

Yapay Sinir Ağları Tabanlı Reaktif Güç Kompanzasyonu

Ramazan BAYINDIR*, Şeref SAĞIROĞLU**, İlhami ÇOLAK*
*Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

** Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Celal Bayar Bulvarı
06570 Maltepe, ANKARA

ÖZET

Elektrik güç sistemlerinden çekilen reaktif gücün artması, kayıpların artmasına, üretim maliyetlerinin yükselmesine ve enerji sistemlerinin verimsizliğine sebep olmaktadır. Kayıpları azaltarak verimi artırmanın yolu ise, reaktif enerjiyi yükün bulunduğu yerde kompanze etmektir. Bu çalışmada, reaktif güç kompanzasyonunun yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak gerçekleştirilmesi incelenmiştir. YSA ile kompanzasyonu sağlamak için oluşturulan ağda Levenberg-Marquardt (LM) öğrenme algoritması kullanılmıştır. Elde edilen YSA modelinin testinde, YSA'nın LM ile eğitilmesiyle yüksek performanslı ve hızlı kompanzasyon gerçekleştirilebileceği tespit edilmiş, YSA yapısının gerçek zamanlı uygulamalara kolaylıkla adapte edilebileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Reaktif güç kompanzasyonu, yapay sinir ağları, öğrenme algoritması

Reactive Power Compensation Based on Artificial Neural Network

ABSTRACT

Increasing demand in the reactive power drawn from electric power station increases the loss and the cost of the energy, and reduces the system efficiency. The reactive power compensation system installed near by the loads is one of the methods to increase the efficiency. In this study, reactive power compensation system has been realized using artificial neural network. Levenberg-Marquardt learning algorithm was used for the constituted network. The reactive power compensation trained with LM learning algorithm can be implemented for high performance and faster compensation systems. It is evaluated that the structure of neural network is easily adapted in real time applications.

Key Words: Reactive power compensation, artificial neural network, learning algorithm

1. GİRİŞ

Sanayileşmenin artması ile birlikte son yıllarda endüstride kullanılan endüktif güç tüketiminde de büyük artışlar olmuştur. Endüktif yükler şebekeden aktif gücün yanında reaktif güç de çekerler (1). İletim hattından çekilen reaktif güç iletim hattını yüklemesine rağmen, bu güç işe dönüştürülmez (2). Bu nedenle, elektrik güç sistemlerinde çekilen reaktif güç nedeniyle meydana gelen kayıpların mümkün olduğunca küçük tutulmasına çalışılmalıdır. Şebeke kayıplarındaki her azalma, üretim maliyetinin azalması ve böylece enerji sisteminin ekonomikliğinin artması sağlanabilmektedir. Bunu yapmanın tek yolu ise iletim hattının beslediği endüktif yüklerin ihtiyacı olan reaktif enerjiyi, yükün bulunduğu yerde kompanze etmektir. Bu amaçla son yıllarda yapılan çalışmalar ile kayıpların oluşmasına sebep olan reaktif gücün ortadan kaldırılması için çeşitli teknikler uygulanmaktadır. Bu nedenle reaktif gücün ihtiyaç duyulan noktaya en yakın yerde üretilmesi sisteminin verimini arttırmak açısından büyük faydalar sağlamaktadır. Yüklerin ihtiyacı olan reaktif güçler, ya statik olarak

kapasitör veya reaktörlerle, ya da dinamik olarak senkron motorlarla karşılanır (3-5).

Statik kompanzasyon elemanı olarak da bilinen kondansatörler, bakım masraflarının düşük ve verimlerinin yüksek olması sebebiyle reaktif güç kompanzasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Statik reaktif güç kompanzasyon sistemlerinden bazıları, sabit kondansatörler, tristör anahtarlamalı kondansatörler (TAK), tristör kontrollü reaktörler (TKR), tristör kontrollü transformatörler (TKT), şönt kapasitörlü ve tristör kontrollü reaktörlerdir (2-4).

Sabit kondansatörler kademeli olarak kompanzasyon sağlarlar. Ayrıca yükün ihtiyacı olan reaktif enerjiyi her zaman tam olarak kompanze etmek mümkün olmayabilir. Bazen ihtiyaç duyulan reaktif enerjiden fazla, bazen de az reaktif enerji kondansatör grupları tarafından iletim hattına aktarılır. Kondansatörlerin devreye alınıp çıkartılmaları kontaktör ve reaktif güç röleleri tarafından yapıldığından, belirli bir zaman gecikmesi oluşmaktadır. Yüklerin aşırı veya düşük

kompanze edilmesi veya kompanzasyonun zaman gecikmeli yapılması az da olsa enerji nakil hatlarının aşırı yüklenmesine sebep olabilmektedir. Tristör anahtarlamalı reaktif güç kompanzasyonunda kademesiz bir kompanzasyon ve mekanik bir eleman bulundurmamasına rağmen tristörlerin anahtarlanması sonucu harmonikler oluşmaktadır (5-8).

Senkron motor ile kompanzasyon, uyarım akımının değiştirilerek motorun kapasitif veya endüktif olarak çalıştırılmasıyla sağlanabilir (9). Ayrıca senkron motorun şebekeden çektiği reaktif gücün miktarı da uyarım akımı ile ayarlanabilmektedir. Senkron motor reaktif güç kompanzasyon sistemlerinde kullanılırken üzerinde herhangi bir yük yok ise, kaynaktan çekeceği aktif güç sadece mekanik kayıpları karşılamak içindir. Eğer senkron motor, kompanzasyon yapılan sistemde başka bir amaçla kullanılmıyorsa ekonomik değildir. Fakat doküma tezgahı, maden öğütme işlemi, kâğıt rulo tezgahı gibi sabit hız istenen işlerde çalıştıran bir senkron motor varsa, motordan hem mekanik güç alınır, hem de aşırı uyarım sağlanarak senkron motorun kapasitif çalışması sağlanır. Böylece hem mekanik enerji üretilir, hem de işletmenin güç katsayısı düzeltilir.

Elektrik güç sistemlerinde güvenilirliği, verimliliği ve değişik çalışma koşullarında sistemin kararlılığını sağlayabilmek için PI, PID, bulanık mantık denetleyiciler gibi sürekli olarak yeni kompanzasyon kontrol teknikleri geliştirilmektedir. PI, PD ve PID gibi denetleyici tasarımı sisteme ait matematiksel modellerin mutlaka bilinmesi gerekirken, yapay zekâ teknikleri kullanılarak yapılan kompanzasyon sistemlerinde ise, matematiksel modelden ziyade sistem üzerinde yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler yeterli olabilmektedir. Böylece klasik kontrol sistemleriyle denetimin güçleştiği, matematiksel modeli oluşturulamayan sistemlerde matematiksel modele ihtiyaç duyulmadan sistem girişi ve çıkışı arasında yapay zekâ esaslarına dayalı bir denetleyici kullanımı büyük üstünlükler ve kolaylıklar sağlamaktadır (10-12).

Genel olarak güç kompanzasyonunda yaklaşımlar incelendiğinde; mekanik, harmonik, zaman gecikmesi gerilim düşümü/yükselmesi ve matematik modele gereksinim duyulması, uygulamalarda karşılaşılan problemlere bakıldığında ise güvenilirlik, doğruluk, basitlik, enerji tüketimi, zaman ve kayıplar ön plana çıkmaktadır. İyi bir kompanzasyon sisteminde istenilmeyen durumların giderilmesi ve yüksek doğruluk, güvenilir sonuçlar, basit işlemler ve kısa hesaplama süreleri her zaman beklenen özelliklerdir (6, 12).

Yukarıda belirtilen sıkıntıların giderilmesi ve ideal bir kompanzasyon sisteminden beklenen özelliklerin sağlanabilmesi için YSA'lar bilinen en iyi yapay zekâ yöntemlerinden birisidir. Bu nedenle son zamanlarda güç sistemlerinin güvenliği, güç sistemleri kararlılığı, reaktif güç kompanzasyonunda ve motor kontrol uygulamalarında YSA'ların sıkça tercih edildiği rapor edilmektedir (13, 14). Sağiroğlu ve arkadaşları (13) ve

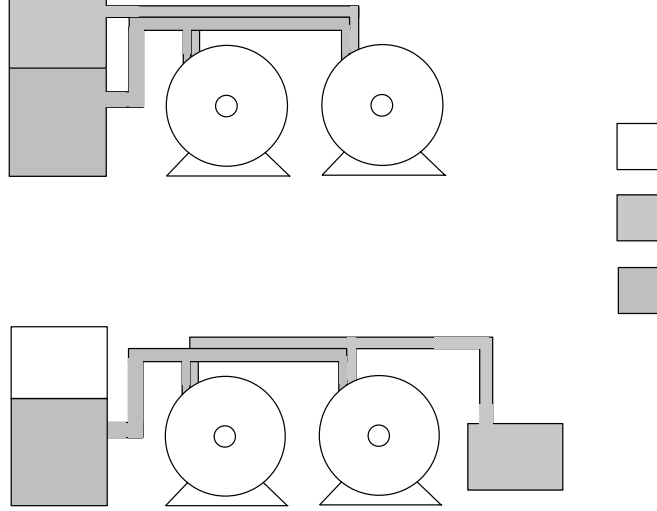
Bayındır ve arkadaşları (14), Geri Yayınım (BP), Delta Bar Delta (DBD), Genişletilmiş Delta Bar Delta (EDBD) ve Directed Random Search (DRS) YSA öğrenme algoritmalarını kullanarak, YSA tabanlı kompanzasyon teknikleri geliştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar kabul edilebilir olsa da, bu yapının iyileştirilmesi ve basitleştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun sebepleri ise; çok katmanlı YSA yapısının gerçek zamanlı uygulanacağı, YSA ağırlıklarının mikrodenetleyici içerisine aktarılması gerekliliği ve YSA'nın eğitim süresinin kısaltılması ve kompanzasyon performansın mümkün olduğunca yükseltilmesi olarak açıklanabilir. Bu çalışmada reaktif güç kompanzasyonu, YSA denetleyicinin ilk kez Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ile eğitilmesiyle daha hızlı öğrenme, daha basit bir yapı elde edebilme ve yüksek başarımlı bir kompanzasyon sağlanması amaçlanmıştır. Bu aşamada LM öğrenme algoritmasının tercih edilmesinin amacı ise Gauss-Newton ve Steepest-Decent algoritmalarının en iyi özelliklerini bünyesinde barındırması ve öğrenme işlemini kısa sürede sonuçlandırabilmesidir. Senkron motor kullanılarak kademesiz reaktif güç kompanzasyonu bu sayede başarıyla gerçekleştirilebilecektir.

2. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

Güç sistemlerinde aktif güç akışının yanında yükün ve sistemin ihtiyacını karşılayabilmek için reaktif güç akışı da olmaktadır. Aktif güç kuşkusuz alternatiflerden yüklere iletilecektir, oysa reaktif güç için böyle bir zorunluluk yoktur. Reaktif gücün ihtiyaç duyulan noktaya en yakın yerde üretilmesinde elektrik sisteminin en iyi koşullarda çalıştırılması açısından büyük yararlar vardır. Elektrik sisteminin ve yüklerin reaktif güce gerek duyulan yerlerde belirli teknikler kullanılarak karşılanması "reaktif güç kompanzasyonu" olarak adlandırılmaktadır. Bu işlemin doğal sonucu olarak sistemin belirli noktalarında gözüken güç katsayısı ($\cos \phi$) düzeltilecek, diğer bir deyişle tesisin güç katsayısı 0,95 ile 1 arasında bir değere yaklaştırılacaktır. Şekil 1a'da kompanzasyonu yapılmamış bir sistem ve Şekil 1b'de ise kompanzasyonu yapılmış bir sistem verilmiştir. Şekil 1a'da sistem çalışırken alternatörden aktif gücün yanında iş yapmayan reaktif gücünde çekildiği görülmektedir. Aktif güç, sistemin çalışması için gerekli bir güç iken, bunun aksine mıknatıslama için gerekli olan reaktif gücün alternatörden çekilmesine gerek yoktur. İş yapmadığı halde bu güç alternatörden çekildiği için, bu gücün de tüketim bedeli ödenmek zorundadır. Şekil 1b'de ise kondansatör veya senkron motor gibi bir kompanzasyon elemanı ile kompanzasyon yapıldığında, bu reaktif gücün şebekeden çekilmediği görülmektedir. Ayrıca Şekil 1a ile karşılaştırıldığında, alternatörün fazladan mevcut bir aktif güce sahip olduğu görülecektir.

Türkiye Elektrik Kurumu aşırı miktarlarda tüketilen reaktif enerjiyi müşterilerin kendi imkânları ile karşılamalarını zorunlu kılmak için işletmelerde 3 adet sayaç bulundurma zorunluluğu getirmiştir. Enerji tarifesinde aktif enerji yanında ileri ve geri reaktif enerji be-

deli koymuştur. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Elektrik Tarifeleri Yönetmeliği 56. maddesine göre bir dönem içerisinde çekilen endüktif reaktif enerjinin % 33'üne kadar (dahil) reaktif enerji çeken müşterilerden reaktif enerji bedeli alınmamaktadır. Bu oran aşıldığında, çekilen reaktif enerjinin tamamına reaktif enerji tarifesi uygulanmaktadır.



Şekil 1. Reaktif Güç Kompanzasyonu

Yine aynı yönetmeliğe göre bir dönem içerisinde çekilen kapasitif reaktif enerjinin %20'sine kadar (dahil) enerji çeken müşterilerden reaktif enerji bedeli alınmamaktadır. Bu oran aşıldığında, abonenin dönem içerisinde çektiği aktif enerjinin 0,90 katı kadar reaktif enerji tükettiği kabul edilerek reaktif enerji tarifesi üzerinden bedeli alınmaktadır.

Enerji sarfiyatı yüksek olan şirketler için bu durumlar çok önemli olduğundan, reaktif güç kompanzasyonu mutlaka yapılmakta veya yüksek maliyetli donanımlar kullanılarak yüksek enerji bedellerinden kurtulmaya çalışılmaktadır.

3. YAPAY SINİR AĞLARI

Yapay sinir ağları (YSA), öğrenme yeteneği, kolayca farklı problemlere uyarlanabilirliği, genelleme yapabilmesi, paralel yapılarından dolayı hızlı çalışabilme yeteneği ve kullanıcının giriş ile çıkış arasındaki ilişkiyi tarif etme mecburiyetinin olmayışı gibi üstünlüklerden dolayı, pek çok uygulamada kullanılmaktadır (15, 16). YSA, bir sisteme ilişkin çeşitli parametrelere bağlı olarak tanımlanan girişler ve çıkışlar arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal bir formda olması zorunlu değildir. Ayrıca YSA'lar, çıkış değerleri bilinmeyen tanımlanmış sistem girişlerine de uygun çıkışlar üretebilmekte, böylelikle çok

karmaşık problemlere bile iyi çözüm olabilmektedirler (16).

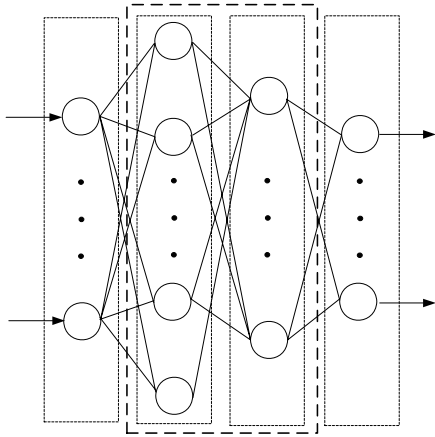
Literatürde birçok YSA yapısı mevcuttur (15, 16). Sunulan çalışmada Çok Katlı Perseptron (ÇKP) modeli kullanılmıştır. ÇKP, birçok alana uygulanmış olan bir YSA yapısıdır (16). Birçok öğrenme algoritmasının bu ağı eğitmede kullanılabilir olması, bu modelin

yaygın kullanılmasının sebebi olarak açıklanabilir. Şekil 2'de de verildiği gibi bir ÇKP modeli, bir giriş, bir veya daha fazla ara ve bir de çıkış katmanından oluşur. Bir katmandaki bütün işlem elemanları bir üst katmandaki bütün işlem elemanlarına bağlıdır. Giriş katındaki nöronlar tampon gibi davranırlar ve giriş sinyalini ara kattaki nöronlara dağıtırlar. Ara kattaki her bir nöronun çıkışı, kendine gelen bütün giriş sinyallerini takip eden bağlantı ağırlıkları ile çarpımlarının toplanması ile elde edilir. Elde edilen bu toplam, çıkışın toplam bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir.

Buradaki fonksiyon, basit bir eşik fonksiyonu, bir sigmoid veya hiperbolik tanjant fonksiyonu olabilir. Diğer katlardaki nöronların çıkışları da aynı şekilde hesaplanır. Kullanılan eğitme algoritmasına göre, ağırlık çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki hata tekrar geriye doğru yayılarak hata minimuma düşüncüye kadar YSA'nın ağırlıkları değiştirilir (15). Bu çalışmada ağırlık çıkışı ile arzu edilen çıkışlar arasındaki hata tüm giriş seti için bulunduktan sonra ağırlıklar değiştirilmektedir.

Alternatör

(a) Kompanzasyon



Şekil 2. Bir ÇKP-YSA modeli

Yapay sinir ağlarında kullanılan çok sayıda öğrenme algoritması bulunmaktadır. Sunulan çalışmada en fazla 10 epokta öğrenen ve hesaplamalarda çıkartabilen ve hesaplamalarda bir çok hususu çözümleyebilen Levenberg-Marquardt (LM) öğrenme algoritması kullanılmıştır (17, 18).

LM metodu, maksimum komşuluk fikri üzerine kurulmuş bir en az kareler hesaplama metodudur [17, 18]. Bu algoritma, Gauss-Newton ve Steepest-Descent algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşur ve bu iki metodun kısıtlamalarını ortadan kaldırır. Genel olarak bu metod yavaş yakınsama problemlerinden etkilenmez.

$E(w)$ 'nin bir amaç hata fonksiyonu olduğu düşünülürse, m tane hata terimi için $e_i^2(w)$ aşağıda verilmiştir.

$$E(w) = \sum_{i=1}^m e_i^2(w) = \|f(w)\|^2 \quad (1)$$

bu eşitlikte w ağırlıkları ifade ederken, $e_i^2(w) \equiv (y_i - yd_i)^2$ dir.

Burada, amaç fonksiyonu $f(.)$ ve onun Jakobiyeni J' 'nin bir noktada w bilindiği farzedilir.

LM öğrenme algoritmalarında hedef, parametre vektörü w 'nın, $E(w)$ minimum iken bulunmasıdır. LM'nin kullanılmasıyla yeni vektor w_{k+1} , farzedilen vektor w_k 'dan aşağıda verilen ifadeden hesaplanır.

$$w_{k+1} = w_k + \delta w_k \quad (2)$$

burada δx_k aşağıdaki şekilde verilir.

$$(J_k^T J_k + \lambda I) \delta w_k = -J_k^T f(w_k) \quad (3)$$

Eşitlikte,

$J_k : f$ 'in w_k değerlendirilmiş Jakobiyeni,

λ :Marquardt parametresi, ve

I : birim veya tanımlama matrisidir.

Levenberg-Marquardt algoritmasında hesaplama akışı aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- (i) $E(w_k)$ 'yı hesapla,
- (ii) küçük bir λ değeri ile başla (mesela $\lambda = 0.01$),
- (iii) δw_k için Eşitlik (4.26)'yı çöz ve $E(w_k + \delta w_k)$ değerini hesapla,
- (iv) şayet $E(w_k + \delta w_k) \geq E(w_k)$ λ 'yı 10 kat artır ve (iii)'e git,
- (v) şayet $E(w_k + \delta w_k) < E(w_k)$ λ 'yı 10 kat azalt,

$w_k : w_k \leftarrow w_k + \delta w_k$ 'yi güncelleştir ve (iii)'e git.

Hedef çıkışı hesaplamak için bir YSA'nın ağırlıklarının LM öğrenme algoritması kullanılarak öğretilmesi ağırlık dizisi w_0 'a bir başlangıç değerinin atanması ile başlar

ve hataların karelerinin toplamı e_i^2 'nin hesaplanmasıyla devam eder. Her e_i^2 terimi, hedef çıkış (y) ile gerçek çıkış (yd) arasındaki farkın karesini ifade eder. Bütün veri seti için e_i^2 hata terimlerinin tamamının elde edilmesiyle, ağırlık dizileri (i) den (v)'e kadar olan LM öğrenme algoritması adımlarının uygulanmasıyla daha öncede açıklandığı gibi adapte edilir.

4. YSA İLE GÜÇ KOMPANZASYONU TASARIM VE UYGULAMA

4.1 Denetleyicinin Tasarımı

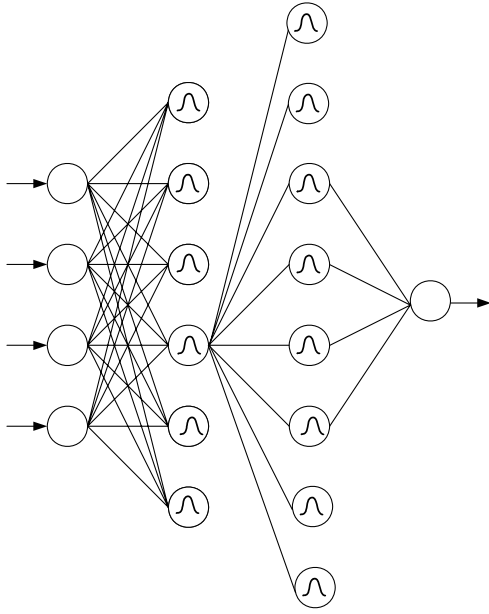
Şekil 3'de, YSA ile eğitilerek sistemin modellenmesine ait tasarlanan blok diyagram verilmiştir. YSA denetleyici ünitesinin giriş değişkenleri yük akımı (I_y), hata (e), güç katsayısı ($\cos \varphi$), uyartım akımındaki değişim (ΔI_{fk}) ve çıkış değişkeni (I_{fk}) olarak belirlenmiştir.

Birimi amper olan, I_y yük akımı giriş değişkeni devreye bağlanan bir ampermetre yardımıyla ölçülerek denetleyicinin girişine uygulanmaktadır. Hata (e) giriş değişkeni referans güç katsayısı ($\cos \varphi_{ref}$) değerinden sistemin güç katsayısı ($\cos \varphi_{sis}$) değeri çıkarılarak bulunmuştur. Sistemin güç katsayısı bir faz üzerinden $\cos \varphi$ metre ile ölçülmektedir.

$$e = \cos \varphi_{ref} - \cos \varphi_{sis} \quad (4)$$

Giriş katı

Ara katmanlar



Şekil 3. YSA denetleyicinin yapısı

ΔI_f ise uyarım akımındaki değişimi ifade etmektedir. Senkron motorun uyarım sargılarından geçen akım

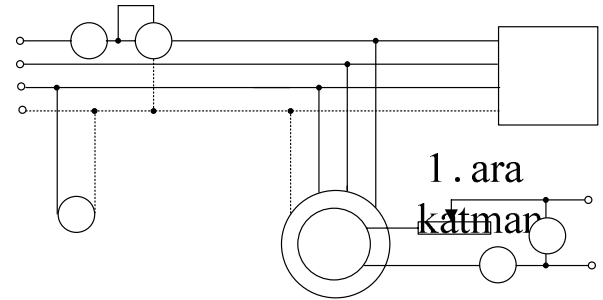
$$I_{fk} = \Delta I_f + I_{f(k-1)} \quad (5)$$

4.2. Uygulama Aşamaları

İlk olarak sistemin güç katsayısını düzeltmek üzere kullanılacak olan senkron motorun özelliklerinin belirlenebilmesi ve V eğrilerinin çıkarılabilmesi için deney düzeneği Gazi Elektrik Makinaları ve Enerji Kontrol Grubu (GEMEC) Araştırma Laboratuvarında oluşturulmuştur. Senkron motorun elde edilen karakteristik eğrileri Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 4a ve Şekil 4b'deki karakteristik eğrilerinden de görüleceği üzere, senkron motorda değişik yük akımlarında yapılan deneylerde farklı

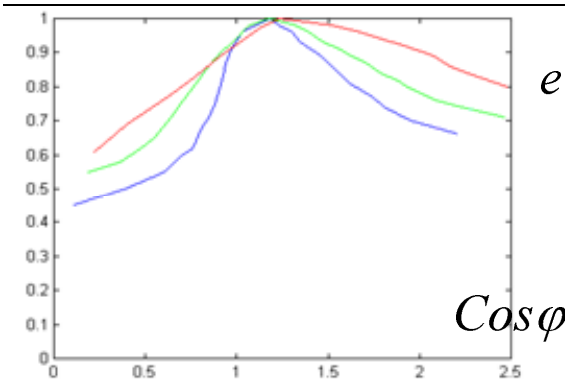
eğriler elde edilmiştir. Bu senkron motorun karakteristik bir özelliğidir. Senkron motorlar sistemin güç katsayısını düzeltirken, aynı zamanda, milinden mekanik enerjinin alınması senkron motor için büyük bir üstünlüktür. Kondansatör bataryaları ile kademeli ayar yapılmasına karşılık, senkron motor milinden hem mekanik güç alınabilmekte hem de senkron motor fazla uyarımlı çalıştırılarak güç katsayısı daha hassas ve geniş aralıkta ayarlanabilmektedir. Bu nedenle senkron motor yukarıdaki çeşitli yüklerde elde edilen herhangi bir durumda güç katsayısını düzeltmek için kullanılabilir. Bundan dolayı yukarıdaki durumlardan biri tercih edilmelidir. Ayar aralığı daha geniş olduğu için bu çalışmada boş çalışma durumu tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan deney düzeneği Şekil 5'de verilmiştir.



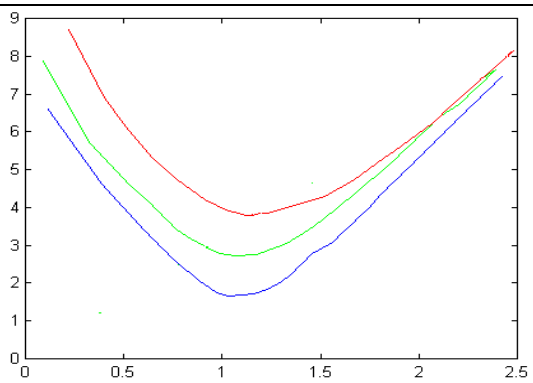
Şekil 5. Deney bağlantı şeması

4.3. Gerçekleştirme aşamaları

GEMEC laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda senkron motorun yük akımı, uyarım akımı, güç katsayısı ve uyarım akımındaki değişimler kaydedilmiş ve bu değişimler kullanılarak YSA modeli oluşturulmuştur. Sonuçta senkron motora ait uyarım akımı değişimleri bu modelden elde edilmiştir. Elde edilen bu değişimler kullanılarak sisteme ait güç katsayısı sabit tutulmaya çalışılmıştır. Uygulamada kullanılacak YSA modeli, farklı ara katman ve nöron sayıları için denenmiş ve yüksek performans elde edilebilecek bir yapı oluşturulmaya çalışılmıştır. Bir



(a) Cos φ ile uyarım akımı arasındaki bağıntı



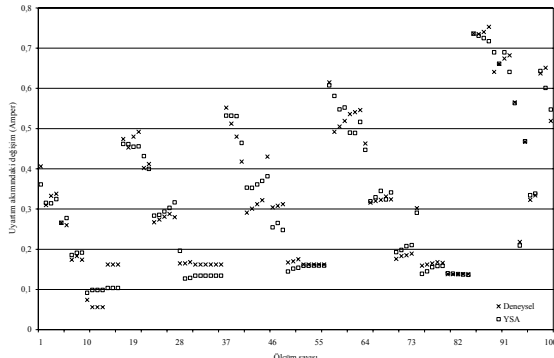
(b) Yük akımı ile uyarım akımı arasındaki bağıntı

Şekil 4. Senkron motor karakteristikleri

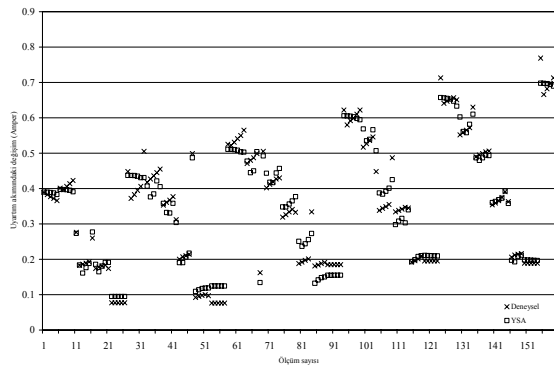
$$\Delta I_f$$

YSA mimarisinde uygun olan ara katman sayılarını ve ara katman nöronlarını belirleyebilmek için literatürde birçok yaklaşım sunulmuştur (19). Fakat hangi probleme hangi YSA algoritmasının ve ara katmanlarda kaç adet nöron kullanılması gerektiğine dair literatürde somut bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada da en uygun YSA yapısını bulmak için yapılan denemelerde, en iyi çözüm 10 epok sonucu 6 ve 8 nörona sahip iki ara katmanlı YSA yapısı ile sağlanmıştır. Birinci ara katmanda Tangent aktivasyon fonksiyonu ve ikinci ara katmanda ise Sigmoid aktivasyon fonksiyonu seçilmiştir. Öğrenme algoritması olarak hızlı sonuç ve yüksek performans vermesi sebebiyle Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır. Toplam karesel hata 0.0009333128 değerine ulaşıncaya kadar eğitime devam edilmiştir.

Bu çalışmada, YSA'yı eğitmek için kullanılan deneysel veriler 4 kVA'lık yıldız bağlı bir senkron motora ait deney düzeneğinden elde edilmiştir. Yüksek performansa sahip bir YSA modeli oluşturmak için 1000 ölçüm yapılmıştır. Elde edilen deneysel verilerden 840'ı eğitim, geri kalan 160'ı ise veri test ve güvenilirlik amacı ile kullanılmıştır. Eğitimde kullanılan verilerden 100 ölçüm değeri ile elde edilen benzetim sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Gerçek değerler (deneysel ölçüm sonuçları) ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış değerler (benzetim değerleri) arasındaki test sonuçları arasındaki ilişki Şekil 7'de verilmiştir.

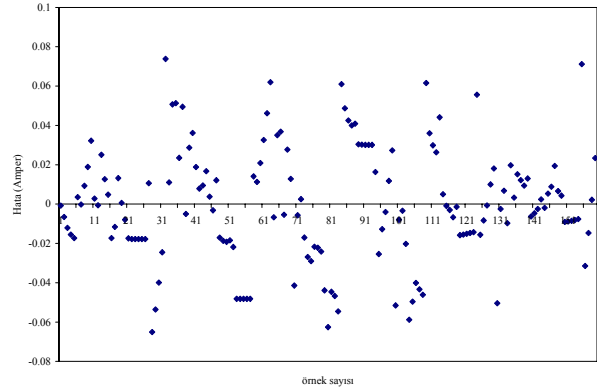


Şekil 6. YSA denetleyici eğitim sonuçları ile deneysel verilerin karşılaştırılması



Şekil 7. YSA denetleyici test sonuçları ile deneysel verilerin karşılaştırılması

Eğitim sonucu ile deney sonucu karşılaştırıldığında elde edilen hata Şekil 8'de görüldüğü gibi olmaktadır. Şekil 8'de hata değeri yaklaşık +0.08 / -0.07 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Bu sonuçlardan da açıkça görülebileceği gibi, YSA test sonuçları çok küçük hataya sahiptirler.



Şekil 8. YSA test işleminde karşılaşılan hatalar

5. SONUÇ

Bu çalışmada, güç kompanzasyonunda LM ile eğitilmiş YSA yapısının iyi bir denetleyici olarak kullanılabilirliğini ve oldukça yüksek performans ve hızda iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, reaktif gücün hızlı değiştiği sistemlerde hassas ve hızlı kompanzasyon yapabilmek için kademeli kondansatör grupları yerine, reaktif gücü kontrol edilen senkron motorlu sistemler kullanmak ve bu motorun kontrolünün YSA denetleyiciler ile yapılması durumunda kompanzasyon işlemini hızlandıracağı ve performansını yükselteceği görülmüştür. Ayrıca YSA kullanılarak sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duymadan kompanzasyon işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Elde edilen sonuçlar Sağiroğlu ve arkadaşları (13) ile Bayındır ve arkadaşları (14) tarafından gerçekleştirilen YSA tabanlı kompanzasyon teknikleri ile karşılaştırıldığında, BP, DBD, EDBD, DRS öğrenme algoritmaları kullanarak en uygun YSA yapısı ile yüksek performans elde edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ise bu yapının iyileştirilmesi, basitleştirilmesine ve hızlandırılmasına yönelik olarak LM algoritması YSA modelini eğitmede kullanılarak yüksek performans elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, LM ile YSA yapısının eğitiminde öğrenme adımı kısa olsa da performans açısından diğer karşılaştırmalara yakın sonuçlar vermiştir. Genel olarak, YSA ile güç kompanzasyonu için en uygun YSA yapısının ve öğrenme algoritmasının belirlenmesi için literatürde mevcut olan diğer YSA öğrenme algoritmalarının da güç kompanzasyon işlemlerinde test edildikten sonra genel bir yapının önerilmesi daha uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Burada karşılaşılan güçlükler ise, uygun bir YSA yapısının, fonksiyon tipinin ve öğrenme algoritmasının belirlenmesi olarak sıralanabilir.

6. KAYNAKLAR

1. Bayram M., Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu, Ağustos 2000, Birsen Yayınevi.
2. Mekhamer, S.F., El-Hawary, M.E., Mansour, M.M., Moustafa, M.A., & Soliman, S.A., "State of the art in optimal capacitor allocation for reactive power compensation in distribution feeders", IEEE Large Engineering Systems Conference on Power Engineering, LESCOPE 02, 2002, 61-75.
3. Bal G., Çolak İ., "Reactive power compensator using constant capacitor and thyristor controlled reactor", Gazi University, J. of Institute of Science and Technology, vol. 8, No. 2, 1995, p. 9-15.
4. P. W. Sauer, "What is Reactive Power?," Power Systems Engineering Research Center, PSERC Background Paper, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, September 16, 2003.
5. Miller TJE., Reactive Power Control in Electric Systems, October 1982, A Viley-Interscience Publication, New York, p.182-222.
6. Schaefer, R.C., "Excitation control of the synchronous motor", IEEE Transaction Industrial Application, 1999, 35 (3), 694-702.
7. Ortega, J.M.M., Payan, M.B., Mitchell, C.I., "Power factor correction and harmonic mitigation in industry", IEEE Industry Applications Conference, 2000, 5, 3127-3134.
8. El-Sadek, M.Z., Fetih, N.H., & Abdelbar, F.N., "Starting of induction motors by static VAR compensators", 1988, Third International Conference on Power Electronics and Variable-Speed Drives, 444-447.
9. Al-Hamrani, M.M., Von Jouanne, A., & Wallace, A., "Power factor correction in industrial facilities using adaptive excitation control of synchronous machines", Pulp and Paper Industry Technical Conference, Conference Record of the 2002 Annual, 148-154.
10. Abido, M.A., & Abdel-Magid, Y.L., "A fuzzy basis function network for generator excitation control", IEEE Proceedings of the Sixth International Conference on Fuzzy Systems, 1997, 3, 1445-1450.
11. Handschin, E., Hoffmann, W., Reyer, F., Stephanblome, T., Schlucking, U., Westermann, D., & Ahmed, S.S., "A new method of excitation control based on fuzzy set theory", IEEE Transactions on Power Systems, 1994, 9(1), 533-539.
12. Colak, I., Bayindir, R., & Bay, O.F., "Reactive Power Compensation Using A Fuzzy Logic Controlled Synchronous Motor", Energy Conversion and Management, 2003, 44 (13), 2059-2215.
13. Sagioglu S., Colak I, Bayindir R., "Power Factor Correction Technique Based on Artificial Neural Networks", Energy Conversion and Management, available online (accepted paper), 2006.
14. Bayındır R., Sagioglu S., Colak I, "An Intelligent Power Factor Corrector for Power System Using Artificial Neural Networks", Applied Artificial Intelligence(submitted paper), 2006.
15. Haykin, S., Neural Networks: A Comprehensive Foundation. New York, Macmillan College Publishing Company, 1994, ISBN 0-02-352761-7, 1994.
16. Sağıroğlu Ş., Beşdok E., Erler M., Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I Yapay Sinir Ağları, 2003, Ufuk Yayınevi, Kayseri.
17. Levenberg, K., "A Method For the Solution of Certain Nonlinear Problems in Least Squares", Quart. Appl. Math., 1944, 2, 164-168.
18. Marquardt, D. W., "An Algorithm For Least-Squares Estimation Of Nonlinear Parameters", J. Soc. Ind. Appl. Math., 1963, 11, 431-441.