Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi
Part:C, Tasarım Ve Teknoloji
GU J Sci Part:C
4(4):185-195 (2016)

YSA Denetimli Senkron Motor Kullanılarak Reaktif Güç Kompanzasyonu

Sibel AKKAYA OY[1,♠]

[1]*Ordu Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, Ordu.*

Başvuru: 30/04/2016 Düzeltme: 09/06/2016 Kabul: 20/08/2016

ÖZ

Elektrik enerji sistemlerinde verimliliği arttırmanın ve kayıpları azaltmanın en etkin yöntemlerinden biri "Reaktif Güç Kompanzasyonu" dur. Bu çalışmada, 3 fazlı bir sistem için mikrodenetleyici ve bilgisayar kontrollü senkron motor ile dinamik reaktif güç kompanzasyonu uygulaması gerçekleştirilmiştir. Senkron motorun uyartım akımı YSA ile kontrol edilmiştir. YSA modeli MATLAB YSA araç çubuğu kullanılarak kolay bir şekilde tasarlanmıştır. Sisteme ait ölçülen parametreler bilgisayar ortamında izlenmiş ve kaydedilmiştir. Bu kaydedilen parametreler, değişen yük koşullarında YSA modelinin güncellenmesinde kullanılmıştır. Tasarlanan sistemde kullanılan YSA modeli, senkron motor için uygun uyartım akımını doğru tahmin etmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, kompanzasyon uygulamasının hassas reaktif güç kontrolü gerçekleştirdiği görülmüştür.

***Anahtar kelimeler*:** *Reaktif güç kompanzasyonu; Yapay sinir ağı; Matlab*

Reactıve Power Compensatıon Usıng A Ann Controlled Synchronous Motor

ABSTRACT

One of the most effective methods is "Reactive Power Compensation" for reducing the waste and increasing the efficiency in electric energy systems. In this study, the application of dynamic reactive power compensation with microcontroller and computer-controlled synchronous motor for 3-phase was executed. The excitation current of the synchronous motor was controlled by a ANN. ANN model was designed using MATLAB ANN toolbar. Measured parameters of the system were monitored and recorded in the computer environment. This parameters were used in the updating of the YSA model with varying load conditions. The ANN model used in the aviable system corectly estimated favorable excitation current. As a result, it was seen that the application of compensation is able to produce sensitive power control in the system.

Keywords: *Reactive power compensation; Artificial neural networks; Matlab*

♠*İletişim yazarı, e-mail: sibelakkayaoy@gmail.com*

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyada, insanların en çok bağımlı olduğu enerji çeşidi elektrik enerjisidir. Günümüzdeki nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak elektrik enerjisine olan talepte hızla artmaktadır. Elektrik enerjisinin üretilmesinde kullanılan kaynaklar sınırlıdır. Endüstrinin hızla gelişmesine bağlı olarak geleneksel enerji kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle ülkeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgilerini arttırmışlardır. Diğer taratanda elde bulunan elektrik enerjisinin daha verimli kullanılması zorunlu hale gelmektedir.

Elektrik enerji sistemlerinde verimliliği artırmanın ve kayıpların azaltılmasının en etkin yöntemlerinden biri de Reaktif Güç Kompanzasyonudur [1]. Reaktif güç kompanzasyonu statik faz kaydırıcılar ya da dinamik faz kaydırıcılar ile yapılabilmektedir [2]. Statik faz kaydırıcı olarak kondansatör ile yapılan reaktif güç kompanzasyonu çeşitli kondansatör veya kondansatör gruplarının kademeli olarak anahtarlanması ile gerçekleştirilir [1,3]. Dinamik faz kaydırıcı senkron motor kullanarak yapılan reaktif güç kompanzasyon sisteminde ise motorun uyartım sargılarına uygulanan akım ayarlanarak motorun endüktif veya kapasitif olarak çalıştırılmasıyla kompanzasyon gerçekleştirilir [4]. Bu kompanzasyon sisteminde hem sabit hızla çalışan işlerde kullanılabilir bir mekanik güç elde edilmiş olur hem de reaktif güç kompanzasyonu gerçekleştirilmiş olur [5].

Al Hamrani, bir güç sisteminin otomatik reaktif güç temini için senkron motor kullanmış ve senkron motorun uyartım sistemi için de yeni bir yöntem kullanmıştır. Tasarladığı prototip sistem ile farklı uyartım akımlarındaki senkron motorun sistemde yarattığı etkileri incelemiştir [4]. Bayındır ve Görgün, PIC 18F452 mikrodenetleyici kullanarak PI kontrollü senkron motorun değişik uyartım akımlarında endüktif, kapasitif ve omik çalıştırılması sağlayarak kompanzasyon uygulamasını gerçekleştirmişlerdir [6]. Görgün, reaktif güç kompanzasyon uygulamasını YSA denetimli senkron motor için gerçekleştirmiştir. Ayrıca senkron motor ile yapılan reaktif güç kompanzasyonu denetiminde, YSA eğitim ve performans test programı gerçekleştirmiş ve elde edilen ağırlık değerlerinin mikrodenetleyiciye gönderilmesi ile kullanıcıya, gerçek zamanlı uygulama yapma imkanı sunmuştur [7]. Sesveren, senkron motor ile yapılan reaktif güç kompanzatörü denetiminde kullanılabilen Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli tasarımı ve uygulaması gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirilen model eğitim amaçlı olarak kullanılabileceği gibi, farklı YSA yapılarının ve algoritmalarının test edilebileceği uygulamalarda da kullanılabileceğini ileri sürmüştür [5]. Çolak ve arkadaşları bulanık mantık kullanılarak kontrol edilen senkron motorun reaktif güç kompanzasyonun deneysel sonuçları detaylı şekilde sunmuştur. Senkron motorun uyartım akım PIC 16F877 ile kontrol edilmiştir [8]. Pandey ve arkadaşları matlab programlama ve matlab alet kutusu kullanarak ihtiyaç olunan elektrik yükünü belirlemişlerdir. Yapay sinir ağı tabanlı model kullanılarak ta bir haftalık elektrik fiyatları tahmin edilmiştir [9]. Güç faktörü düzeltme cihazları arasında bulunan senkron kondansatör üzerine çalışılmıştır. Senkron motor ile güç faktörü iyileştirilmiştir. Güç faktörü hesaplanması için MATLAB programı kullanılmıştır [10]. Senkron motor ile yapılan reaktif güç kompanzasyonunda uyartım akımının ayarı için (k-NN) sınıflandırıcı tasarlanmıştır ve n-tuple girişleri kullanılarak uyarma akımı tahmin edilmiştir [11]. AŞKIN ve arkadaşları, kuru tip transformatör sargısının termal modeli MATLAB/ANN araç kutusu kullanılarak üç farklı YSA yapısı kullanılarak modellenmiş ve bu modelleme ile ilgili en başarılı ağ yapısı belirlenmiştir [12]. Mohamed, senkron generatör temelli rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri için PWM/PI kontrollü senkron motor ile reaktif güç kompanzasyonu uygulamasını gerçekleştirmiştir [13].

Mevcut literatürde, MATLAB YSA araç kutusu kullanılarak tasarlananan YSA modeli ile elde edilen sonuçlar gerçek sonuçlar ile karşılaştırılmış ama bu sonuçlar herhangi bir deneysel bir uygulamada kullanıldığında rastlanmamıştır. Bu çalışma ile MATLAB YSA araç kutusu kullanılarak tasarlanmış YSA modeli kompanzasyon uygulaması için senkron motorun uyartım akımının belirlenmesinde kullanılması amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışma ile senkron motor ile yapılacak kompanzasyonun daha hassas reaktif güç kontrolü gerçekleştirebileceği düşünülmektedir. Bunun için bilgisayar ve mikrodenetleyici tabanlı senkron motor ile reaktif güç kompanzasyonun tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan senkron motorun uyartım akımı YSA denetiminde kontrol edilmiştir. MATLAB YSA araç kutusu kullanılarak YSA modelinin tasarımını kolaylaştıracaktır. Kompanzasyon sisteminin uygulandığı örnek şebekeye ait ölçülen parametreler sürekli C# yazılım diliyle oluşturulan bilgisayar arayüzünde izlenmiş ve bilgisayar ortamında belirli zaman aralıklarında kaydedilmiştir. Ek olarak, manuel ve YSA denetiminde otomatik olarak yapılan uygulamaların sonuçları farklı yük koşulları altında tekrarlanarak gözlenmiş ve analiz edilerek karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Senkron Motor ile Reaktif Güç Kompanzasyonu

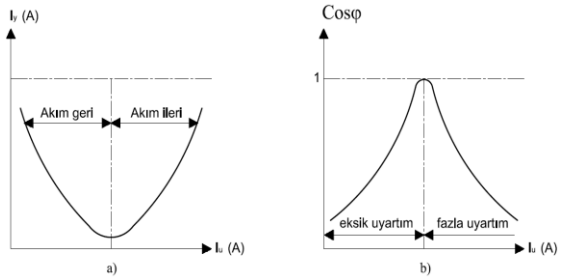
Senkron makineler, statorunda asenkron motor benzeri 3 faz sargıları ve rotorunda DA gerilim uygulanan uyartım sargıları bulunan elektrik makinesidir.

Üç fazlı bir senkron motorun şebekeden çektiği güç;

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_y \cdot Cos\varphi \qquad (1)$$

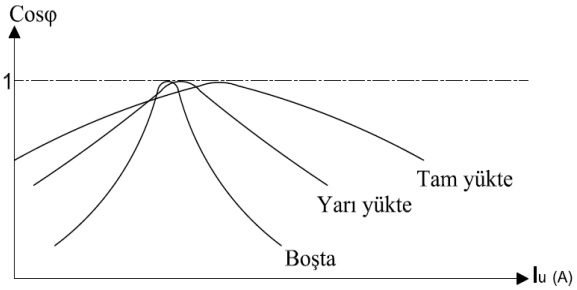
Senkron motorun yükü (P = aktif güç), şebeke hat gerilimi (U) sabit tutulduğunda yük akımının (I_y) değişmesi güç katsayısını (Cosφ) değiştirir.

Belirli bir yükte, motorun omik çalışma durumunda yük akımını meydana getiren uyartım akımından daha küçük uyartım akımlarında senkron motor endüktif, bu uyartımdan akımından büyük olan uyartım akımlarında ise senkron motor kapasitif çalışır (Şekil 1).



Şekil 1. a. Yük akımının b. Güç katsayısının değişim eğrileri
(a. Load current b. variation curves of power coefficient)

Bir senkron motorun "V" eğrisinde her yükte $Cos\varphi = 1$ için gerekli uyartım akımı farklıdır. Motor yükü arttıkça çeşitli yüklerdeki Cosφ, uyartım akımının değişimini gösteren eğrilerinin tepe noktası sağa doğru kaymaktadır (Şekil 2).

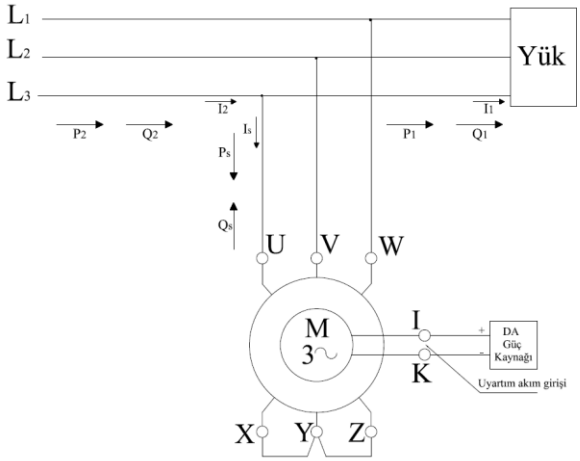


Şekil 2. Senkron motorun çeşitli yüklerdeki Cosφ eğrileri
(Cosφ curve at various loads of synchronous motor)

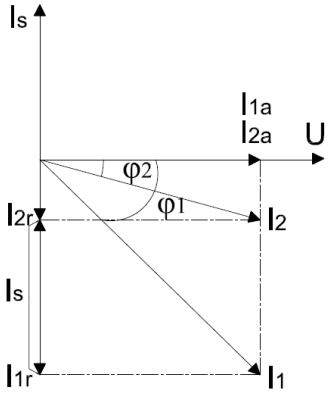
Yük arttıkça Cosφ'nin uyartım akımıyla değişimi de azalmaktadır.
"V" eğrileri bilinen senkron motorlar yardımı ile şebekelerin, fabrikaların, iş yeri gibi yerlerin güç katsayıları kolayca ayarlanabilir.

2.2. Senkron Motorlar ile Güç Katsayısının Düzeltilmesi

Şekil 3'de dinamik faz kaydırıcı olarak kullanılan senkron motorun üç fazlı bir şebekeye endüktif bir yük ile bağlantı şekli verilmiştir.



Şekil 3. Senkron motorun bağlantı şeması (The connection scheme of synchronous motor)



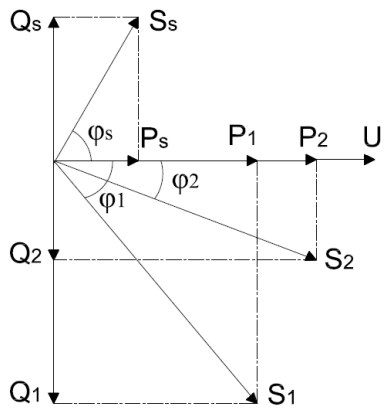
Şekil 4. Senkron kompanzatörün vektör diyagramı
(Vector diagram of synchronous compensator)

Senkron motorun boşta, fazla uyartımlı çalıştığı (kapasitif çalışma durumu) ve kayıplarının olmadığı varsayılarak çizilen vektör diyagramı Şekil 4'te verilmiştir.

Vektör diyagramında; senkron motorun akımı I_s, şebeke gerilimi U, yük akımı I_1 (reaktif bileşeni I_{1r}, aktif bileşeni I_{1a}), senkron motor bağlandıktan sonra çekilen akım I_2(reaktif bileşeni I_{2r}, aktif bileşeni I_{2a}) olarak ifade edilmiştir.

Şebekeye bağlı bir senkron motorun uyartım akımı değiştirilerek motorun endüktif ya da kapasitif çalışması sağlanabilmektedir. Bunun sonucunda senkron motorun çektiği reaktif güç (Q_s), sistemin gerçek reaktif gücünün (Q_1) dengelenmesini sağlamaktadır. Bunun sonucunda da güç katsayısı ($Cos\varphi_2$) değeri ayarlanabilmektedir [14]. Şekil 5'te endüktif yüklü bir sistemde senkron motorla yapılan kompanzasyondaki güç bileşenleri ve güç katsayısının düzeltilmesine ait vektör diyagramı verilmiştir.

Burada;
U = Şebeke gerilimi (V)
S_2 = Kompanzasyon sonrası görünür güç (VA)
P_2 = Kompanzasyon sonrası aktif güç (W)
Q_2 = Kompanzasyon sonrası reaktif güç (VAR)
S_s = Senkron motorun şebekeden çektiği görünür gücü (VA)
P_s = Senkron motorun şebekeden çektiği aktif güç (mekanik yük ve kayıplar için) (W)
Q_s = Senkron motorun şebekeden çektiği reaktif güç (VAR)
S_1 = Kompanzasyon öncesi görünür güç (VA)
P_1 = Kompanzasyon öncesi aktif güç (W)
Q_1 = Kompanzasyon öncesi reaktif güç (VAR)
φ_2 = Kompanzasyon sonrası sistemin güç açısı
φ_1 = Kompanzasyon öncesi sistemin güç açısı
φ_s = Senkron motorun güç açısı



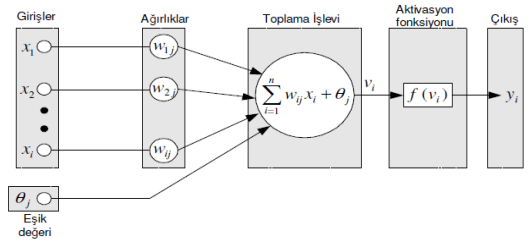
Şekil 5. Senkron motorun güç bileşenleri
(Power components of the synchronous motor)

2.3. Yapay Sinir Ağları

YSA, görev tahmini, uygun değeri bulma ve verilerin gruplandırılması gibi işlemlerde başarılıdır.
Senkron motorun denetiminde kullanılan YSA, aşağıda verilen özellikleri veya üstünlükleri nedeniyle bu çalışmada kullanılmıştır [15].

- Öğrenme ve karar verme yeteneğine sahip olması
- Bilginin saklanması
- Yapay sinir ağları örnekleri kullanarak öğrenmesi
- Sisteme uygun çözümler sağlamak için ağın tekrar ve tekrar eğitilebilmesi
- Eksik bilgi ile çalışabilmesi
- Görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilme sive yeni durumlara adapte olması

Düğüm denilen yapay sinir, yapay sinir ağının ana işlem birimidir. Şekil 6'da bir yapay sinir ağı modeli gösterilmiştir.



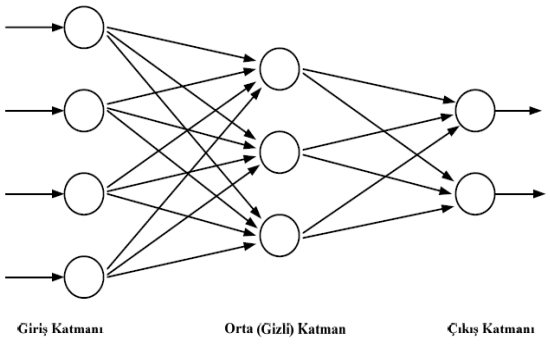
Şekil 6. Yapay sinir (Artificial neural)

Girişler x_i sembolüyle gösterilmiştir. w_{ij}, x_i'inci giriş ile j'inci düğüm arasındaki bağlantı ağırlıklarını gösterir.
Bir sinirin matematiksel modeli;

$$y_i = f\left(\sum_{i=1}^{n}\left(w_{ij}\cdot x_i + \theta_j\right)\right) \qquad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir.

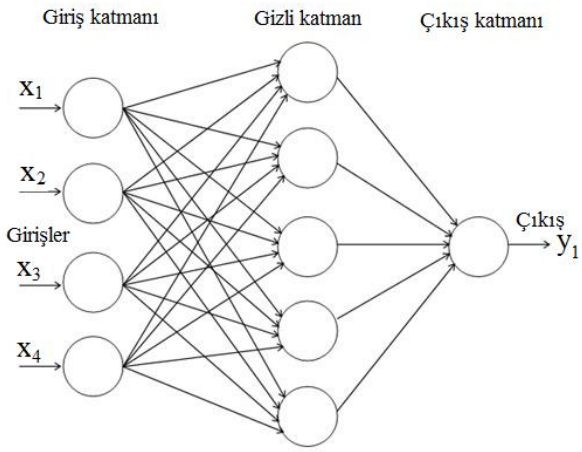
YSA'nın genel yapısı Şekil 7'de gösterilmiştir. YSA giriş, orta ve çıkış katmanı olmak üzere üç ana katmadan oluşur. Giriş katmanında, dış dünyadan alınan bilgiler ara katmanlara transfer edilir. Orta katmanda (gizli katman), giriş katmanından elde edilen veriler işlenir ve çıkış katmanına iletilir. Bir ağ içinde birden fazla orta katman olabilir. Çıkış katmanında ise, orta katmandan elde edilen veriler işlenir ve ağın çıktısı üretilerek dış dünyaya iletilir.



Şekil 7. Bir Yapay Sinir Ağının Genel Oluşumu
(General formation of an Artificial Neural Network)

İleri beslemeli bir ağ olan ÇKP (Çok katmanlı perceptron) YSA modelinin yaygın kullanılmasının sebebi, farklı öğrenme algoritmalarının bu ağın eğitiminde kolaylıkla kullanılabilmesidir. ÇKP sinir ağı modeli, Şekil 8'de gösterilmiştir.

Bu sebeple, bu çalışmada ÇKP YSA modeli kullanılmıştır. Bir ÇKP YSA modelinde giriş katmanı, bir ya da birden daha çok gizli katman ve çıkış katmanı bulunur.

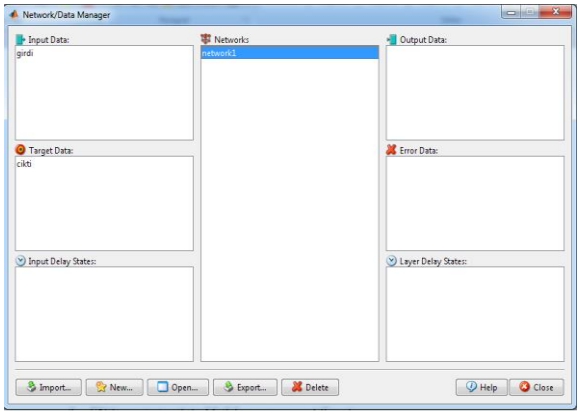


Şekil 8. ÇKP YSA modeli (ÇKP YSA model)

2.4. YSA'nın Tasarımı

Bir yapay sinir ağı tahmincisi için, modelleme zamanı veya eğitim zamanı gibi birçok performans ölçütü olabilirken, en iyi ve en önemli performans ölçütü tahminin doğruluğudur. Doğruluk ölçütü, gerçek değer ile tahmin edilen değerler arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu fark, tahmin hatası olarak adlandırılır.

Dinamik faz kaydırıcı ile yapılan kompanzasyon uygulamasındaki senkronun motorun uygun uyartım akımının tahmin işleminde kullanılan YSA modeli, Matlab programında YSA araç kutusu (Neural Network Toolbox-nntool) kullanılarak oluşturulmuştur. Matlab YSA araç kutusunun yapısı şekil 9'da gösterilmiştir.



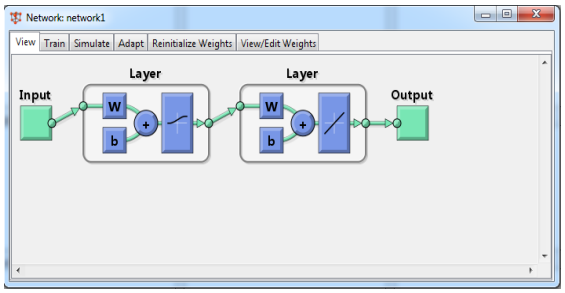
Şekil 9. Matlab YSA araç kutusu (Matlab AAN toolbar)

Matlab programında YSA modelinin oluşturulması 9 aşama ile gerçekleştirilmiştir.

1. Eldeki giriş ve çıkış verilerinden eğitim ve test setinin oluşturulması
2. Eğitim ve test setinin Matlab programına girilmesi
3. Ağın oluşturulması (Ağ yapısının, giriş ve çıkış verilerinin, öğrenme algoritmasının, aktivasyon fonksiyonunun, katman sayısının ve katmanlardaki nöron sayısının seçilmesi)
4. Ağ parametrelerinin seçilmesi (İterasyon sayısı, öğrenme katsayısı, hedeflenen hata değeri vb.)
5. Ağın eğitilmesi
6. Ağın test simülasyonunun oluşturulması
7. Simülasyon sonucunda tahmin edilen çıkış değerlerle gerçek değerlerin karşılaştırılması
8. En az hata oranının belirlenmesi
9. Ağ eğitiminin sonlandırılması

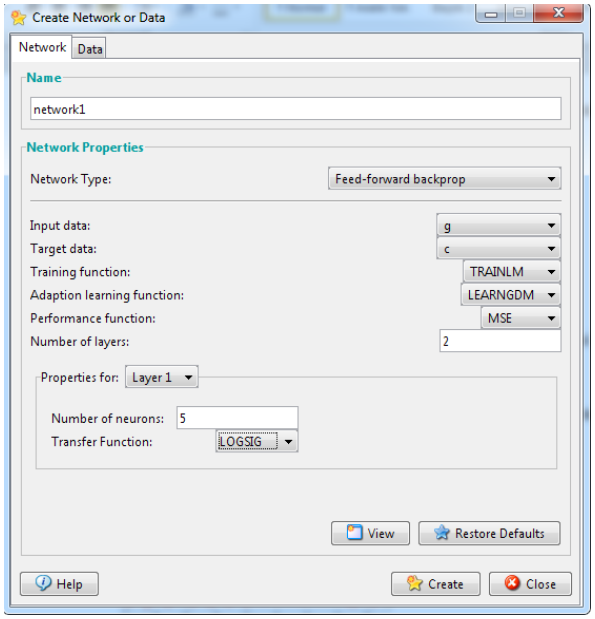
YSA oluşturulurken, yapılan kompanzasyon uygulamaları sonucu elde edilen 256'şer adet giriş ve çıkış verisi kullanılmıştır. Giriş verileri şebeke akımı ve Cosφ değerlerinden, çıkış verileri ise uyartım akım değerlerinden oluşmaktadır. Bu giriş ve çıkış verilerinin %70'i ağın eğitiminde, %30'u ise ağın test edilmesinde kullanılmıştır.

Matlab YSA araç çubuğu ile oluşturulan YSA modelinde; ileri besleme ağ ve danışmanlı ağ yapısı, çevrim dışı (off-line) geri yayılım öğrenme algoritması, giriş, gizli ve çıkış katmanı olmak üzere üç katman, gizli katmanda beş nöron ve logaritmik sigmoid aktivasyon fonksiyonu, çıkış katmanında 1 nöron ve doğrusal (purelin) aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 10'da oluşturulan YSA yapısı görülmektedir.

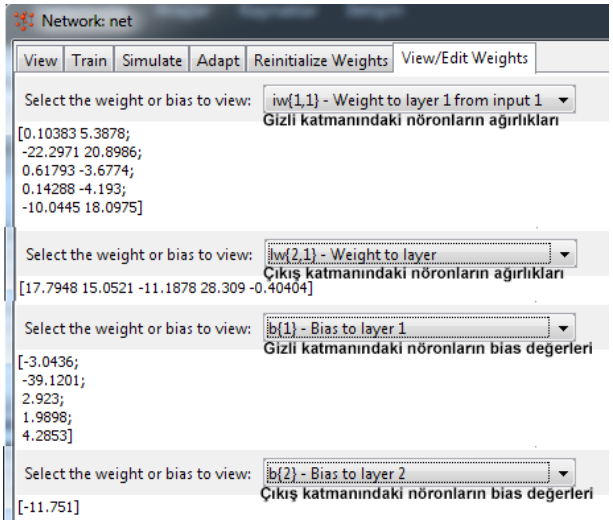


Şekil 10. YSA yapısı (AAN structuer)

Şekil 11'de YSA modelinde kullanılan parametreler ve Şekil 12' de YSA modelindeki ağırlıklar ve biaslar görülmektedir.



Şekil 11. YSA modelinde kullanılan parametreler
(The parameters that were used in ANN model)



Şekil 12. YSA modelindeki ağırlıklar ve biaslar (The Biases and weights in ANN model)

Optimal eğitim sonucunda matlab programında hesaplanan ağırlık ve sabit değerler (iw{1,1}, lw{2,1},, b(1), b(2)) bir metin belgesine kaydedilmiştir. Bu değerler c# yazılımında senkron motorun uyartım akımının hesabı formülünde kullanılmıştır. Uyartım akımının hesabına ait formüller aşağıda verilmiştir.

YSA'nın gizli katmanın çıkış değeri;

$$y^1{}_i = \frac{1}{1+e^{(-(iw_{i1}.x_1+iw_{i2}.x_2+b(1))}} \qquad (3)$$

YSA tarafından tahmin edilen uyartım akımı değeri;

$$y^2{}_1 = \sum lw_{1j} \cdot y^1{}_i + b(2) \qquad (4)$$

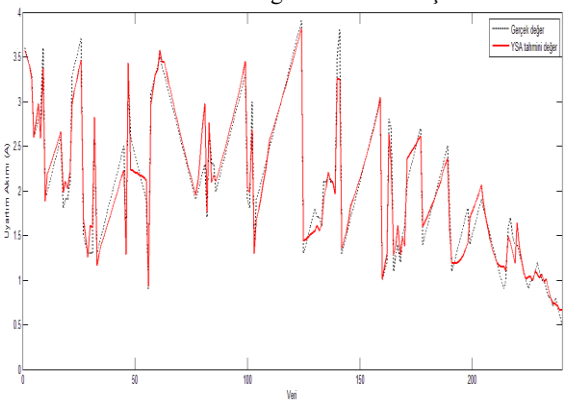
Burada,

x_1 = Sistemin şebekeden çektiği akım değeri

x_2 = Sistemin Cosφ değeri

Eş. 3 ve Eş. 4'deki formüller ve sisteme ait ölçüm değerleri, c# programlama dilinde kullanılarak YSA çıkış değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer uyartım akım değeri olup, senkron motorun uyartım akımının ayarlanması için USB bağlantısı ile uyartım akım bilgisi mikrodenetleyiciye gönderilmiştir.

YSA'nın iyi bir tahmin edici olup olmadığı Şekil 13'te gösterilmiştir. Grafikte gerçek değerlerle hesaplama sonucunda tahmin edilen değerler kullanılmıştır.



Şekil 13. Gerçek ve tahmin edilen değerler (Actual and estimated values)

Mevcut grafikte gerçek değerlerle tahmin edilen değerlerin üst üste çakıştığı görülmektedir ve bu çakışma oluşturulan YSA modelinin iyi bir tahmin edici olduğunu göstermektedir. Ayrıca, gerçek değerle tahmin edilen değer arasındaki ortalama hata payı küçük olması da (0,1161144), oluşturulan YSA'nın iyi bir tahmin edici olduğunu göstermektedir.

3. YSA DENETİMLİ KOMPANZASYON SİSTEMİNIN TASARIMI VE UYGULAMASI

3.1. Tasarlanan Sisteme Ait Donamlar ve Yazılım

Gerilim ve Akım Okuma modülü

Sisteme ait gerilim ve akım bilgi sinyalinin alınması için Akım ve gerilim okuma modülleri tasarlanmıştır. Bu bilgi sinyalleri hem güç katsayısının ölçümü için sıfır geçiş dedektörünün ilgili pinlerine hem de değerlerinin ölçülmesi için mikrodenetleyici modülüne gönderilmiştir.

Sıfır Geçiş Dedektörü

Akım ve gerilim sensörlerinden elde edilen sinyallerin sıfır geçiş noktalarının yakalanmasını ve mikrodenetleyici modülü güç katsayısı ölçüm işleminde kullanılmak üzere uygun kare dalga çıkış sinyallerinin üretilmesi için sıfır geçiş dedektörü tasarlanmıştır.

Mikrodenetleyici Modülü

Ölçme işleminin tek bir cihaz kullanılarak yapılabilmesini ve güç katsayısı kontrol işleminde yer alan bütün donanımların kontrolü için mikrodenetleyici modülü tasarlanmıştır. Mikrodenetleyici devresinin bilgisayarla haberleşebilmesi için usb modülüne sahip Mikrochip firması tarafından üretilen PIC 18F4550 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.

Senkron Motor

Reaktif güç kompanzayonunun uygun uyartım akımının ayarlanarak gerçekleştirilmesi için kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan senkron motor, 3 fazlı, 1 kW, Y380 V, 1500 d/dk ve 50 Hz etiket değerline sahiptir.

Yükler

Bu çalışmada yük olarak üçer kademeli omik, endüktif ve kapasitif yük grupları kullanılmıştır.

Smart Drive Cihazı

Bu çalışmada, dinamik faz kaydırıcı olarak kullanılan senkron motorun uyartım akımını ayarlamak için Elektronik Kontrol Sistemleri firması tarafında üretilen Smart Drive cihazı kullanılmıştır. Smart drive cihazı çıkış akımını belirleyen referans gerilimi PWM kontrollü güç kaynağı tarafında sağlanmıştır.

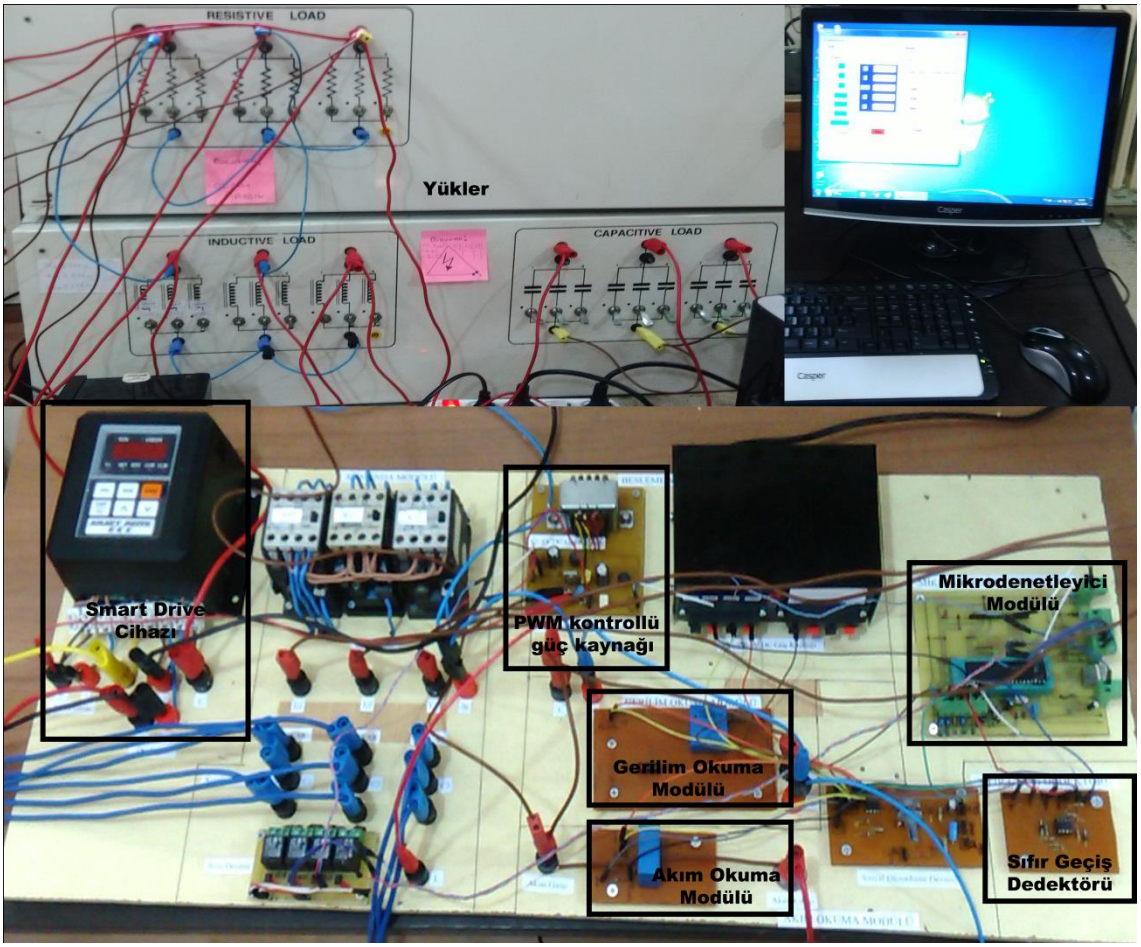
PWM Kontrollü Güç Kaynağı

Smart Drive cihazının referans gerilimini üretmesi için PWM Kontrollü Güç Kaynağı tasarlanmıştır. PWM, bilgisayardaki kullanıcı arayüzünden manuel ve yapay sinir ağı denetiminde otomatik olarak mikrodenetleyici tarafından üretilmektedir.

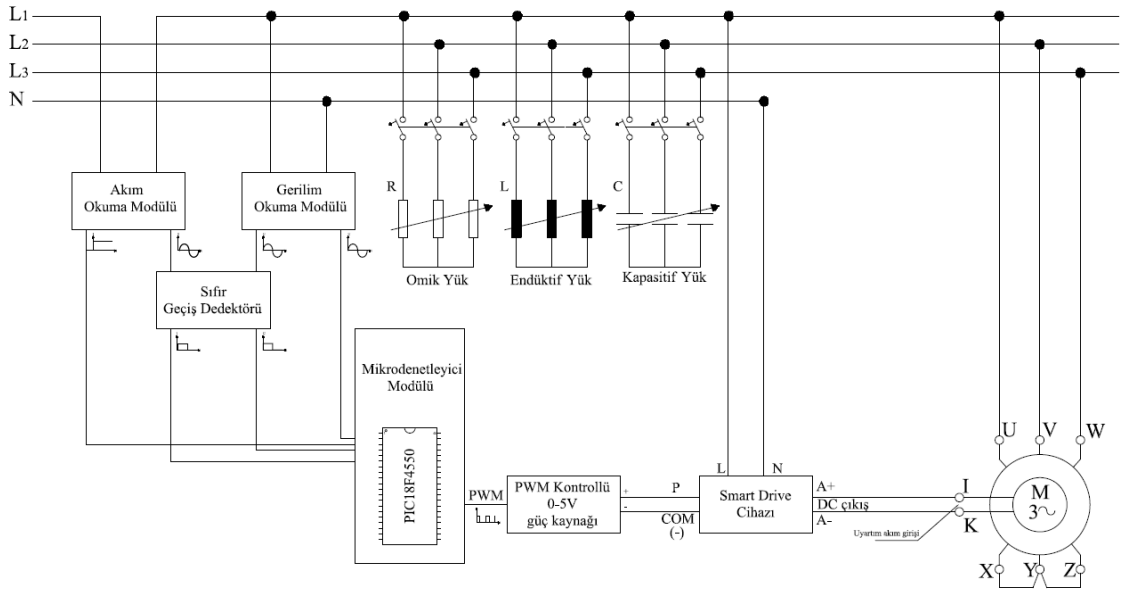
Kullanıcı Arayüzü

Mikrodenetleyici tarafından sisteme ait ölçülen değerlerin bilgisayar ekranında izlenebilmesi ve kompanzasyon uygulamasının bilgisayardan kontrol edilebilmesi için bir arayüz oluşturulmuştur. Bu arayüz Microsoft firması tarafından geliştirilen Visual Studio 2010 program ortamında C# programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir.

Senkron motor ile kompanzasyon uygulaması için tasarlanmış sistemin genel görünümü Şekil 14' te verilmiştir. Ayrıca kompanzasyon uygulamasının blok diyagramı Şekil 15' te verilmiştir.



Şekil 14. Sistemin genel görünümü (Overview of the system)



Şekil 15. Sistemin blok diyagramı (Block diagram of the system)

3.2. Gerçekleştirilen Uygulamalar

Sisteme ait ölçülen değerler sırayla bilgisayara gönderilmiştir. Bu bilgiler ışığında sisteme, hem kullanıcı tarafından manuel olarak hem de bilgisayar yazılımı sonucu otomatik olarak müdahale edilmektedir.

Mevcut sistem için farklı yük koşullarında senkron motor ile kompanzasyon uygulamaları tekrarlanmıştır. Senkron motor ile yapılan kompanzasyon uygulamalarında hem manuel hem de otomatik kumanda yöntemi kullanılmıştır. Manuel kumanda; YSA'nın

eğitilmesi amacıyla butonlarla ya da değer girilerek uyartım akımının ayarlanması için kullanılmıştır. Otomatik kumanda ise; gerekli uyartım akımının oluşturulan YSA modeli tarafından tahmin edilerek senkron motora uygulanması için kullanılmıştır.

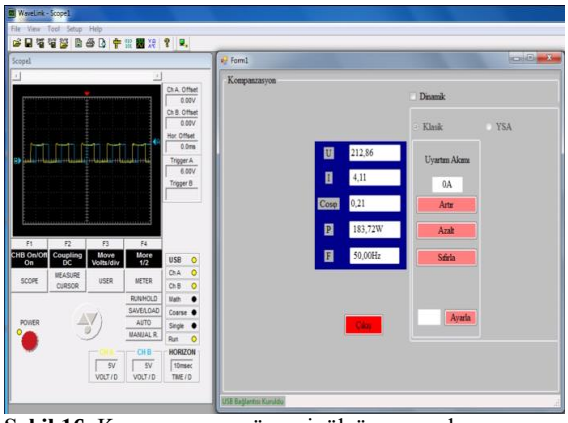
Yapılan uygulamalar esnasında sisteme ait değerler tasarlanan devre kullanılarak ölçülmüştür. Bu değerlerin izlenmesi ve kaydedilmesi bilgisayar arayüzü ile bilgisayar ortamında eş zamanlı yapılmıştır. Ayrıca osilaskop ile ölçülen akım ile gerilim arasındaki faz farkı bilgisayar arayüzünün sol tarafına yerleştirilerek izlenmiştir.

Bu çalışmada verilen örnek uygulamalarda, arayüz ile izlenen gerilim, akım dalga şekilleri ve sisteme ait gerilim (U), akım (I), güç katsayısı (Cosφ), aktif güç (P) ve frekans (F) ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

Bu çalışmada kompanzasyon yapılmadan öncesi büyüklükler 1 indisiyle, kompanzasyon yapıldıktan büyüklükler ise 2 indisiyle gösterilmiştir.

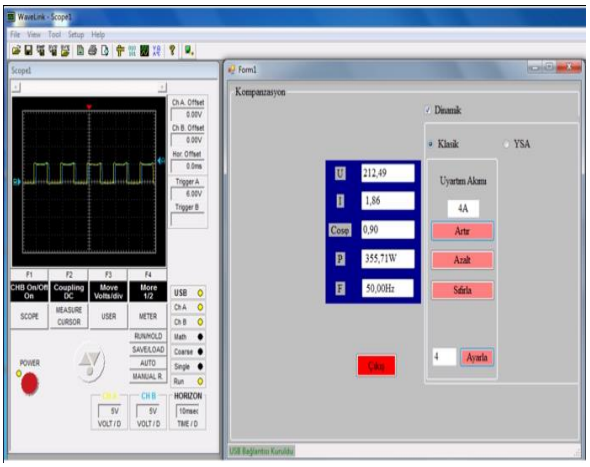
3.1. 424 Ω Omik, 200 mH Endüktif Yükle Yüklenmiş Sistemdeki Uygulama

Kompanzasyon öncesi güç katsayısı (Cosφ) değeri 0,21 olup sistem endüktif karakter göstermiştir. Bu durumdaki sisteme ait ölçüm sonuçları Şekil 16'da gösterilmiştir.



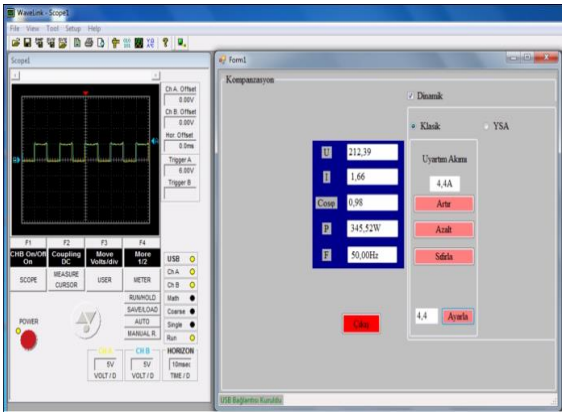
Şekil 16. Kompanzasyon öncesi ölçüm sonuçları (Measurement results before compensation)

Şekil 16'daki ölçüm sonuçları incelendiğinde sistemin reaktif güç ihtiyacı için kompanzasyona gerek duyulmaktadır.



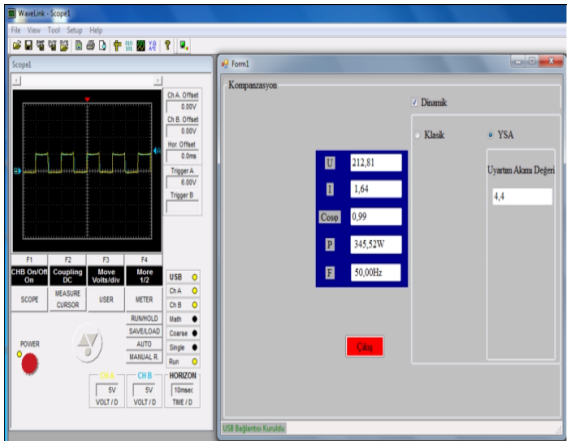
Şekil 17. Manuel kumandalı senkron motor ile kompanzasyon sonrası ölçüm sonuçları (Measurement results after compensation with manually command synchronous motor)

Şekil 17'de görüldüğü gibi senkron motorun uyartım akımı 4 A olarak ayarlandığında Cosφ değeri 0,9 kaldığından yetersizdir.



Şekil 18. Manuel kumandalı senkron motor ile kompanzasyon sonrası ölçüm sonuçları (Measurement results after compensation with manually command synchronous motor)

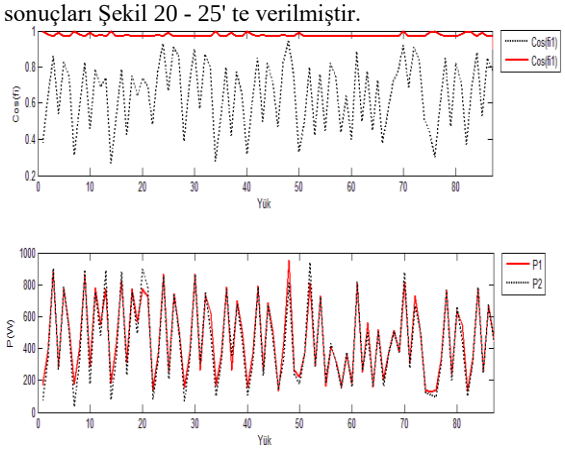
Şekil 18'de senkron motorun uyartım akımı 4,4 A olarak ayarlandığında Cosφ değerinin 0,98 ulaştığı görülmektedir ve bu uyartım akımı bu yük koşullarında yeterlidir.



Şekil 19. YSA denetimli otomatik kumandalı senkron motor ile kompanzasyon sonrası ölçülen değerler (Measurement values after compensation with ANN controlled automatic command synchronous motor)

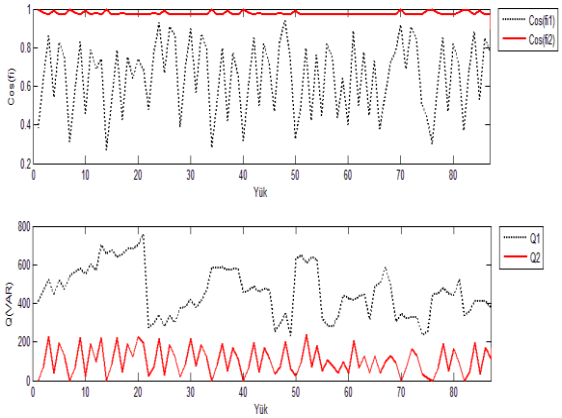
Şekil 19'da görüldüğü gibi uyartım akımı YSA tarafından olması gereken gerçek değerinde tahmin edilmiş ve senkron motor ile kompanzasyon otomatik olarak yapılmıştır.

Mevcut sistemde, kompanzasyon öncesi ve senkron motor ile kompanzasyon uygulamaları sonrası Cosφ değerleri elde edilmiştir. Ek olarak, sisteme ait Cosφ değerlerinde ölçülen P, Q, S, I ve I_u (uyartım akımı) sonuçları Şekil 20 - 25' te verilmiştir.



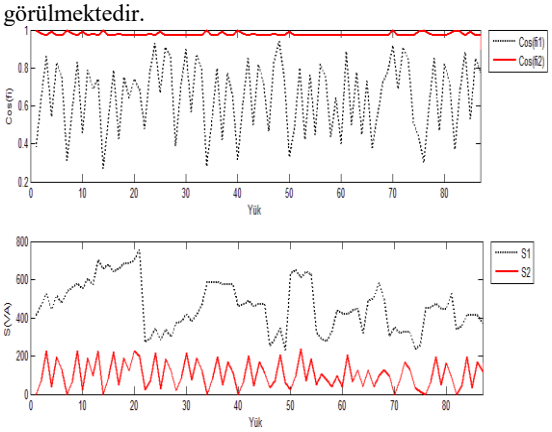
Şekil 20. Kompanzasyon öncesi ve kompanzasyon sonrası sistemin değerleri (Cosφ ve P)
(Pre-compensation and post-compensation system values (Cosφ and P))

Şekil 20'de farklı yük koşullarında şebekeden çekilen aktif gücün kompanzasyon öncesi ve sonrası değişmediği görülmektedir.



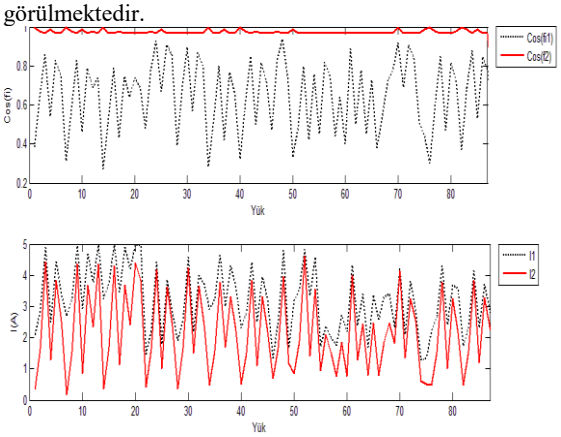
Şekil 21. Kompanzasyon öncesi ve kompanzasyon sonrası sistemin değerleri (Cosφ ve Q)
(Pre-compensation and post-compensation system values (Cosφ ve Q))

Şekil 21'de farklı yük koşullarında şebekeden çekilen reaktif gücün kompanzasyon sonrası azaldığı görülmektedir.



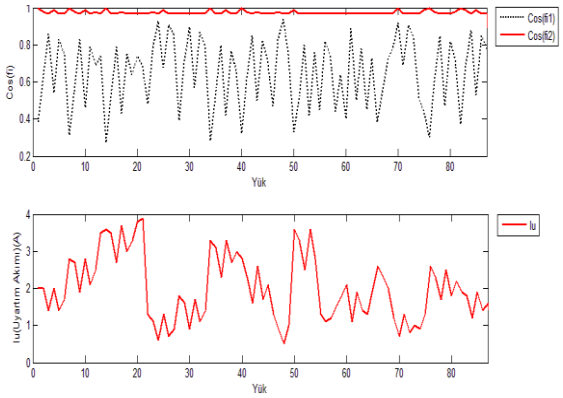
Şekil 22. Kompanzasyon öncesi ve kompanzasyon sonrası sistemin değerleri (Cosφ ve S)
((Pre-compensation and post-compensation system values (Cosφ ve S))

Şekil 22'de farklı yük koşullarında şebekeden çekilen görünür gücün kompanzasyon sonrası azaldığı görülmektedir.



Şekil 23. Kompanzasyon öncesi kompanzasyon sonrası sistemin değerleri (Cosφ ve I)
(Pre-compensation and post-compensation system values (Cosφ ve I))

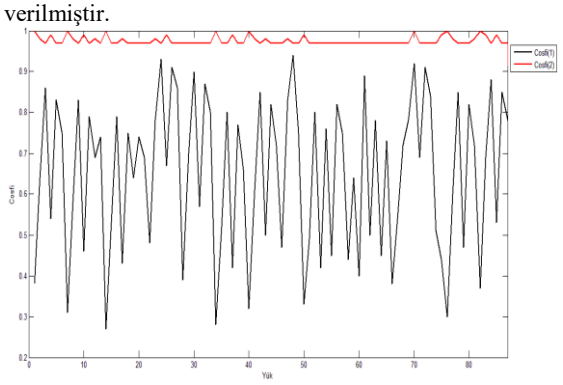
Şekil 23'te farklı yük koşullarında şebekeden çekilen akımın kompanzasyon sonrası azaldığı görülmektedir.



Şekil 24. Kompanzasyon öncesi ve kompanzasyon sonrası sistemin değerleri (Cosφ ve I_u)
(Pre-compensation and post-compensation system values (Cosφ ve I_u))

Şekil 24'te farklı yük koşullarında kompanzasyonun gerçekleştirilmesi için senkron motora uygulanan uyartım akımının nasıl değiştiği görülmektedir.

Kompanzasyon öncesi ve senkron motor ile kompanzasyon uygulamaları sonrası sisteme ait Cosφ sonuçları 87 adet örnek yük koşullarında Şekil 25' te verilmiştir.



Şekil 25. Kompanzasyon öncesi ve kompanzasyon uygulamaları sonrası sistemin Cosφ değerleri ((Pre-compensation and post-compensation application Cosφ values of system)

Şekil 25'te Cosφ değerinin kompanzasyon sonrası 1'e yaklaştığı görülmektedir.

Kompanzasyon öncesi ve sonrası sisteme ait sonuçlar incelendiğinde, P değeri sabit kalmış, Q değeri ise azalmıştır. Bu azalmanın nedeni, reaktif gücün kompanzasyon uygulamalarında kullanılan işletme araçları tarafından üretilmesidir. Böylece Cosφ değeri 1'e yaklaştırılmıştır. Bunun sonucunda da şebekeden daha fazla reaktif güç çekilmeyerek enerji tasarrufu sağlanmıştır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, yapay sinir ağ denetimli senkron motor ile dinamik reaktif güç kompanzasyon uygulaması yapılmıştır. YSA kontrollü Smart Drive cihazı tarafından senkron motorun uyartım akım ayarlanarak kompanzasyon gerçekleştirilmiştir. YSA modeli Matlab YSA araç kutusu kullanılarak tasarlanmıştır. Sisteme ait parametreler bilgisayar ekranından izlenebilmekte, sisteme kontrolü manuel olarak yapılabilmekte ve ayrıca belirli süre aralıklarında (10ms) bilgisayar ortamında kaydedilmektedir. Bu kaydedilen değerler, değişebilecek yük koşullarında YSA modelinin hızlı bir şekilde güncellenmesini sağlayabilmektedir. Tasarlanan kompanzasyon sisteminde hassas reaktif güç kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadaki kompanzasyon sistemin denetiminde kullanılan YSA modelinin tasarımında Matlab araç çubuğu kullanıldığından dolayı sistemde olabilecek yük değişimlerine göre sistemin güncellenmesinin daha hızlı ve ekonomik olacağı düşünülmektedir. Ayrıca gerçekleştirilen sistemde elde edilen sonuçlar, Matlab araç çubuğu kullanılarak YSA denetimli olarak başka sistemlerin de kontrol edilebileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

[1] Bayram, M., "**Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu**".,İstanbul: Birsen Yayınevi, 254, 2000.

[2] Bal, G. ve Çolak, İ., "Reactive power compensator using constant capacitor and thyristor controlled reactor", **Gazi University, Journal of Institute of Science and Technology**, cilt 8, no 2, 9-15, 1995.

[3] Miller, TJE. **"Reactive power control in electric systems"**, A Viley-Interscience Publication, New York, 182-222, 1982.

[4] Al Hamrani, M. M. (2002), "**Reactive Power Optimization Using Adaptive Excitation Control of Synchronous Motors**" Master Thesis, Electrical and Computer Engineering, Oregon State University, 2002.

[5] Sesveren, Ö., **" Yapay Sinir Ağları Temelli Reaktif Güç Kompanzasyonu Eğitim Seti Tasarımı"**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.

[6] Bayındır, R. ve Görgün, A., "PIC Tabanlı Bir PI Denetleyici İle Senkron Motor Kullanılarak Bir Kompanzatör Uygulaması", **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, cilt 15, no 1, 87-99, 2009.

[7] Görgün, A., **"Yapay Sinir Ağları Denetimli Senkron Motor ile Reaktif Güç Kompanzasyonu"**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.

[8] Çolak, İ., Bayındır, R. ve Sefa, İ., "Experimental study on reactive power compensation using a fuzzy logic controlled synchronous motor", **Energy Conversion and Management**, 45, 2371-2391, 2004.

[9] Pandey, N., Kulshrestha, S., Saxena M. K., "Analysıs Of Electrıcal Load Forecastıng By Usıng Matlab Tool Box Through Artıfıcıal Neural Network", **International Conference on Futuristic Trends in Engineering, Science, Humanities, and Technology**, 2016

[10] Khaing, M. K. T., "Power Factor Correction With Synchronous Condenser for Power Quality Improvement in Industrial Load", **International Journal of Science and Engineering Applications**, Volume 3 Issue 3, 2014.

[11] Bayindir, R., Yesilbudak, M., Colak, İ and Sagiroglu, Ş., "Excitation Current Forecasting for Reactive Power Compensation in Synchronous Motors: A Data Mining Approach" **11th International Conference on Machine Learning and Applications**, 2012

[12] Aşkın, D., İskender, İ. Ve Ali Mamızadeh, A., "Kuru Tip Transformatör Farklı Yapay Sinir Ağları Yöntemlerini Kullanarak Sargısının Termal Analizi" **Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 26, No 4, 905-913, 2011.

[13] Mohamed, A. A., Elshaer, M. and Mohammed, O. A., "Reactive Power Compensation Control for Stand-Alone Synchronous Generator-Based Wind Energy Conversion System", **36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society,** 3222 – 3227, 2010.

[14] Peşint, M. A., **"Elektrik Makineleri IV (Senkron Makineleri ve Alternatif Akımın Doğrultulması)"**, İstanbul:Milli Eğitim Basımevi, 90-114, 1996.

[15] ÖZTEMEL, E. **"Yapay Sinir Ağları"**, İstanbul: Papatya Yayıncılık, 31-36, 2003.