

TEK FAZLI ASENKRON GENERATÖRÜN YSA TABANLI MODELLENMESİ

Sencer ÜNAL

Mehmet ÖZDEMİR

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Fırat Üniversitesi, 23119, Elazığ

e-posta:sencerunal@firat.edu.tr

e-posta: mozdemir@firat.edu.tr

Anahtar sözcükler: Gerilim ve Frekans Kontrolü, YSA, Kendinden Uyartım, Tek Fazlı Asenkron Generatör

ABSTRACT

In this paper, voltage and frequency control of a single-phase self-excited asynchronous generator driven by a dc machine with variable operating conditions has been proposed. Here, an IGBT based single-phase PWM inverter controlled by a PIC microprocessor was used to adjust the output frequency of generator. Exciting condenser group is also controlled by PIC microprocessor to keep the output voltage of the generator constant.

In addition it has been proposed a control scheme by applying a neural network model to achieve directly a constant dc link voltage. In this scheme, the neural network has been used as a model computing the best capacitor value according to varying load conditions. The complete system has been simulated using Matlab/Simulink in order to demonstrate the feasibility and effectiveness of the proposed scheme.

1.GİRİŞ

Son yıllarda enerjiye olan ihtiyacın artması ve dünyada halen kullanılmakta olan enerji kaynaklarının sınırlı olması, araştırmacıların yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını ekonomik ve güvenli bir biçimde işletime sokabilmek için yoğun çaba sarf etmelerine neden olmuştur. Rüzgar, doğal gaz ve küçük debili akarsular gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının zamanla değişken bir yapıya sahip olmalarından dolayı, değişik hızlarda elektrik enerjisi üretebilen asenkron generatörlerin bu amaç doğrultusunda kullanılması uygun bir yol olarak ortaya çıkmıştır. Ayrıca güç elektroniği ve mikroişlemci sistemlerindeki hızlı teknolojik gelişmeler asenkron generatörlerin kullanımını daha popüler hale getirmiştir. Özellikle inverter ve konverter gibi devrelerin yardımıyla tek ve üç fazlı mikro grid sistemlerde kullanılarak, bu sistemlerde yük paylaşımının kolaylıkla yapılabilmesi sağlanmaktadır [1,2,3].

Bu tür sistemlerdeki esas amaç, generatörün değişen tahrik hızı ve yük koşullarında sabit gerilim ve frekans üretebilmesi ve bu değerlerin korunabilmesidir.

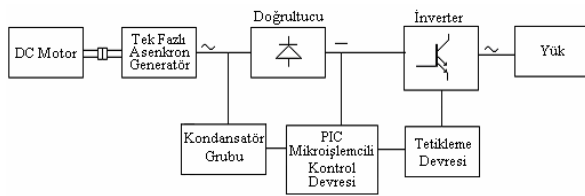
Generatörün geriliminin stabilizasyonu genellikle uyartım kondansatörlerinin kontrolü ile sağlanmaktadır. Bunun için de boşa ve yükte çalışma durumlarının her bir farklı çalışma koşulu için gerekli kapasite değerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Genellikle çalışmalarda ihtiyaç duyulan kapasite değeri, generatörün eşdeğer devresi kurulup devre denklemlerinin Newton-Raphson gibi iterasyonlarla çözülmesi ile elde edilmektedir [4,5]. Burada denklemlerin doğru bir şekilde çıkarılması ve çözülmesi hem işlemleri zorlaştırmakta hem de zaman kaybına neden olmaktadır. Ayrıca elde edilen sonuçların gerçek zamanlı bir uygulama da kullanılması da zor olacaktır. Örneğin hız ve yük değişimine göre elde edilen kapasite değerlerine göre oluşturulacak bir look-up tablosu yardımıyla uyartım kondansatörünün kontrolü gerçekleştirilebilir. Ancak burada her bir yük veya hız değerine göre gerekli olan her bir kapasite değerleri hesaplanmalı ve look-up tablosuna işlenmelidir. Bu da tablonun boyutunu artırarak hem zaman kaybına hem de tablonun yer alacağı programda hafıza sorununa neden olacaktır.

Bu çalışmada, tek fazlı kendinden uyartımlı bir asenkron generatörün uç geriliminde ve frekansında meydana gelebilecek değişimleri önleyebilmek amacıyla gerçekleştirilen bir devre ve bu devrenin geçici ve sürekli durum davranışını inceleyebilmek için Matlab/Simulink programına dayalı bir benzetim modeli sunulmuştur. Sunulan sistemde, bir PIC (Peripheral Interface Controller) mikroişlemci tarafından sürülen bir PWM inverter frekans regülasyonu, uyartım kondansatörüne paralel bağlı kondansatör gruplarının yine bir PIC mikroişlemci

tarafından kontrolüyle de gerilim regülasyonu sağlanmaktadır.

Sunulan modelde gerilim regülasyonu sağlamak için gerekli kapasite değerleri Yapay Sınır Ağları (YSA) kullanılarak hesaplanmaktadır. YSA eğitildikten sonra herhangi bir yük değişimde generatörün gerilimindeki değişimi telafi edecek en iyi kapasite değeri hesaplanmakta ve bu hesaplama göre uyarım kondansatörlerinin kontrolü yapılarak gerilim regülasyonu sağlanmaktadır. Düşünülen regülasyon işlemi diğer yöntemlere göre hem daha hızlı hem de gerçek zamanda gerçekleştirilmektedir. Sistemin geçerliliği farklı yük değerleri için alınan deneysel sonuçlarla, benzetim sonuçları kıyaslanarak gösterilmektedir.

2.SİSTEMİN TANIMLANMASI



Şekil-1. Sistemin Blok Şeması

Sistemin blok diyagramı Şekil-1’de gösterilmektedir. Devrede görüldüğü gibi tek fazlı asenkron makinanın generatör çalışabilmesi için gerekli tahrik gücü şönt bağlı bir doğru akım makinası tarafından sağlanmaktadır.

Generatörün üretmiş olduğu gerilimin frekansını kontrol etmek için tek fazlı bir darbe genişlik modülasyonlu inverter kullanılmıştır. Burada generatörün üretmiş olduğu gerilim bir tam dalga köprü doğrultucudan geçirilmekte ve oluşan ripple’ları kaldırmak için bir kondansatör ile filtre edildikten sonra invertere uygulanmaktadır. İnverter 2MB175N-60 IGBT anahtar modülleri ile gerçekleştirilmiş ve inverter sürücüsü olarak EXB840 sürücü modülü kullanılmıştır. İnverter anahtarlarının sürme işaretleri için asimetrik düzenli örneklemeye kullanılmaktadır [6]. Bu yöntemle elde edilen PWM sinyali devrede inverter sürücüsüne PIC 16F877 mikroişlemci tarafından sağlanır ve buna göre inverterin çıkış geriliminin frekansı sabit tutulmuş olur.

Devrede inverterin anahtarlanması sırasında anahtarlar arasında iletme ve kesime geçiş sürelerinden oluşabilecek bir kısa devre akımını önleyebilmek için bir ölü zaman devresi de bulunmaktadır. Ayrıca anahtarların geçici rejim esnasındaki taşmalarını ve anahtarlama kayıplarını azaltmak için bir R-C snubber devresi de yer almaktadır. Bu devre diğer snubber devreleri ile karşılaştırıldığında dezavantajları olmasına rağmen devrenin karmaşıklığını azaltmak için tercih edilmiştir.

Asenkron generatörün üretmiş olduğu gerilimin genliğinin değişik yük koşullarında sabit tutulabilmesi için gerçekleştirilen devrede, yine bir mikroişlemci ile uyarım için bağlanan kondansatör grubunun kontrolü yapılmaktadır. Burada doğrultucu devresinin çıkışındaki DC link’ten alınan doğru gerilim bilgisi indirgenerek mikroişlemcinin analog-dijital dönüştürücüsüne verilmekte ve yükten dolayı gerilimde bir değişim meydana gelmişse mikroişlemci, gerilimdeki değişimi telafi edecek gerekli kapasite değerini bulmakta ve bu değere göre kontrol ettiği röleler ile devreye uygun değerlikli kondansatörleri alıp çıkartarak kondansatör grubunun kapasite değerini değiştirmektedir. Bu sayede değişken koşullar altında generatörün geriliminin sabitlenmesi veya istenilen değere çok yakın olması sağlanır.

3.MATEMATİKSEL MODEL

Tek fazlı bir asenkron generatörün eşdeğer devresi, tek fazlı bir asenkron motorun eşdeğer devresine benzerlik göstermektedir. Ancak bu modeller arasında bazı temel farklılıklar vardır. Bunlar; asenkron motorun eşdeğer devresindeki şebeke kaynak gerilimi yerine, asenkron generatörün devresinde uyarım kondansatörleri ve yük bulunmaktadır. Ayrıca hareket denklemleri de farklılık göstermektedir. Tek fazlı asenkron generatörün q_s ve d_s stator sargılarının gerilim denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir [6]:

$$\begin{aligned} V_{qs} &= R_{qs} I_{qs} + \frac{d\lambda_{qs}}{dt} \\ V_{ds} &= R_{ds} I_{ds} + \frac{d\lambda_{qs}'}{dt} \\ V_{qr} &= R_r I_{qr} - \lambda_{dr} \frac{d\theta_r}{dt} + \frac{d\lambda_{qr}'}{dt} \\ V_{dr} &= R_r I_{dr} + \lambda_{qr} \frac{d\theta_r}{dt} + \frac{d\lambda_{dr}'}{dt} \end{aligned} \quad (1)$$

Generatörün moment ifadesi ve sistem hareket denklemleri sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$T_g = \frac{P}{2} (\lambda_{qr} I_{dr} - \lambda_{dr} I_{qr}) \quad (2)$$

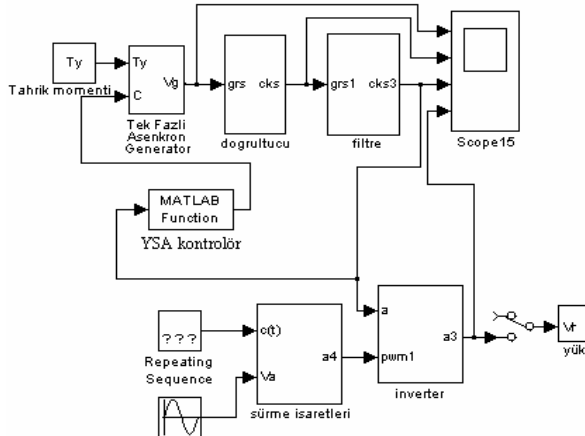
$$j \frac{d\omega_r}{dt} = T_y - T_g \quad (3)$$

Burada T_y generatörü tahrik eden sistemin moment değeridir [6].

4. YAPAY SINIR AĞI MODELİ VE SİSTEMİN SİMULİNK MODELİ

Tek fazlı kendinden uyarımlı asenkron generatörün frekans ve gerilim kontrolünü yapan sistemin

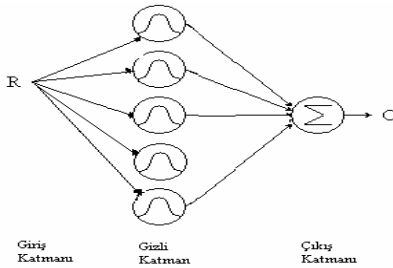
benzetim modeli Matlab 6.5 / Simulink yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sistem için kurulan model Şekil-2’deki gibidir.



Şekil-2. Sistemin simulink modeli

Burada tek fazlı asenkron generatörün benzetimi önceki bölümde verilen matematiksel modele göre oluşturulmuştur. Asenkron generatörün kendi kendini uyarabilmesi için makinada bir artık mıknatsiyetin olması gerekmektedir. Bu olayı benzetim modelinde gösterebilmek için artık mıknatsiyete karşılık gelen bir değer modele eklenmiştir.

Benzetimde generatörün gerilimi gerçekleştirilen bir tek fazlı tam dalga kontrolsüz köprü doğrultucu modelinden geçirilerek tek fazlı inverter modeline uygulanmakta, inverter modeli çıkışı da yük olarak kullanılan direnç modeline verilmektedir. Yük direnci devreye bir anahtar vasıtası ile alınıp, çıkartılmaktadır.



Şekil-3. Yapay sinir ağı modeli

Asenkron generatörün uyarımı için ihtiyaç duyulan gerçek kapasite değeri Şekil-3’te gösterilen üç katmanlı, gizli katmanda lojistik çıkış katmanında lineer aktivasyon fonksiyonları olan ileri beslemeli bir YSA yapısı kullanılarak elde edilmektedir. YSA’nın girişi yük değişimi çıkışı ise kapasite değerinden oluşmaktadır. YSA deneysel verilere dayanarak eğitilmiş olup, giriş-çıkış ölçümlerinden uygun kontrol sinyalini üretmek için kapasite değerini hesaplamaktadır.

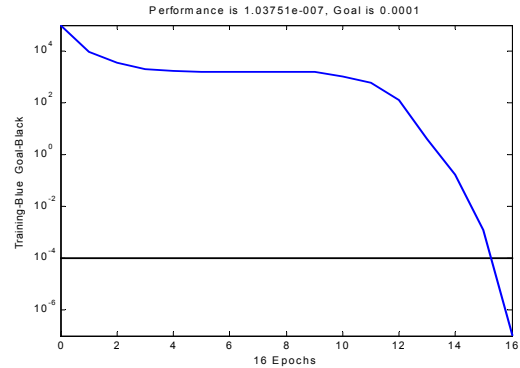
YSA modeli iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada yük değerleri sıfır, orta ve birim değişime göre ölçeklendirilir. Bu değerler YSA modelinin girişleri olarak kullanılır. İkinci aşamada ise

model eğitilir. Öğrenmeden sonra model, yük değiştiğinde generatörün çıkış gerilimini kontrol ederek en iyi kapasite değerini verir. Böylece generatörün çıkış gerilimi YSA tarafından gerekli uyarım değeri sağlanarak sabit tutulur.

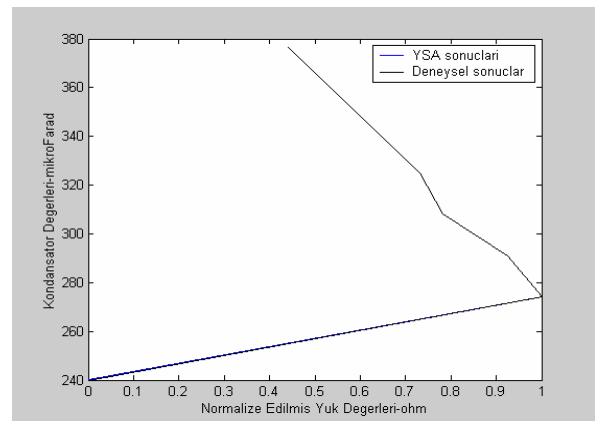
5. DENEYSEL VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu bölümde inverter ve kondansatör kontrollü tek fazlı bir asenkron generatörün yük değişimi durumunda elde edilen deneysel ve simülasyon sonuçları verilmiştir.

Simülasyonda 1 girişli, 5 gizli nöronlu ve bir çıkışlı bir YSA kullanılmıştır ve ağ deneysel ölçümlerden elde edilen 6 örnek kullanılarak eğitilmiştir. Bu örnekler $(R (\Omega), C(\mu F)) = \{(0, 240); (227.8, 240+2*17); (211, 240+17*3); (178, 240+4*17); (166.7, 240+5*17); (100, 240+137)\}$ dir. Gizli nöron sayısı deneme-yanılma yapılarak belirlenmiştir. Farklı nöron sayıları incelenmiş en hızlı öğrenme ve daha iyi modelleme 5 gizli nöronda elde edilmiştir. Ağ Levenberq-Marquard öğrenme algoritması ile eğitilmiştir. Ağın eğitim performansı Şekil-4’te gösterilmiştir. Eğitim örnekleri için deneysel ve YSA sonuçlarının birbirleri ile uyduğu Şekil-5’den açık bir şekilde görülmektedir. Tablo-1’de deneysel olarak alınmayan bazı yük değerlerine göre YSA modelin sonuçları verilmiştir.



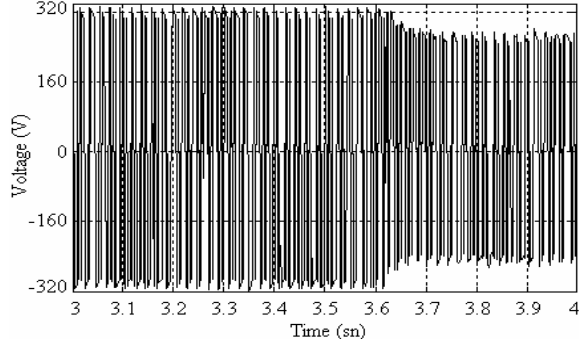
Şekil-4. Yapay sinir ağı modelinin eğitim sonuçları



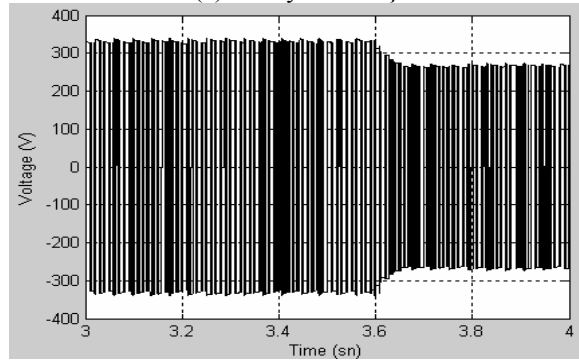
Şekil-5. Eğitim örnekleri için deneysel ve yapay sinir ağı sonuçları

Tablo-1. Yapay sinir ağı tarafından elde edilen kapasite değerleri

R (Ω)	200	51	130	150	110
C (μ F)	291	395.71	339.09	328.00	364.06

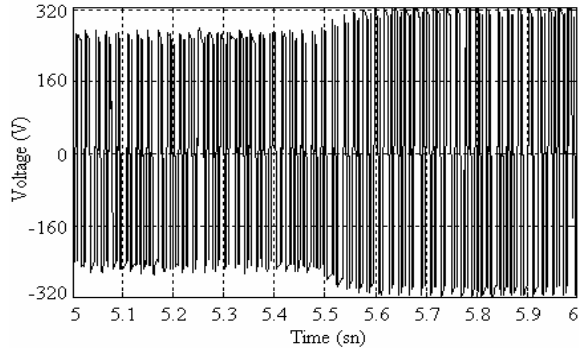


(a) Deneysel sonuç

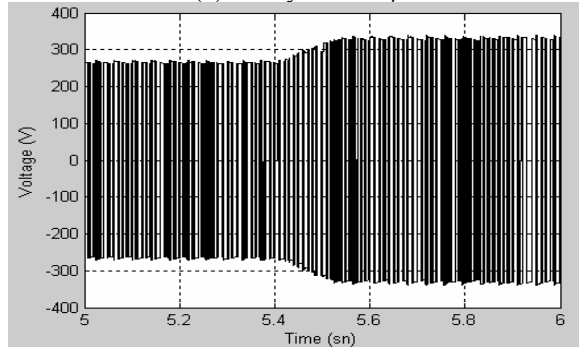


(b) Benzetim programı sonucu

Şekil-6 Generatörün 100 Ω ' luk dirençle yüklendiği andaki inverter devresi çıkış gerilimi

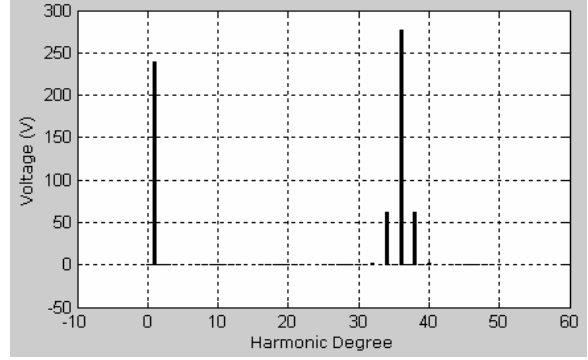


(a) Deneysel sonuç

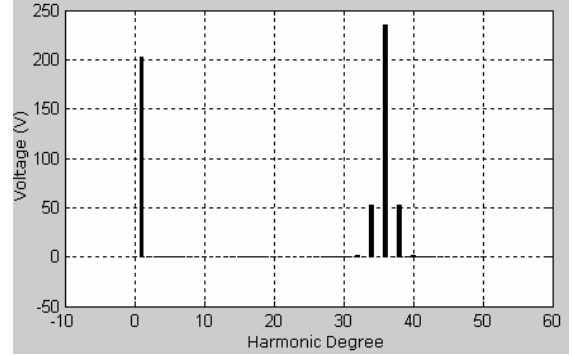


(b) Benzetim programı sonucu

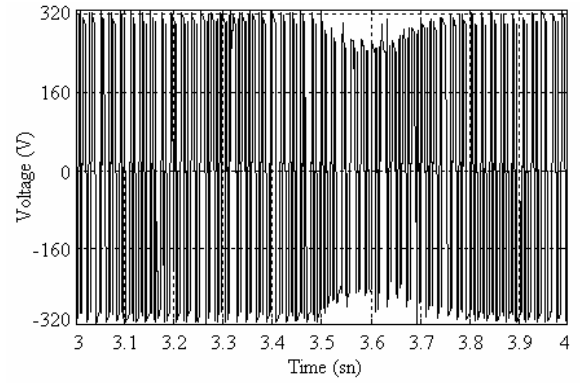
Şekil-7 100 Ω ' luk dirençle yüklü generatörden yükün çıkarıldığı andaki inverter devresi çıkış gerilimi



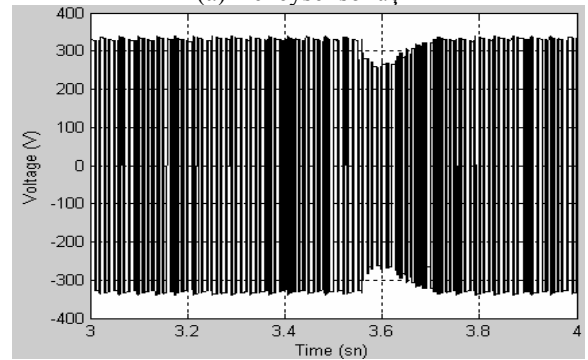
(a) Yüksüz



(b) 100 Ω yüklendiği zaman
Şekil-8 Fourier analizi sonuçları

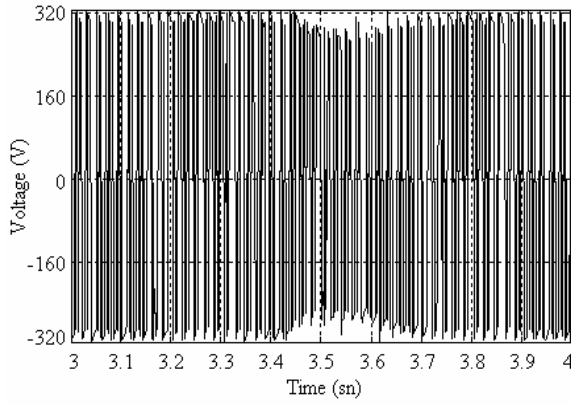


(a) Deneysel sonuç

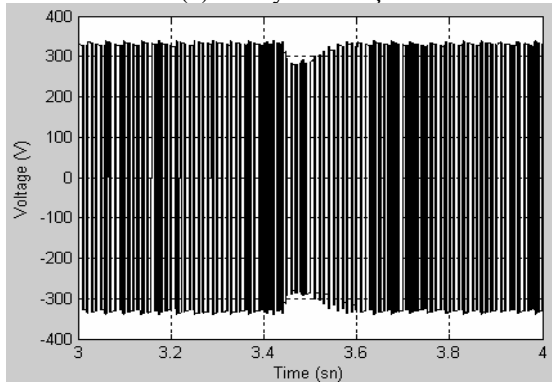


(b) Benzetim programı sonucu

Şekil-9 Kondansatör kontrolü varken devreye 100 Ω alınması andaki inverter devresi çıkış gerilimi



(a) Deneysel sonuç



(b) Benzetim programı sonucu

Şekil-10 Kondansatör kontrolü varken devreye 200 Ω alınması anındaki inverter devresi çıkış gerilimi

Şekil-6'da devreye 100 Ω 'luk bir direnç yükünün alındığı andaki gerilimin, Şekil-7'de ise bu yükün devreden çıkarılması anındaki inverter çıkış gerilimin değişimi verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi generatör yüklendiği zaman kondansatör grubunun kontrolü olmadığı için gerilim seviyesi azalmakta, yük devreden çıkarıldığında ise tekrar eski seviyesine dönmektedir.

Şekil-8'de yüksüz ve 100 Ω dirençle yüklü iken inverter çıkış geriliminin Fourier analizi sonuçları gösterilmiştir. Devrede inverterin çıkış geriliminin frekansı 50Hz iken inverterin anahtarlama frekansı 1800Hz olarak seçilmiştir. Fourier analiz sonuçlarına dikkat edilecek olursa, kondansatör grubunun kontrolü olmadığından generatörün ürettiği gerilimin seviyesi generatör yüklendiğinde azalmakta ancak gerilimin frekansı generatör yüklense bile inverter sayesinde sabit tutulabilmektedir.

Generatörün uç gerilimindeki değişimi önlemek için kondansatör grubunun kontrolü ile elde edilen deneysel ve benzetim sonuçları Şekil-9 ve Şekil-10'da verilmiştir. Şekil-9'da devreye 100 Ω 'luk yük alındığında kontrol devresi tarafından uyarım kondansatörünün değeri 137 μ F artırılması ile gerilimin seviyesinin yaklaşık olarak eski seviyesine ulaştığı görülmektedir. Şekil-10'da ise 240 μ F'lık uyarım kondansatörüne sahip generatörün uçlarına 200 Ω 'luk bir yük direnci alındığında, kontrol devresi

tarafından kondansatör grubunun kapasite değerinin PIC mikroişlemci ile otomatik olarak 291 μ F'a artırılmasıyla, generatörün geriliminin eski gerilim seviyesine çok yakın bir değere yükseldiği görülmektedir.

6.SONUÇ

Bu çalışmada tek fazlı kendinden uyarımlı bir asenkron generatörün ürettiği gerilim ve frekansın, değişik yük değerleri için kontrolü deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca herhangi bir yükün gerçek zamanlı kontrolünü gerçekleştirebilmek için YSA kullanarak bir kontrol şeması sunulmuştur. Bütün sistem YSA modelinin de yer aldığı Matlab/Simulink programında modellenerek deneysel sonuçlar ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlardan farklı yük değerlerinde generatör çıkışındaki inverter devresi ve uyarım için bağlanan kondansatörlerin kontrolü ile generatörün gerilim ve frekansının korunabildiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] B. Singh, L.B. Shilpakar, S.S. Murthy, A.K. Tiwari, "Improved Steady State and Transient Performance With Optimum Excitation of Single-Phase Self-Excited Induction Generator", *Electric Machines and Power Systems*, 2000, 28:591-604.
- [2] B. Singh, L.B. Shilpkar, "Steady-State Analysis of Single-Phase Self-Excited Induction Generator", *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 146, No. 5, September 1999, p.421-427.
- [3] E. Suarez, G. Bortolotto, "Voltage-Frequency of a Self Excited Induction Generator", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 14, No. 3, September 1999, p.394-401.
- [4] T.F. Chan., "Capacitance Requirements of Self-Excited Induction Generators", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 8, No. 2, June 1993, p.304-311.
- [5] A.H. Al-Bahrani, N.H. Malik, "Voltage Control of Parallel Operated Self Excited Induction Generators", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 8, No. 2, June 1993, p.236-242.
- [6] S. Ünal, M. Özdemir, S. Sünter, "Voltage and Frequency Control of A Single-Phase Self Excited Asynchronous Generator", *International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP)*, 509-514, İstanbul, Mayıs, 2004.
- [7] S. Haykin, *Neural Networks: A Comprehensive Foundations*, Macmillan College Publishing Company, Englewood Clis, 1998.