

# ALTERNATÖRLER İÇİN MİKRODENETLEYİCİ TABANLI FAZ SIRASI DOĞRULUĞU VE FAZ KOPUKLUĞU UYARI SİSTEMİ

**Ramazan BAYINDIR, İlhami ÇOLAK, İlhan GARİP\* ve Sertaç BAYHAN\*\***

GEMEC Gazi Elektrik Makineleri ve Enerji Kontrol Grubu, Elektrik Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi,  
Gazi Üniversitesi, 06500 Beşevler/ANKARA

\* TRT Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Oran/ANKARA

\*\* Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Başkent Üniversitesi, 06530 Etimesgut/ANKARA

(Geliş/Received: 15.04.2008 ; Kabul/Accepted: 26.12.2008)

## ÖZET

Alternatörlerin paralel bağlanması anında faz sıraları doğruluğunun ve faz kopukluğunun sistem operatörüne bildirilmesi için bu çalışma yapılmıştır. Sistem, faz sırasının doğruluğunu tespit edebilmek için öncelikle faz açılarını ölçer ve bu değerlere ait parametreleri 16F877 mikrodeneleyicisinde C programlama dilinde yazılan program tarafından değerlendirir, daha sonra faz sıralarını belirler. Geliştirilen sistemin çıkışında kullanılan bir alarm devresi yardımı ile üç fazlı sistemlerin faz kontrolü de yapılmaktadır. Faz kopmalarının meydana gelmesi durumunda, operatöre görsel ve işitsel bilgi verilir. Bu çalışmanın temel amacı, alternatörlerin paralel bağlanması öncesi ve sonrası durumlar için mühendislik öğrencilerinin eğitimi olup endüstride de kullanılabilir olacak yapıda olmasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Paralel bağlanma, mikrodeneleyici, faz sırası, faz açısı, alarm devresi.

## MICROCONTROLLER BASED WARNING SYSTEM FOR RIGHT PHASE ORDER AND PHASE COLLAPSE FOR ALTERNATORS

### ABSTRACT

In this study, a system has been designed for right phase order and phase collapse during the parallel connection of alternators. The system measures the phase angle to determine the right phase order and evaluate the parameters in 16F877 microcontroller by using a program written in C programming language. Three phase system is examined by an alarm circuit used at the output of the system developed. If a phase collapse occurs, the visual and auditory data is given to the operator. The main purposes of this study are to use the operations before and after the parallel connection of alternators for engineering education and for industrial products.

**Keywords:** Parallel connection, microcontroller, phase order, phase lines, phase angle, alarm circuit.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güç sistemleri artan yük ihtiyacını karşılayabilmek için paralel çalışmak zorundadırlar. Paralel çalışan sistemlerde yüksek verim sağlayabilmek için, yük ihtiyacı kadar güç sistemi devreye alınmalıdır. Aynı zamanda, bu sistemlerin faz bilgilerinin de sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Sistem operatörleri, faz kopukluğu, faz sırası, akım, frekans, gerilim ve yük bilgilerini sürekli kontrol altında tutmak zorundadırlar [1]. Bu işlemlerin kolaylıkla yapılabilmesi için pek çok ve yeni otomasyon sistemleri geliştirilmiştir [2]. Endüstride maliyetleri düşürerek en iyi

sonuca ulaşmak temel hedeftir. Eğitimde ise, anlaşılabilirlik ve öğrenim kolaylığı ön plana çıkmaktadır. Otomatik paralel bağlanmada, geleneksel yöntemlerde olduğu gibi faz sırası, faz açısı, frekans ve gerilim eşitliği göz önüne alınmakta ve bu şartlar mikrodeneleyici, mikroişlemci veya bilgisayar kontrollü olarak sağlanmaktadır [3-7]. Bunun yanında, paralel bağlanma sisteminin gerilim ve akım bilgilerinin değerlendirilmesi ve rölelerin kontrolü mikrodeneleyici tabanlı olarak yapılmaktadır [3]. Bu gelişmelere paralel olarak, mikroişlemci ve LabVIEW tabanlı programlama teknikleri ile güç sistem harmoniklerinin ve parametrelerinin internet aracılığı ile uzak-

tan gözlemlenmesi ve ölçümü gerçekleştirilmiştir [6]. Türbinler ve senkron makinelerin 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 edilip izlenmektedir [7]. Yapılan çalışmalar alternatörlerin paralel bağlanabilmesi için benzer karakteristik özelliklerde olması gerektiğini, frekans farkı, faz açısı farkı ve gerilim farkının minimum olması gerekliliğini göstermiştir [8, 15]. Bir başka çalışmada, motor-alternatör setlerinde ölçümler yapabilen sistemler geliştirilmiş ve üniversite öğrencilerinin yaptığı deneylerin sonuçları olan çeşitli elektriksel ve mekaniksel değerleri ekranda görebilmeleri sağlanmıştır [9]. Yukarıda bahsedilen tüm çalışmalarda mikro denetleyicilerin önemi vurgulanmıştır. Mikrodenetleyiciler güç katsayısı ölçme işlemi ve reaktif güç kompanzasyonu, senkron motorun uyarım akımını değiştirerek güç katsayısının kontrolü ve asenkron motorlar için yol verme ve koruma rölesi uygulaması gibi çok farklı uygulamalarda kullanılmaktadır [11-13, 15]. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, paralel bağlı çalışan sistemlerin, faz kopukluğu ve faz sıralarının otomatik olarak düzeltilmesi konusunun mikrodenetleyici kontrollü olarak gerçekleştirilmesinin birlikte ele alınmadığı görülmektedir. Endüstride ve güç sistemlerindeki alternatörlerin paralel bağlanması esnasında faz sıralarının aynı olması bir kez sağlandıktan sonra, bir daha böyle işleme ihtiyaç duyulmaz. Ancak, eğitim amaçlı yapılan deney setlerinde faz sıralarının doğruluğunun tespiti sürekli ihtiyaçtır. Çünkü eğitim alan öğrenciler hem paralel bağlantıda yanlış olan faz sıralarının nasıl düzeltildiğini, hem de yanlış faz sıralamasıyla paralel bağlantıya geçildiğinde ne gibi tepkilerin olabileceğini görmeleri gerekmektedir. Bundan dolayı, bu çalışmada alternatörlerin paralel bağlanması esnasında faz sıralarının doğruluğunun ve faz kopukluğunun tespitleri amaç olarak belirlenmiştir. Bu amaçlara uygun olarak, ilk önce faz sırasının doğruluğu tespit edilip paralel bağlanmanın mikrodenetleyici tarafından otomatik olarak yapılması sağlanmış, daha sonra ise

üç fazlı sistemlerde faz kontrolü yapılmış ve faz kopukluğu olduğu zaman sistem operatörü görsel ve işitsel olarak uyarılmıştır.

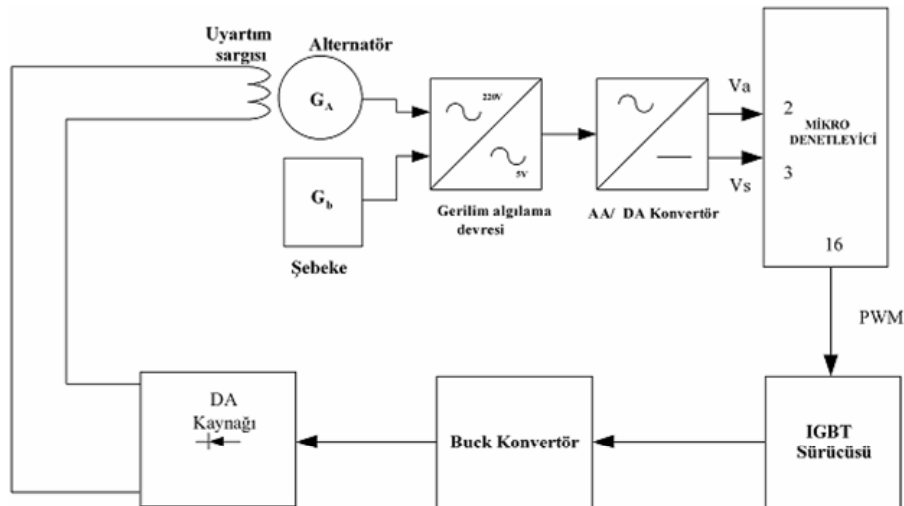
## 2. SENKRONİZASYON (SYNCHRONIZATION)

Alternatörlerin paralel bağlanması için öncelikle gerilim, frekans faz açısı ve faz sırası eşitliğinin sağlanması gerekmektedir. Yapılan çalışmada bu eşitlikler mikrodenetleyici tabanlı olarak tasarlanıp gerçekleştirilen paralel bağlanma ünitesi tarafından otomatik olarak sağlanmaktadır. Çalışmada şebeke sinyalleri referans olarak alınmış ve alternatör sinyalleri mikrodenetleyici tarafından şebekeye eşlenmiştir. Çalışmada alternatöre mekanik enerji endüvi gerilimi kontrol edilen bir DA motoru tarafından sağlanmaktadır. DA motorunun hız kontrolü ile frekans ve faz açısı eşitlikleri otomatik olarak ayarlanmaktadır. Sistemde ikinci kontrol ise alternatör uyarım sargısına uygulanan DA geriliminin kontrolüdür. Uyarım sargısı geriliminin kontrolü ile sistemin gerilim eşitliği sağlanmaktadır. Bu çalışmanın temel amaçlarından olan faz sıralarının eşitliğinin sağlanması ise çalışmada detaylı olarak açıklanmaktadır.

### 2.1. Gerilim eşitliği (Equality of Voltages)

Şebekeyle paralel bağlanacak alternatörün gerilim genliğinin şebekeye eşitlenmesi, alternatörün uyarım akımının ( $\Phi$  akısının) değiştirilmesi ile  $e = 4,44.f.n.\Phi$  bağıntısına göre yapılır. Bu işlem Şekil 1'de görüldüğü gibi mikrodenetleyici tarafından alternatör ve şebeke sinyallerinin karşılaştırılması ve aralarında gerilim farkı bulunuyorsa kullanılan anahtar elemanının iletim kesim sürelerinin ayarlanması ile uyarım akımının, dolayısıyla  $\Phi$  akısının ayarlanmasından ibarettir.

Gerilim eşitliğinin sağlanabilmesi için şebeke ve alternatöre ait faz gerilimleri gerilim algılama devresi tarafından AA/DA konvertör girişine uygun AA sinyale dönüştürülür. Bu sinyal AA/DA konvertör tarafından mikrodenetleyici girişine uygun Eşitlik.1'deki



Şekil 1. Gerilim eşitliği blok diyagramı (Block diagram of voltages equality)

DA sinyaline dönüştürülür.

$$V_{\text{çıkış}} = 2R_2 I_{\text{rms}} = V_{\text{giriş}} \quad (1)$$

Eşitlikten de anlaşılacağı üzere, konvertör giriş AA gerilim değeri, çıkış DA değerine her zaman eşit olur. Giriş değerindeki her türlü değişim çıkışı da aynı oranda değiştireceğinden mikrodenetleyici bu değişimleri analog girişlerinden algılamak suretiyle buck konvertör anahtarlama sinyali olan PWM sinyalinin darbeleme oranını değiştirir. Değişen darbeleme oranı alternatör uç geriliminin şebekeye sürekli eşit olarak kalmasını sağlayacaktır. Konvertör giriş ve çıkışları ayarlanabilir olduğundan çalışma aralığının mikrodenetleyicinin giriş gerilimi olan 0-5V DA değeri aşılmamalıdır.

## 2.2. Frekans ve Faz Açısı Eşitliği (Equality of Frequencies and Phase Angles)

Yapılan çalışmada, frekans ve faz açısı eşitliği C programlama dili kullanılarak ve Şekil 2'deki blok diyagramda görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir. Gerilim algılayıcı devresinden gelen Alternatör ( $G_1$ ) ve Şebeke ( $G_2$ ) fazlarına ait  $R_1$ - $R_2$  fazları sıfır geçiş anahtar devresinden geçirilerek kare dalgaya dönüştürülür. Şebeke ve alternatöre ait olan bu kare dalga sinyaller mikrodenetleyicinin 29 ve 30 nolu girişlerine uygulanır. Şekil 3'de görüldüğü gibi sinyaller önce frekans olarak karşılaştırılır. Aralarındaki fark kadar mikrodenetleyici tarafından PWM üretilen sinyalinin darbeleme oranı (duty cycle) değiştirilir. Darbeleme oranı ayarlanan PWM sinyali mikrodenetleyicinin 17 nolu çıkışından buck konvertörün anahtar elemanı olan IGBT'nin sürme devresine uygulanır. Buck konvertör DA motorunun hızını, frekanslar eşitlene kadar ayarlar. Frekans eşitliği sağlandıktan sonra Şekil 4'de görüldüğü gibi faz açılarının eşit olduğu ana kadar DA motorunun hızı kontrol edilir. Faz açısının eşitlendiği an senkronizasyon anıdır. Bu anda alternatör ve şebeke paralel bağlanırlar. Faz açısı ve

frekans eşitliğini sağlayacak yazılım C programlama dilinde hazırlanmıştır.

## 3. DONANIM (HARDWARE)

Şekil 5'de görülen devre, sistemde bütün fazların bulunduğu ve faz sıralarının doğruluğunun (döner alan yönlerinin aynı olup olmadığının) kontrol edilip, eğer doğru değilse doğruluğunun sağlandığı, kopukluk ve hata durumunda uyarı ve ikaz sistemlerinin çalıştırıldığı devredir. Şekil 5'deki blok diyagramda kullanılan devrelerin görevleri kısaca şöyledir:

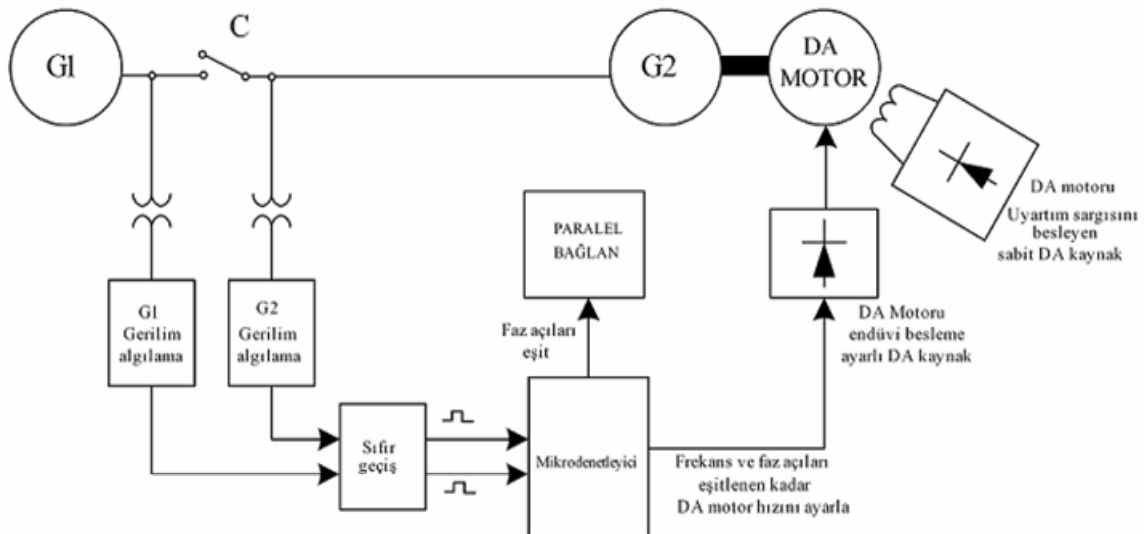
*Şebeke ve Alternatör Gerilim Algılama Devresi:* Şebeke ve alternatör sinyallerini gerilim olarak algılamak için kullanılmıştır.

*Döner Alan Tespiti ve Gerilim Karşılaştırma Devresi:* Döner alan yönü tespiti yaparak faz sırası doğruluğunu sağlamak için mikrodenetleyiciye "0" veya "1" bilgisini gönderen devredir. Alternatör ve şebekenin paralel bağlanması esnasında faz çakışmasını önlemek ve her zaman doğru faz sırasını sağlamak için kullanılmıştır.

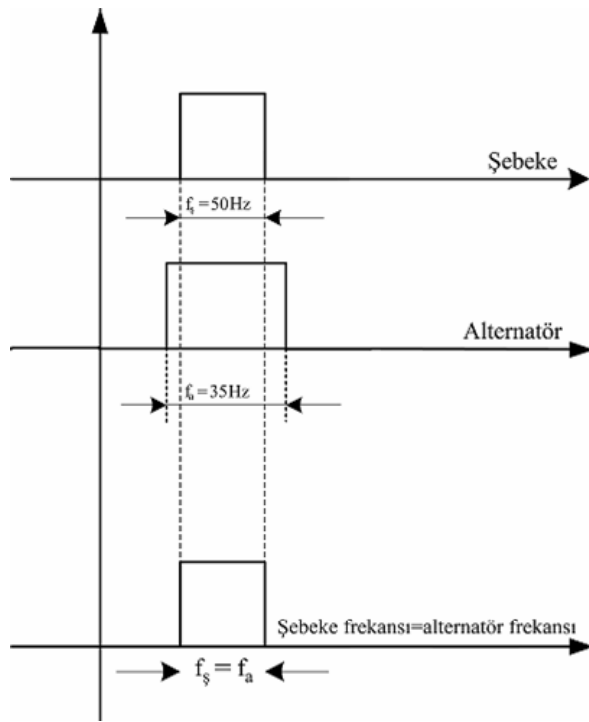
*Mikrodenetleyici Devresi:* Elde edilen verilerin değerlendirilip uygun olan sistemlerin devreye alınmasını sağlayan ve sistemde meydana gelen hatalara göre uyarı ve koruma devrelerini çalıştıran devredir.

*Şebeke ve Alternatör Uyarı Devresi:* Şebeke ve alternatör de meydana gelecek olan arızalara ait hata sinyallerinin mikrodenetleyiciye gönderildiği ve kendisine bağlı alarm sistemlerinin çalıştırıldığı devredir.

*Faz Sırası Düzeltme ve Röle Kontrol Devresi:* Sistemde her zaman doğru faz sırasının sağlandığı bölümdür. Faz sırası hatalı olsa bile mikrodenetleyici tarafından gönderilen bilgi doğrultusunda şebekeye uygun şekilde bağlanmış olan kontaktör üzerinden bağlantının sağlandığı kısımdır.



Şekil 2. Frekans ve faz açısı kontrol ünitesi sinyal blok şeması (Block diagram of the frequency and phases angle control unit)



**Şekil 3.** Frekans eşitliği sinyalleri  
(Signal of the frequencies equality)

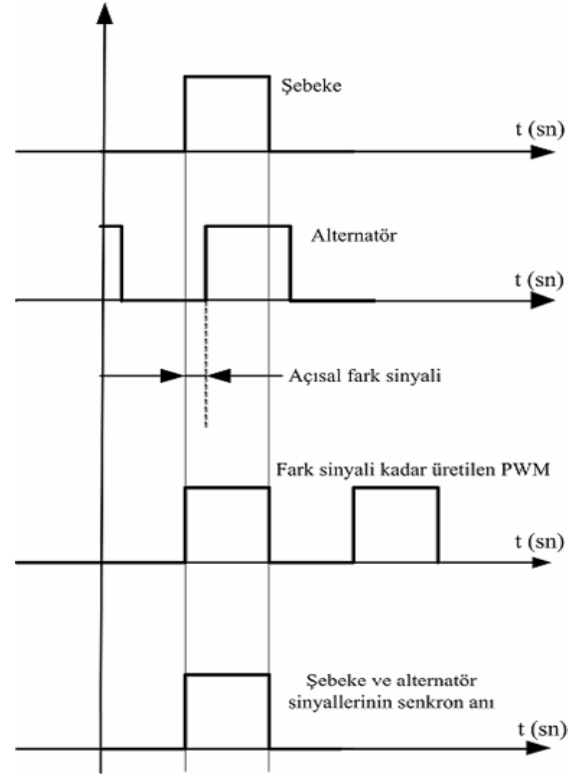
*LCD:* Sisteme ait bilgilerin görsel olarak izlenmesi için kullanılmıştır.

*Alarm Devreleri:* Sistemde meydana gelen arızalar sonucu operatörü uyarmak için sesli ve ışıklı ikazların yer aldığı devredir.

### 3.1. Faz Sıraları Uyarı Sistemi (Warning System for Phase Order)

Şekil 6'da görüldüğü gibi, faz sırası düzeltme devresi; faz sırası rölesi, DA sinyal üretme devresi, uyarı ve bağlı ikaz sistemlerinden oluşmaktadır. Faz sırası düzeltme devresinde,  $R_1$ - $R_2$ ,  $S_1$ - $S_2$ ,  $T_1$ - $T_2$  şeklinde olduğu ve bu fazlara ait sinyallerin tamamının olup olmadığı kontrol edilir.

Döner alan yönleri aynı ve fazların tamamı var ise, Şekil 6'daki faz sırası düzeltme devresinden mikrodnetleyiciye sayısal "1" sinyali gönderilerek mikrodnetleyicinin Şekil 5'deki A kontaktörünü devreye alması için Şekil 7'deki sürme ve röle devresini çalıştırması sağlanır. Devre A kontaktörünü çalıştırarak fazların  $R_1$ -  $R_2$ ,  $-S_1$ -  $S_2$ ,  $T_1$ - $T_2$  şeklinde paralel bağlanmasını sağlar. Kullanılan uyarı sistemi, ışıklı ve LCD ekranda yazılı olarak operatöre faz sıralarının doğru bağlandığı bilgisini verir. Faz sıraları  $R_1$ - $S_2$ ,  $R_2$ - $S_1$ ,  $T_1$ - $T_2$  ise, döner alan yönleri farklıdır ve faz sırası düzeltme devresinden mikrodnetleyiciye sayısal "0" sinyali gönderilerek mikrodnetleyicinin Şekil 1'deki B kontaktörünü devreye alması için, Şekil 7'deki sürme ve röle devresini çalıştırması sağlanır. B

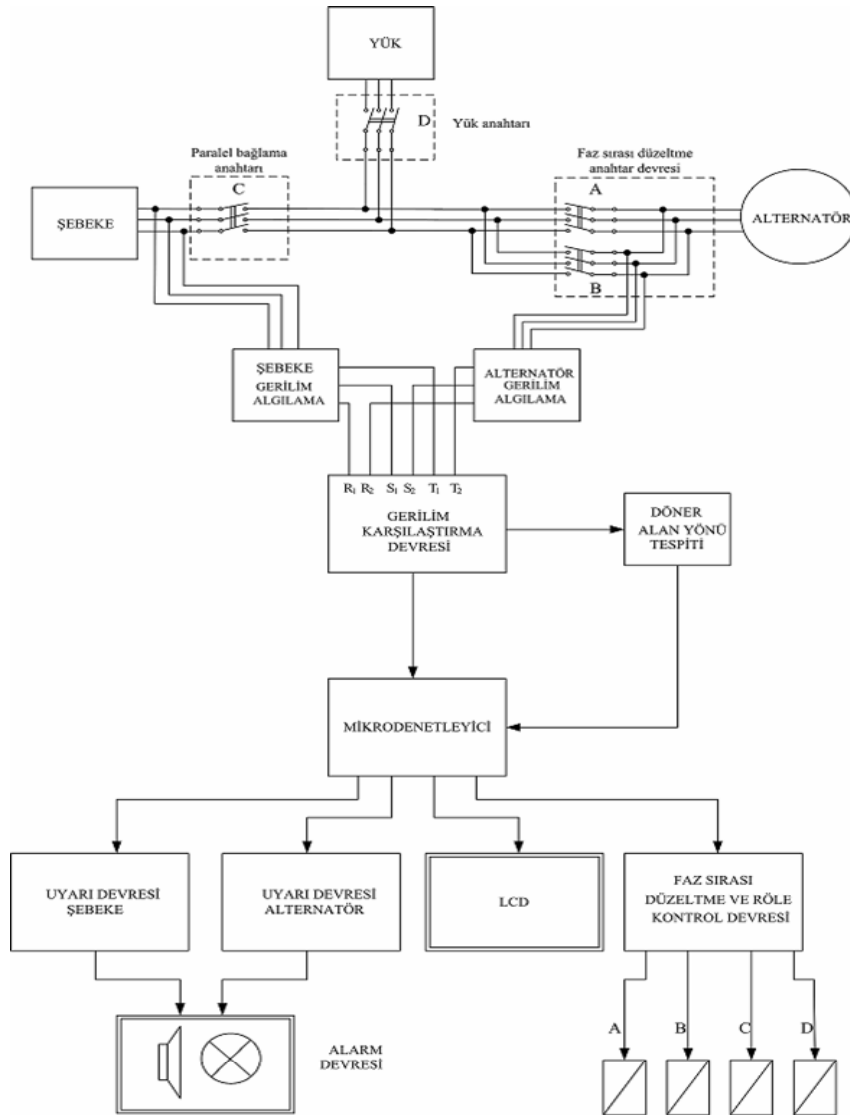


**Şekil 4.** Faz açılarının eşitliği sinyalleri  
(Signal of the phase angles equality)

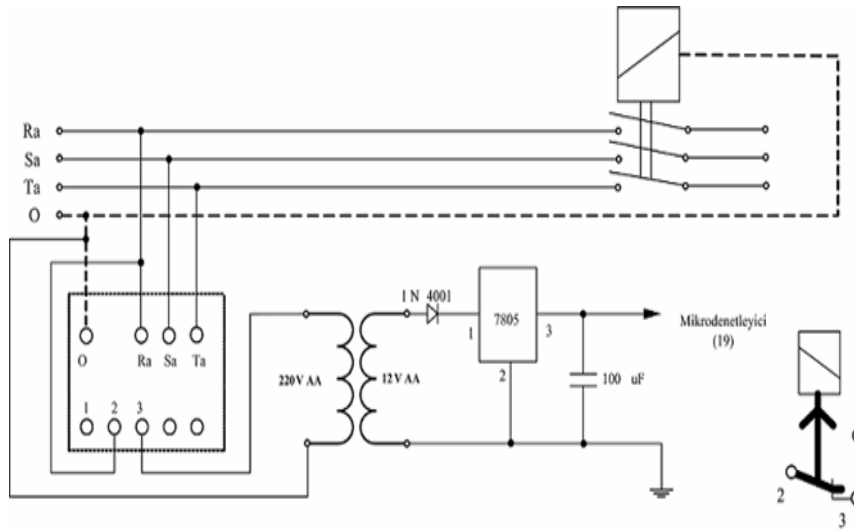
kontaktörü fazların  $R_1$ -  $R_2$ ,  $-S_1$ -  $S_2$ ,  $T_1$ - $T_2$  şeklinde doğru olarak paralel bağlanması şartlarından olan faz sırası eşitliği şartını sağlar. Operatör Şekil 5'deki LCD ekrana ve devreye giren LED' in rengine göre faz sırasının doğru olduğunu veya faz sırasının hatalı olduğunu, yanlış faz sırasının ise mikrodnetleyici tarafından düzeltilmiş olduğunu öğrenir.

### 3.2. Faz Kopukluğu Uyarı Sistemi (Warning System For Phase Collapse)

Faz kopukluğu devresi, Şekil 7'de görüldüğü gibi alternatör ve şebekeye ait faz sinyallerini DA seviyeye dönüştüren konvertör devresi, mikrodnetleyici devresi ve alarm devresinden oluşmaktadır. Paralel bağlanma ünitesi mikrodnetleyici devresi 28 nolu çıkışından faz kopukluğu ve alarm devresi mikrodnetleyicisinin 39 nolu girişine sayısal "1" sinyali gönderir. Faz kopukluğu uyarı sistemi çalışmaya başlar. Şebeke ve alternatör fazlarına ait sinyaller konvertör de DA sinyallerine dönüştürüldükten sonra faz kopukluğu uyarı sistemi mikrodnetleyicisinin analog 2, 3, 4, 5, 7 ve 8 nolu girişlerine "1" olarak uygulanır. Bu girişlerden herhangi birisi "0" olduğu zaman sistem fazlarından birisi veya bir kaç kopuk olacağından faz kopukluğu devresi mikrodnetleyicisinin 40 nolu çıkışı kendisine bağlı olan alarm devresini çalıştırır. Faz kopukluğu uyarı sistemi mikrodnetleyicisi 19 nolu çıkışından paralel bağlanma ünitesi mikrodnetleyicisinin 8 nolu girişine sistemde faz kopukluğu var anlamına gelen "1" sinyali gönderir. Paralel bağlanma ünitesi sistemi durdurur ve



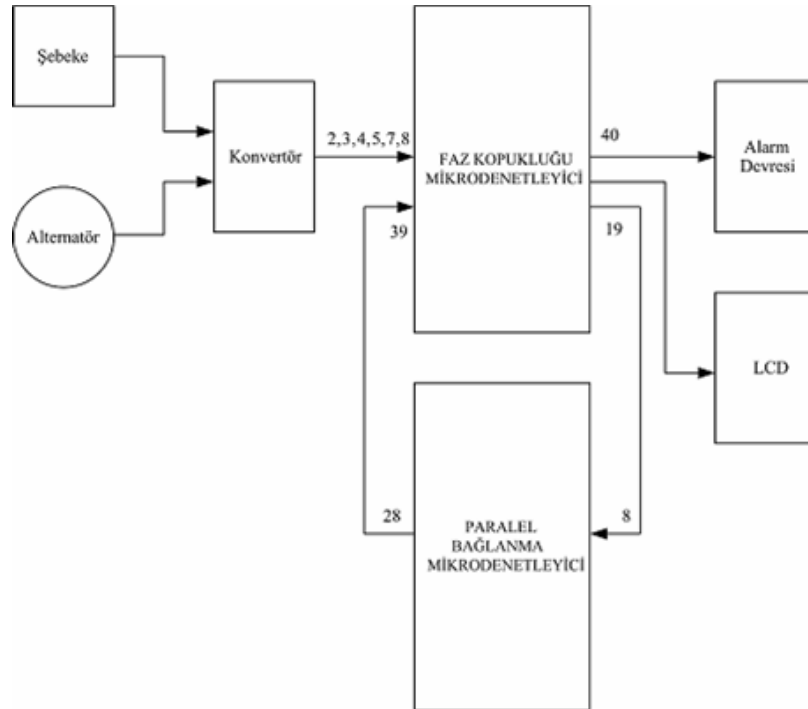
Şekil 5. Faz sırası ve faz kopukluğu uygulama blok şeması (Block diagram of phase order and phase collapse)



Şekil 6. Faz sırası düzeltme devresi (Correction circuit of phase order)

LCD ekranda “KOPUKLUK VAR SİSTEM DURDURULDU” bilgisi verilir. Bu sayede sistemin faz kopukluğuna karşı çalışma güvenliği sağlanmış olur.

Faz kopukluğu uyarı devresi, üç fazlı iki ayrı sistemin paralel bağlanması gereken (alternatör-alternatör, alternatör-şebeke, şebeke-şebeke vs. gibi) sistemlerde,



Şekil 7. Faz kopukluğu kontrol ve alarm devresi (Phase collapse control and alarm circuit)

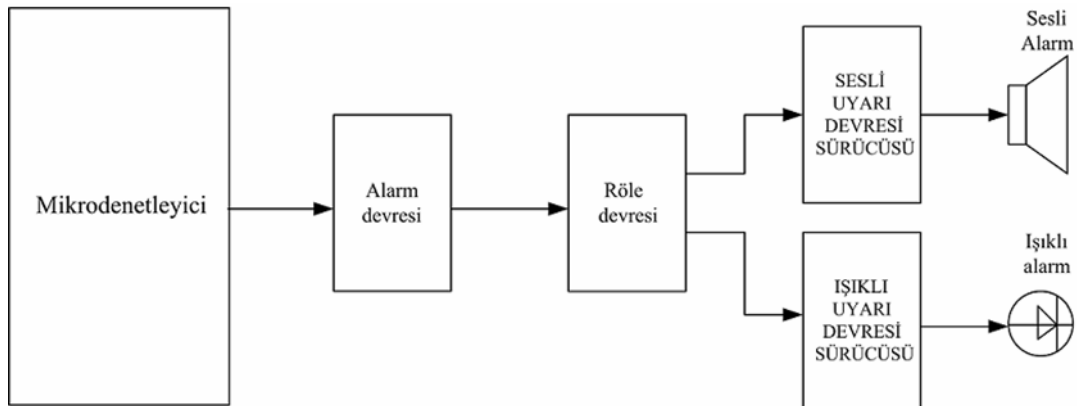
$R_1-S_1-T_1$ ,  $R_2-S_2-T_2$  fazlarından herhangi birisinde kopma meydana geldiğinde sistem operatörünü bilgilendirme amacıyla mikrodnetleyici kontrollü olarak tasarlanmıştır. Faz kopukluğu uyarı devresi  $R_1-S_1-T_1$ ,  $R_2-S_2-T_2$  fazlarından gelen sinyaller, gerilim algılama devresi tarafından ölçüm değerlerine düşürüldükten sonra, AA/DA konvertörde DA seviyeye dönüştürülür. Daha sonra bu sinyaller mikrodnetleyici devresinin analog girişlerine uygulanır. Mikrodnetleyici devresi, fazların tamamı var ise, LCD ekranda “ŞEBEKE1 ŞEBEKE2 FAZLAR VAR” bilgisini verir. Fazların herhangi birisinde kopukluk var ise, LCD ekranda kopuk olan faza ait “!!!DİKKAT!!!, R2 FAZI KOPUK” bilgisini verir. Aynı zamanda mikrodnetleyici Şekil 5’deki A rölesini ve bu röleye bağlı sürme devresini devreye alarak sistemin normal olduğunu gösteren uyarı A devresini veya kopukluk olması durumunda Şekil 5’deki B rölesini ve bu röleye bağlı sürme devresi üzerinden sistemde faz kopukluğu olduğunu gösteren uyarı B devresini çalıştırmak suretiyle sistem operatörünü uyarır.

### 3.3. Alarm Devresi (Warning Circuit)

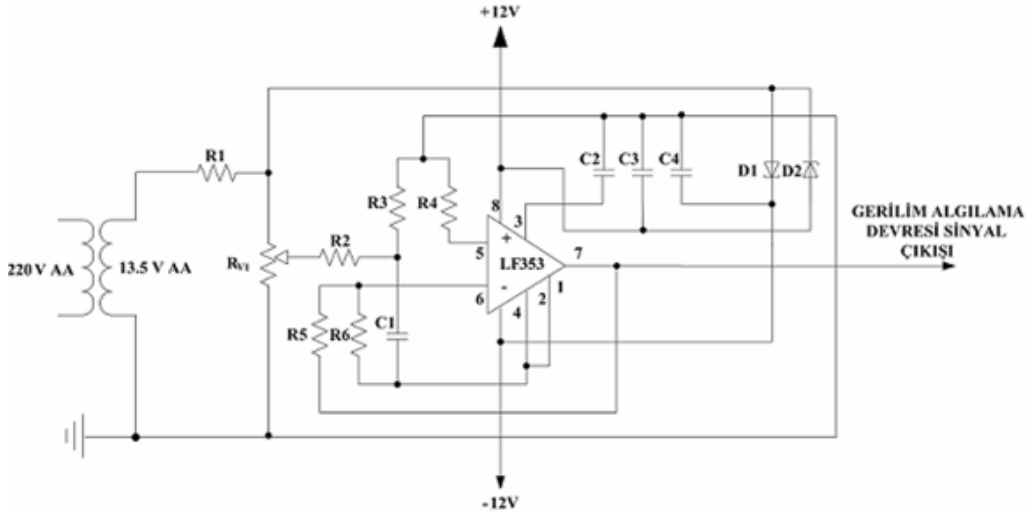
Alarm devresi, Şekil 8’de görüldüğü gibi röle, ses ve ışık sisteminden oluşmaktadır. Röle devresi mikrodnetleyiciden aldığı kopukluk var “1” bilgisi ile devreye girer. Ses devresi sesli ikaz yapmaktadır. Işık devresi ise ledleri devreye alarak ışıklı ikaz yapmaktadır. Verilen bu ikazlar operatörü uyararak amaçlıdır. Bu esnada mikrodnetleyici sistemi durdurmaktadır.

### 3.4. Gerilim Algılama Devresi (Voltage Sensing Circuit)

Şekil 9’daki devre gerilim trafosu, LF353N entegresi, direnç ve kondansatör gruplarından oluşmaktadır. Devredeki gerilim trafosu şebeke ve alternatör fazlarına ait sinyallerin algılama devresinde kullanılacak değere düşürülmesinde kullanılmıştır. Bu devre, sistem fazlarına ait gerilimleri karşılaştırma ve fark alma devresinin girişlerine uygun seviyede sinüs sinyali olarak gönderir. Bu dönüştürmede bütün fazların gerilim değerleri  $R_{V1}$  potansiyometresi tarafından eşit



Şekil 8. Faz kopukluğu alarm devresi (Alarm circuit of phase collapse)



Şekil 9. Gerilim algılama devresi (Voltage sensing circuits)

olarak ayarlanır ve LF353 entegre girişine uygulanır. Uygulanan bu sinyaller ani salınımlara karşı D1 ve D2 zener diyotları tarafından sınırlanmaktadır. Bu devre sistemin kararlılığını sağladığı gibi, fazlara ait sinyallerin mikrodenetleyici girişlerine eşit seviyede uygulanmasını sağlar. Bunun yanında, sistemin kısa süreli ani değişimlere karşı hızlı tepki vermesini engellemek amacıyla yönelik olarak da kullanılmıştır.

### 3.5. AA/DA Konvertör Devresi (AC/DC Converter Circuit)

AA/DA konvertör devresi gerilim sinyal algılama devresinden ve akım sinyal algılama devresinden gelen AA sinyalleri DA seviyeye dönüştürerek mikrodenetleyiciye analog sinyal olarak aktaran devredir.

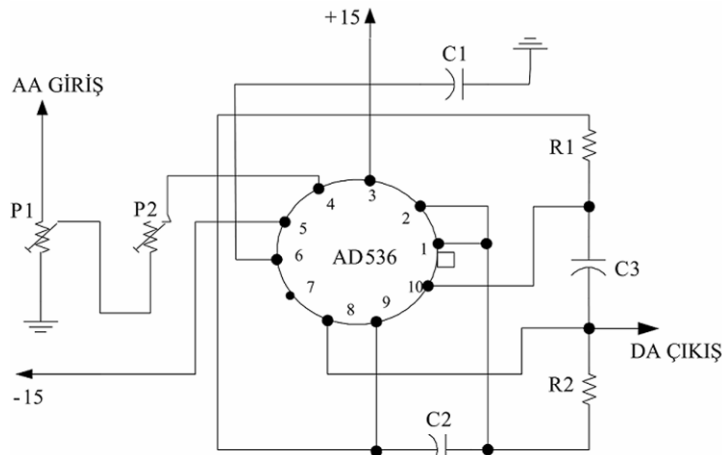
Gerilim ve akım algılayıcı devrelerinden gelen paralel bağlanacak alternatörlere (veya alternatör-şebeke) ait  $R_1$ - $R_2$ , fazlarının sinüs sinyalleri, Şekil 10'da görülen AD536 entegresi, lineer potansiyometreler, direnç ve kondansatörlerle gerçekleştirilen konvertör devresine gönderilir. Burada; sinyaller alternatif akımdan doğru akıma dönüştürülerek mikrodenetleyici ölçüm sınırları içinde olan 3V seviyesine indirilir ve mikrodenetleyicinin analog girişlerine uygulanır [11]. Mikro-

denetleyici iki sinyal arasındaki fark sıfır oluncaya kadar (gerilim eşitliği toleransı %15'i) alternatör uyarım akımını artırarak gerilim eşitliğini sağlar ve bir sonraki işleme geçer [15]. Çalışma ile ilgili değerleri LCD ekranda yazılı bilgi olarak verir. Alternatör uç gerilimlerinin ayarlanması için burada elde edilen sinyaller kullanılır. Şekil 10'daki devre; AD536 entegresi, lineer potansiyometreler, direnç ve kondansatörler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Devrede dönüştürülen gerilim ise;  $V_{çıkış} = 2R_2I_{rms}$  ve  $V_{çıkış} = V_{giriş}$ 'e eşit olur [16]. Mikrodenetleyici giriş gerilimi 0-5 Volt olduğundan bu değer aşılmamalıdır [1, 2].

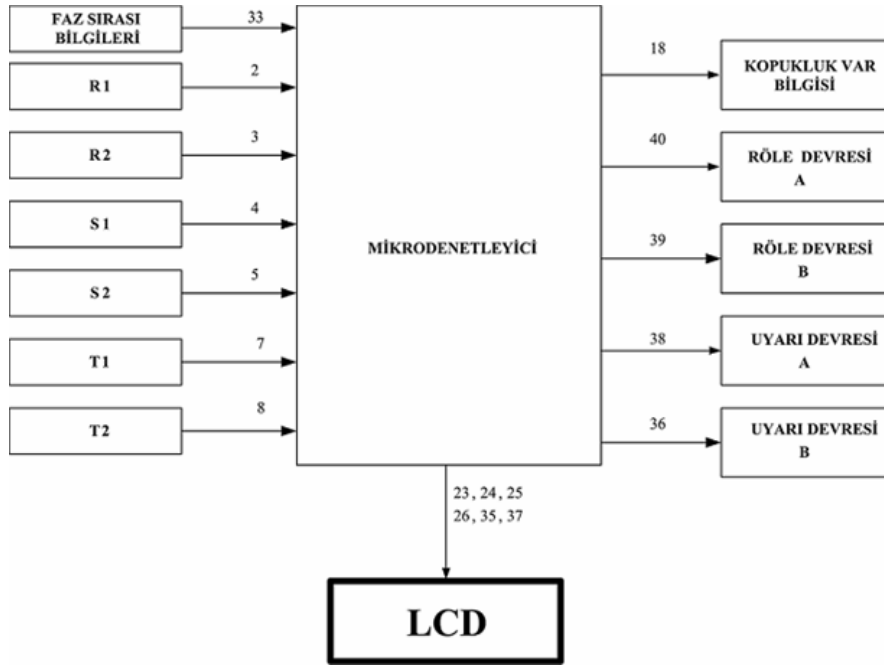
### 3.6. Mikrodenetleyici Devresi (Microcontroller Circuit)

Sisteme ait bilgi girişlerinin yapıldığı ve hazırlanan mikrodenetleyici yazılım programı çerçevesinde işlem yapılarak çıkış bilgilerinin üretildiği yer mikrodenetleyici devresidir.

Şekil 11'de blok diyagram olarak verilen devrede bir adet 16F877 mikrodenetleyicisi, bir adet dört satır LCD ve C programlama dilinde yazılmış program kullanılmıştır. Mikrodenetleyici devresinde, 18 nolu



Şekil 10. AA/DA konvertör devresi (AC/DC converter circuit)



Şekil 11. Mikrodenetleyici giriş ve çıkışları (Inputs and outputs of microcontroller)

uç kopukluk var bilgisinin paralel bağlanma ünitesine gönderildiği çıkıştır. 33 nolu uç faz sırası doğruluğu için sayısal sinyal girişidir. Giriş sinyaline bağlı olarak 39 ve 40 nolu uçlar A ve B rölesi faz sırası kontrol sinyal çıkışlarıdır. 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. 36 ve 38 nolu uçlar analog girişlere bağlı olarak uyarı devresi A ve B çıkışlarıdır. 23, 24, 25, 26, 35 ve 37 nolu uçlar ise LCD bilgilerine ait çıkışlardır.

### 3. 7. Sürme ve Röle Devreleri (Drive and Relay Circuits)

Mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen bu devrede BC238 transistör ve DA röle kullanılmıştır. Mikrodenetleyicinin gönderdiği sinyallere bağlı olarak çalışan bir güç anahtarlama devresi Şekil 12’de verilmiştir. Güç devresi faz sıralarının düzeltildiği ve paralel bağlantının gerçekleştirildiği yerdir.

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. Bu işlem yapılırken A ve B kontaktörlerinin aynı anda iletimde olması engellemek için mikrodenetleyici kontrolünü sağlayan yazılım programında röle seçimi için bir gecikme süresi atanmıştır. Faz açısı, frekans, gerilim ve faz sırası şartları yerine getirildikten sonra, mikrodenetleyici paralel bağlanma rölesini devreye alarak paralel bağlanmayı gerçekleştirir. Bu bilgiler

Şekil 7’deki LCD ekranda görsel olarak izlenebilmektedir. Faz kopukluğu uyarı devre elemanı olarak A ve B sürme devreleri tarafından kontrol edilen Uyarı 1 ve Uyarı 2 devreleri sistem operatörünü sesli ve görsel olarak uyanan devrelerdir. Bunun yanında Şekil 11’deki LCD ekran ve LED’ler bu amaçla kullanılmıştır.

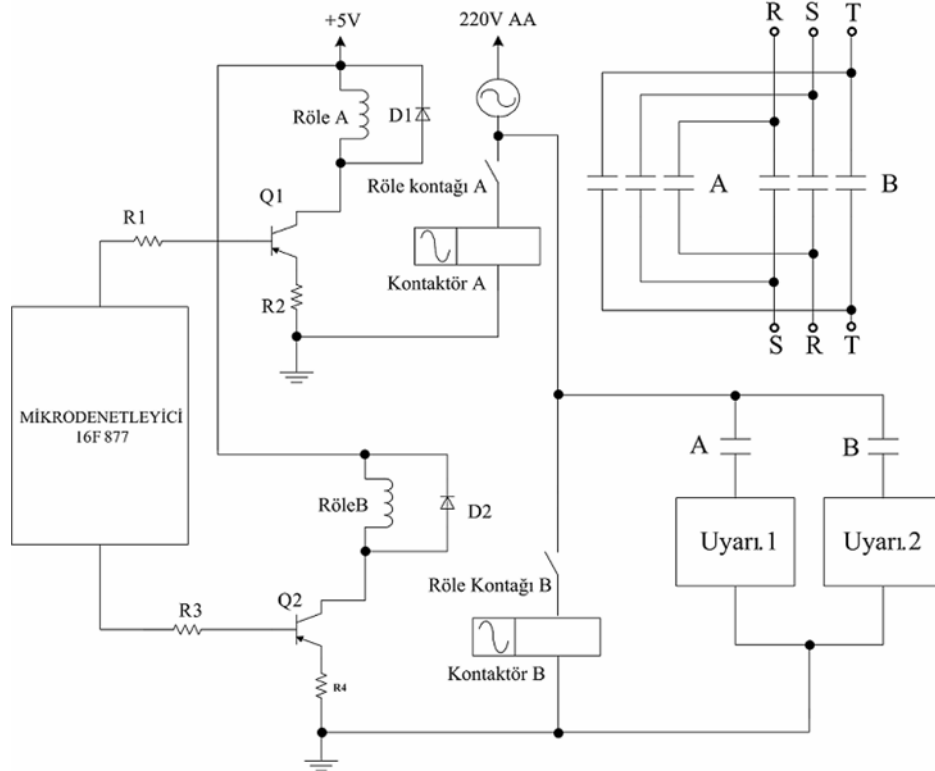
### 4. YAZILIM (SOFTWARE)

Sistemin hatasız çalışmasını sağlamak için hazırlanan yazılım “C” programlama dilinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 13’de verilen akış diyagramında, başla komutundan sonra alternatörlere ait faz gerilim değerleri okunur ve LCD’ye yazdırılır. Şekil 11’de 33’ nolu giriş uygulanan sayısal 1 veya 0 sinyale bağlı olarak, 39 veya 40 nolu çıkışlardan birisi kumanda ettiği röleyi devreye alır. Gelen sayısal sinyal 0 ise faz sıraları eşittir. 40 nolu çıkışa bağlı röle devresi sürülür ve LCD ekrana “faz sıraları aynı” bilgisi yazdırılır. Sonraki işleme geçilir. Gelen sayısal sinyal 1 ise faz sıraları farklıdır. 39 nolu çıkışın kontrol ettiği röle devresi sürülerek, bu rölenin kumanda ettiği kontaktör faz sıralarını eşitlet ve LCD ekrana faz sırası düzeltilmiş bilgisi verilir. Sonraki işleme geçilir. Bara uçlarındaki fazlara ait gerilim sinyalleri okunarak LCD’ye yazdırılır. Şekil 11’deki analog girişler olan 2,3,4,5,7 ve 8 uçlardaki sinyallere bağlı olarak 36 veya 38 nolu çıkışlardan birisi kumanda ettiği uyarı A veya B’ye ait röleyi devreye alır.  $R_1$ - $S_1$ - $T_1$ ,  $R_2$ - $S_2$ - $T_2$  sinyalleri varsa, uyarı A devresi sürülür ve LCD ekrana “SİSTEM UYGUN FAZLAR VAR” bilgisi yazdırılır. Sinyallerden herhangi birisi yoksa, uyarı B devresi sürülür ve LCD ekrana “DİKKAT FAZ KOPUKLUĞU VAR” bilgisi yazdırılır.

### 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Şekil 14’de deney setine ait fotoğraf verilmiştir. Fo-





Şekil 12. Sürme ve röle devreleri (Drive and relay circuits)

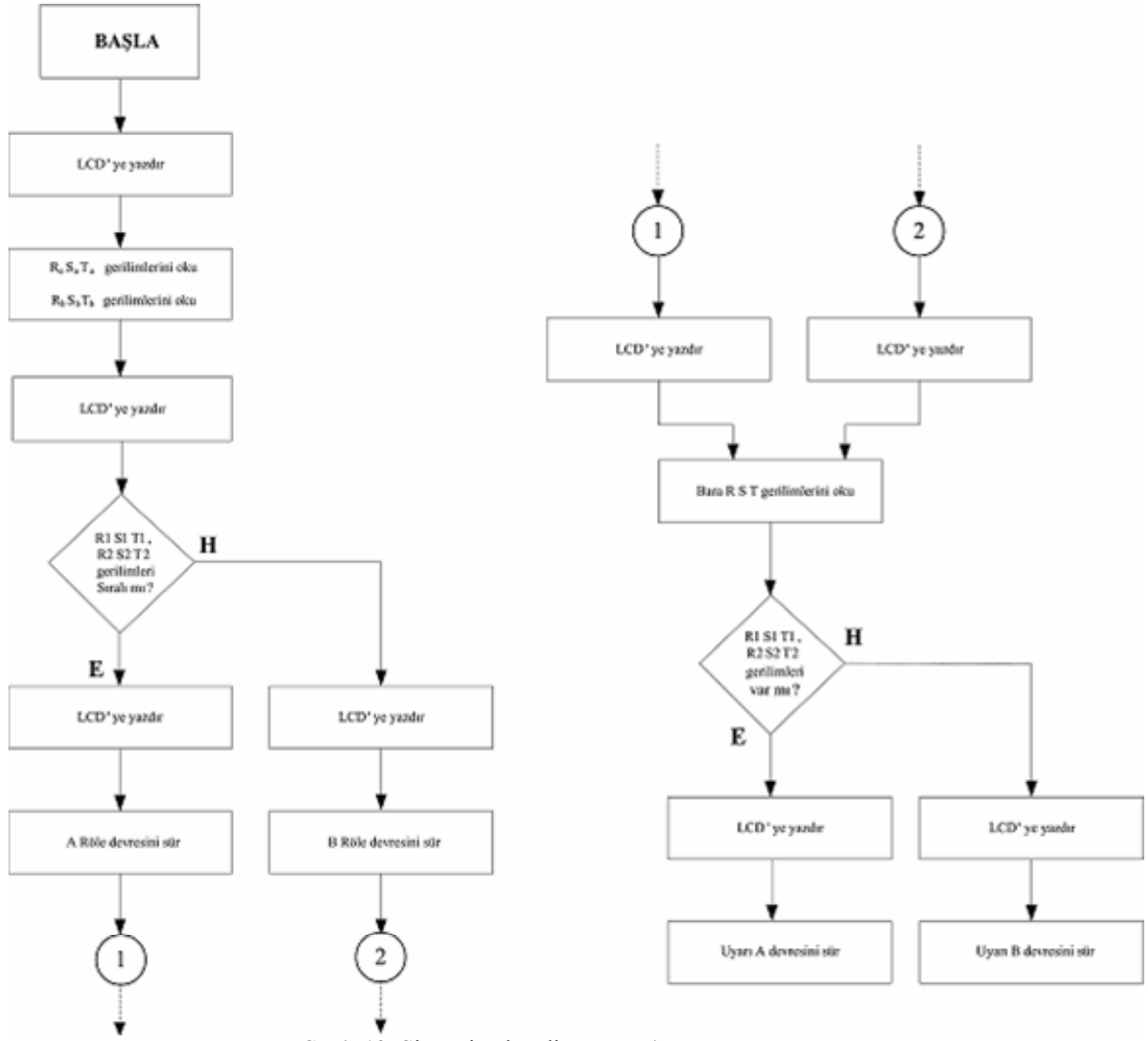
toğraf, güç kaynağı, gerilim algılama, faz sırası düzeltme devresi, mikrodenetleyici, röle, uyarı A ve B devreleri, sesli alarm, ışıklı alarm ve kontaktör kartı olmak üzere dokuz ayrı kısımdan oluşmaktadır.

Güç devresi, kartlara uygun DA beslemelerinin sağlandığı kısımdır. Gerilim algılama devresi, şebeke ve alternatör gerilimlerinin mikrodenetleyici giriş sinyallerine uygun değere dönüştürüldüğü devredir. Faz sırası düzeltme devresi, döner alan yönü esasına göre çalışan ve doğru faz sıralarının bulunduğu devredir. Mikrodenetleyici devresi, sisteme ait sinyallerin değerlendirilip uygun kısımların çalışmasını sağlandığı devredir ve C programlama dilinde hazırlanmış bir yazılımla çalışmaktadır. Uyarı A ve B devreleri, mikrodenetleyici tarafından devreye alınan ve verilen sinyal doğrultusunda ilgili alarm devresinin çalıştırıldığı devredir. Sesli alarm devresi, mikrodenetleyici tarafından gönderilen hata sinyali sonucunda operatörü sesli uyararak için kullanılan alarm devresidir. Işıklı alarm devresi mikrodenetleyici tarafından gönderilen hata sinyali sonucunda operatörü görsel olarak uyararak için kullanılan alarm devresidir. Kontaktörler ise faz sıralarının doğru veya hatalı bağlanma durumunda her zaman doğru faz sırasında bağlanması üzere kullanılan anahtar elemanlarıdır. Faz sırası devresinin mikrodenetleyiciye gönderdiği sinyal doğrultusunda A veya B kontaktörü devreye girerek paralel bağlanma esnasında  $R_1-R_2$ ,  $S_1-S_2$ ,  $T_1-T_2$  şeklinde fazların sıralanmasını sağlamaktadır.

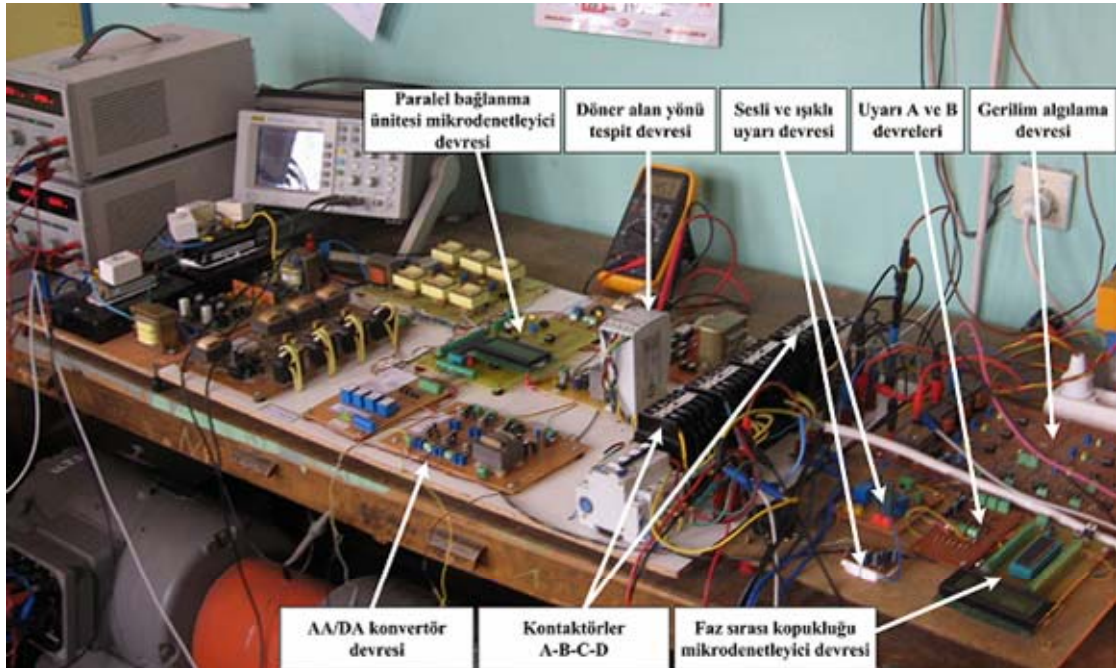
a) Çalışmaya Şekil 14'deki devre bağlantısı gerçekleştirildikten sonra başlanır. Devreye ait LCD ekrana Şekil 15a'da görüldüğü gibi "KONTROL DEVRESİ HAZIRLANIYOR" bilgisi gelir.

Paralel bağlanma ünitesinin 28 nolu çıkışından gönderdiği "1" sinyali, faz sırası ve faz kopukluğu devresinin 39 nolu girişi tarafından algılandıktan sonra faz sırası ve faz kopukluğu devresi aktif hale gelir. Şekil 15b'de görüldüğü gibi LCD ekranda "ŞEBEKE VE ALTERNATÖR FAZLARI VAR" bilgisi görülür.

b) Sistemin aktif hale gelmesi ile Şekil 14'de görülen deney setinde faz sırası kontrol devresi, gerilim algılama devresinden gelen alternatör ve şebekeye ait sinyalleri karşılaştırarak,  $R_1-S_1-T_1$ ,  $R_2-S_2-T_2$  şeklinde olup olmadığını kontrol eder. Sinyaller aynı fazlara ait ise mikrodenetleyiciye sayısal "1" sinyali gönderilir, mikrodenetleyici Şekil 12'deki A rölesine ait sürme devresini çalıştırır. A rölesi ve ona bağlı A kontaktörü devreye girer. LCD ekranda "FAZ SIRASI AYNI" bilgisi görülür. Bu an faz sırası eşitliğinin olduğu andır ve bir sonraki işleme geçilir. Faz sırası eşit değilse ( $S_1-R_2$ ,  $R_1-S_2$ ,  $T_1-T_2$  gibiyse) mikrodenetleyiciye sayısal "0" sinyali gönderilir, mikrodenetleyici Şekil 12'deki B rölesi sürme devresini çalıştırır. B rölesi ve ona bağlı B kontaktörü devreye girer. Bu anda faz sırası  $R_1-S_1-T_1$ ,  $R_2-S_2-T_2$  olarak düzeltilir. Şekil 14'deki LCD ekranda "FAZ SIRASI DÜZELTİLDİ" bilgisi görülür. Şekil 15c ve d'de bu bilgiler görülmektedir.



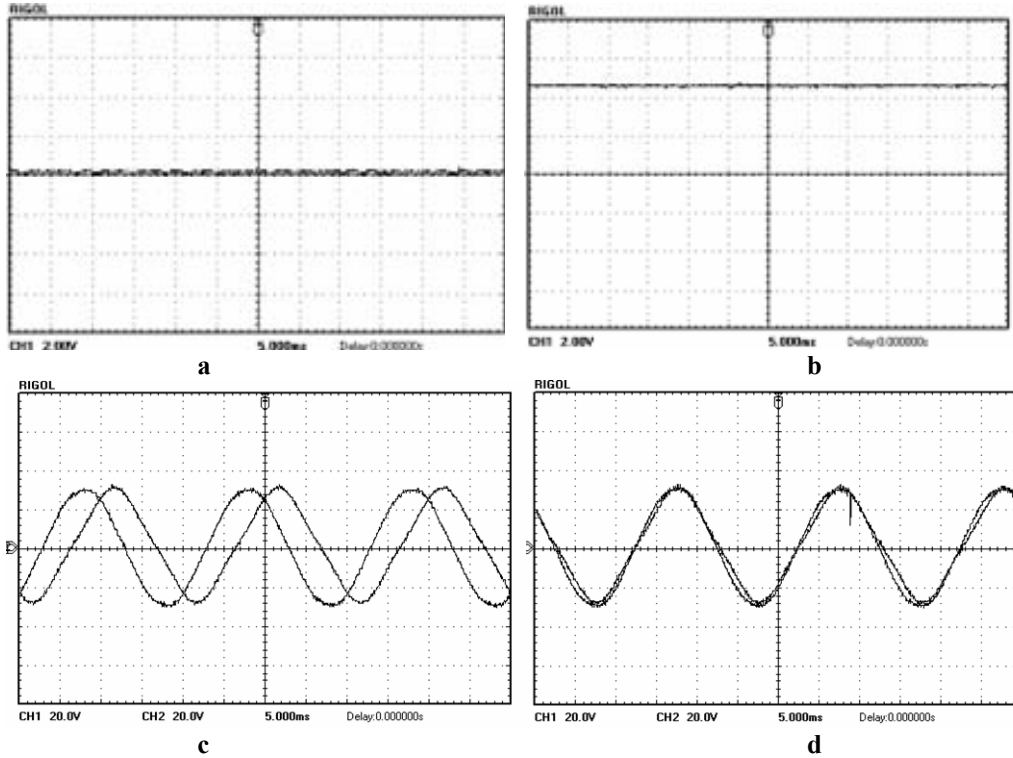
Şekil 13. Sistemin akış diyagramı (Flowchart of the system)



Şekil 14. Deney setine ait fotoğraf (Photograph of experimental unit)



Şekil 15. Deneysel çalışma ekran görüntüleri (Screenshots of experimental study)



Şekil 16. Osiloskop görüntüleri (screenshots of oscilloscope)

c) Sistemin çalışması normal olduğu sürece Şekil 14'deki LCD ekranda "ŞEBEKE VE ALTERNATÖR FAZLARI VAR" bilgisi görülür. Fazlardan herhangi birisi koptuğunda ise Şekil 14'deki mikrodenetleyiciye "1" sinyali gönderilir ve mikrodenetleyici B rölesi sürme devresini çalıştırır. Şekil 12'deki B rölesi ve

ona bağlı UYARI 2 devreye girer LCD ekranda "DİKKAT R1 FAZI KOPTU" bilgisi görülür. Kopukluk bilgisi eş zamanlı olarak Şekil 14'de verilen paralel bağlanma ünitesi mikrodenetleyicisinin 8 nolu girişine gönderilir. Bu bilgi doğrultusunda paralel bağlanma ünitesi çalışmayı durdurur. Paralel bağlan-

ma ünitesi LCD ekranında “FAZ KOPUKLUĞU SİSTEM ALARMI SİSTEM DURDURULDU” bilgisi görülür. Şekil 15e’de sistem fazlarının tamamının bulunduğu, Şekil 15f’de sistem alarmı olduğuna dair bilgiler LCD ekranda görülmektedir.

**d)** Sistemde meydana gelen arıza giderilmediği sürece paralel bağlanma ünitesi çalışmayı durdurur. Şekil 6, 7 ve 8’deki faz sırası ve faz kopukluğu devreleri ise aktif olarak çalışmaya devam eder. Şekil 15g ve h’da sistem alarmı olduğuna dair iki adet LCD ekran bilgisi görülmektedir.

Sistem operatörünün uyarılması amacı ile sesli ve ışıklı alarm devreleri çalışmasını sürdürmektedir.

**e)** Sistemde kullanılan sinyallere ait osiloskop görüntüleri Şekil 16’da verilmiştir. Şekil 16a’da mikrodenetleyici “0” sinyali, Şekil 16b’de “1” sinyali görülmektedir.

Şekil 16c’de şebeke ve alternatör sinyalleri arasında açılabilir fark olduğundaki dalga şekilleri, Şekil 16d’de ise açılabilir farkın 0 olduğu anda sinyallerin dalga şekilleri görülmektedir.

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Geliştirilen sistemle, alternatörlerin paralel bağlanması sırasında faz sıraları yanlış bağlanmış olsa bile, bir mikrodenetleyici yardımı ile faz sırası doğru olarak düzenlenmekte ve hatasız bir paralel bağlanma gerçekleştirilmektedir. Sistemin her çalışmasında işlem bir defa yapılmaktadır. Ayrıca uygulama devresi üzerinde yapılan küçük değişikliklerle faz kopukluğu alarm devresi tasarlanmıştır. Faz kopukluğu devresinin tasarımı, otomatik paralel bağlanma deney setinin faz sırası düzeltme devresine ait olan sürme ve röle devresinin çıkışına bir alarm sistemi adapte edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan devre, faz kopukluğu bilgisini LCD ekranda yazdırıp, bir LED yardımı ile sistem operatörünün uyarılmasında kullanılmıştır.

Yapılan çalışmanın endüstride kullanılması mümkün olacağı gibi, mühendislik eğitiminde de öğrenciler deneylerini daha verimli gerçekleştirebilecekler ve aşağıdaki belirtilen kazanımları elde edeceklerdir:

1. Alternatör veya üç fazlı sistemlerin gerilim ölçümlerini yapabilecekler.
2. Üç fazlı sistemlerde, paralel bağlantıdan sonra sistemde meydana gelecek olan faz kopması durumunda, sistemin nasıl korunduğunu görecekler.
3. Paralel bağlı sistemde, faz sıralarının hatalı olması durumunda, sistemin tepkisini öğrenecekler.
4. Paralel bağlantı için işlem sırasını görsel olarak LCD ekrandan takip edecekler.

Tasarlanan deney setinde mikrodenetleyici kullanıldığı için maliyet düşürülmüş ve kullanılan harici eleman

sayısı (voltmetre, ampermetre, senkronoskop, v.s. gibi) ve bu elemanlara ait olan karmaşık kablo bağlantıları ortadan kaldırılmış ve sistemin ölçüm hassasiyeti artırılmıştır. Devrenin fiziki yapısı küçülmüştür. Devrede kullanılan donanımlar oldukça basittir. Bu da uygulama devresinin ucuz olmasını sağlamıştır. Sayısal bir kontrol yöntemi kullanılarak yanlış bağlantı ve hatalı ölçüm gibi sakıncalar ortadan kaldırılmıştır.

## SEMBOLLER (NOMENCLATURES)

$E_{R1}$  =Dönüştürülmüş alternatör faz gerilimi ( $V$ )

$E_{R2}$  =Dönüştürülmüş şebeke faz gerilimi ( $V$ )

$E_T$  =Toplam gerilim ( $V$ )

$V_{çıkış}$  =AA/DA konvertör DA çıkış gerilimi ( $V$ )

$V_{giriş}$  =AA/DA konvertör AA giriş gerilimi ( $V$ )

$R_2$  =Kaynak iç direnci ( $\Omega$ )

$I_{rms}$  =Kaynak akımı ( $A$ )

## 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. Çolak, İ., Bayındır, R., “**Elektrik kumanda Devreleri**”, Seçkin Yayıncılık 2004 Ankara.
  15. Taddune G., “Unit Load Share Generator System Control Package” 2005, **Woodward Data Sheet**, USA, www.woodward.com
  16. Sülün E., Aslan M., Çakır A., “**Elektronik Devre Uygulamaları 2**” 2003, İstanbul
  17. Analog Devices “**AD536 Data sheet**” Inc. 1999 [www.analog.com](http://www.analog.com).