

GENERATÖRLERİN PARALEL BAĞLANMA ŞARTLARINDAN FREKANS VE FAZ AÇISI EŞİTLİĞİNİN MİKRODENETLEYİCİ TABANLI OLARAK SAĞLANMASI

İbrahim SEFA, Ramazan BAYINDIR, İlhan GARİP, Sertaç BAYHAN ve İlhami ÇOLAK

GEMEC-Gazi Elektrik Makineleri ve Enerji Kontrol Grubu, Elektrik Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Beşevler, Ankara

isefa@gazi.edu.tr, bayindir@gazi.edu.tr, milhangarip@hotmail.com, sbayhan@gazi.edu.tr, icolak@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 10.03.2008 ; Kabul/Accepted: 22.12.2009)

ÖZET

Bu çalışmada generatörlerin paralel bağlanması şartlarından olan frekans ve faz açısının eşitlenmesi mikrodnetleyici ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma, öncelikle frekans eşitliğini sağlamakta daha sonra ise faz açılarını eşitlemektedir. Şebeke ve generatöre ait gerilim bilgileri AA/AA sinyal algılama devresi tarafından uygun seviyelere getirilmekte ve sıfır geçiş anahtar devresi tarafından kare dalgaya dönüştürülmektedir. Kare dalgaya dönüştürülen bu sinyaller, PIC16F877 mikrodnetleyicisi için C programlama dilinde hazırlanan program tarafından, generatör sinyali referans sinyale eşleninceye kadar anahtarın iletim-kesim süreleri değiştirilmekte böylece DA motorun ve generatörün hızı ayarlanmaktadır. Şebeke ve generatör sinyalleri eşit olduğu anda frekans eşitliği sağlanmış olmaktadır. Frekanslar eşit olduktan sonra ise, aralarındaki açısal farkın sıfıra düşme anına kadar düşürücü kıyıcının iletim-kesim oranı ayarlanarak faz açıları eşitliği sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alternatörlerin Paralel bağlanması, faz açısı eşitliği, frekans eşitliği, senkronizasyon.

PROVIDING EQUALITY OF FREQUENCIES AND PHASE ANGLES BASED ON MICROCONTROLLER FOR PARALLEL CONNECTION OF GENERATORS

ABSTRACT

In this study, the equality of frequencies and phase angles for the parallel connection of generators have been achieved using microcontroller. The study firstly provides the equality of frequencies and then the equality of phase angles. Waveforms of alternating voltages are converted into square wave using the zero crossing circuit after conditioned by the AC/AC signal sensing circuit. These signals are matched in order to arrange the DC motor's velocity with changing it's duty ratio until alternator signal is equal to the reference signal by the PIC16F877 microcontroller and the program written in C programming language. When the utility and generator signals are equal to each other, the equality of frequencies is provided. After that the duty ratio is increased in stages until the angular difference decreases to 0° and the equality of phase angles is also provided.

Keywords: Parallel connection, phase angle, equality of frequencies, synchronization.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik üretim merkezlerinde kullanılan generatörlerin paralel bağlanmasına ilişkin çalışmalar, günümüzde yoğun olarak kullanılan elektronik cihazların sayıca artması ve daha kaliteli bir elektrik enerjisine olan ihtiyaç nedeniyle eski teknoloji sistemlerin daha dinamik olması gerekliliğini ortaya koymuştur. Gene-

ratörlerin paralel bağlanma işlemini gerçekleştirebilmek için bazı şartların sağlanması gerekmektedir. Bu şartlar;

- Frekanslarının eşit,
- Faz sıralarının (döner alan yönleri) aynı,

- Gerilimlerinin eşit ve gerilim dalga şekillerinin benzer,
- Faz açılarının eşit olmasıdır.

Bu şartlardan herhangi birisi sağlanmadığı takdirde paralel bağlanacak sistemlerde gerilim dalgalanmaları ve akım darbesi oluşur. Oluşan gerilim dalgalanmaları ve akım darbesi paralel bağlanan generatöre hasar verir. Hasarın önüne geçebilmek için paralel bağlantı işlemi senkronizasyon anında gerçekleştirilmelidir. Senkronizasyon anını sağlamak için pek çok metot kullanılmaktadır. Geleneksel metotlarda senkronizasyon; gerilim, frekans, faz sırası ve faz açıları eşitliklerinin lamba sistemleri ve senkronoskoplarla gözlenerek el yordamı ile generatörün uyarım akımı ve hızı ayarlanarak sağlanmaktadır [1]. Paralel bağlanan güç sistemlerinde kullanılan generatörler benzer özelliklerde ve eşdeğer karakteristiklere sahip olmalıdır. Gerilim, frekans, ve faz açıları belirlenen tolerans sınırları içinde olmalıdır [2]. Günümüzde, paralel bağlanma sistemlerinde otomasyon önem kazanmıştır. Otomatik paralel bağlanma sistemlerinde, geleneksel yöntemlerde olduğu gibi faz sırası, faz açısı, frekans ve gerilim eşitliği göz önüne alınmaktadır. Bu şartlar, mikrodnetleyici, mikro işlemci ya da bilgisayar kontrollü olarak yapılmaktadır [3]. Yapılan bir çalışmada, türbinler ve generatörlerin sinyal devrelerinden alınan bilgilerin değerlendirildiği bir veri toplama kartı kullanılmıştır. Veri toplama kartından alınan bilgilerin değerlendirildiği kontrol ve izleme sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde, algılayıcılar ve mikro bilgisayarlar aracılığı ile yük açısı, faz açısı, güç katsayısı ve frekans kontrol edilip izlenmektedir [4]. Elde edilen bu veriler yardımı ile LABVIEW tabanlı yazılım programı kullanılarak internet aracılığı ile uzaktan gözlemlenmesi ve ölçümü de gerçekleştirilmiştir [5]. Paralel bağlanma işlemine yönelik olarak yapılan çalışmada, paralel bağlanma sisteminin gerilim ve akım bilgilerini değerlendirilmesi, rölelerin kontrollü mikrodnetleyici ile sayısal olarak yapılmaktadır. Bunlara ilaveten sistem parametrelerinin değişiminin generatör üzerindeki etkileri araştırılmış ve sabit reaktif yük için senkron generatör uyarım akımı ile sistem geriliminin değişmesi yönünden incelenmiştir [6]. Diğer bir çalışmada kontrollü doğrultucuyu besleyen paralel bağlı dizel generatör setlerinin kontrol parametreleri hız, uyarım ve yük paylaşımı bilgileri dikkate alınarak hesaplanmıştır [7]. Bu ölçümlerin motor-generatör setlerinde yapılmasını sağlayan sistemler geliştirilmiş ve üniversite öğrencilerinin yaptığı deneylerden elde edilen çeşitli elektriksel ve mekaniksel değerlerin ekranda görülebilmeleri sağlanmıştır [8]. Kontrol sistemleri ile ilgili bir çalışmada, generatörün uyarım akımını mikro işlemci ile kontrol edilerek çıkış gerilimini sabit tutmuşlardır. Bu

işlemi gerçekleştirirken PID algoritmalarından faydalanarak tasarladıkları sayısal uyarım sistemini kullanmışlardır [9]. Paralel bağlanma sisteminin gerilim ve akım bilgilerini değerlendirilmesi ile rölelerin kontrollü mikrodnetleyici tarafından sayısal olarak yapılmaktadır [10]. Gerilim ayarına ilişkin yapılan diğer bir çalışmada ise, senkron generatörün çıkış gerilim ayarı bulanık mantık tabanlı bir denetleyici ile nasıl gerçekleştirileceği anlatılmaktadır [11].

Bu çalışmada, paralel bağlanma şartlarından faz açısı ve frekans eşitliğinin sağlanması mikrodnetleyici tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Mikrodnetleyicinin kontrol parametreleri C programlama dilinde yazılmış program yardımıyla sağlanmıştır. Yazılım programında PI denetim tekniği ile DA motor hız kontrolü yapılmaktadır. DA motorunun miline bağlı senkron generatörde gerilim üretilmeye başlandıktan sonra alınan gerilim kare dalgaya dönüştürülmektedir. Elde edilen kare dalga ile şebeke sinyalinin kare dalgası mikrodnetleyicinin sayısal girişlerine uygulanır. Hazırlanan yazılım doğrultusunda sinyaller arasındaki fark kadar PWM üretilir. Üretilen PWM sinyali ile DA motorunun hız kontrolü yapılarak, generatörde üretilen gerilimin frekansı şebeke frekansına eşitlenmektedir. Frekans eşitliği sağlandıktan sonra, şebeke ve generatör sinyallerinin arasındaki açısal fark 0° (Senkronizasyon anı) düşünceye kadar motor hızı frekans tolerans sınırları içinde kalmak kaydıyla, kademeli artırılmak veya azaltılmak suretiyle faz açısı eşitliği sağlanmaktadır.

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

Çalışmada önce sinyal algılama devreleri, daha sonra ise sıfır geçiş anahtar devresi tasarlanmıştır. Yapılan tasarımlar mikrodnetleyici devresi ile birlikte gerçekleştirilmiştir. Uygulama devresi, DA motor, senkron generatör, AA/AA sinyal algılama, sıfır geçiş anahtar, mikrodnetleyici ve düşürücü kıyıcıdan oluşmaktadır. Kullanılan DA motoru ve generatörün etiket değerleri ekler bölümünde Tablo 1.'de verilmiştir.

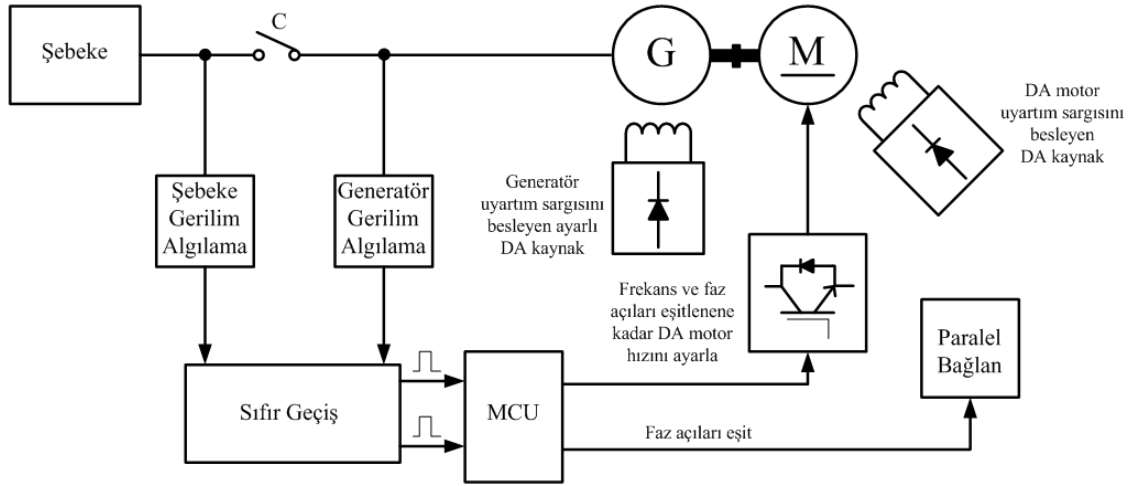
2.1. Frekans ve Faz Açısı Eşitliği (Equality of Frequencies and Phase Angles)

Şekil 1'deki blok diyagramda görülen devrelerin tasarımı yapılarak, Şekil 2'de görülen uygulama devresi gerçekleştirilmiştir.

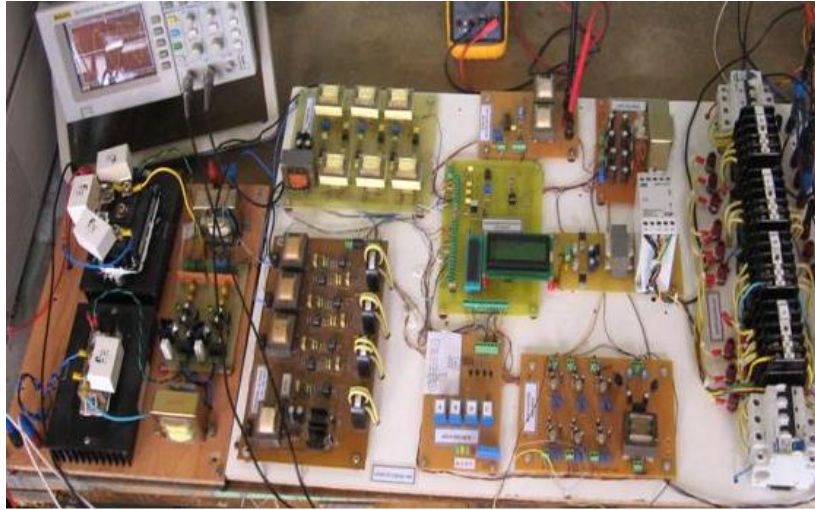
Gerçekleştirilen devrede gerilim algılama, sıfır geçiş anahtar devresi, mikrodnetleyici, düşürücü kıyıcı ve LCD kullanılmıştır. Gerilim algılayıcı devresinden gelen generatör (G) ve şebeke (Ş) R_s - R_g fazlarına ait

Tablo 1. DA Motoru ve SG'nin Etiket Değerleri (Parameter of DC motor and SG)

	Gerilim	Akım	Devir	Güç
DA motoru	115V	30A	1200d/dk	3000W
DA motoru Uyarım	110V	1,55A		
Senkron Generatör	Y/ Δ 400V/231V	Y/ Δ 2,9/5A	1200d/dk	2000W
Senk. Gen. Uyarım	110V	1,2A		



Şekil 1. Gerçekleştirilen sistemin blok diyagramı (Block diagram of the system implemented)



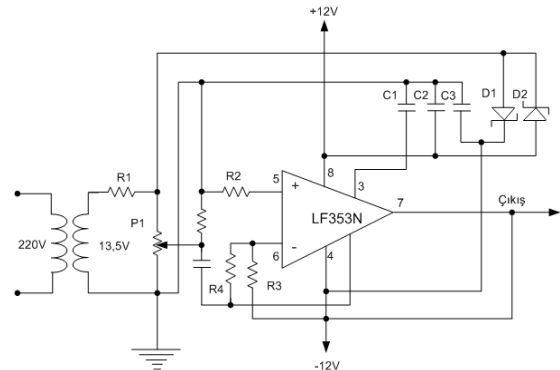
Şekil 2. Frekans ve faz açısı eşitliği devresinin fotoğrafı (The Photograph of frequency and phase angle equality circuit)

sinüs sinyalleri sıfır geçiş anahtar devresinde kare dalgaya dönüştürülür. Şebeke ve senkron generatöre ait olan bu kare dalgaya dönüştürülmüş sinyaller mikrodenetleyicinin 29 ve 30 nolu girişlerine uygulanır. Sinyaller önce frekans olarak karşılaştırılır. Aralarındaki fark belirlenerek mikrodenetleyici tarafından hesaplanan değere göre üretilen PWM sinyalinin iletim-kesim oranı (duty cycle) ayarlanır. İletim-kesim oranı ayarlanan PWM sinyali mikrodenetleyicinin 17 nolu çıkışından düşürücü kıyıcının anahtarlama elemanı olan IGBT' nin sürme devresine uygulanır. Düşürücü kıyıcı DA motorunun hızını, frekans eşitliği sağlanıncaya kadar ayarlar. Frekans eşitliği sağlandıktan sonra frekans toleransı içerisinde kalınarak PWM sinyalinin iletim-kesim oranı daha hassas bir şekilde değiştirilerek faz açısı eşitliği sağlanır. Faz açısı eşitliğinin sağlandığı an senkronizasyon anıdır. Bu anda paralel bağlanma gerçekleşir. Bu işlemler C programlama dilinde hazırlanan yazılım yardımı ile mikrodenetleyici tarafından gerçekleştirilmektedir.

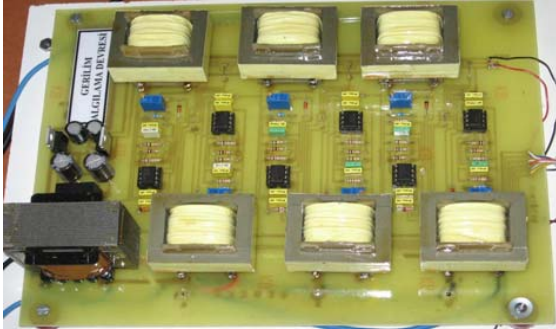
Gerilim algılama devresi: Şekil 3'teki gerilim algılama devresinde opamp, direnç ve kondansatör grupları

kullanılmıştır. Bu devre sistemin kararlılığını ve kısa süreli ani değişimlere hızlı tepki vermesini engellemek amacıyla yönelik olarak kullanılmıştır [1]. Şekil 4'te görüntüsü verilen gerilim algılama devresinin çıkışları sıfır geçiş anahtarına uygulanır.

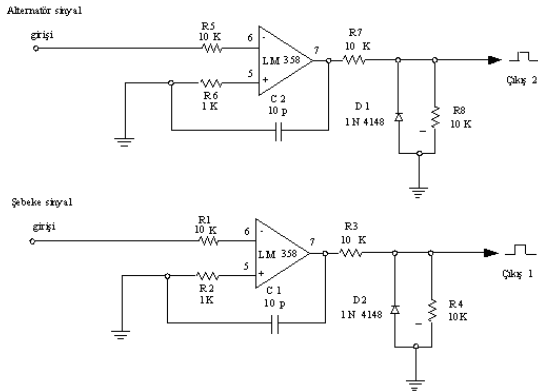
Sıfır geçiş anahtarı: Şekil 5'teki devre LM358 hızlı operasyonel yükselteç, direnç ve kondansatör gruplarından oluşmaktadır. Sıfır geçiş anahtarı devresi,



Şekil 3. AA/AA Gerilim algılama devresi (AC/AC Voltage sensing circuits)



Şekil 4. Gerilim algılama devresi kartı (The PCB of voltage sensing circuit)



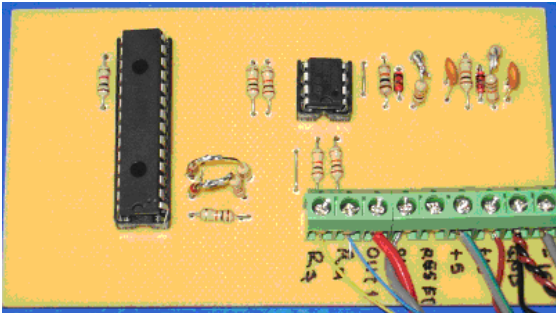
Şekil 5. Sıfır geçiş algılama devresi (Zero crossing detection circuit)

gerilim algılama devresinden gelen AA sinyalleri kare dalgaya dönüştürür. Şekil 6'da sıfır geçiş anahtar devresinin görüntüsü verilmiştir.

Elde edilen kare dalga sinyaller mikrodenetleyici sayısal girişlerine uygulanır.

Mikrodenetleyici girişlerine uygulanan kare dalga sinyaller C programlama dilinde hazırlanmış olan yazılım algoritmaya göre PWM sinyalinin iletim-kesim oranını değiştirir. PWM sinyali ile kontrol edilen düşürücü kıyıcı devresi tarafından DA motorunun hızı ayarlanarak faz açısı ve frekans eşitliği sağlanır. Şekil 7'de gerçekleştirilen eşitliklerle ilgili LCD bilgileri verilmiştir.

Düşürücü kıyıcı devresi: Gerçekleştirilen sistemde, senkron generatör için gerekli mekanik enerji DA motoru tarafından sağlanmaktadır. DA motor hız



Şekil 6. Sıfır geçiş anahtar devresi fotoğrafı (Photograph of zero crossing switch circuit)

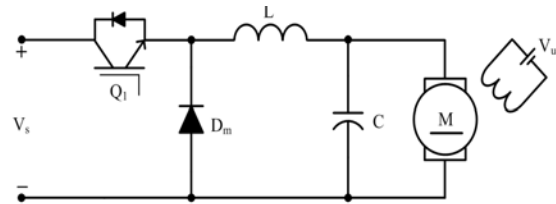


Şekil 7. Faz açısı ve frekans durum bilgileri (Information of frequency and phase angle)

kontrolü ile generatörde üretilen gerilimin faz açısı ve frekansı, şebeke geriliminin faz açısı ve frekansına eşitlenmektedir. DA motorun hız kontrolü, düşürücü kıyıcının çıkışının kontrolü ile yapılmaktadır. Düşürücü kıyıcının çıkış kontrolü ise kullanılan anahtarlama elemanının kapısına (gate) uygulanan PWM sinyalinin iletim-kesim oranının değiştirilmesi ile sağlanmaktadır. Bu işlem manuel veya otomatik olarak yapılabilmektedir. Yapılan çalışmada bu işlem otomatik olarak gerçekleştirilmiştir.

Deneyde kullanılan düşürücü kıyıcının çıkış kontrolü, mikrodenetleyici tarafından C programlama dilinde hazırlanmış olan yazılım ile sağlanmıştır. Kullanılan düşürücü kıyıcıda anahtar elemanı olarak IGBT kullanılmıştır [13,14]. Senkron generatör ve miline akuple olduğu DA motorunun gücü 3kW ile sınırlı olduğundan düşürücü kıyıcı tek anahtarlı tasarlanarak uygulama devresi gerçekleştirilmiştir.

Devre şeması Şekil 8'de verilen kıyıcı düşürücünün görüntüsü Şekil 9'da verilmiştir. Kıyıcıda kullanılan eleman değerleri deneyde kullanılan DA motoru ve generatör parametrelerine göre seçilmiştir.

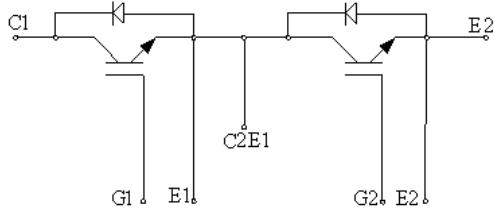


Şekil 8. Düşürücü kıyıcı devre şeması (Buck converter circuit)



Şekil 9. Tasarlanan düşürücü kıyıcının fotoğrafı (Photograph of buck converter)

IGBT anahtar elemanı ve IGBT sürücü devreleri: Frekans kontrolü için kullanılan DA motoru ve senkron generatör uyarım gerilimi ayarında kullanılan düşürücü kıyıcının anahtarlama elemanı olarak Şekil 10'da sembolik olarak gösterilen IGBT kullanılmaktadır.



Şekil 10. Yarım köprü modül IGBT'nin devresi (Circuit of half bridge module IGBT)

DA motor kontrol tekniği olarak pek çok metod vardır. Bu çalışmada DA motor kontrolü için faz kontrol tekniği uygulanmıştır. Bu teknikte, DA motoru hız kontrolünün gerçekleştirilebilmesi için görev çevrimi ayarlanabilen darbe genişlik modülasyonu (PWM) sinyaline, anahtarlama için DA/DA düşürücü kıyıcı devresine, sürücü devresine, motorun hızının ölçülebilmesi için hız okuma arabirimine ve çeşitli lojik kapılara ihtiyaç vardır.

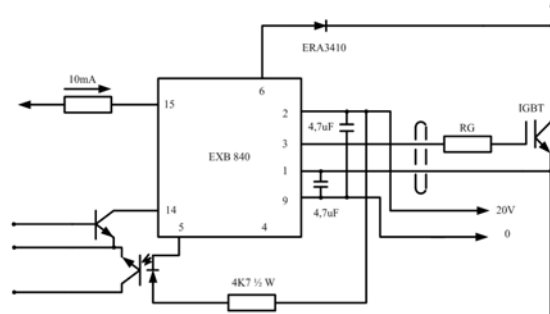
IGBT sürücü devresi: Hız kontrol devresindeki IGBT'lerin çalışabilmesi için sürücü devreye ihtiyaç vardır. Bu işlemleri bir mikrodenetleyici kullanarak daha basit ve düşük maliyetle gerçekleştirmek mümkündür. Mikrodenetleyici kullanılması, devre için ihtiyaç duyulacak birçok analog elemanın azaltılmasını sağlamakta ve sistemin kontrolü daha kolay gerçekleştirilmektedir. Şekil 11'de mikrodenetleyici tarafından üretilen PWM sinyali ve IGBT sürme devresinin çıkışından alınan IGBT sürme sinyali görülmektedir.

Mikrodenetleyici çıkış sinyali 5 volt seviyesinde iken, IGBT sürücü devresi çıkışının 18 volt seviyesinde olduğu görülmektedir. Her IGBT elemanını yalıtılmış kaynaktan sürmek gerekmektedir. Aksi takdirde DA

gerilim sürücüler üzerinden kısa devre olmaktadır. Bu işlem için Şekil 12'deki şeması verilen EXB840 sürücüsü kullanılmıştır. Bu devre 20V DA gerilimle beslenmekte ve çıkışta IGBT sürücüsünün çalışmasını sağlayacak sürme sinyalini vermektedir. Şekil 13'te ise çalışmada kullanılan IGBT sürme devresi verilmiştir.

2.2. Mikrodenetleyici Devresi (Microcontroller Circuit)

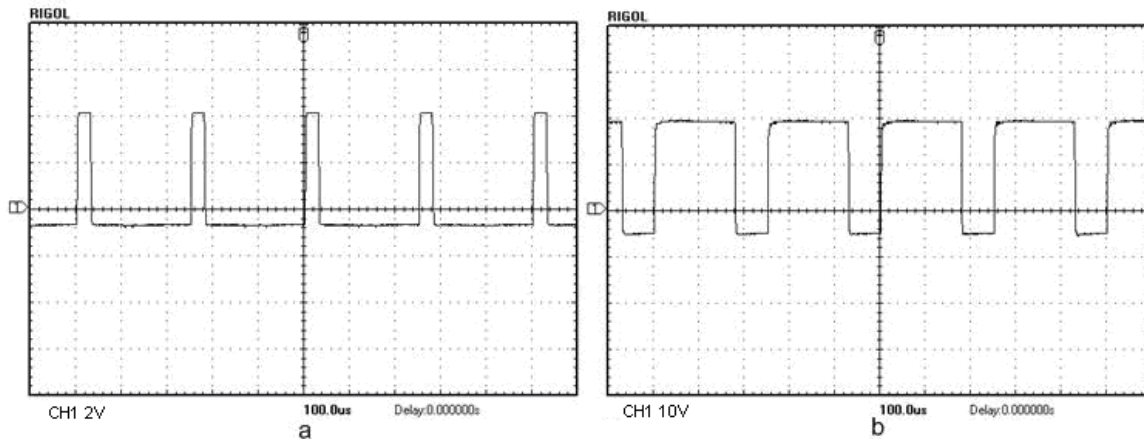
Paralel bağlanacak generatör ve şebekenin frekans ve faz açısı bilgilerine ait girişlerin yapıldığı ve hazırlanan bilgisayar yazılım programı çerçevesinde işlem yapılarak, çıkış bilgilerinin üretildiği birim mikrodenetleyici devresidir. Bu çalışmada 16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Şekil 14'te mikrodenetleyici blok diyagramı görülmektedir. Blok diyagramda, 16F877 mikrodenetleyicisi, dört satır LCD ve C



Şekil 12. IGBT sürücü devre şeması (IGBT drive circuit)



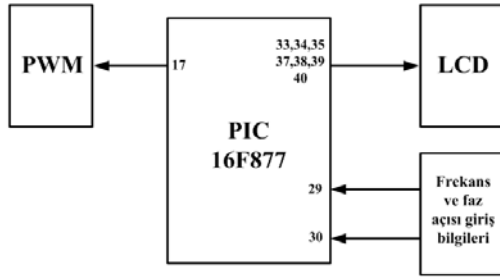
Şekil 13. IGBT sürücü kartı (Photograph of IGBT drive board)



a) Mikrodenetleyici PWM sinyal çıkışı

b) IGBT sürücü devresi PWM sinyal çıkışı

Şekil 11. Mikrodenetleyici ve IGBT sürücü çıkış PWM sinyalleri osiloskop görüntüsü (The Oscilloscope view of IGBT drivers and microcontroller output signals)



Şekil 14. Mikrodenetleyici giriş ve çıkışları (Inputs and outputs of microcontroller)

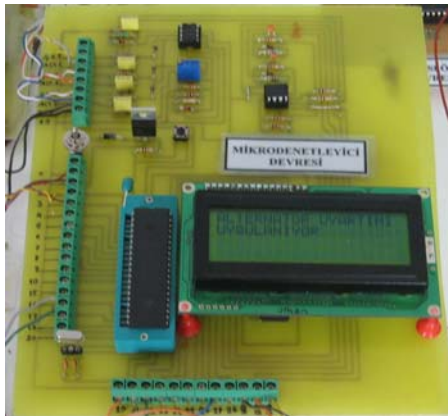
bilgisayar programlama dilinde hazırlanan yazılım programı kullanılmıştır.

Mikrodenetleyici devresinde, 29 ve 30 nolu uçlar şebeke ve generatöre ait kare dalga giriş bilgileridir. 33, 34, 35, 37, 38, 39 ve 40 nolu uçlar LCD çıkış bilgileridir. 17 nolu uç DA motor kontrol sinyalidir. Şekil 15'te mikrodenetleyici görüntüsü verilmiştir.

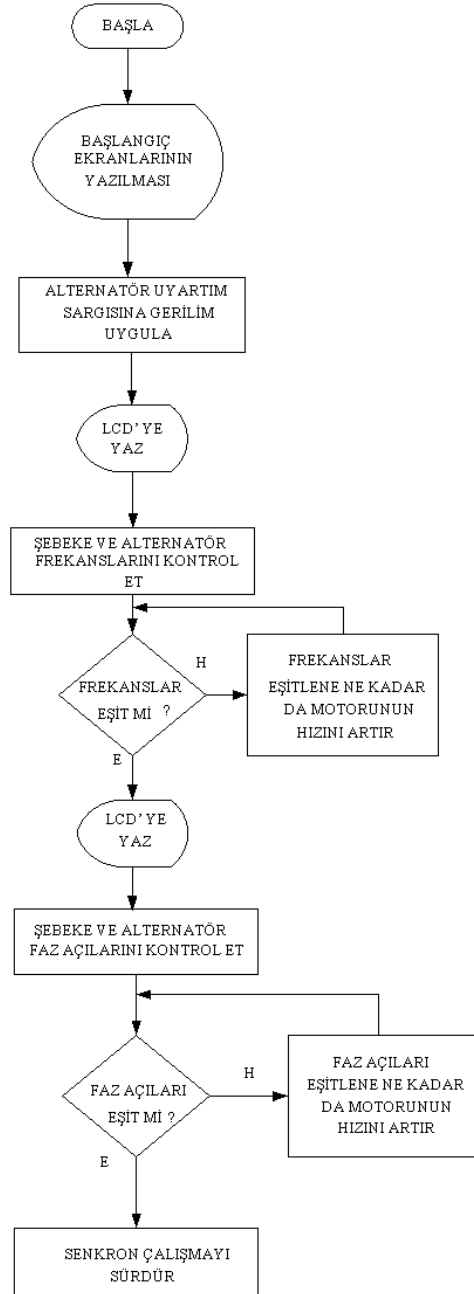
2.3. Sistem Akış Diyagramı (Flowchart of the System)

Şekil 16'da verilen sistem akış diyagramında başla komutundan önce generatör ve şebeke uç gerilimleri eşit olarak çalışmaktadır.

Mikrodenetleyicinin 29 ve 30 nolu girişlerine uygulanan kare dalga sinyalinin başlangıç ve bitiş anları hazırlanan yazılım tarafından sayılarak frekans eşitlikleri kontrol edilir. Frekanslar eşit değilse, mikrodenetleyicinin ürettiği PWM sinyalinin iletim-kesim oranı değiştirilerek, DA motor sürücüsüne 17 nolu çıkıştan kontrol sinyali gönderilir ve frekans eşitliği sağlanıncaya kadar DA motorunun hızı artırılır veya azaltılır. Frekans eşitlikleri sağlandıktan sonra, bilgiler LCD' de yazdırılır ve faz açıları kontrol edilmek üzere sonraki işleme geçilir. 29 ve 30 nolu uçlara uygulana kare dalgalar başlama ve bitiş sürelerinin eşit olması sağlandığından, bu defa aynı anda sıfır olup olmadıkları kontrol edilir. Generatör ve şebeke sinyallerinin başlangıç anları eş zamanlı olarak 0-1-0 olduğu an senkronizasyon anıdır ve çalışmanın bu şekilde devam etmesi sağlanır. Senkron generatör ve şebeke sinyallerinin başlangıç anlarının



Şekil 15. Mikrodenetleyici devresi resmi (Photograph of microcontroller circuit)

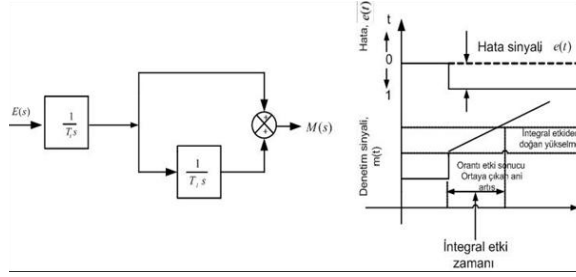


Şekil 16. Sistemin akış diyagramı (Flowchart of the system)

farklı olması durumunda ise, aralarındaki fark sıfır oluncaya kadar mikrodenetleyicinin ürettiği PWM sinyalinin iletim-kesim oranı değiştirilerek açısal farkın sıfır olması sağlanır. Bu işlem gerçekleştirilirken bilgiler LCD ekrana yazdırılır. Gerçekleştirilen bu işlemlerde PI kontrol tekniği uygulanmaktadır. Yapılan bu işleme basitçe faz kilitleme işlemi yani PLL denmektedir.

2.4. PI-Denetim (PI-Control)

Bu denetim organı Şekil 17'de görüldüğü gibi oransal ve integral denetim etkilerinin birleştirilmesinden meydana gelir. Denetim organı çıkışı $m(t)$ ise Eşitlik 1'de verilmiştir:



Şekil 17. Oransal ve integral etki (PI effect)

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (1)$$

buradan;

$$m(t) = K_p \left(e(t) + \frac{K_d}{K_p} \frac{de}{dt} \right) \quad (2)$$

şeklinde verilir. Burada $T_d = K_d / K_p$ türev etki zamanı olup, sistemin transfer fonksiyonu ise Eşitlik 3.'de görülmektedir [16].

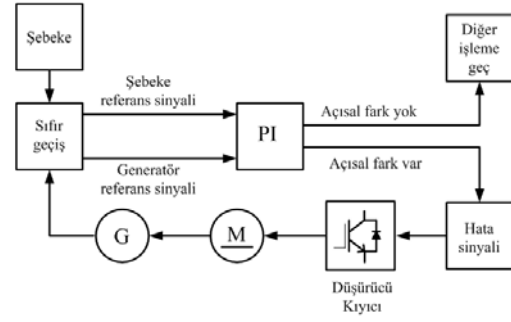
$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (3)$$

Hatada bir basamak değişim karşısında PI denetim organı çıkışındaki değişim Şekil 17'de verilmiştir.

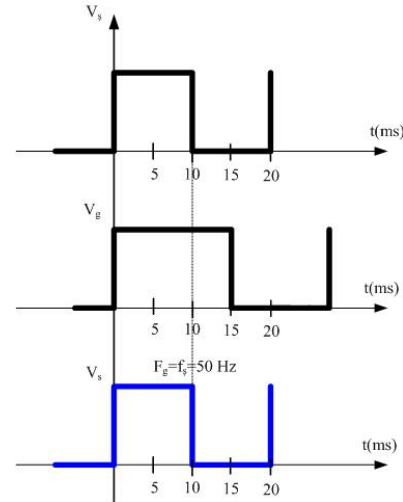
Oransal etkiye integral etki ilavesi, oransal etkinin tek başına kullanılması halinde sistemde ortaya çıkan kalıcı durum hatasını ortadan kaldırır. İntegrasyon işlemi kalıcı durum hatasını ortadan kaldırmakla beraber, aynı bağıl kararlılık koşullarında verilen sistemin cevap hızı düşer. İntegral etki kazancını, K_i artırmak suretiyle cevap hızı artırmakla beraber, kazanç değerinin çok fazla artırılması sistemi kararsızlığa götürebilir [15].

2.4.1. Kontrol sistemi (Control System)

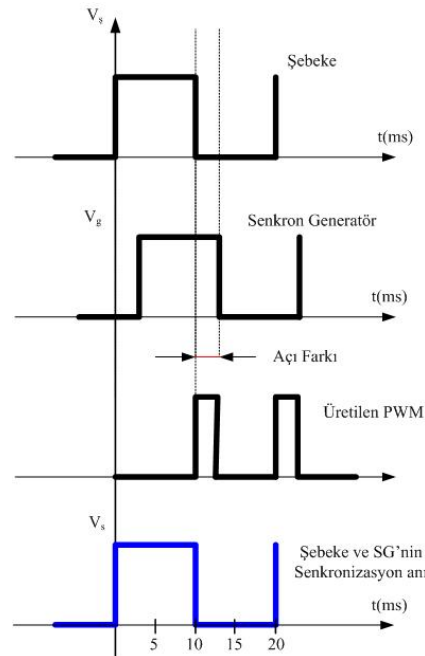
Yapılan çalışma, C yazılım programı içeriğinde PI kontrol parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Senkron generatör ve şebekeye ait olan sinüs referans sinyalleri sıfır geçiş anahtar devresinde kare dalgaya dönüştürülerek mikrodenetleyici girişlerine uygulanmıştır. Mikrodenetleyici ise gelen sinyallere integrasyon denetimi uygulayarak başlangıç anlarını eşitleyip faz açısı kontrolü, genliklerini eşitleyip Şekil 18'de görüldüğü gibi frekans eşitliğini sağlamaktadır. Şekil 19'da ise eşitlik dalga şekilleri görülmektedir. Faz açısı eşitliği devresi de frekans eşitliğinin sağlandığı gibi yapılmaktadır. Burada görüldüğü gibi, şebeke sinyal girişini referans alınıp, senkron generatör sinyalinin başlangıcı şebeke ile eş zamanlı (senkron) olmasını sağlamak için, DA motorunun hızı ayarlanmaktadır. Şekil 20'de bu sinyallere ait dalga şekilleri görülmektedir.



Şekil 18. Frekans kontrol ünitesi sinyal blok şeması (Diagram of the frequency control unit)



Şekil 19. Frekans eşitliği sinyalleri (Signal of the frequencies equality)

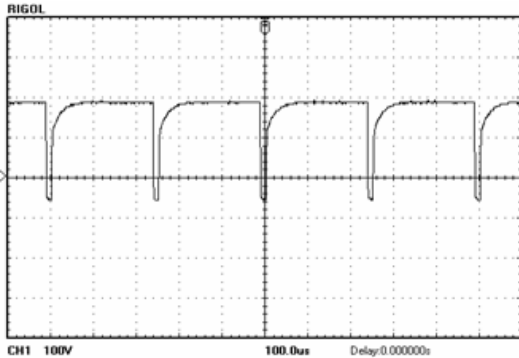


Şekil 20. Faz açısı eşitliği sinyalleri (Signal of the phase angle equality)

3. YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI (EXPERIMENTAL STUDIES and CONCLUSION)

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

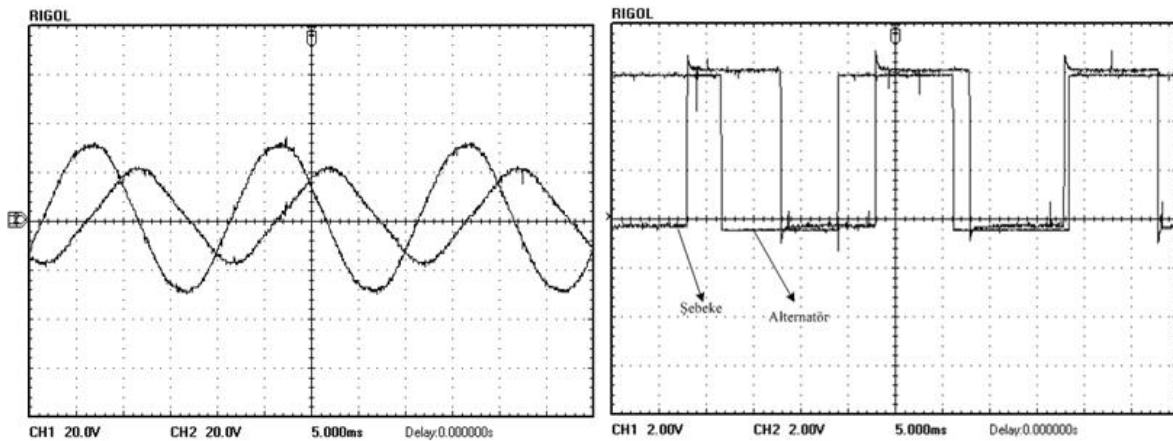
Şekil 21’de DA kaynak geriliminin sınırdaki olması durumunda PWM sinyalinin iletim-kesim oranının %90 oranında iletim durumu görülmektedir. Çalışma esnasında frekans eşitliğini sağlanmasında iletim-kesim oranının değişimi çok sınır değerinde kalmıştır. DA kaynak geriliminin yükseltmek suretiyle frekans ayar sınırı genişletilmelidir.



Şekil 21. %90 iletimli PWM sinyalinin frekansa bağlı değişimi (Variation of PWM at %90 on time versus frequency)

Şekil 22’de referans şebeke sinyaline değişken senkron generatör sinyalinin eşitlenmesi anındaki şebeke ve senkron generatör sinyalleri görülmektedir. Şekil 23’te görüldüğü gibi, frekans eşitlikleri sağlandıktan sonra, aralarındaki açılal farkın sıfıra düşürülmesi için faz açıları eşitliği, DA motor hızını kontrol eden PWM sinyalinin iletim-kesim oranı değiştirilerek sağlanmaktadır.

Şekil 23’te frekans eşitliği sağlandıktan sonra şebeke ve senkron generatör sinyalleri arasındaki açılal fark



a) Gerilimin Sinüsoidal formu (Sinusoidal waveform of Voltages)

b) Kare dalgaya dönüştürülmüş form (Converted Square waveform)

Şekil 22. Senkron generatör düşük frekans ayar anı (Instant of lower frequency adjustment of generator)

anı görülmektedir. PWM sinyalinin iletim-kesim oranı kademeli artırılarak açılal fark sıfıra düşürülünceye kadar DA motorunun hızı artırılmaktadır.

Şekil 24’te PWM sinyalinin iletim-kesim oranı değiştirilerek şebeke-senkron generatör sinyalleri arasında %95 oranında senkronizasyonun sağlandığı durum görülmektedir.

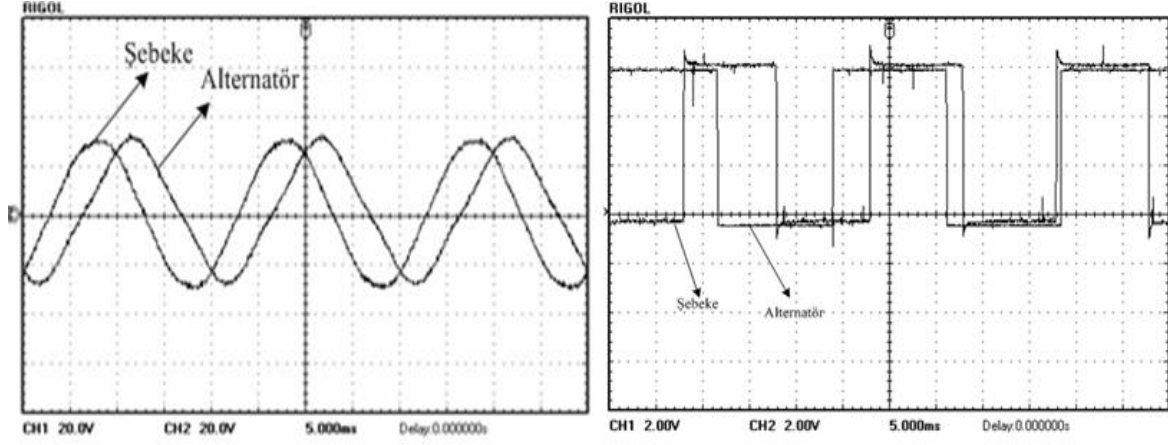
Şekil 25’te ise faz açılarının eşitlendiği (tam senkronizasyonun sağlandığı) durumu göstermektedir. Faz açıları eşitlendikten sonra şebeke ve senkron generatör paralel bağlanırlar.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, senkron generatörün şebekeye paralel bağlanması esnasında frekans ve faz açılarının eşitlenmesi mikrodnetleyici kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, senkron generatör ve şebekeye ait gerilim sinyallerinin eşit olması durumu sağlandıktan sonra, frekans ve faz açısı bilgilerine ait temel ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerden sonra yazılan program doğrultusunda PI kontrol tekniği yardımı ile, frekans ve faz açılarını eşitlenerek generatör ve şebeke sinyallerinin senkronizasyonu sağlanmıştır. Geliştirilen sistem ile maliyet düşürülmüş ve tam otomatik kontrol sağlanmıştır. Geliştirilen bu sistem, düşük maliyetli ve güvenilir olmuştur. Mikrodnetleyici gerekli algılama ve koruma fonksiyonları ile yanlış bağlantı ve hatalı ölçüm gibi sakıncalar ortadan kaldırılmıştır. Devrede kullanılan donanım yapısının kolay elde edilebilir olması ve yazılımın değiştirilebilirliği nedeniyle, endüstriyel amaçlı benzer tekniklerin kullanıldığı sistemler için bir alternatif oluşturmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

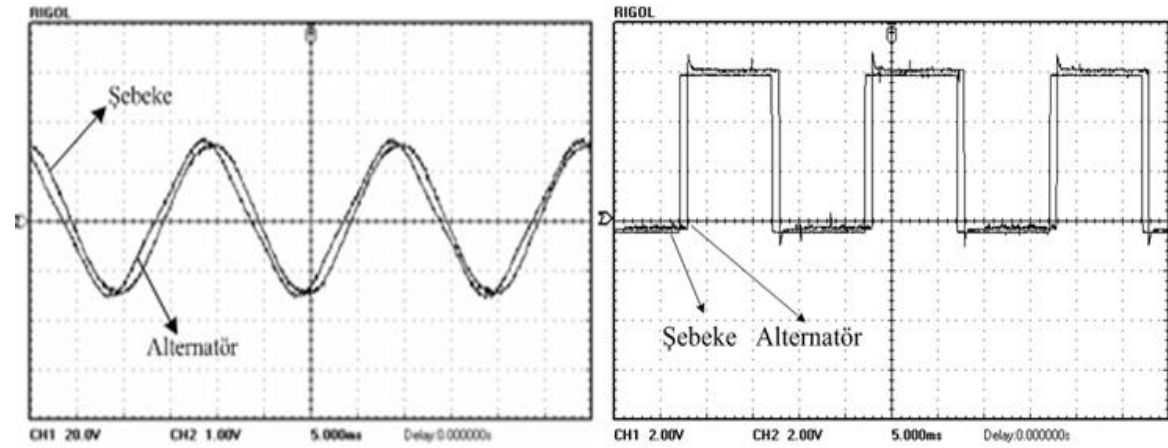
1. Bayındır R., Çolak İ., Garip İ. ve Bayhan S. “Alternatörler İçin Mikrodnetleyici Tabanlı Faz Sırası Doğruluğu ve Faz Kopukluğu Uyarı



a) Açısal fark anı sinus sinyali (sinusoidal waveform at instance of angle difference)

(b) Açısal fark anı kare dalga sinyali (Square waveform at instance of angle difference)

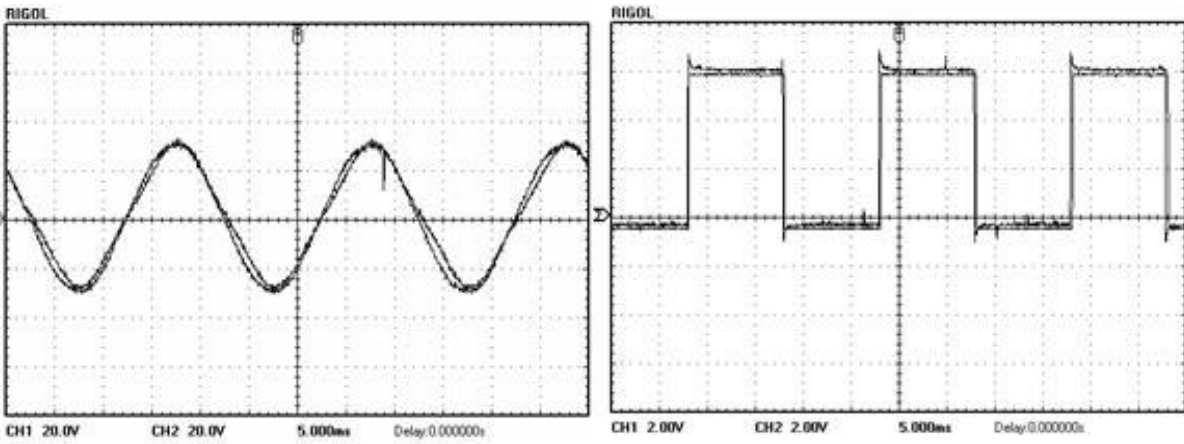
Şekil 23. Şebeke-senkron generatör çıkış sinyalleri açısal fark anı (Instant of utility-alternator signals output)



(a) Açısal fark anı sinus sinyali (Sinusoidal waveform at instance of angle difference)

(b) Açısal fark anı kare dalga sinyali (Square waveform at instance of angle difference)

Şekil 24. Şebeke-senkron generatör çıkış sinyalleri açısal fark anı (Instant of utility-alternator signals output)



(a) Sinüsoidal sinyal (Sinusoidal waveform at instance of angle difference)

(b) Kare dalga sinyal (Square waveform at instance of angle difference)

Şekil 25. %100 senkronizasyon anı (Instant of 100% synchronization)

Sistemi” **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.** Cilt 24, No 1, 105-117, Ankara, 2009

2. 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).

3. 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).
4. 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).
 5. 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).
 6. 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).
 7. 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).
 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. Mozina J. C., “Interconnection Protection of IPP Generators at Commercial Industrial/Facilities” **IEEE Transaction on Industry Applications**, 37 (3): 681-687 (2001).
 11. 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).
 12. İnternet: MICROCHIP “Embedded Control Handbook”, www.microchip.com (2008).
 13. El Fadıl H., GIRI F., “Robust Control of Motor Velocity Through DC-DC Buck Power Converter”, **IEEE Industrial Electronics, IECON 2006 - 32nd Annual Conference on**, 10: 1563-1568 (2006).
 14. 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).
 15. Yüksel İ., “ Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri ”, **Nobel Yayın Dağıtım** Ankara (2006).