyarılmasını da sağlamaktadır.

Tasarlanan otomatik paralel bağlanma deney setinde mikrodeneleyici kullanıldığı için maliyet düşürülmüş ve kullanılan harici eleman sayısı (voltmetre, ampermetre, senkronoskop) ve bu elemanlara ait olan karmaşık kablo bağlantıları ortadan kaldırılmıştır. Devrenin fiziki yapısı güçlümüş, düşük maliyetli ve güvenilir olması sağlanmıştır. Sayısal bir kontrol yöntemi kullanılarak yanlış bağlantı ve hatalı ölçüm gibi sakıncalar ortadan kaldırılmıştır Devrede kullanılan donanım yapısı öğrencilerin ilerde endüstride karşılaşacakları ürünlerle benzer yapıda olduğundan mezuniyet sonrası yeni bir ürünü öğrenme sürecini kısılacaktır.

TESEKKÜR(Acknowledgment)

Yazarlar, bu çalışmaya proje kapsamında 07/2007-04 nolu proje ile destek veren Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu'na teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (References)

1. Çolak I., "Senkron Makineler", Gazi Üniversitesi, Ankara, 2003
2. Pesint A., "Senkron Makineler", M.E.B, Ankara, 1975
3. Guru B. S. And Hiziroglu H. R., "Electric Machinery and Transformers" USA, 1995
4. Mozina J. C., "Interconnection Protection of IPP Generators at Commercial Industrial Facilities" Manager Application Engineering, Protection & Protection Systems IEE 2000, e-mail: marketing@beckwithelectric.com

5. Eberly W. T, Schaefer C. R, "Voltage Versus Var/Power-Factor Regulation on Synchronous Generators" Industry Conference, Toronto 21. June. 2002 IEEE, California Edison Company, e-mail: Thomas.Eberly@sce.com Basler Electric Company, e-mail: richardschaefer@basler.com

6. Wenhua L., Ding R., Zhonghong W., "Integrated Optimal Control of Speed, Excitation and Load Sharing of Parallel Operating Diesel Generator Sets", IEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, Department of Electrical Engineering Tsinghua University December 1993, Hong Kong

7. Lin H. C., "Remote Power System Harmonics Measurement and Monitor via the Internet", Conference on Cybernetics and Intelligent

Systems, Singapore, December, 2004 IEEE Department of Automation Engineering, Chien Kuo Technology University, Taiwan, e-mail: hclin@cc.ckit.edu.tw

8. Montero L. R. R., Wellington S. M., Member, "Monitoring and Control System Based On Microcomputer For Synchronous Generator", Member, IEEE, 1997 Marlon Wilfred Gemerts Department of Electrical Engineering UFPB/CCT/ - Campus II, Caixa Postal 10105 - 58109-970 - Campina Grande Pb - Brazil e-mail: rosales@dee.ufpb.br

9. Henderson D. S., Lothian K., Priest J., "Pc Based Monitoring and Fault Prediction For Small Hydroelectric Plants", Conference Publication No.452, IEE, 1998 Napier University.

10. Brock J. L., "Design and Implementation Of A Fuzzy Logic-Based Voltage Controller For Voltage Regulation Of A Synchronous Generator", Montana State University Bozeman, MT 59717, e-mail: lameres@montana.edu

11. Altınbasak O., "Mikrodeneleyiciler ve PIC Programlama", Ekim, 2005

12. Çolak I., Bayindir R., Sefa I., "Experimental Study on Reactive Power Compensation Using A Fuzzy Logic Controlled Synchronous Motor", Energy Conversion And Management, 45 (15-16), 2371-2391, September 2004.

13. Çolak, I., Bayindir, R., "Güç Katsayısının Bir Mikrodeneleyici Kullanarak Ölçümü", Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(1-2), 50-58, 2003.

14. Bayindir, R., Ates, H., "PIC Kontrollü Sürtünme Kaynak Makinesi Tasarımı ve

Uygulaması”, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi,
Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi,

15. Çolak, I., Bayindir, R., “**Elektrik kumanda Devreleri**”, Seçkin Yayıncılık 2004 Ankara.

16. Taddune G.,”Unit Load Share Generator System Control Package” 2005, **Woodward Data Sheet** ,
USA, www.woodward.com

17. Sülün E., Aslan M., Çakır A., “**Elektronik Devre Uygulamaları 2**” 2003, İstanbul

18. Analog Devices “**AD536 Data sheet**” Inc. 1999
www.analog

ÖZGEÇMİS

Kişisel Bilgiler

Soyadi, adi : GARIP, Ilhan
 Uyrugu : T.C.
 Dogum tarihi ve yeri : 10.02.1963 Zile/TOKAT
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 4412425
 e-mail : milhangarip@hotmail.com, ilhan.garip@trt.net.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Ünive. FBE /Elektrik Eğitimi Bölümü	1996
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Elektrik Eğitimi Bölümü	1985
Lise	Turhal Endüstri Meslek Lisesi	1980

İs Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-2008	TRT APK Dai. Başkanlığı	APK Uzman
2005-2006	TRT Dis Yayınlar Dai. Başkanlığı	Başkan Yardımcısı
2005-2005	TRT Yayın Planlama D.Bşk.	Uzman
2004-2005	TRT TV Dai. Başkanlığı	Drama ve B. Müdürü
2003-2004	TRT Ankara TV Md.	Prod. Kay. Müdür. Yrd.
1996-2003	TRT Ankara TV Md.	Sef Kameraman
1990-1996	TRT Ankara TV Md.	Kameraman
1988- 1990	TRT Ankara TV Md.	Kamera Asistanı
1985-1987	TRT Vericiler Dai Bas.	Diyarbakir

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Sefa I., Demirtas M., Garip I., Çolak I. “Alternatörlerin Paralel Bağlanma Deney Setinin Eğitim Amaçlı Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi” **Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi** Gazi Üniversitesi 2007-164 (Kabul edildi), (2008).

Tamamladığı Projeler

- 2007-2008 yılları arasında Gazi Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenen “Elektrik Enerjisi Üretim Sistemleri için Otomatik Paralel Bağlanma Ünitesi” konulu proje çalışması tamamlanmıştır. (R. BAYINDIR, I. SEFA, I. GARIP). No: 07/2007-04, 2008.

Hobiler

Güç elektroniği, Fotoğrafçılık, Seyahat