

ALTERNATÖRLERİN PARALEL BAĞLANMA DENEY SETİNİN EĞİTİM AMAÇLI TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

İbrahim SEFA, Mehmet DEMİRTAŞ, İlhan GARİP ve İlhami ÇOLAK

GEMEC-Gazi Elektrik Makineleri ve Enerji Kontrol Grubu, Elektrik Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500 Beşevler Ankara,
isefa@gazi.edu.tr , mehmetd@gazi.edu.tr, milhangarip@hotmail.com, icolak@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 26.11.2007; Kabul/Accepted: 18.01.2008)

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 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 EDUCATIONAL 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 experimental unit developed can be used as an alarm circuit for industrial purposes at the conditions of phase disconnections.

Keywords: Parallel connection, microcontroller, phase lines, phase angle, equality of frequencies and voltages

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İşletme veriminin yükseltilmesi, arz güvenliğinin sağlanması ve tüm alıcıların ihtiyacını karşılayabilecek güçte alternatör üretilmemesi gibi sebeplerle alternatörler güç ihtiyacına göre paralel bağlanarak alıcıların 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. Paralel bağlamayı gerçekleştirmek için aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır [1-3].

- 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 mikrodnetleyici, mikro işlemci yada bilgisayar kontrollü olarak sağlanmaktadır. [3-7]. 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 mikrodnetleyici 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

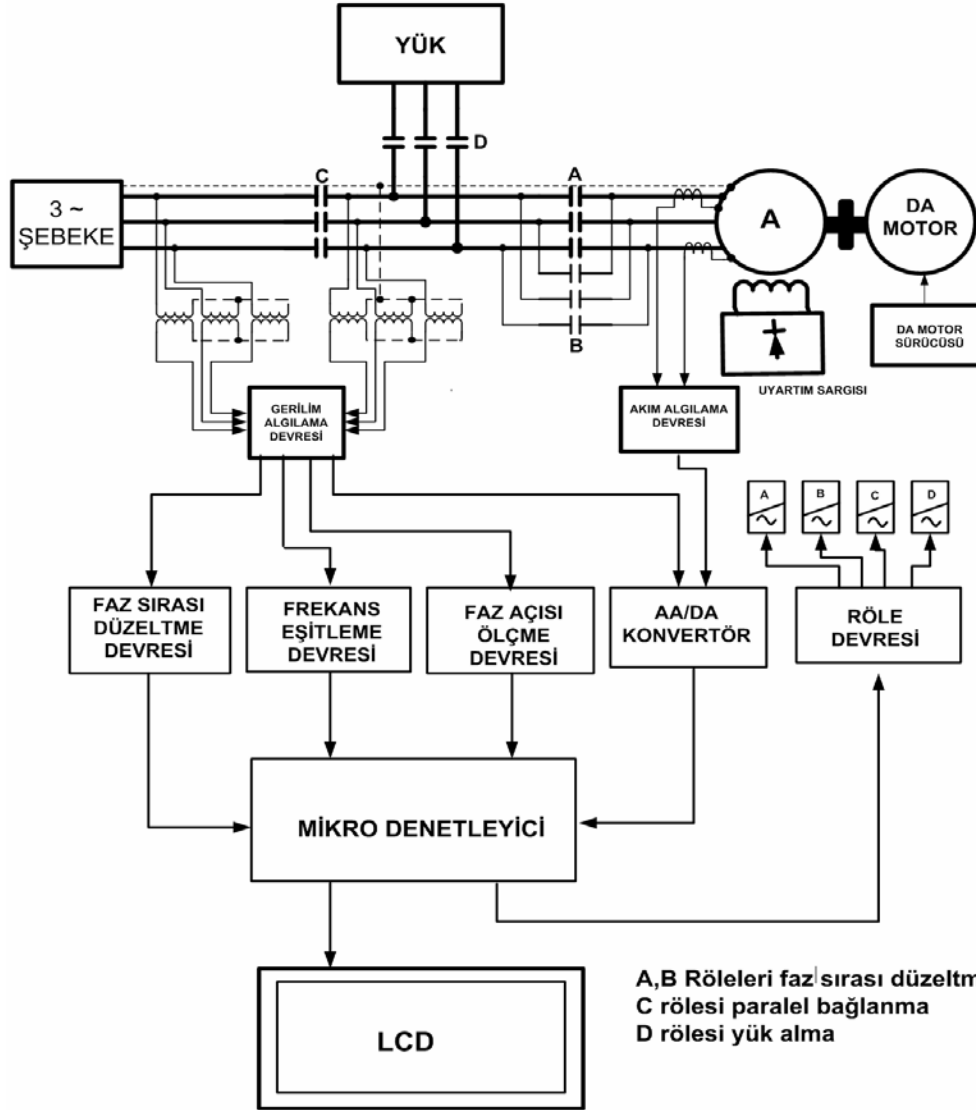
çalışmada, motor-generatör setlerinde ölçümler yapabilen sistemler geliştirilmiş ve üniversite öğrencilerinin yaptığı deneylerin sonuçları olan çeşitli elektriksel ve mekaniksel değerleri ekranda görebilmeleri sağlanmıştır [9].

Yapılan bu çalışmalarda mikrodnetleyicilerin önemi kuşkusuz çok büyüktür. Mikrodnetleyiciler 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 [11-14].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, henüz alternatörlerin paralel bağlanmasının eğitimine yönelik bir çalışmanın yapılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada öğrencilerin eğitimini güncel teknolojilerle desteklemenin yanında, mikrodnetleyicilerin farklı alanlarda uygulanabilirliğine bir örnek olması açısından, teknik eğitim ve mühendislik eğitiminde yeni bir yaklaşımın hayata geçirilmesi amaçlanmıştır. Alternatörlerin paralel bağlanma işlemi mikrodnetleyici 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 kullanılmaktır. Çalışmada C programlama dili kullanılarak hazırlanan yazılım ile mikrodnetleyici programlanmıştır. Alternatörlerin paralel bağlanma şartlarından olan; faz sırası, gerilim, frekans ve faz açısı eşitliklerini sağlayan mikrodnetleyicili 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; mikrodnetleyici kartı, LCD ekran, faz sırası kartı, faz açısı kartı, akım

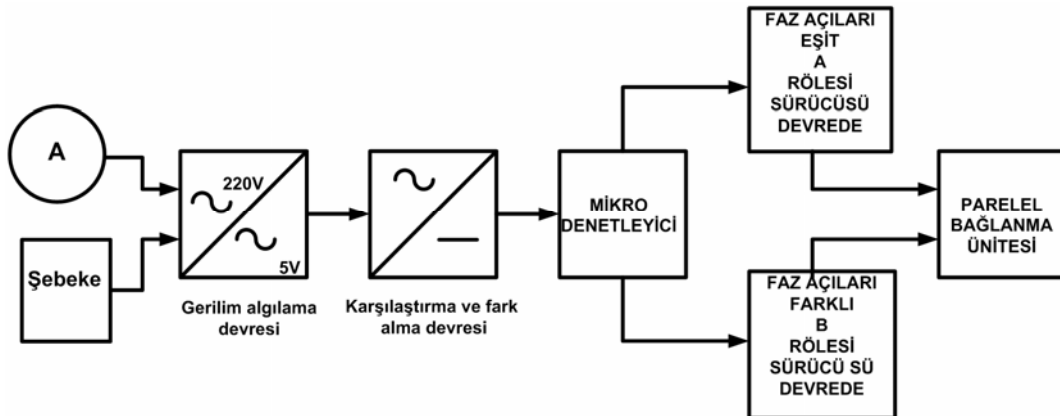


Şekil 1. Otomatik paralel bağlanma deney setinin blok diyagramı (Block diagram of the automatic parallel operation experiment unit)

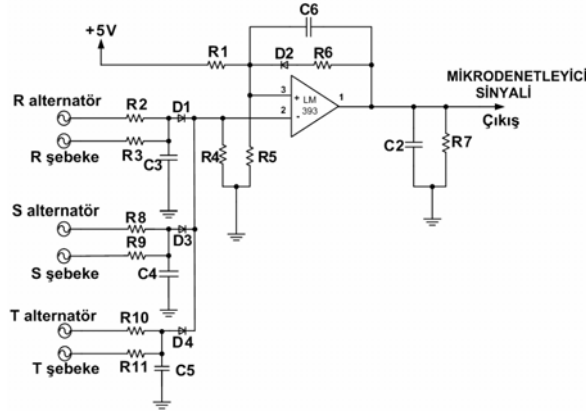
ve gerilim algılama kartı, konvertör, güç devresi, röle kartı ve kontaktörlerden oluşmaktadır. Tasarım ve uygulamaları gerçekleştirilen bu devrelere ait bilgiler ve devre şemaları aşağıdaki alt başlıklarda detaylı olarak verilmiştir.

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



Şekil 2. Faz sırası eşitliği uygulama blok şeması (Block diagram of phase orders equality)



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

entegresi, direnç ve kondansatör guruplarından oluşan, Şekil 3'deki karşılaştırma ve fark alma devresinden geçirilir. Karşılıklı fazlar arasında fark var ise, bu sinyal devre çıkışından mikrodnetleyiciye sayısal olarak 1 değeri gönderir ve mikrodnetleyici B rölesini devreye alarak faz sıralarının değişmesini, açısal farkın sıfır olmasını ve faz sıralarının doğru olarak bağlanmasını sağlar.

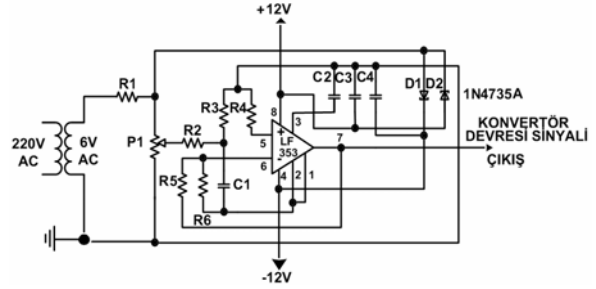
Fazlar arasında açısal fark yok ise, karşılaştırma devresi mikrodnetleyiciye sayısal olarak 0 değerini gönderir ve mikrodnetleyici A rölesini devreye alarak faz sıralarının doğru olarak bağlanmasını sağlar. DA seviyeye dönüştürülen bu fazlara ait sinyallerin farkları mikrodnetleyici tarafından sayısal 1, 0 olarak karşılaştırılır. Faz sıraları doğru ise (R_a-R_s ve S_a-S_s fazları arasındaki açı sıfır) fazlar arasındaki açı farkı sıfır olup mikrodnetleyiciye 1 gönderilir.

Mikrodnetleyici A rölesine ait sürme devresini çalıştırarak, doğru faz sırasını A rölesi üzerinden gerçekleştirir. Fazlar arası açı farkı 120^0 olduğunda ise mikrodnetleyici karşılaştırma devresinden gelen 0 sinyali ile B rölesi sürme devresini çalıştırarak doğru faz sırasını B rölesi üzerinden gerçekleştirir. B rölesi kontakları B alternatörüne ait olan iki fazın yerinin değiştirilmiş olarak uç bağlantıları gerçekleştirildiği için, alternatör faz sıraları yanlış bağlanmış olsa dahi, paralel bağlantı doğru 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.

2.1. Gerilimlerin eşitliği (Equality of voltages)

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

Bu devre sitemin kararlılığını sağladığı gibi kısa süreli

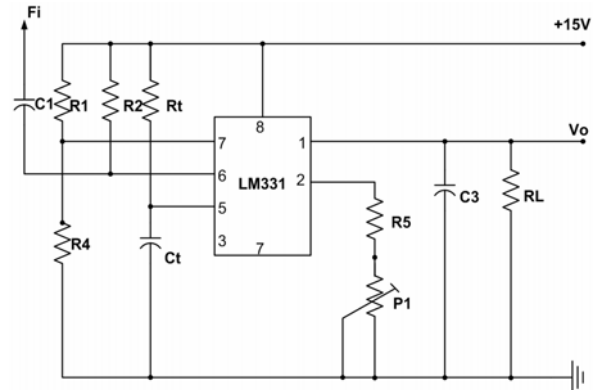


Şekil 4. Gerilim algılama devresi (Voltage sensing circuits)

ani değişimlere hızlı tepki vermesini engellemek amacıyla yönelik olarak da kullanılmıştır.

2.2. Frekansların eşitliği (Equality of frequencies)

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



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

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

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

burada;

V_0 =Dönüştürülen frekansın DA değeri

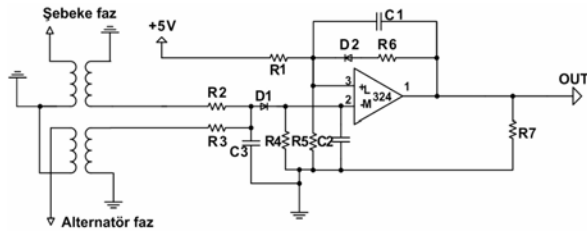
F_i =Alternatör frekansı değeri

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

2.3. Faz açılarının eşitliği (Equality of phase angles)

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

Mikrodnetleyici sinyaller arası fark sıfır oluncaya kadar DA motorun hızını artırır veya düşürür. Fark sıfır olduğu anda faz açısı eşitliği (ince senkronizasyon) sağlanmıştır. Bu anda mikrodnetleyici paralel bağlanma rölesini devreye alır. Otomatik paralel bağlanma gerçekleştirilir. Şekil 6'da görülen, LM324 entegresi, ölçü trafoları, direnç ve kondansatör guruplarından oluşan devrenin çalışması aşağıdaki gibidir.



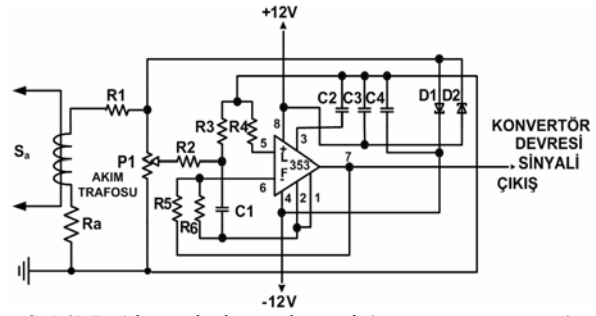
Şekil 6. Faz açısı ölçme devresi (Phase angle measuring circuit)

Faz açısı ölçme devresi paralel bağlanacak şebeke ve alternatörlerin aynı fazları arasındaki açısal farkı DA sinyale dönüştürür. $E_a - E_s = e$ gibi bir gerilim farkı var ise fazlar arasında açısal fark var demektir. Mikrodnetleyici bu fark sinyali kadar PWM üretmek 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 açıları eşitliği sağlanmıştır.

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

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

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 guruplarından oluşan akım algılama devresi tarafından ölçülmektedir. Ölçülen bu değerler ise; AA/DA konvertör üzerinden mikrodnetleyicinin analog

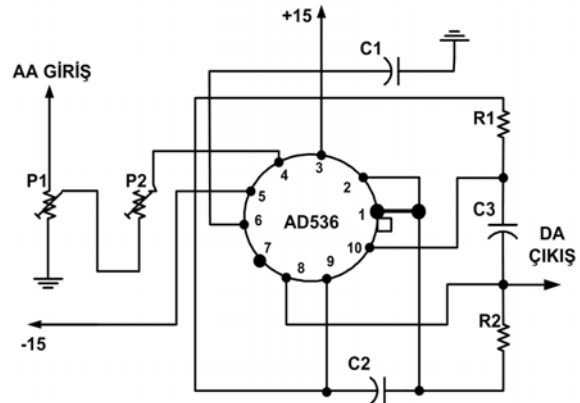


Şekil 7. Akım algılama devresi (Current sensing circuit)

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 mikrodnetleyici paralel bağlanma işlemi otomatik olarak bitirir.

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



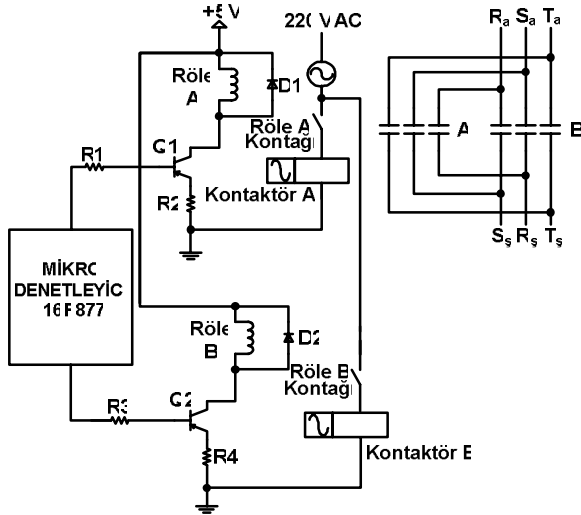
Şekil 8. AA/DA Konvertör devresi (True RMS to DC Converter circuit)

Burada; AA olan sinyaller DA'ya dönüştürülüp mikrodnetleyici ölçüm sınırları içinde olan 3V seviyesine indirilir [15]. Mikrodnetleyicinin analog girişlerine uygulanır. Mikrodnetleyici 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. Şekil 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 aşılmamalıdır [1, 2, 10].

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

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



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

Faz sırası düzeltme anahtar elemanları olarak 2 adet, paralel bağlanma devre elemanı olarak 1 adet kontaktör kullanılmıştır. Elektriksel açı farkı oluştuğunda 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 bağlanma rölesini devreye alarak paralel bağlanmayı gerçekleştirir. Bu bilgiler LCD ekranda görsel olarak izlenebilmektedir. Sistemin akış diyagramı Şekil 10'da verilmiştir. Bu çalışmada yukarıda anlatılan teoriler sırası ile uygulanarak deney gerçekleştirilmiştir. Deney sonucuna ait veriler ve osiloskop görüntüleri deney sonuçları bölümünde sunulmuştur.

2.7. 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. Şekil 10'da blok diyagram olarak verilen devrede 16F877 mikrodenetleyicisi, dört satır LCD ve C bilgisayar programlama dilinde yazılmış program kullanılmıştır.

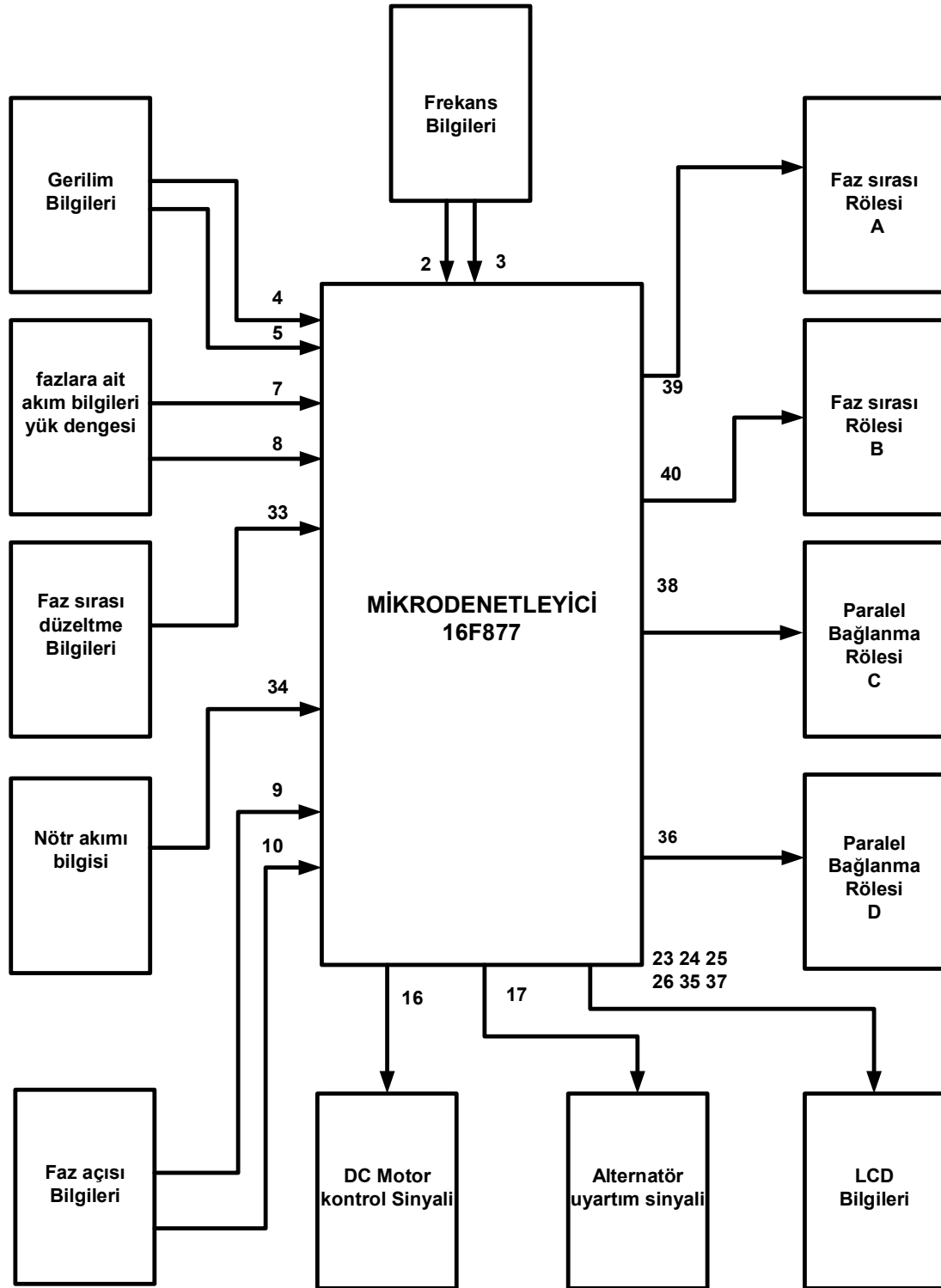
Mikrodenetleyici devresinde, 33 nolu uç faz sırası eşitliği için sayısal sinyal girişidir. Giriş sinyaline bağlı olarak 39 ve 40 nolu uçlar A ve B rölesi kontrol sinyal çıkışlarıdır. 2 ve 3 nolu uçlar frekans bilgisi girişleri, 4 ve 5 nolu uçlar gerilim bilgisi girişleri, 9 ve 10 nolu uçlar faz açısı 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 sargısı kontrol sinyalidir. 23, 24, 25, 26, 35 ve 37 nolu uçlar ise LCD bilgilerine ait çıkışlardır.

2.9 Sistem akış diyagramı (Flowchart of the system)

Sistemin Şekil 11'de verilen akış diyagramında, başla komutundan sonra alternatörlere ait faz gerilim değerleri okunur. Eğer gerilimler eşitse, LCD'ye yazdırılıp sonraki komuta geçilir. Değilse, alternatör uyarım akımını ayarlayan, 17 nolu uçtan alınan sinyalle gerilim eşitliğini sağlar. Bu bilgiler LCD'ye yazdırılır ve sonraki işleme geçilir. Bir sonraki aşamada frekans eşitlikleri kontrol edilir. Frekanslar eşit değilse, DA motor sürücüsüne 16 nolu çıkıştan kontrol sinyali gönderilir ve frekans eşitliği 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 eşitliği sağlar. Bilgileri LCD'ye yazdırır ve sonraki işleme geçer. Faz açısı eşitliği kontrolü yapılır, eşit değilse 16 nolu çıkışla DA motorun hızı ayarlanarak açısız eşitlik 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 aşıyorsa (%34 ve daha fazla ise) sistem çalışmayı sonlandırır [15].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Şekil 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.



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

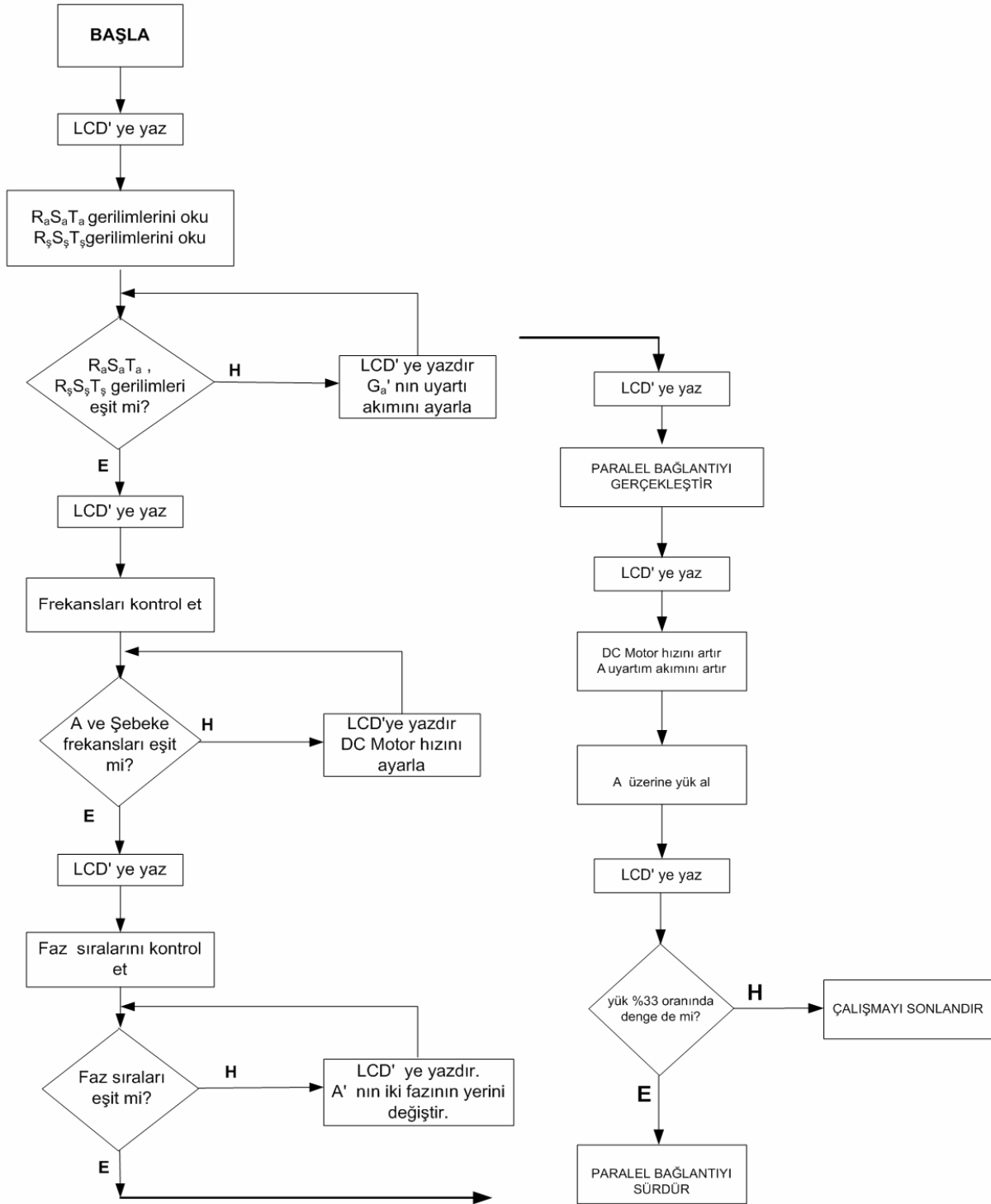
Şekil.13'de uygulama gerçekleştirilirken sırasıyla LCD ekranda kullanıcıya verilen bilgiler gösterilmiştir. Verilen bu bilgiler ile kullanıcı paralel bağlantının her aşaması konusunda bilgilendirilmektedir.

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 boşa 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



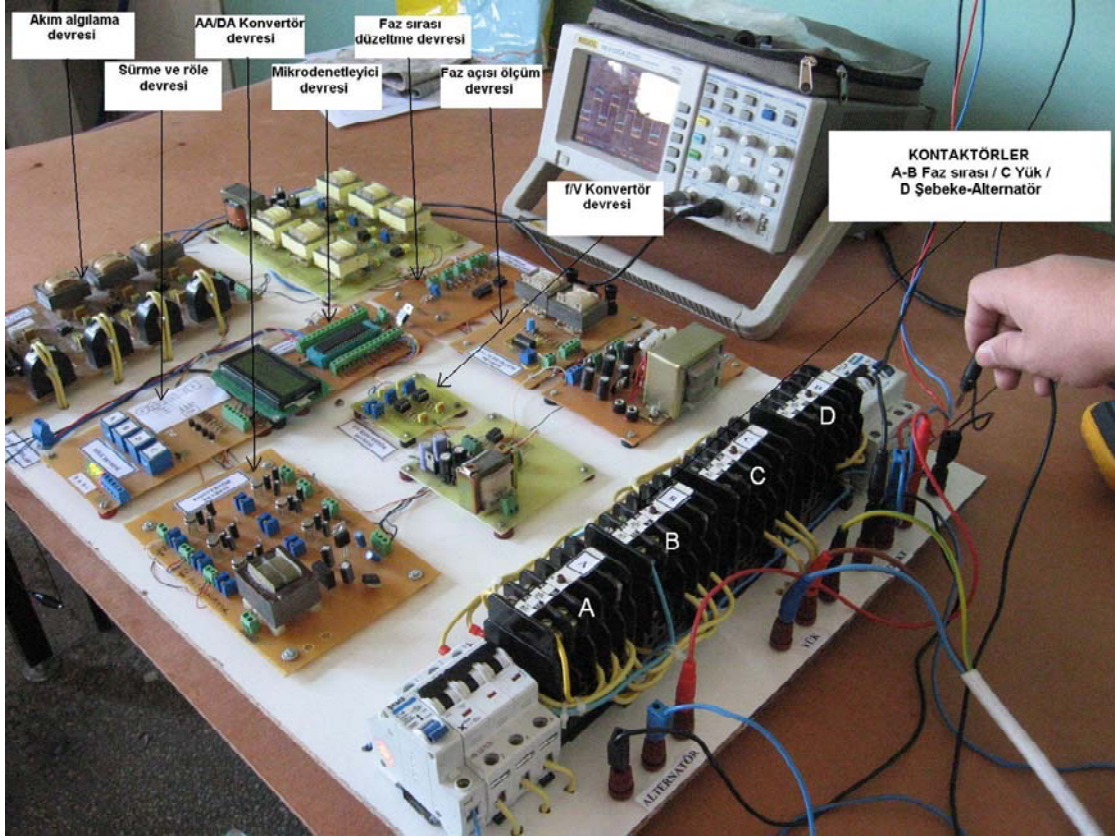
Şekil 11. Sistemin akış diyagramı (Flowchart of the system)

mikro denetleyiciye sayısal 1 sinyali gönderilir, mikrodenetleyici A rölesine ait sürme devresini çalıştırır. A rölesi ve ona bağlı A kontaktörü devreye girer.

Bu an faz sırası eşitliğinin olduğu andır ve bir sonraki işleme geçilir. Faz sırası eşit değilse ($S_a-R_{\check{s}}$, $R_a-S_{\check{s}}$, $T_a-T_{\check{s}}$ gibi) mikrodenetleyiciye sayısal 0 sinyali gönderilir, mikro denetleyici B rölesi sürme devresini çalıştırır. B rölesi ve ona bağlı B kontaktörü devreye girer. Bu anda faz sırası $R_a-R_{\check{s}}$, $S_a-S_{\check{s}}$, $T_a-T_{\check{s}}$ olarak

düzeltilir. Şekil 14'deki bilgiler LCD ekranda yazdırılır.

e) Şebeke ve alternatöre ait frekans bilgileri f/V konvertörüyle DA gerilim değerine dönüştürülür. Şebeke frekansına ait DA değeri mikrodenetleyiciye "referans" olarak, alternatöre ait DA değeri ise mikro denetleyiciye "değişken" değer olarak girilir. Mikro denetleyici sinyal değerleri eşit olursa bir sonraki işleme geçer ve çıkış bilgilerini LCD ekrana yazdırır. Sinyaller arasında fark varsa, değişken sinyal referans

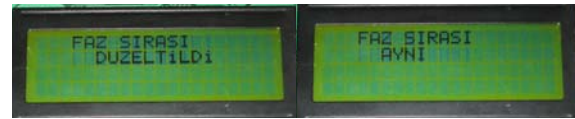


Şekil 12. Deney setine ait fotoğraf (Photograph of experimental unit)

sinyale eşit oluncaya kadar mikrodenetleyici DA motorunun hızını artırır veya düşürür.



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



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

Sinyaller eşit olduğu zaman Şekil 15'de görüldüğü gibi "frekans eşitliği sağlandı" bilgisi verilir ve bir sonraki işleme geçilir.

d) Şebeke ve alternatöre ait gerilim bilgileri AA/DA konvertörde DA gerilim değerine dönüştürülür. Şebeke gerilimine ait DA gerilim değeri mikrodenetleyiciye "referans" olarak, alternatöre ait DA gerilim değeri mikro denetleyiciye "değişken" değer olarak girilir. Mikro denetleyici sinyal değerlerini kontrol eder. Sinyaller eşit olursa bir sonraki işleme geçer ve çıkış bilgilerini LCD ekrana

yazdırır. Sinyaller arasında fark varsa, değişken sinyal referans sinyale eşit oluncaya kadar mikrodenetleyici



Şekil 15. Frekans bilgileri (Information of frequencies)



Şekil 16. Gerilim bilgileri (Information of voltages)

alternatörün uyarım akımını artırır veya düşürür. Sinyaller eşit olduğu zaman Şekil 16'da görüldüğü gibi "gerilim eşitliği sağlandı" bilgisi verilir ve bir sonraki işleme geçilir.

e) Şebeke ve alternatörün aynı adlı fazlarına (R_a - R_s) ait gerilim bilgileri, faz açısı ölçme devresinde 1K'lık bir direnç üzerinden birleştirilir. Sinyaller arasında açısal fark var ise bu fark kadar bir sinüs elde edilir. Sinyaller arasında açısal fark yok ise birleşme noktasında 0 değeri elde edilir. Elde edilen bu açısal fark sinyalleri, faz açısı ölçme devresinde DA gerilim değerine dönüştürülür. Bu DA gerilim değeri, mikro denetleyiciye "değişken" değer olarak girilir. Açısal fark değerinin 0 olduğu andaki değer elde edilen DA gerilim değerinin en büyük olduğu değerdir. Bu DA gerilim değerine eş bir sinyal ise mikrodenetleyiciye referans değer olarak girilir. Mikro denetleyici bu sinyalleri karşılaştırır.

Elde edilen fark kadar DA motorunun hızını artırıp veya düşürerek “ Açısal fark'ın 0° ” olması sağlanır. Eşitlik sağlandıktan sonra Şekil 17’de görüldüğü gibi bu bilgiler LCD ekrana yazdırılır ve sonraki işleme geçilir.



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

f) Bu şartlar sağlandıktan sonra sistem D kontaktörünü devreye alarak otomatik olarak paralel bağlanma konumuna geçer ve Şekil 18’de görüldüğü gibi ekrana paralel bağlanma bilgisi yazılır. Mikro denetleyici tüm sistemi çalışma süresince kontrol etmeye devam eder. Şartlardan herhangi birisi bozulduğunda LCD ekranına yazdırır ve D kontaktörü devreden çıkar. Paralel bağlantı sona erer. Bozulan eşitlik otomatik olarak yeniden sağlandığında, paralel bağlanma otomatik olarak yeniden sağlanır.



Şekil 18. Sonuç bilgileri (Information of results)

g) Alternatör paralel bağlı iken DA motorunun hızı ile alternatör üzerindeki aktif yük, alternatör uyarım sargısı akımı ile de alternatör üzerindeki reaktif yük kontrol edilir. Bu işlemler mikrodnetleyici tarafından otomatik olarak sağlanır. Şekil 19’da görüldüğü gibi alternatör fazları arasında dengesiz akım çekilir ve bu oran %33 aşarsa çalışma otomatik olarak sonlandırılır.



Şekil 19. Akım dengesizlik bilgisi (Information of unbalance currents)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada bir alternatörün şebekeye paralel bağlantısına ilişkin eğitim amaçlı PIC kontrollü bir deney seti gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, alternatör ve şebekeye ait gerilim, akım, frekans, faz sırası, faz açısı gibi temel ölçümlerin yapılıp, paralel bağlanmadan önce faz sırasının doğruluğu PIC yardımı ile sağlandıktan sonra otomatik olarak paralel bağlantının gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmada faz sıraları yanlış bağlanmış olsa dahi mikrodnetleyici yardımı ile faz sırası otomasyon yardımıyla düzeltilmekte ve paralel bağlantı

gerçekleştirilebilmektedir. Sistemin her çalışmasında bu işlem 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 aşağıdaki belirtilen kazanımları elde edeceklerdir:

1. Alternatör ve sisteme ait gerilim, frekans, faz sırası ve faz açılarının ölçümlerini 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 görecekleler.
4. Alternatörün paralel bağlantıya geçmesinden sonra, sistemde meydana gelecek arızalardan (faz kopması vb.) sistemin nasıl korunduğunu görecekleler.
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 mikrodnetleyici 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. 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.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

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

SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

C_T	f/V konvertör kazanç kapasitörü (Farad)
E_a	Dönüştürülmüş alternatör faz gerilimi (V)
E_s	Dönüştürülmüş şebeke faz gerilimi (V)
F_i	f/V konvertörün giriş frekansı(Hz)

R_s f/V konvertör hassasiyet çıkış direnci (Ω)
 R_L f/V konvertör çıkış direnci(Ω)
 R_T f/V konvertör kazanç direnci (Ω)
 R_{V1} f/V konvertör hassasiyet çıkış ayar potansiyometresi (Ω)
 V_0 f/V konvertörde dönüştürülen frekansın DA gerilimi(V)
 $V_{\text{ÇIKIŞ}}$ AA/DA konvertör DA çıkış gerilimi (V)
 $V_{\text{GİRİŞ}}$ AA/DA konvertör AA giriş gerilimi (V)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Çolak İ., “Senkron Makineler”, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2003.
2. Peşint A., “Senkron Makineler”, M.E.B, Ankara, 1975
3. Guru B. S. And Hızıroğlu 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. Altınbaşak O., “Mikrodenetleyiciler ve PIC Programlama”, Ekim, 2005
12. Çolak İ., Bayındır R., Sefa İ., “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, İ., Bayındır, R., “Güç Katsayısının Bir Mikrodenetleyici Kullanarak Ölçümü”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(1-2), 50-58, 2003.
14. Bayındır, R., Ateş, H., “PIC Kontrollü Sürtünme Kaynak Makinesi Tasarımı ve Uygulaması”, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi,
15. Çolak, İ., Bayındır, 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.com