

Reaktif Güç Kompanzasyonu Uygulamalarının Eğitim Amaçlı Benzetimi

Simulation of the Reactive Power Compensation Applications for Educational Purpose

İlhami Çolak, Orhan Kaplan, Ramazan Bayındır, Hüseyin Kundakoğlu

GEMEC-Gazi Elektrik Makineleri ve Enerji Kontrol Grubu
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü,
06500 Beşevler, Ankara

icolak@gazi.edu.tr, okaplan@gazi.edu.tr, bayindir@gazi.edu.tr, hkundakoglu@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, bir reaktif güç kompanzasyonu tesisinin benzetimi visual studio.net programı kullanılarak yapılmıştır. Benzetim çalışması ile endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan reaktif güç kompanzasyonu bilgisayar ortamına taşınmıştır. Geliştirilen yazılım ile öğrenciler reaktif güç kompanzasyonu prensiplerini bilgisayar ortamında görerek konu ile ilgili bilgi ve becerilerini arttırmakta, daha sonra güvenli bir şekilde uygulamasını yapabilmektedir. Bu yazılım, endüstriye konu ile ilgili eğitimi eleman yetiştirilmesini sağlamada faydalı olacaktır. Ayrıca bu görsel yazılımın kullanılması ile özellikle reaktif güç kompanzasyonu devresi kurmak için gerekli donanımının bulunmadığı yerlerde, reaktif güç kompanzasyonu devrelerinin eğitimi ve analizi pratik ve hızlı bir şekilde yapılabilecektir.

Abstract

In this study, simulation of a reactive power compensation circuit has been performed by a software developed in visual studio net program. The reactive power compensation used in industrial applications has been transferred to the computer environment by means of this simulation. Students can see the working principle of the reactive power compensation circuits and can increase their own knowledge about them with respect to the software. As a result, they can set up the application safely. The software will be useful to provide trained members for the industry. Also, training and analyzing of the reactive power compensation circuits will be done quickly and practically by using this visual software especially when the hardware components required to set up the control circuits are not available.

1. Giriş

Gün geçtikçe artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için yeni enerji kaynakları keşfedilmeli veya enerji kaynakları tam kapasiteyle kullanılmalıdır. Mevcut enerji kaynaklarının daha yüksek verimle kullanılmasının ve kayıpların azaltılmasının bir yolu da reaktif güç kompanzasyonudur. Tüketicilerin

normal olarak şebekeden çektikleri endüktif (geri) reaktif gücün, kapasitif (ileri) reaktif güç çekmek suretiyle özel bir reaktif güç üreticisi tarafından dengelenerek, güç faktörünün ($\cos\phi$) 1'e yaklaştırılması olayına reaktif güç kompanzasyonu adı verilir [1].

Reaktif güç kompanzasyonu, tüketiciler açısından enerji tasarrufunun yanı sıra yapılması gereken bir zorunluluktur. Ülkemizde uygulanan yönetmelikle, bağlantı gücü 50kVA altında olan tüketiciler şebekeden çektikleri aktif gücün %33'ü kadar endüktif reaktif güç, %20'si kadar kapasitif reaktif güç ve bağlantı gücü 50kVA üstünde olan tüketiciler çektikleri aktif gücün %20'si kadar endüktif reaktif güç, %15'i kadar kapasitif reaktif güç çekmekle sınırlandırılmışlardır [2]. Bu sınırın dışında olan kullanıcılar çektikleri reaktif güç bedelini ödemekle yükümlüdür.

Reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan çeşitli reaktif güç üreticileri ve üretim yöntemleri şu şekilde sıralanabilir [3];

- Santral ünitelerinde reaktif güç üretimi; alternatörlerin uyarım akımı ayarlanarak dış devreye verdikleri reaktif güç şebeke ihtiyacına göre endüktif veya kapasitif özellikte olabilir.
- Senkron motorlarla reaktif güç üretimi; senkron motorların uyarım akımlarının ayarlanarak motorun kapasitif veya endüktif olarak çalıştırılması sağlanabilmektedir. Bundan dolayı, senkron motorlar dinamik güç kompanzatorü olarak kullanılmaktadırlar.
- Kondansatörler; reaktif gücün üretildiği yerde karşılanabilmesi için kullanılan elemanlardır. Hareketli parçası olmadığı için statik kompanzasyon elemanları olarak ifade edilebilir [4-5]. Senkron motorlara oranla üstünlükleri çoktur. Bakım masrafları yoktur, verimleri yüksektir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan reaktif güç kompanzasyonu elemanıdır [6].

Kondansatörlerle yapılan reaktif güç kompanzasyonu tesislerinde, kondansatörlerin devreye alınıp çıkarılması anında yüksek gerilim altında anahtarlama yapılacağından tehlikeli durumlar meydana gelebilir. Oluşabilecek bu

tehlikeli durumlardan kurtulabilmek ve öğrenmeyi hızlandırmak amacıyla benzetim programları kullanılabilir.

Benzetim programları bir konunun eğitiminde, sistemlerin gerçeğe uygun, güvenli ve masrafsız bir şekilde test edilebilmesine ve üzerinde çalışılabilmesine olanak sağlar. Yapılan literatür çalışmasında reaktif güç kompanzasyonu ile ilgili benzetim programına rastlanmamıştır. Ancak mesleki ve teknik eğitim alanında çeşitli konuların öğretiminde yardımcı olmak üzere hazırlanmış benzetim çalışmaları bulunmaktadır. Elektrik kumanda devrelerinin öğretimini kolaylaştırmak, devreyi görsel olarak analiz edebilmek için C++ Builder tabanlı bir benzetim hazırlanmıştır [7]. Diğer bir çalışmada elektrik makinalarının eğitiminde kullanılabilecek bir benzetim programı C++ Builder tabanlı hazırlanmıştır [8]. Güç katsayısının, alternatif akım-döğru akım konvertörü (AA-DA) ile düzeltilmesine ilişkin Matlab\Simulink programında hazırlanan benzetim çalışması bulunmaktadır [9].

Bu çalışmada birden çok alıcının bulunduğu üç fazlı bir sistemin reaktif güç kompanzasyonunun, yıldız veya üçgen bağlı kondansatör grupları ile yapılabildiği bir benzetim hazırlanmıştır. Benzetim programının sınıf ortamında gösterilebilmesi, gerçeğe uygun olması reaktif güç kompanzasyonuna ilişkin tüm kavramları kapsamaması programın kullanılabilirliğini artırmaktadır.

2. Reaktif Güç Kompanzasyonu

Omik yüklerin dışındaki alternatif akım yüklerinin çoğu hem omik hem de endüktif özelliktedirler. Bu nedenle bu yükler şebekeden görünür güç (S) çekerler. Görünür güç iki bileşenden meydana gelir. Bunlardan birincisi, tesislerde yüklerin ihtiyaç duyduğu aktif güç (P) olup alıcılar tarafından faydalı hale getirilir. Örneğin motorlarda mekanik güce, ısı tüketicilerinde termik güce ve aydınlatma tüketicilerinde aydınlatma gücüne dönüşür. İkinci bileşen ise reaktif güçtür (Q). Reaktif güç alıcılar tarafından faydalı hale çevrilemez, manyetik alanın oluşturulması için şebekeden çekilir ve tekrar şebekeye geri dönüş yapar. Bu durum elektrik tesisinde kayıplara neden olur. Kullanılan devre elemanlarının akım ve güç değerlerini artırır. Genaratörleri, enerji nakil hatlarını ve transformatörleri gereksiz yere yükler [6]. Ayrıca iletim hattından çekilebilecek aktif gücün düşmesine neden olur. Reaktif güç endüktif ve kapasitif olmak üzere iki karakterde olabilir. Yükün şebekeden çektiği görünür güç şu şekilde ifade edilmektedir;

$$S = V \cdot I \quad (1)$$

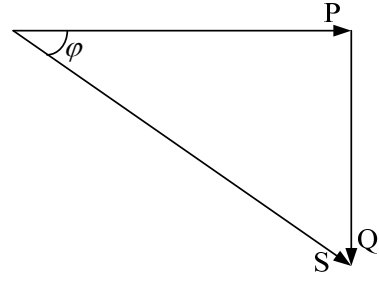
Şekil.1'den anlaşılacağı üzere, görünür güç ile aktif ve reaktif bileşenleri arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir;

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

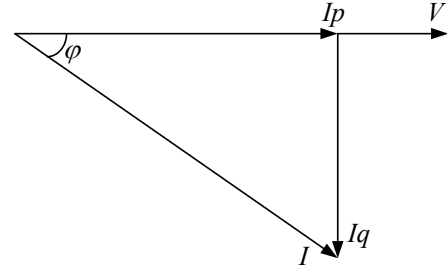
$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad (3)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4)$$

Aslında güçler arasındaki vektörel bağıntı akımlardan gelmektedir. Şekil.2'de yük akımı ve bileşenlerinin vektörel gösterimi verilmiştir.



Şekil 1: Görünür güç ve bileşenlerinin vektörel gösterimi



Şekil 2: Yük akımı ve bileşenleri

V = Şebeke gerilimi

I = Yük akımı

Ip = Yük akımının aktif bileşeni

Iq = Yük akımının reaktif bileşeni

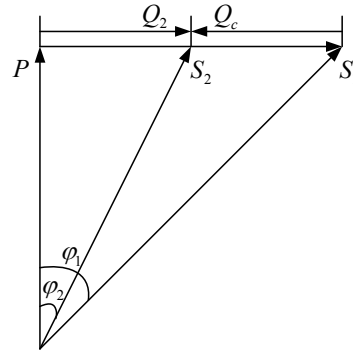
$$I_p = I \cdot \cos \varphi \quad (5)$$

$$I_q = I \cdot \sin \varphi \quad (6)$$

$$I = \sqrt{I_p^2 + I_q^2} \quad (7)$$

Şebeke gerilimi ile yük akımı arasındaki açının kosinüsü güç katsayısı olarak adlandırılır. Bu açının sıfır dereceye veya sıfır dereceye mümkün olduğunca yaklaştırılması çalışması reaktif güç kompanzasyonunun bir başka tanımı olabilir.

Bir tüketicinin reaktif güç ihtiyacını tespit edebilmek için, tüketicinin şebekeden çektiği görünür güç S_1 , aktif güç P_1 , güç katsayısı $\cos \varphi_1$ 'den her hangi ikisinin bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 3: Reaktif güç ihtiyacının tespiti [6]

Aktif güç sabit tutularak reaktif güç ihtiyacının tespit edilmesi Şekil.3’de gösterilmiştir. Kompanzasyondan önceki büyüklükler “1” indisi ile kompanzasyon sonrası büyüklükler “2” indisi ile ifade edilmektedir. Reaktif güç kompanzasyonundan önce ve sonra şebekeden çekilen reaktif güçler sırasıyla şu şekilde ifade edilebilir;

$$Q_1 = Q_2 + Q_c = P \cdot \tan \varphi_1 \quad (8)$$

$$Q_2 = P \tan \varphi_2 \quad (9)$$

Eşitlik 8 ve 9 birleştirildiğinde kompanzasyon için gerekli reaktif güç aşağıda belirtildiği gibi bulunur;

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (10)$$

Üç fazlı kompanzasyon tesislerinde kondansatörler şebekeye üçgen (Δ) veya yıldız (Y) bağlı gruplar olarak bağlanabilirler. Eşit kapasiteye sahip kondansatörlerle oluşturulan yıldız (Q_{CY}) veya üçgen (Q_{CA}) grupların şebekeye sağlayacakları reaktif güçler arasında aşağıdaki gibi bir eşitlik vardır;

$$Q_{CA} = 3 \cdot Q_{CY} \quad (11)$$

Eşitlik.11’den de görüldüğü gibi aynı kapasiteli kondansatörlerle üçgen bağlamada, yıldız bağlamaya göre üç kat daha fazla reaktif güç elde edilebilir. Başka bir deyişle, üçgen bağlantı daha ekonomiktir. Bu nedenle üç fazlı kompanzasyon tesislerinde üçgen bağlantı tercih edilir [6].

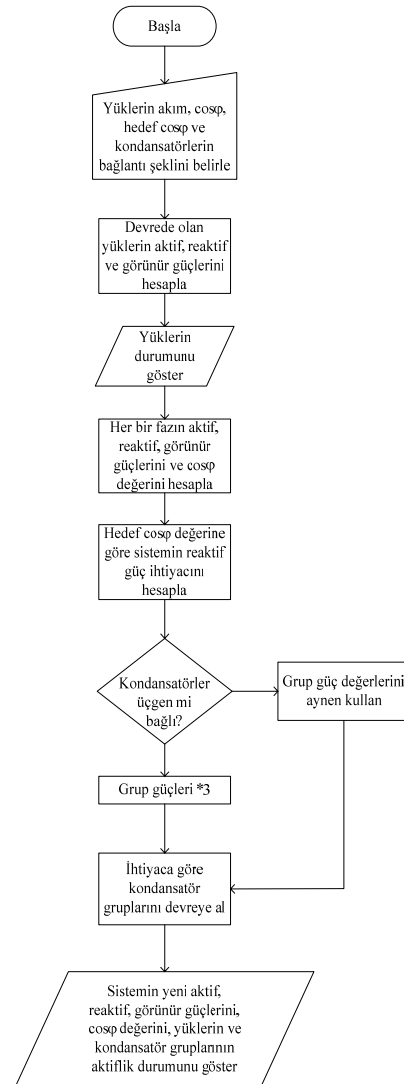
3. Uygulama Çalışmaları

Bu çalışmada üç fazlı alternatif akım reaktif güç tüketicilerinin bulunduğu bir sistemin reaktif güç kompanzasyonunu, görsel ve daha anlaşılır yapabilmek için bir benzetim programı geliştirilmiştir. Hazırlanan programa ilişkin akış diyagramı Şekil.4’de verilmiştir. Program kullanıcının yük akımı, $\cos\varphi$, kondansatör gruplarının bağlantı şekli ve hedef $\cos\varphi$ değerlerini, veri giriş sayfasından girdikten sonra çalışmaya başlar. Bundan sonra belirlenen bu veriler kullanılarak şekilde verilen algoritma takip edilir.

Programın çalışması klasik reaktif güç rölesine benzemektedir. Program iki ara yüzden oluşmaktadır. Birinci ara yüzde reaktif güç tüketicilerinin güç katsayıları, şebekeden çektikleri akımlar, kompanzasyon kondansatörlerinin bağlantı şekilleri ve hedef $\cos\varphi$ kullanıcı tarafından belirlenir. Programda akım için “amper”, aktif güç için “watt”, reaktif güç için “Var” ölçü birimi kullanılmıştır. Şekil.5’te görüldüğü üzere, sisteme en fazla dört tane reaktif güç tüketicisinin parametreleri girilebilir. Kullanıcı gerekli verileri açık renkte olan kutulara girdikten sonra “güncelle” butonuna basarak değerleri programa tanıtır. Bu sırada kompanzasyon öncesi şebekeden çekilen aktif, reaktif ve görünür güç değerleri ile güç katsayıları girilen değerlere göre hesaplanarak sistem ve her bir faz için ekranda gösterilir. Daha sonra sistemin bir faz eşdeğer devresinin yer aldığı ikinci arayüze gidebilmek için “sistem” butonuna basılır.

İkinci ara yüz üç fazlı şebekenin, reaktif güç tüketicilerinin ve kondansatör gruplarının bulunduğu sistemin bir faz eşdeğer devresidir. Kullanıcı burada birinci ara yüzde belirlediği

reaktif güç tüketicilerini, istediği zaman devreye alır veya devreden çıkartır. Buna paralel olarak değişen reaktif güç ihtiyacı, program tarafından hesaplanarak uygun kondansatör grupları devreye alınır veya çıkartılır. Bunlara ilaveten, kullanıcı kondansatör gruplarının tamamını manuel olarak devre dışı bırakarak reaktif güç kompanzasyonu öncesi ve sonrası sistemin akım, güç ve $\cos\varphi$ değerlerini aynı sayfadan karşılaştırabilir. Kondansatörlerin bağlantı şekli grupların üzerinde de gösterilerek sisteme görsellik kazandırılmıştır. Sayfanın sonunda sistemin karşılayamadığı reaktif güç değeri, başka bir deyişle en küçük kondansatör gücünden daha küçük reaktif güç değeri verilerek kullanıcı bilgilendirilmiştir. Şekil.6’da üçgen bağlı kondansatör grupları ile yapılan reaktif güç kompanzasyonuna ilişkin sayfa görülebilir. Aktif olan yükler ve kondansatör grupları farklı renklerle gösterilerek programın görselliği artırılmıştır.



Şekil 4: Hazırlanan programa ait akış diyagramı

Ayrıca kullanıcı isterse aynı yük şartlarında kompanzasyon kondansatörlerinin bağlantı şeklini bu sayfadan değiştirerek “güncelle” butonuna bastığında grup güçlerinin değişimini analiz edebilir. Şekil.7’de yıldız bağlı kondansatör grupları ile oluşturulan kompanzasyon tesisi görülmektedir.

SİSTEMİN DURUMU

	GERILIM	AKIM	AKTIF GUC (P)	REAKTIF GUC (Q)	GORUNUR GUC (S)	COSQ
R FAZ	220	9,905	1540,000	1541,860	2179,204	0,707
S FAZ	220	9,905	1540,000	1541,860	2179,204	0,707
T FAZ	220	9,905	1540,000	1541,860	2179,204	0,707

Kondansatör Bağlantı Şekli

Üçgen
 Yıldız

HEDEF COSQ: 0,98

YÜKLER | SİSTEM

1. YÜK

	GERILIM	AKIM	COSQ
R FAZ	220	4	0,8
S FAZ	220	4	0,8
T FAZ	220	4	0,8

2. YÜK

	GERILIM	AKIM	COSQ
R FAZ	220	3	0,7
S FAZ	220	3	0,7
T FAZ	220	3	0,7

3. YÜK

	GERILIM	AKIM	COSQ
R FAZ	220	2	0,6
S FAZ	220	2	0,6
T FAZ	220	2	0,6

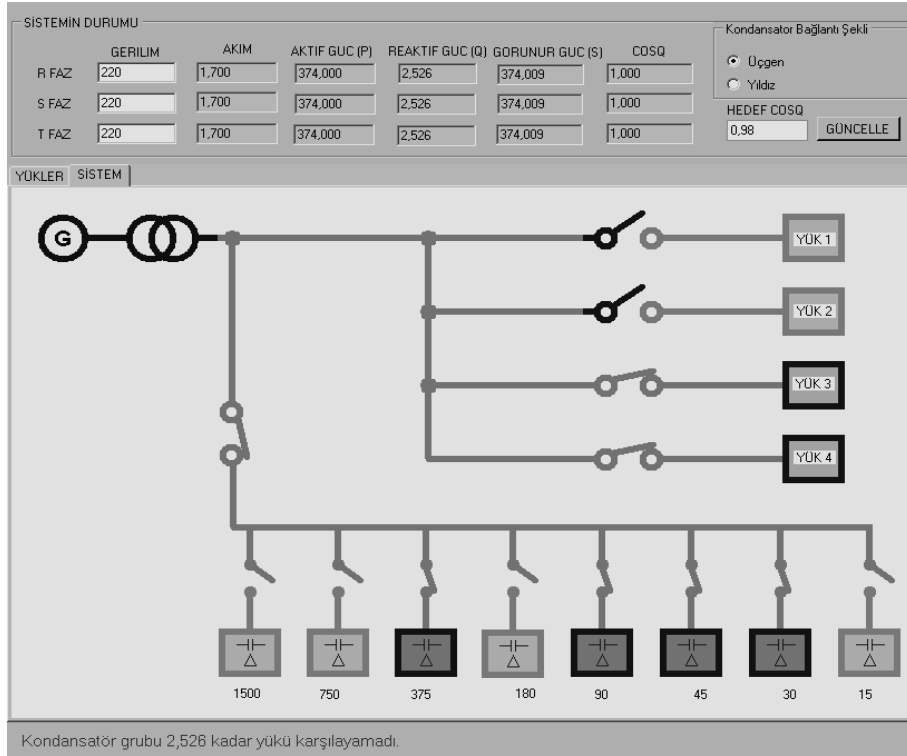
4. YÜK

	GERILIM	AKIM	COSQ
R FAZ	220	1	0,5
S FAZ	220	1	0,5
T FAZ	220	1	0,5

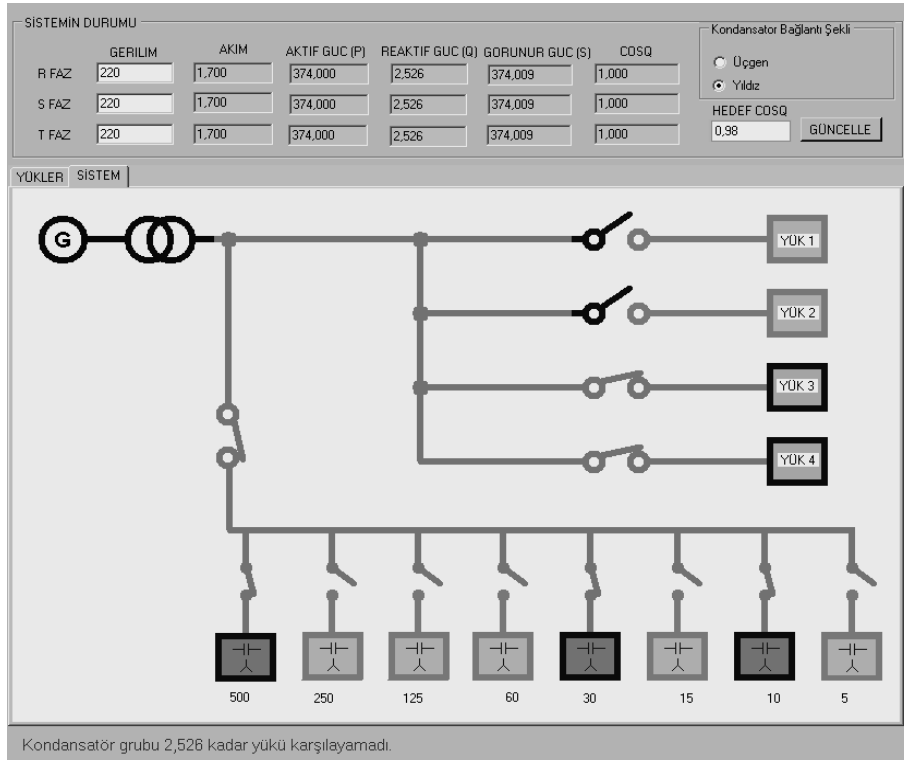
YÜKLERİN ÇEKTİĞİ GÜÇ

	AKTIF GUC (P)	REAKTIF GUC (Q)	GORUNUR GUC (S)	COSQ
1. YÜK	2112,000	1584,000	2640,000	0,800
2. YÜK	1386,000	1414,003	1980,000	0,700
3. YÜK	792,000	1056,000	1320,000	0,600
4. YÜK	330,000	571,577	660,000	0,500

Şekil 5: Kullanıcı veri giriş sayfası



Şekil 6: Üçgen bağlı kondansatör gruplarının kullanıldığı kompanzasyon tesisi



Şekil7: Yıldız bağlı kondansatör gruplarının kullanıldığı kompanzasyon tesisi

4. Sonuç

Bu çalışmada üç fazlı alternatif akım tüketicilerinin bulunduğu bir sistemin sabit kondansatörlerle yapılan reaktif güç kompanzasyonunun, eğitim amaçlı benzetimi gerçekleştirilmiştir. Sistemin sınıf ortamında gösterilebilmesi, gerçeğe uygun olması, reaktif güç kompanzasyonuna ilişkin tüm kavramları kapsamı programın kullanılabilirliğini artırmaktadır. Özellikle laboratuvar ve teknik ekipman eksikliği olan okullar bu programdan faydalanarak reaktif güç kompanzasyonu öğrenimini daha etkili hale getirebileceği değerlendirilmektedir.

5. Kaynaklar

- [1] Miller, T. J. E., *Reactive Power Control in Electric Systems*, Wiley-Interscience Publication, New York, 1982.
- [2] T.C. EPDK, "Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik", *Resmî Gazete*, Sayı: 26398, 09.01.2007.
- [3] Hsu, S.M., Czarnecki, L.S., "Adaptive Harmonic Blocking Compensator", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Cilt No.18, 895-902, 2003.
- [4] Bayındır R., Kaplan O., "PIC denetimli reaktif güç rölesi tasarımı" *Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt No:22, 47-56, 2007.
- [5] Ortega, J.M.M., Payan, M.B., Mitchell, C.I., "Power Factor Correction And Harmonic Mitigation in Industry", *IEEE Industry Applications Conference*, 2000, 3127-3134.

- [6] Bayram, M., *Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [7] Bayındır, R., "Elektrik Kumanda Devrelerinin Eğitim Amaçlı Benzetimi", *Politeknik*, Cilt No:9, 1-6, 2006.
- [8] Park J.H., Baek Y.S., "Simulation of Electric Machines Using Object-Oriented Technique", *IEEE International Electric Machines and Drives Conference Record*, 1997, 18-21.
- [9] Pandeya, A., Kotharia, D.P., Mukerjee, A.K. and Singh, B., "Modelling and simulation of power factor corrected AC-DC converters", *International Journal of Electrical Engineering Education*, Cilt No:41, 244-264, 2004.