

SANAL ELEKTRİK MAKİNALARI LABORATUARI: SENKRON JENERATÖR DENEYLERİ

Erdal BEKİROĞLU ve Alper BAYRAK*

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Abant İzzet Baysal Üniversitesi 14280 Gölköy/Bolu

*Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 35430 Urla/İzmir

bekiroglu_e@ibu.edu.tr, alperbayrak@iyte.edu.tr

(Geliş/Received: 17.06.2009 ; Kabul/Accepted: 26.10.2009)

ÖZET

Bu çalışmada, senkron jeneratör deneylerinin bilgisayar ortamında yapılabilmesini sağlayan sanal bir elektrik makinaları laboratuvar aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen araç ile senkron jeneratörlere ait boş çalışma, kısa devre, yüklü çalışma ve paralel bağlama deneyleri yapılmaktadır. Her deney için ayrı bir deney sayfası açılarak, deneyin yapılışı, bağlantı şeması, tablo ve grafikler gösterilmektedir. C#.NET platformu kullanılarak geliştirilen sanal laboratuvar aracı kullanıcı dostu olarak tasarlanmıştır. Benzetim çalışmaları için jeneratörün modeli ve pratik deneylerden yararlanılmıştır. Geliştirilen sanal laboratuvar aracı, konu ile ilgili eğitim alan öğrencilerin senkron jeneratörleri daha iyi kavramasına yardımcı olacak, gerekli laboratuvar donanımlarının kurulmadığı birimlerde öğrencilere bilgisayar ortamında deneyleri yapma olanağı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Senkron jeneratör, sanal laboratuvar, eğitim aracı.

VIRTUAL ELECTRICAL MACHINERY LABORATORY: EXPERIMENTS OF SYNCHRONOUS GENERATOR

ABSTRACT

In this study, a virtual electrical machines laboratory tool that provides training the synchronous generator experiments on the computer has been developed. No load, short circuit, loaded and parallel connection experiments of the synchronous generators are done with this tool. A separate experiment page is opened for the each experiment and the experiment process, the connection diagram, the table and the graphics are showed on the experiment page. The virtual laboratory tool improved by using C#.NET platform has been designed to be user friendly. Model and practical experiments of the generator are used for the simulation studies. Developed virtual laboratory tool will help the students to understand the synchronous generators. It will provide the possibility for the student to do experiments on the computer where the required laboratory equipments not constructed.

Keywords: Synchronous generator, virtual laboratory, educational tool.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik makinalarının temel makinalarından biri olan senkron makina, santrallarda elektrik enerjisinin üretiminde senkron jeneratör (SJ) veya alternatör olarak kullanılmaktadır. Elektrik güç sistemleri, iletim hatlarına bağlı ve çok büyük miktarlardaki dağınık yükleri besleyen paralel bağlanmış birçok senkron jeneratörü içermektedir [1-2]. Senkron jeneratörlerin benzetimi, modeli, kontrolü, paralel bağlanması ve paramet-

relerinin bulunması ile ilgili olarak literatürde çeşitli çalışmalar yayınlanmıştır [3-8].

Senkron jeneratörlerin çalışma esaslarının bilinmesi, karakteristiklerinin elde edilmesi, çeşitli yük ve çalışma koşullarındaki tepkilerinin anlaşılması elektrik enerji üretiminin sürekliliğini ve güvenilirliğini sağlamak açısından çok önemlidir. Bundan dolayı konu ile ilgili kişilerin teorik eğitimlerinin pratik deneylerle desteklenmesi gerekmektedir.

Geleneksel laboratuvar uygulamaları eğitim programlarının tamamlayıcı bölümlerini oluştururlar. Bu deneysel çalışmalar öğrencilere pratik beceri kazandırır ve onları meslek hayatına hazırlamada yardımcı olur. Pratik deneyim, eğitimin çok önemli bir unsurudur. Bununla birlikte, bilimsel laboratuvarların kurulması ve planlanması zaman ve maliyet gerektirmektedir. Özellikle elektrik mühendisliği bölümlerinin kurulum maliyetleri oldukça yüksektir. Buna benzer geleneksel deney ortamlarının bazı kısıtlamaları nedeniyle alternatiflerinin aranma zorunluluğu ortaya çıkabilmektedir [9].

Son yıllarda, bilişim teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, sanal laboratuvar uygulamaları büyük bir hızla artmaktadır. Diğer mühendislik alanlarında olduğu gibi, elektrik mühendisliği alanında da eğitim amaçlı sanal laboratuvar araçları geliştirilmiştir. Bu çalışmaların derlendiği ve geniş olarak ele alındığı çalışmalar yayınlanmıştır [10-13]. Bunlara paralel olarak elektrik makinaları ve senkron makinalar konularında da çeşitli sanal laboratuvar araçları geliştirilmiş ve sunulmuştur. Bu kısımda özellikle senkron jeneratörle ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Elektrik makinalarının eğitimi için web tabanlı bir eğitim aracı sunulmuştur [14]. Senkron makina modelini karakterize eden bir model geliştirilmiş, çalışmada LabVIEW ile geliştirilen sanal araç fonksiyon jeneratörü olarak tasarlanmış ve kullanılmıştır [15]. Elektrik makinaları derslerinde bilgisayarın rolü ile ilgili bir çalışma sunulmuştur. Bu çalışmada senkron jeneratörün güç akışı konusu ele alınmıştır [16]. Senkron jeneratörün, bir elektrik şebekesine paralel bağlanmasını benzetim ve deneylerle gösteren sanal bir elektrik makinaları laboratuvarı çalışması sunulmuştur [17]. Paralel bağlı senkron jeneratörler arasında oluşan hataları izleyen bir görsel araç geliştirilmiştir [18]. Senkron jeneratörlerin senkronizasyonu için görsel bir araç geliştirilmiştir [19]. Senkron jeneratörün LabVIEW kullanılarak benzetimi sunulmuş, çalışmada senkron jeneratörün temel büyüklüklerinin birbirleriyle değişimi verilmiştir [20]. Bir diğer sanal elektrik laboratuvarı çalışmasında senkron motorun V eğrileri üzerinde durulmuştur [21]. Senkron makine uygulamaları için geliştirilen sanal elektrik laboratuvar aracında senkron jeneratörün sargı direnci ölçümü, boş çalışma ve kısa devre deneyleri verilmiştir [22]. Alternatörlerin paralel bağlanmasını gerçek-zamanlı olarak gerçekleştiren eğitim amaçlı bir sanal laboratuvar aracı sunulmuştur [23].

Bu çalışmada senkron jeneratörün temel çalışma karakteristiklerini ortaya koyan ve senkron jeneratöre ait temel deneylerin yapılabileceği eğitim amaçlı sanal bir elektrik makinaları laboratuvar aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen araç ile senkron jeneratöre ait boş çalışma, kısa devre, yüklü çalışma ve paralel bağlama deneyleri yapılabilmektedir. Sanal araç C#.NET platformu kullanılarak geliştirilmiştir. Çalışmada senkron jeneratörün temel kararlı durum denklemlerinin yanı sıra pratik deneylerden de yararlanılmıştır. Deneylerde 4

kutuplu, 2.5 kW gücünde çıkıntılı kutuplu bir senkron makina kullanılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ve motorun temel denklemleri kullanılarak benzetimin altyapısı oluşturulmuştur. Böylece deneylerin istenilen hız, uyartım akımı, çıkış gerilimi ve yük değerlerinde yapılabilmesi ve doğru sonuçlar üretmesi sağlanmıştır.

Sanal laboratuvar aracı kolay kullanım özelliğine sahiptir. Kullanıcı yapacağı deneyi kolaylıkla seçmekte ve verilen bilgilere göre deneyi yapabilmektedir. Geliştirilen araç, senkron jeneratör deneylerinin yapılması için gerekli olan donanımların olmadığı birimlerde, konu ile ilgili kişilerin eğitimlerinde önemli bir katkı sağlayacaktır. Deney donanımlarının olduğu birimlerde de, deney platformuna geçmeden önce ön hazırlık aşamasında senkron jeneratörlerin kavranmasına, deneylerin anlaşılmasına ve daha kolay yapılmasına katkı sağlayacaktır.

2. SENKRON JENERATÖRLER (SYNCHRONOUS GENERATORS)

Senkron jeneratör, kararlı çalışma durumunda frekansının döndürücü sistemin hızıyla doğru orantılı olduğu bir alternatif akım makinasıdır. Bu çalışmada senkron jeneratörün temel büyüklükleri ve deneylerinden yararlanılarak görsel yazılım için gerekli olan matematiksel eşitlikler elde edilmiştir. Çalışmada, çıkıntılı kutuplu senkron jeneratörün kararlı durum eşitlikleri kullanılmıştır. Bu eşitlikler, pratik deneylerden alınan sonuçlarla birleştirilerek sanal deneyler için gerekli olan veriler elde edilmiş ve deneylerin istenilen koşullarda yapılabilmesi sağlanmıştır.

Senkron jeneratörün ürettiği gerilimin frekansı, makinanın kutup sayısına ve döndürücü sistemin hızına bağlıdır. Frekans eşitliği aşağıdaki gibidir;

$$f = \frac{n.P}{120} \quad (1)$$

Burada;

f : Üretilen gerilimin frekansı (Hz)
 n : Döndürücü sistemin hızı (d/d)
 P : Senkron jeneratörün kutup sayısı

Senkron jeneratörün ürettiği gerilimin etkin değeri aşağıdaki eşitlikle bulunur.

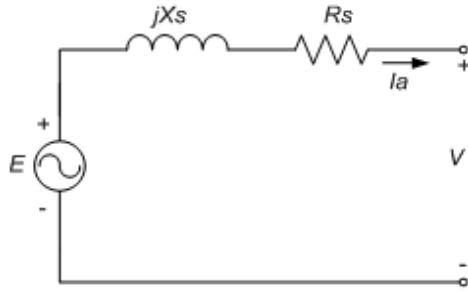
$$E_{rms} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot k_w \cdot N_{ph} \cdot \phi \quad (2)$$

Burada;

E_{rms} : Senkron jeneratör etkin faz gerilimi (V)
 k_w : Sargı katsayısı
 N_{ph} : Faz başına sarım sayısı
 Φ : Kutup akısı (Wb)

Senkron makina tasarlanıp üretildikten sonra sargı katsayısı ve sarım sayısı sabit olarak kabul edilir. Dolayısı ile eşitlikten de görüleceği gibi çıkış gerilimini etkileyen değişkenler frekans ve kutup akısıdır. Frekans döndürücü sistemin dönüş hızına, kutup akısı da uyarım devresinden geçen akıma bağlıdır. Buna göre döndürücü sistemin hızı sabitken, çıkış gerilimi uyarım akımına bağlı olarak değişir.

Çalışmada kullanılan çıkıntılı kutuplu senkron jeneratöre ait basitleştirilmiş eşdeğer devre Şekil 1'de verilmiştir. Burada jeneratörün ürettiği gerilim, direnç ve



Şekil 1. Çıkıntılı kutuplu SJ eşdeğer devresi (Equivalent circuit of the salient pole synchronous generator)

reaktanslarda kayıplara uğradıktan sonra terminal gerilimi olarak çıkışa aktarılmaktadır. Kaçak reaktans ve terminal gerilimi ifadeleri aşağıdaki eşitliklerden elde edilir.

$$Z_s = R_s + jX_s \quad (3)$$

$$V = E - I_a.R_s - jX_s.I_a \quad (4)$$

Burada;

R_s : Sargı direnci (Ω)

X_s : Sargı kaçak reaktansı (Ω)

Z_s : Senkron empedans (Ω)

E : Jeneratörün ürettiği gerilimi (V)

V : Terminal gerilimi (V)

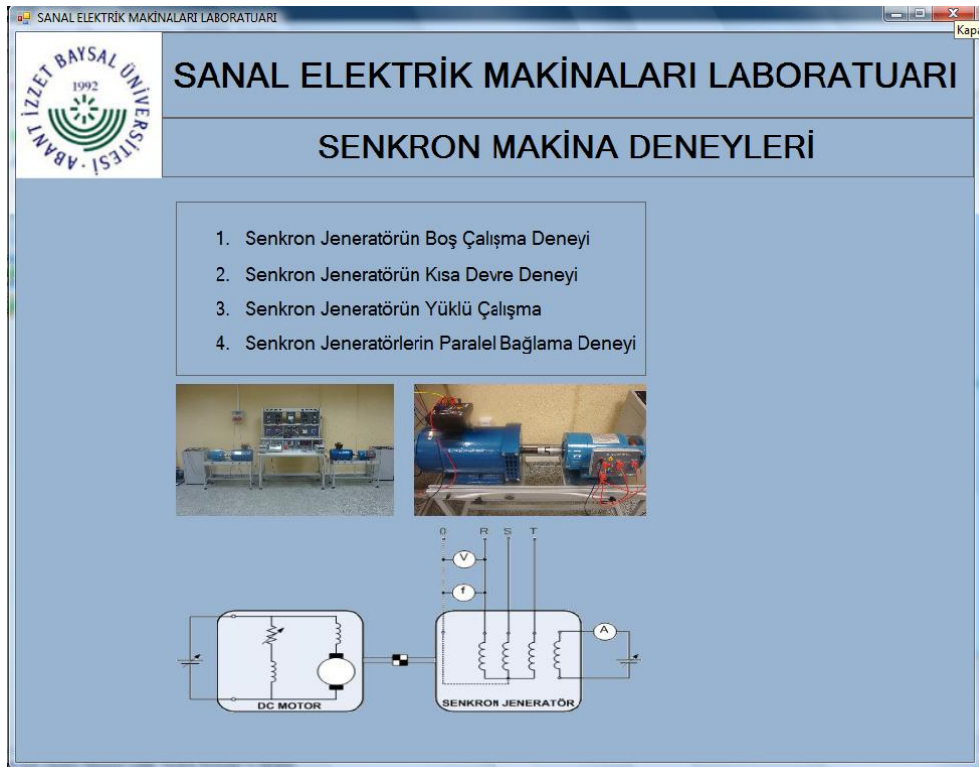
I_a : Endüvi akımı (A)

3. SANAL LABORATUAR ARACI (VIRTUAL EDUCATIONAL TOOL)

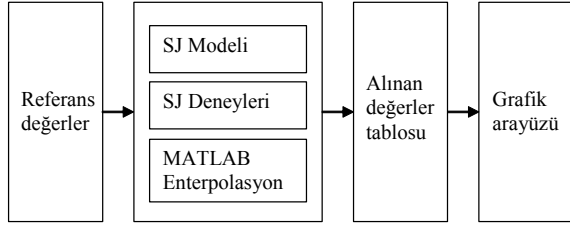
Sanal araç C#.NET platformu kullanılarak geliştirilmiştir. Geliştirilen sanal laboratuvar aracına ait giriş ekranı Şekil 2'de verilmiştir. Bu ekranda sanal araç ile yapılabilecek deneylerin listesi verilmiştir. Kullanıcı bu listeden herhangi bir deneyi seçerek, ilgili deney sayfasının açılmasını sağlamaktadır.

İlgili deney sayfasında deneyle ilgili bilgiler, deneyin yapılışı, deney bağlantı şeması, değerler tablosu ve grafik alanı bulunmaktadır. Sanal araçtan elde edilen sonuçların doğruluğunu ve gerçek deney platformuna uygunluğunu sağlamak amacıyla laboratuvar ortamında senkron jeneratöre ait deneyler yapılarak basit bir veri tabanı oluşturulmuştur. Daha sonra bu veri tabanı, jeneratörün kararlı durum denklemleri ve interpolasyon metodu kullanılarak, araç üzerinde referans olarak girilen her giriş değeri için doğru sonuçların üretilmesi sağlanmıştır.

Şekil 3'te hesaplamaların nasıl yapıldığına ait blok diyagramı gösterilmiştir. Girilen referans değere göre hesaplamalar yapıldıktan sonra, ilgili deneye ait çıkış büyüklükleri tabloya kaydedilmektedir. Tabloya kay-



Şekil 2. Sanal elektrik makinaları laboratuvarı ana ekranı (Main window of the virtual electrical machinery laboratory)



Şekil 3. Sanal laboratuvar aracında yapılan hesaplamalara ait blok diyagram (Block diagram of the computation of the virtual laboratory tool)

dedilen verilerle istenildiğinde, deneylere ait grafikler çizdirilmektedir.

Şekil 4' de boş çalışma deneyine ait deney sayfası görülmektedir. Sayfa da deneyin amacı, deneyin yapılışı ile ilgili bilgiler ve deneyin bağlantı şeması bulunmaktadır. Burada ayar düğmeleri ile hız ve uyarım akımı kontrol edilmektedir. Değer alma işlemi sonucu alınan değerler tabloya yazdırılmakta ve istendiğinde bunlara ait grafik çizdirilmektedir.

4. SENKRON JENERATÖR DENEYLERİ (EXPERIMENTS OF THE SYNCHRONOUS GENERATOR)

Bu bölümde sanal elektrik makinaları aracı kullanılarak senkron jeneratör deneylerinin nasıl yapıldığına ait bilgiler verilmiştir.

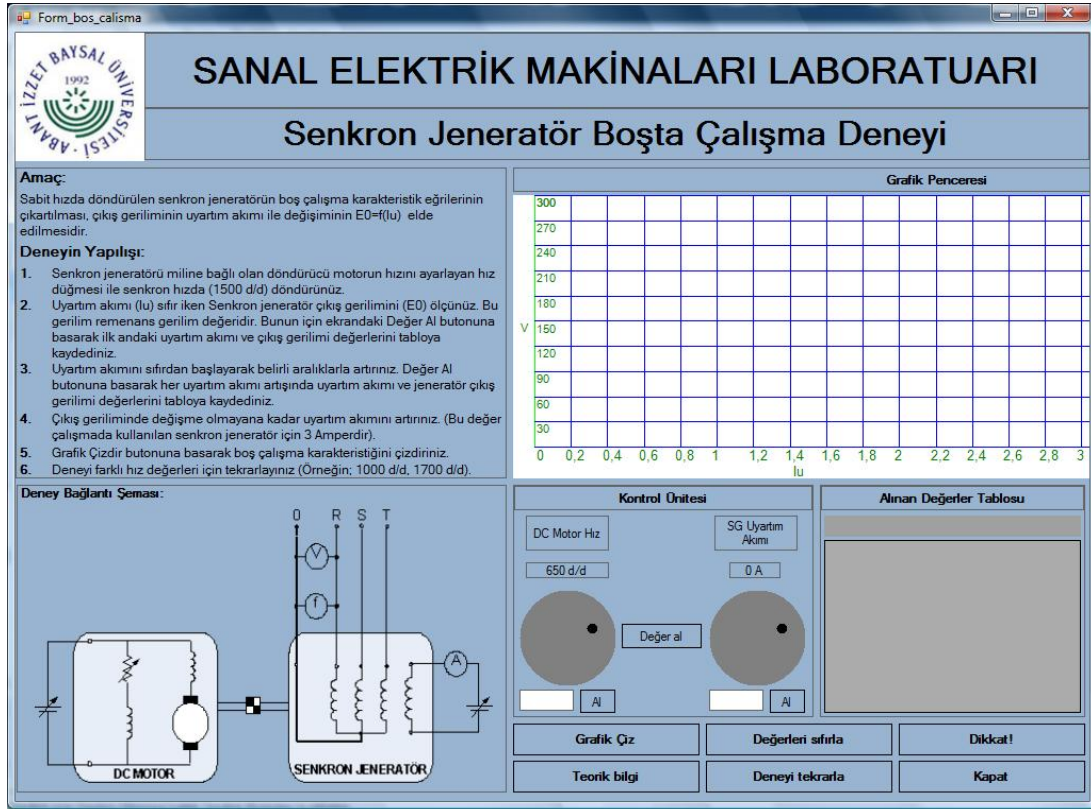
Sanal aracın kabiliyetini göstermek amacıyla senkron jeneratöre ait boş çalışma, kısa devre, yüklü çalışma ve paralel bağlanma deneyleri sırasıyla yapılarak, her

deney için elde edilen değerler tablosu ve grafikler ilgili deneyeye ait deney sayfası üzerinde gösterilmiştir.

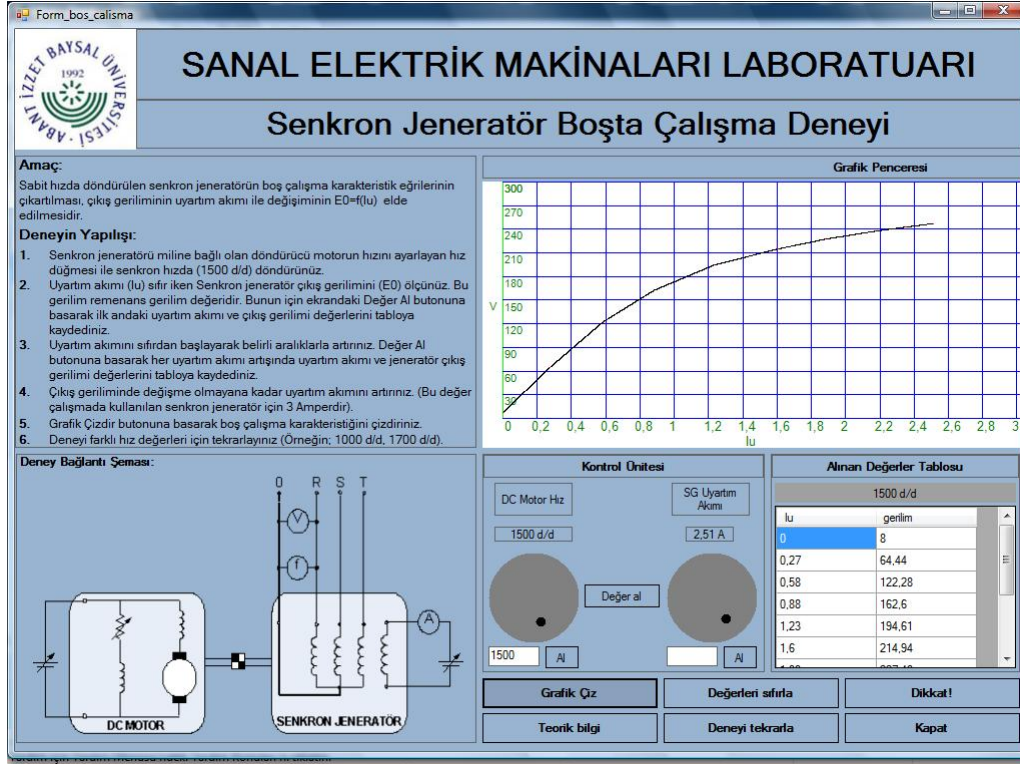
4.1. Boş Çalışma Deneyi (No Load Test)

Deneyin amacı sabit hızda döndürülen senkron jeneratörün boş çalışma karakteristik eğrilerinin çıkartılması, çıkış geriliminin uyarım akımı ile değişiminin $E_0=f(I_u)$ elde edilmesidir. Bunun için senkron jeneratörü miline bağlı olan döndürücü motorun hızını ayarlayan hız düğmesi ile senkron hızı (1500 d/d) ayarlanmaktadır. Uyarım akımı (I_u) sıfır iken Senkron jeneratör çıkış gerilimini (E_0) ölçülür. Bu gerilim remenans gerilim değeridir. Bunun için ekrandaki **Değer Al** butonuna basılarak ilk andaki uyarım akımı ve çıkış gerilimi değerleri tabloya kaydedilir. Uyarım akımı sıfırdan başlayarak anma değerine kadar belirli aralıklarla artırılır. **Değer Al** butonuna basılarak her uyarım akımı artışında uyarım akımı ve jeneratör çıkış gerilimi değerlerini tabloya kaydedilir. Kullanıcı herhangi bir hız ve uyarım akımı değeri ayarlayıp **Değer Al** butonuna bastığında *spline entropolasyon* işlemi ile istenen herhangi bir ara değerdeki hız ve uyarım akımına karşılık gelen çıkış gerilimi değerinin bulunması sağlanmıştır. **Grafik Çizdir** butonuna basıldığında elde edilen değerlere göre grafik çizdirilerek boş çalışma karakteristiği elde edilir.

Belirtilen esaslara göre yapılan *Boş Çalışma* deneyine ait deney sayfası Şekil 5'de görülmektedir. Deney farklı hız değerleri (farklı çıkış frekansları) için tekrarlanarak hızın çıkış gerilimine olan etkisi de



Şekil 4. Boş çalışma deneyine ait ekran (The window of the no load test)

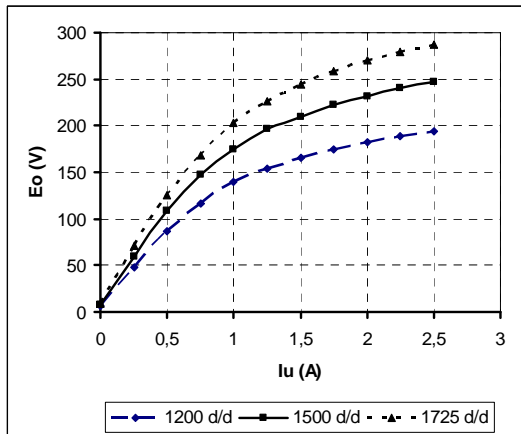


Şekil 5. Boş çalışma deney sayfası (Experiment page of the no load test)

incelenebilir. Bu deneyle, uyarım akımı ve frekansın çıkış gerilimine etkisi alınan değerlerle ve grafiklerle gösterilmektedir. Böylece öğrencinin senkron jeneratörün boş çalışma durumundaki davranışlarını anlamasına katkı sağlanmaktadır. Sanal araç ile boş çalışma deneyi farklı hız değerleri için tekrarlanabilmektedir. Şekil 6'da sanal araç ile 3 farklı hız değeri için yapılan boş çalışma deneyinden alınan değerler kullanılarak çizdirilmiş eğriler görülmektedir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi jeneratörü döndüren sistemin hızı arttıkça, üretilen gerilimin değeri de artmaktadır.

4.2. Kısa Devre Deneyi (Short Circuit Test)

Deneyin amacı sabit hızda döndürülen senkron jeneratörün kısa devre karakteristik eğrilerinin çıkar-



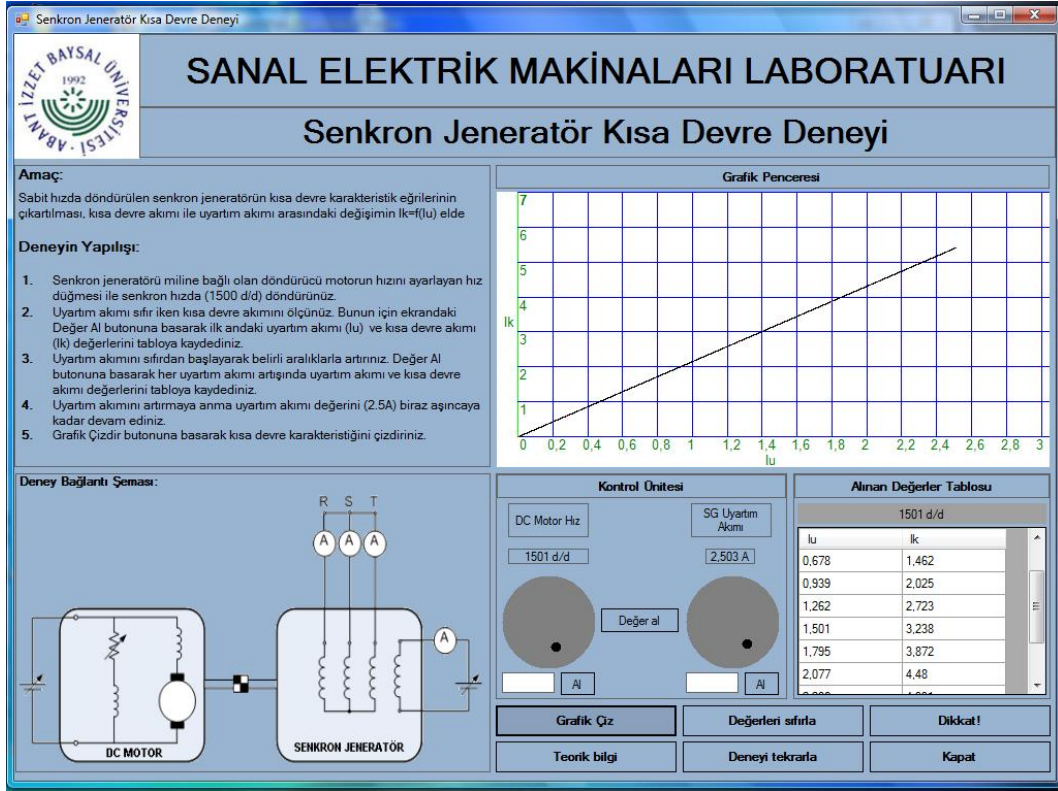
Şekil 6. Boş çalışma eğrileri (1200, 1500, 1725 d/d) (No load characteristics 1200, 1500, 1725 rpm)

ılması ve kısa devre akımı ile uyarım akımı arasındaki değişimin $I_k=f(I_u)$ elde edilmesidir. Bunun için senkron jeneratörü, miline bağlı olan döndürücü motorun hızını ayarlayan hız düğmesi ile senkron hıza (1500 d/d) ayarlanmaktadır. Uyarım akımı sıfır iken **Değer Al** butonuna basılarak ilk andaki uyarım akımı (I_u) ve kısa devre akımı (I_k) değerleri tabloya kaydedilmektedir. Uyarım akımı sıfırdan başlayarak belirli aralıklarla artırılarak **Değer Al** butonu ile her uyarım akımı artışında, uyarım akımı ve kısa devre akımı değerlerini tabloya kaydedilir. **Grafik Çizdir** butonuna basıldığında elde edilen değerlere göre grafik çizdirilerek kısa devre çalışma karakteristiği elde edilir. Belirtilen esaslara göre yapılan *Kısa Devre Çalışma* deneyine ait deney sayfası Şekil 7'de görülmektedir.

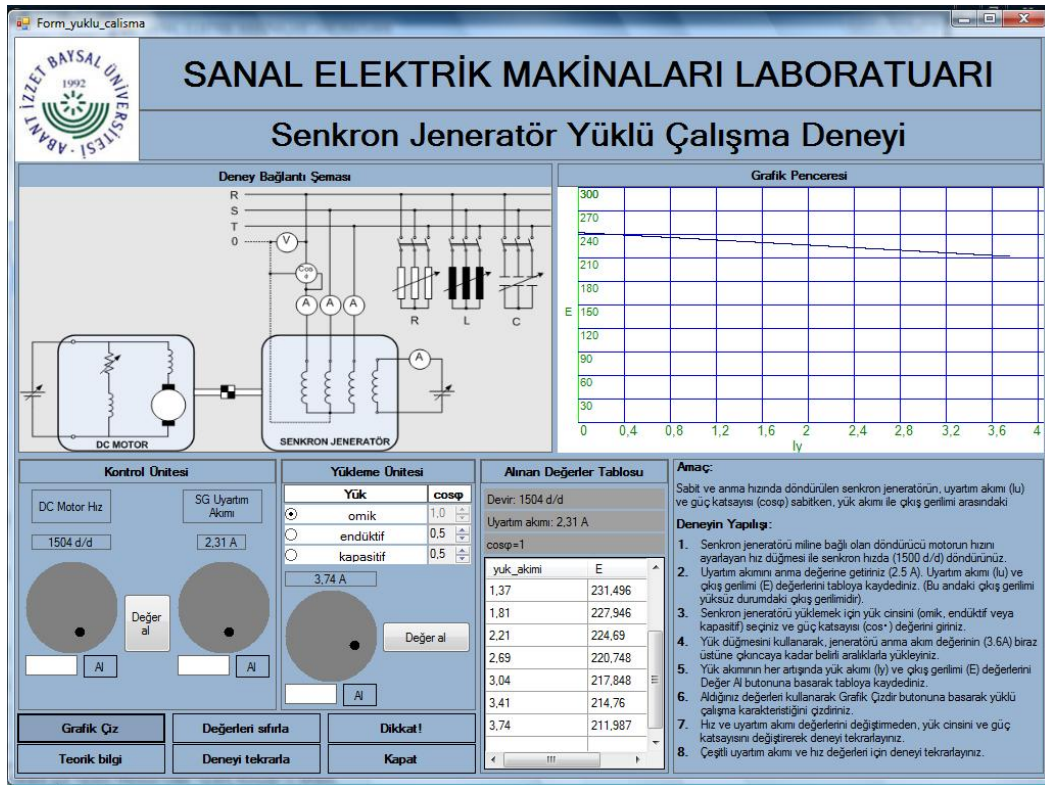
4.3. Yüklü Çalışma Deneyi (Loaded Test)

Deneyin amacı sabit ve anma hızında döndürülen senkron jeneratörün, uyarım akımı (I_u) ve güç katsayısı ($\cos\phi$) sabitken, yük akımı ile çıkış gerilimi arasındaki yüklü çalışma karakteristik eğrilerini $E=f(I_y)$ elde etmektir. Bunun için senkron jeneratörü miline bağlı olan döndürücü motorun hızını ayarlayan hız düğmesi ile senkron hıza (1500 d/d) ayarlanmaktadır.

Daha sonra uyarım akımı anma değerine getirilerek (2.5 A), uyarım akımı (I_u) ve çıkış gerilimi (E) değerlerini tabloya kaydedilmektedir. (Bu andaki çıkış gerilimi yüksüz durumdaki çıkış gerilimidir). *Yüklü Çalışma* deneyine ait deney sayfası Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 7. Kısa devre deney sayfası (The experiment page of the short circuit test)



Şekil 8. Yüklü çalışma deney sayfası (The experiment page of the loaded test)

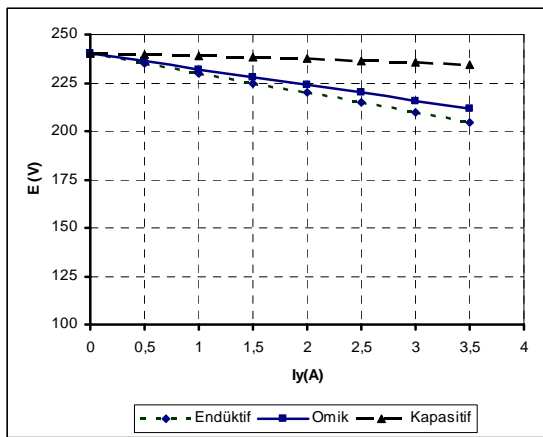
Senkron jeneratörü yüklemek için yükün cinsi (omik, endüktif veya kapasitif) seçilip ve güç katsayısı ($\cos\phi$) değeri girildikten sonra, yük düğmesi kullanılarak, jeneratör anma akım değerinin (3.6A) biraz üstüne çıkıncaya kadar belirli aralıklarla yüklenmek-

tedir. Yük akımının her artışında yük akımı (I_y) ve çıkış gerilimi (E) değerleri **Değer Al** butonuna basılarak tabloya kaydedilir. İlk andaki (boştaki) çıkış gerilimi, *Boş Çalışma* deneyinde anlatılan metotla hesaplanmaktadır. Yükün cinsine göre çıkıntılı kutup-

lu senkron jeneratörün yüklü çalışma eşitliklerinden yararlanılarak çıkış gerilimi hesaplanmaktadır. **Grafik Çizdir** butonuna basıldığında elde edilen değerlere göre grafik çizdirilerek yüklü çalışma karakteristiği elde edilir.

Hız ve uyarım akımı değerlerini değiştirmeden, yük cinsini ve güç katsayısını değiştirerek deney tekrarlanabilir. Ayrıca çeşitli uyarım akımı ve hız değerleri için de deney tekrarlanabilir. Bu şekilde öğrencilerin çeşitli yük koşullarında, senkron jeneratörün çıkış gerilimindeki değişimi incelemesi sağlanarak konunun anlaşılmasına önemli bir katkı sağlanmış olur.

Şekil 9'da sanal araç ile 3 farklı yük durumu için yapılan yüklü çalışma deneyinden alınan değerler



Şekil 9. Senkron jeneratörün yüklü çalışma karakteristikleri (The loaded characteristics of the synchronous generator)

kullanılarak çizdirilmiş eğriler görülmektedir. Deney endüktif ($\cos\phi=0.8$), omik ve kapasitif ($\cos\phi=0.8$) yüklü durumlar için yapılmıştır. Eğrilerden de görüldüğü gibi en fazla gerilim düşümü endüktif yüklü durumda gerçekleşmiştir. Kapasitif yüklü durumda ise gerilim de çok küçük bir azalma meydana gelmiştir. Bazı durumlarda, kapasitif yük için gerilimde artış ta olabilmektedir.

4.4. Paralel Bağlama Deneyi (Experiment of the Parallel Connection)

Deneyin amacı senkron jeneratörlerin paralel bağlama koşullarını izlemek, bu koşulları sağlamak ve paralel bağlamayı gerçekleştirmektir. Bunun için birinci senkron jeneratör (SJ1) miline bağlı olan döndürücü motorun hızını ayarlayan hız düğmesi ile senkron hızda döndürülür. SJ1 Uyarım akımı anma değerine ayarlanarak çıkış gerilimi (EI) ve frekans (fI) değerleri tabloya kaydedilir. Aynı işlem ikinci senkron jeneratör (SJ2) için de yapılır. Jeneratörlerin gerilimleri, frekansları, faz sıraları ve senkronizm anından oluşan paralel bağlama koşulları izlenir. Koşulların oluşmaması durumunda uyarım akımı, döndürücü makinanın hızı ve faz sıralarını ayarlayarak koşulların oluşması sağlanır. Paralel bağlama

koşullarının tümünün oluşması durumunda **Paralel Bağla** butonuna basılarak paralel bağlama gerçekleştirilir.

Şekil 10'da paralel bağlama deney sayfası gösterilmiştir. Burada jeneratörlerin frekansları eşit olup, frekans eşitliği sağlanmıştır. Fakat jeneratörlerin gerilimleri ve faz sıraları için gerekli şartlar sağlanmadığından dolayı paralel bağlama butonu etkin değildir. Koşulların oluşup oluşmadığı simgelerle de gösterilmiştir. Ayrıca jeneratörleri ürettikleri gerilimler de grafik penceresinde çizdirilmiştir.

Paralel bağlama işleminin kavratılması amacıyla, paralel bağlama için gerekli olan bütün şartların sağlandığı deney ekranı Şekil 11'de verilmiştir. Burada frekans, gerilim ve faz sırası eşitlikleri doğrulanmıştır. Paralel bağla butonu aktif olduğundan dolayı, bu butona basıldığında senkronizasyon şartı da sağlanarak paralel çalışmaya geçilir. Paralel bağlama durumunda, paralel bağlama şalteri kapanarak jeneratörlerin tek bir bara gerilimi üretmesi sağlanmıştır. Bu durum ayrıca grafik penceresinde de gösterilmiştir. Jeneratörlerin aynı isimli fazları üst üste gelmiştir.

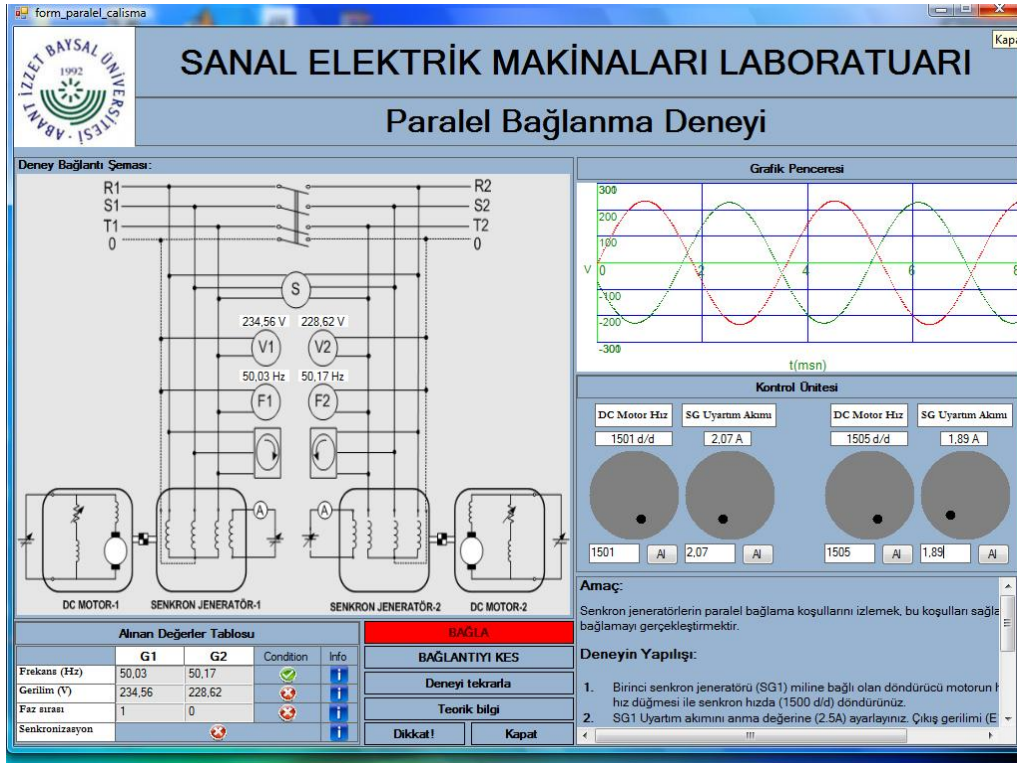
Paralel bağlama deneyi farklı hız ve uyarım akımı değerleri için tekrarlanabilir. Bu deneyde, öğrencilerin paralel bağlama koşullarını izlemesi, bu koşulları sağlaması ve paralel bağlamayı gerçekleştirmesi öğretilir. Böylece, pratik uygulama olarak çok fazla zaman, donanım, güvenlik isteyen paralel bağlama konusu bilgisayar ortamında görsel olarak yapılarak konunun anlaşılmasına önemli bir katkı sağlanmış olur.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

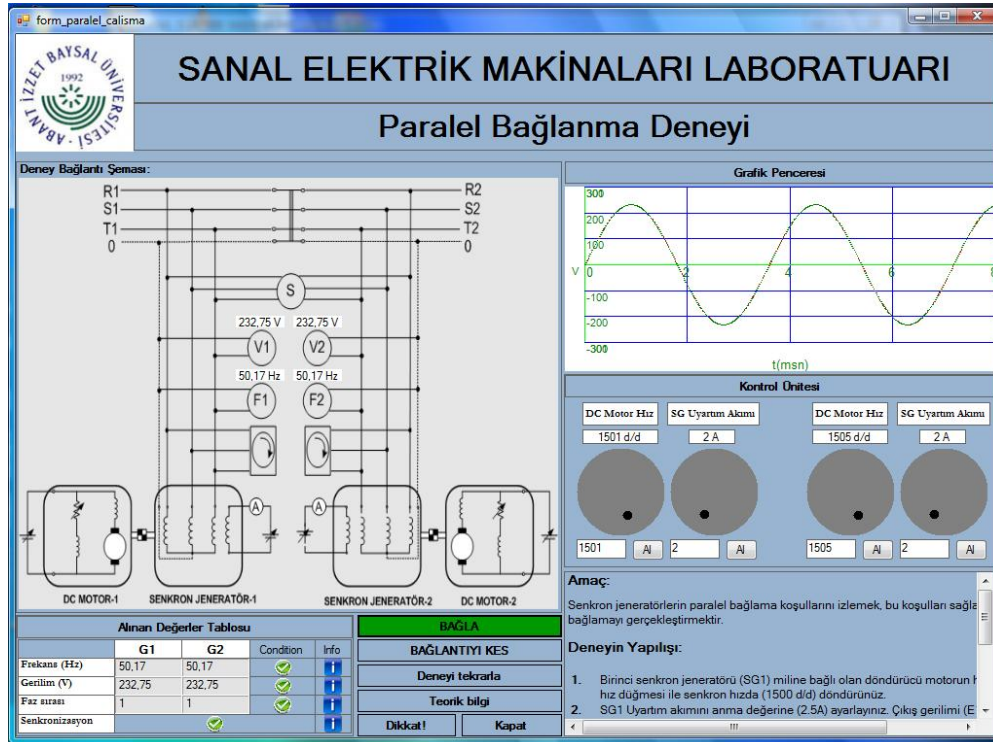
Bu çalışmada, senkron jeneratör deneyleri için sanal bir elektrik makinaları laboratuvar aracı geliştirilmiştir.

C#.NET platformu kullanılarak geliştirilen sanal laboratuvar araç açıklayıcı ve kolay kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Sanal aracın bilgisayara kurulumu çok kolaydır. Sanal deneylerden elde edilen sonuçların gerçek deney sonuçlarına benzemesi için hem pratik deneylerden hem de jeneratör modelinden yararlanılmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar senkron jeneratörün kararlı durum denklemleri ve enterpolasyon kullanılarak sanal araçta kullanılan benzetimin altyapısı oluşturulmuştur. Böylece deneylerin istenilen hız, uyarım akımı, çıkış gerilimi ve yük değerlerinde yapılabilmesi ve doğru sonuçlar üretmesi sağlanmıştır.

Geliştirilen sanal laboratuvar aracı, konu ile ilgili eğitim alan öğrenciler için özellikle de fiziki laboratuvar donanımlarının bulunmadığı birimlerde senkron jeneratör deneylerini sınırsız olarak görsel ortamda yapmalarına olanak sağlayacaktır. Deney donanımlarının olduğu birimlerde de, deneylere daha hazırlıklı



Şekil 10. Paralel bağlanma deney sayfası (Paralel bağlanma koşulları oluşmamış) (The experiment page of the parallel connection, Parallel connection conditions are not exist)



Şekil 11. Paralel bağlanma deney sayfası (Paralel bağlanma durumu) (The experiment page of the parallel connection, Parallel connection case)

olmalarını sağlayarak eğitimlerine katkı sağlayacaktır. Sanal laboratuvar aracı; mühendis, teknik öğretmen, tekniker ve teknisyenlerin senkron jeneratörler konusundaki eğitimlerinde kullanılabilir. Sanal araç için geliştirilen yazılım bir uygulama paketi haline getirilmiştir. Uygulama paketinin web

sayfasına konulması durumunda, yetki verilen kullanıcılar bu laboratuvar aracını uzaktan erişimle kullanabileceklerdir. Ayrıca uygulama paketi bilgisayarlara yüklenerek rahatlıkla kullanılabilir. Bu durumda geliştirilen sanal araç, özellikle yüz yüze eğitimin yapılmadığı uzaktan eğitim yürüten birim-

lerde yardımcı öğretim aracı olarak kullanılabilir. Böylece, uzaktan eğitim programlarındaki elektrik makinaları derslerinde öğrencilerin konuları kavrama düzeyi ve başarı oranları artırılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Fitzgerald, E., Kingsley C. and Umans, S.D., **Electric Machinery**, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1992.
2. Colak, I., **Synchronous Machines**, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2003.
3. Sellschopp F.S. and Arjona L.M.A. "A tool for extracting synchronous machines parameters from the dc flux decay test", **Computers and Electrical Engineering**, Vol. 31, 56-68, 2005.
4. Molenaar, D.P., Bosgra, O.H. and Hoeijmakers, M.J., "Time-Domain Identification of Synchronous Generator Transfer Functions", **Journal of Solar Energy Engineering**, Vol. 124, 419-426, 2002.
5. Kyriakides, E. and Heydt, G.T., "Estimation of synchronous generator parameters using an observer for damper currents and a graphical user interface", **Electric Power Systems Research**, Vol. 69, 7-16, 2004.
6. Mouni, E., Tnani, S. and Champenois, G., "Synchronous generator modelling and parameters estimation using least squares method", **Simulation Modelling Practice and Theory**, Vol. 16, 678-689, 2008.
7. Montero, L.R.R., Wellington, S.M. and Gemerts, M.F., "Monitoring and control system based on microcomputer for synchronous generator", **IEEE Trans Energy Conv**, Vol. 14, 1424-1429, 1999.
8. Sefa, İ., Demirtaş M., Garip İ. ve Çolak İ., "Alternatörlerin paralel bağlanma deney setinin eğitim amaçlı tasarımı ve gerçekleştirilmesi", **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, Cilt 23, No 3, 729-739, 2008.
9. Akın, E. ve Karaköse, M., "Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Eğitiminde Sanal Laboratuvarların Kullanımı", **Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendislikleri Eğitimi 1. Ulusal Sempozyumu EEBM 2003**, Ankara, 30 Nisan-2 Mayıs 2003.
10. Bauer, P., Fedák, V. and Rompelman, O., "PEMCWebLab-Distance and Virtual Laboratories in Electrical Engineering-Development and Trends", **Power Electronics and Motion Control Conference**, Poznan, 2354-2359, 1-3 September 2008.
11. Li, S. and Chaloo, R., "Restructuring an Electric Machinery Course With an Integrative Approach and Computer-Assisted Teaching Methodology", **IEEE Transactions on Education**, Vol. 49, No. 1, 16-28, 2006.
12. Ertugrul, N., "New Era in Engineering Experiments: An Integrated and Interactive Teaching/Learning Approach, and Real-Time Visualisations", **Int. J. Eng. Ed.**, Vol. 14, No. 5, 344-355, 1998.
13. Deshpande, A.A. and Huang, S.H., "Simulation Games in Engineering Education: A State-of-the-Art Review", **Computer Applications in Engineering Education**, Doi: 10.1002/cae.20323, 2009.
14. Çolak, İ., Irmak, E., Demirbaş, Ş. ve Sağiroğlu, Ş., "A Novel Integrated Web Based Learning System for Electrical Machines Education", **IEEE International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives**, Setubal, 265-269, 12-14 April 2007.
15. Sellschopp, F.S., Cisneros, M., Arjona, M.A., Vargas, R., Hernandez C. and Cabrera, V.M., "A Virtual Testbed for Characterizing Synchronous Generators Based on Time Domain Tests", **Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines**, Vilamoura, 1-6, 6-9 September 2008.
16. Pavlica, M., Maljkovic, Z. and Stekovic, Z., "Computer Role in Electrical Machines Courses-Synchronous Generator's Power Chart Web Application", **EUROCON 2003**, Ljubljana, 283-286, 22-24 September 2003.
17. Martis, C.S., Hedeşiu, H.C., Szabó, L., Tataranu, B., Jurca, F. and Oprea, C., "Electrical Machines Virtual Laboratory: Grid Connection of a Synchronous Generator", **EPE-PEMC 2006**, Portorož, Slovenia, 1709-1714, 30 August-1 September 2006.
18. Carullo, S.P., Bolkus, R., Hartle, J., Foy, J., Nwankpa, C.O., Fischl, R. and Gillerman, J., "Interconnected power system laboratory: fault analysis experiment", **IEEE Trans on Power Syst**, Vol. 11, No. 4, 1913-1919, 1996.
19. Gan, C.K., Rahim, A.A., Maaspaliza, A. and Zharif, M., "Virtual instrument-based synchronisation system", **4th Student Conference on Research and Development SCOREd**, Shah Alam, Selangor, 275-279, 27-28 June 2006.
20. Sardar, M.U., "Synchronous Generator Simulation Using LabVIEW", **Proceedings of World Academy of Science, Engineering And Technology**, Vol. 29, 392-400, 2008.
21. Roberts, T.J., "The Virtual Machines Laboratory", **Australasian Journal of Engineering Education**, Vol. 1, 1-15, 2004.
22. Tanyıldızı, E. and Orhan, A., "A Virtual Electric Machine Laboratory for Synchronous Machine Application", **Computer Applications in Engineering Education**, Vol. 17, No. 2, 187-195, 2009.
23. Bekiroglu, E. and Bayrak, A., "On-line educational tool for the parallel operation of the synchronous generators", **Computer Applications in Engineering Education**, Doi: 10.1002/cae.20351, 2009.