

# Reaktif Güç Rölelerine Uygulanmak Üzere Kompanzasyon Kondansatörü Gücünün Hesabı için Yeni Bir Yöntem

M. E. Balcı<sup>1</sup> ve M. H. Hocaoğlu<sup>2</sup>

Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü 41400, Gebze, Kocaeli

<sup>1</sup>m.balci@gyte.edu.tr

<sup>2</sup>hocaoglu@gyte.edu.tr

*Anahtar Sözcükler: Dengesizlik, Harmonikler, Reaktif Güç Kompanzasyonu, Reaktif Güç Röleleri.*

## Özetçe

Sinüzoidal olmayan ve dengesiz şartlarda en iyi kompanzasyon kondansatörü gücünün hesabı sinüzoidal şartlardaki gibi basit değildir. Bu çalışmada, reaktif güç rölelerinde uygulanmak üzere sinüzoidal olmayan ve dengesiz şartlarda en iyi dengeli kompanzasyon kondansatörü grubunun plaka gücünün seçimi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin literatürde var olan klasik yöntemlere göre üstünlüğü niteliksel ve niceliksel analizlerle gösterilmiştir.

## Semboller

$gf_1, gf$  = Temel harmonik ve bütün harmonikler dikkate alınarak hesaplanan güç faktörleri.

$V_n, \theta_n$  =  $n$ . harmonik gerilimine ait etkin değer ve faz açısı.

$V_{mn}, \theta_{mn}$  =  $m$  faz geriliminin  $n$ . harmoniğine ait etkin değer ve faz açısı.

$V$  = Gerilim etkin değeri.

$V_{Nom}$  = Nominal gerilim.

$V_m$  =  $m$  faz geriliminin etkin değeri.

$I_n, \delta_n$  =  $n$ . harmonik akımına ait etkin değer ve faz açısı.

$I_{mn}, \delta_{mn}$  =  $m$  faz akımının  $n$ . harmoniğine ait etkin değer ve faz açısı.

$I_m$  =  $m$  faz akımının etkin değeri.

$P_1, P$  = Temel harmonik ve toplam aktif güçler.

$Q_1, Q_n, Q_f$  = Temel harmonik,  $n$ .harmonik ve Fryze reaktif güçleri.

$Q_{an}, Q_{bn}, Q_{cn}$  =  $a, b$  ve  $c$  fazlarına ait  $n$ . harmonik reaktif güçleri.

$S_1, S$  = Temel harmonik görünür ve görünür güçler.

$X_c$  = Kompanzasyon kondansatörünün kapasitansı.

$X_{c1}$  = Kompanzasyon kondansatörünün temel harmonik kapasitansı.

## 1 Giriş

Sinüzoidal şartlarda klasik görünür güç ifadesi ( $S^2=P^2+Q^2$ ) minimum kayıplarla aynı aktif ( $P$ ) gücün iletilebilmesi bir başka ifadeyle güç faktörü ( $gf=P/S$ )'nün bir yapılması için gerekli kompanzasyon kondansatörünün gücü hakkında bilgi verir. Bu ifadeye göre güç faktörünü bir yapmak için reaktif güç rölesi  $Q$  reaktif gücüne sahip kompanzasyon kondansatörünü seçer ve seçilen kondansatör yüke paralel biçimde sisteme girer [1].

Sinüzoidal olmayan ve dengesiz sistemlerde ise en iyi reaktif güç kompanzasyonu için gerekli kondansatörün veya kondansatör grubunun gücünün hesabı ise sinüzoidal ve dengeli şartlardaki gibi basit değildir [2]. Bununla birlikte literatürde yapılan çalışmalardan sinüzoidal olmayan tek fazlı sistemlerde güç faktörünü azami yapan kompanzasyon kondansatörünün sistemde var olan gerilim şartları altında çektiği gücün;

$$Q_r = V \frac{\sum_n n Q_n}{\sqrt{\sum_n n^2 V_n^2}}, \quad Q_n = V_n I_n \sin(\theta_n - \delta_n), \quad n \in N^+ \quad (1)$$

biçiminde hesap edilebileceği görülmüştür [3]. Sistemde var olan gerilim şartlarında (1)'de verilen gücü çeken kompanzasyon kondansatörünün temel harmonik kapasitansı ise,

$$X_{c1} = \frac{\sum_n n^2 V_n^2}{\sum_n n V_n I_n \sin(\theta_n - \delta_n)} = \frac{\sum_n n^2 V_n^2}{\sum_n n Q_n}, \quad n \in N^+ \quad (2)$$

biçiminde ifade edilmiştir [4].

Dengesizliğin bulunduğu sinüzoidal olmayan üç fazlı sistemlerde ise en iyi kompanzasyon kondansatörünün sistemden çektiği gücü veren her hangi bir güç ifadesi mevcut değildir [5]. Bunun yanında sinüzoidal olmayan ve dengesiz üç fazlı sistemler için Aritmetik [6], Vektör [6], IEEE std. 1459 [6] ve DIN std. 40110 (Buchholz) [7], [8] görünür güç tanımları literatürde önerilmiştir. Bu sebeple kayıpların minimize edilmesi için hangi görünür güç tanımına göre hesap edilen güç faktörünün azami yapılması gerektiği önemli bir problemdir. Bu problem literatürde çeşitli çalışmalara konu olmuştur [9], [10]. Sonuç olarak Aritmetik ve Vektör görünür güçlerin her bir fazın ayrı birer tek fazlı sistem olarak kabul edilerek tanımlanması sebebiyle sistem veriminin ölçülmesinde hatalı sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca, IEEE std. 1459 ve DIN std. 40110 görünür güç tanımlarının pratikte karşılaşılan dengesizlik ve harmonik bozulma şartlarında birbirine çok yakın değerler verdiği özellikle sıfır sıra geriliminin bulunmadığı sistemlerde aynı değerlerde oldukları literatürde belirtilmiştir [11], [12].

Diğer taraftan sinüzoidal olmayan şartlarda reaktif güç rölelerinde iki farklı çalışma prensibi uygulanmaktadır [13]. Bunlardan ilki gerilim ve akımın temel harmonik bileşenleri kullanılarak,

$$gf_1 = P_1/S_1, \quad P_1 = V_1 I_1 \cos(\theta_1 - \delta_1) \quad \text{ve} \quad S_1 = V_1 I_1 \quad (3)$$

olarak ifade edilen temel harmonik güç faktörünün dikkate alındığı dolayısıyla,

$$Q_1 = V_1 I_1 \sin(\theta_1 - \delta_1) \quad (4)$$

biçiminde hesaplanan temel harmonik reaktif güce göre kompanzasyon kondansatörü plaka gücünün seçildiği yöntemdir. İkincisi ise gerilim ve akımın toplam etkin değeri kullanılarak,

$$gf = P/S, P = \sum_n V_n I_n \cos(\theta_n - \delta_n) \text{ ve } S = \sqrt{\sum_n V_n^2} \sqrt{\sum_n I_n^2} \quad n \in N \quad (5)$$

olarak ifade edilen güç faktörünün dikkate alındığı dolayısıyla,

$$Q_r = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (6)$$

biçiminde hesaplanan reaktif güce (Fryze'nin tanımladığı reaktif güç [3]) göre kompanzasyon kondansatörü plaka gücünün seçildiği yöntemdir.

Sinüzoidal olmayan ve dengesiz üç fazlı sistemlerde ise reaktif güç rölelerinde ayrıca iki çeşit çalışma prensibi uygulanmaktadır. Bunlardan ilki tek bir fazdan ölçülen gerilim ve akım değerlerine göre (4) veya (6)'dan hesap edilen güçte kondansatörlerin her faz için sisteme alınmasıdır [14]. İkinci çalışma prensibi ise fazların ayrı ayrı kompanze edilmesi amacıyla her bir faz için (4) veya (6)'dan hesap edilen güçte kondansatörlerin sisteme alınması biçimindedir [15]. Fakat üç faz-üç iletkenli sistemlerde fazlar dengesiz ise her bir fazı ayrı kompanze edecek biçimde seçilen yıldız bağlı kondansatör grubunda bulunan kondansatörlerin eşit güçte olmaması sebebiyle kondansatörler üzerinde aynı gerilim düşümü olmaz. Bundan dolayı her bir faz ayrı biçimde kompanze edilmesi için ekstra optimizasyon hesaplamaları gerektirir. Ayrıca bu durumda kondansatör üzerindeki gerilim etkin değeri nominal gerilime göre aşırı büyüklükte olabilir ve kondansatörler zarar görebilir. Kondansatör grubu için üçgen bağlantı kullanıldığında ise her bir fazın ayrı değerlendirilmesi mümkün değildir. Bu sebeple üç faz-üç iletkenli sinüzoidal olmayan-dengesiz sistemler için reaktif güç röleleri klasik olarak bir fazdan çekilen (4) ve (6)'da verilmiş reaktif güçlere göre iki farklı yöntem ile kompanzasyon kondansatörü seçimini yapar.

Bu çalışmada, reaktif güç rölelerinde uygulanmak üzere sinüzoidal olmayan tek fazlı ve sinüzoidal olmayan-dengesiz üç faz-üç iletkenli sistemler için kompanzasyon kondansatörü plaka gücünün hesabına ilişkin yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin üç faz-üç iletkenli sistemler için hali gerilimin sinüzoidal olmayan-dengeli ve akımın sinüzoidal olmayan-dengesiz olduğu durum için elde edilmiştir.

## 2 Önerilen Yöntem

(1)'de verilen ifade en iyi kompanzasyon kondansatörünün sistemde var olan gerilim şartlarında çekeceği gücü verir. Bununla birlikte kompanzasyon kondansatörleri temel harmonik frekans ve nominal gerilim ( $V_{Nom}$ ) için;

$$Q_C = \frac{V_{Nom}^2}{X_C} \quad (7)$$

gücünü çekecek biçimde üretilirler. Bu sebeple sistemde var olan gerilim şartlarında (1)'de verilen gücü çekecek kompanzasyon kondansatörünün plaka değerlerinin hesabına ihtiyaç vardır. Bu plaka değerlerinden nominal gerilim pratikte sistemde ölçülen temel harmonik geriliminin etkin değeridir. Böylece en iyi kompanzasyon kondansatörünün plaka gücünün hesabı için kullanılacak ifade aşağıda sıralanan işlemler sayesinde türetilmiştir:

İlk olarak en iyi kompanzasyon kondansatörünün (2)'de verilen temel harmonik kapasitans değeri ( $X_{C1}$ ) (7)'de yerine konur. Böylece en iyi kompanzasyon kondansatörünün temel harmonik frekans ve nominal gerilim etkin değerinde ( $V_{Nom}=V_1$ ) güç değeri,

$$Q_C = V_{Nom}^2 \frac{\sum_n n Q_n}{\sum_n n^2 V_n^2} \quad (8)$$

biçiminde bulunur.

İkinci olarak (1)'in her iki tarafı  $V \sqrt{\sum_n n^2 V_n^2}$  terimine bölünür:

$$\frac{1}{V \sqrt{\sum_n n^2 V_n^2}} Q_r = \frac{\sum_n n Q_n}{\sum_n n^2 V_n^2} \quad (9)$$

Elde edilen ifadedeki eşitliğin sol tarafı (8)'de yerine konulur;

$$Q_C = V_{Nom}^2 \frac{1}{V \sqrt{\sum_n n^2 V_n^2}} Q_r \quad (10)$$

Nihayetinde sinüzoidal olmayan tek fazlı sistemde en iyi kompanzasyon kondansatörünün plaka gücü temel harmonik frekans ve nominal gerilim etkin değerinde  $Q_C$  olarak hesaplanır.

Benzer yaklaşımla üç fazlı sistemlerin özel bir durumu olan gerilimlerin sinüzoidal olmayan-dengeli ve akımların sinüzoidal olmayan-dengesiz olduğu üç faz-üç iletkenli sistemlerde en iyi kompanzasyon için kullanılacak dengeli yıldız bağlı kondansatör grubunda bulunan özdeş kondansatörlerin plaka gücü hesaplanabilir. Bu özdeş kondansatörlerin plaka gücünü veren ifadenin türetilmesi işlemi aşağıda verilen sıralı adımlarla gerçekleştirilmiştir:

İlk olarak a, b ve c fazlarından çekilen n. harmonik reaktif güçlerinin aritmetik ortalaması bir başka ifadeyle yük empedansının dengeli parçasının bir fazdan çektiği n. harmonik reaktif gücü bulunur:

$$Q_{Bn} = \frac{1}{3}(Q_{an} + Q_{bn} + Q_{cn}) \quad (11)$$

İkinci olarak; hesap edilen  $Q_{Bn}$  değeri (1)'de verilen ifadede  $Q_n$ 'in yerine konularak, sistemde var olan gerilim şartlarında en iyi dengeli kompanzasyon kondansatörü grubunun her bir fazdan çekeceği güç hesap edilir:

$$Q_r^{1faz} = Q_{ra} = Q_{rb} = Q_{rc} = V \frac{\sum_n n Q_{Bn}}{\sqrt{\sum_n n^2 V_n^2}} \quad (12)$$

Bu hesap gerilim tarafı dengeli ( $V=V_a=V_b=V_c$ ,  $V_n=V_{an}=V_{bn}=V_{cn}$ ) olması ve  $Q_{Bn}$  gücünün yük empedansının dengeli parçası tarafından çekilmesi sebebiyle doğrudur. Ayrıca bu kondansatör grubunun sistemde var olan gerilim şartlarında çektiği toplam güç (13)'de verilen ifadeyle bulunabilir:

$$Q_r^{3faz} = 3Q_r^{1faz} \quad (13)$$

Burada dikkat edilecek husus sistemde gerilim tarafı dengelidir ve bu sebeple n harmonik numarası sıfır sıra harmoniklerini (0, 3, 6, 9...) içermez.

Daha sonra sistem gerilim şartlarında (12)'de verilen gücü çeken özdeş kompanzasyon kondansatörlerinin temel harmonik frekans ve nominal gerilim değerinde plaka gücü tek fazlı sistem için yapılan adımlar takip edilerek (14)'den bulunur:

$$Q_C^{1faz} = V_{Nom}^2 \frac{1}{V \sqrt{\sum_n n^2 V_n^2}} Q_r^{1faz} \quad (14)$$

Kompanzasyon kondansatörü grubunun üç faz için toplam plaka gücü ise (14)'de verilen ifadenin üç katıdır:

$$Q_C^{3faz} = 3Q_C^{1faz} \quad (15)$$

Önerilen yöntem üç fazlı sistemlerin özel bir durumu olan gerilimlerin sinüzoidal olmayan-dengeli ve akımların sinüzoidal olmayan-dengesiz olduğu üç faz-üç iletkenli sistemler için,

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{m=a,b,c} \sum_n V_{mn}^2} \sqrt{\sum_{m=a,b,c} \sum_n I_{mn}^2} \quad (16)$$

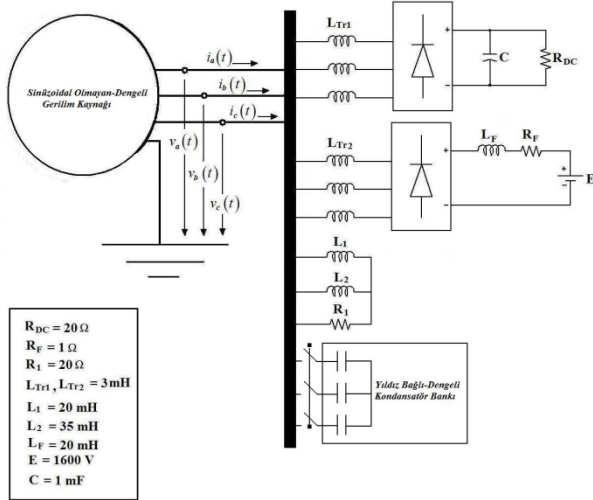
biçiminde hesap edilebilen DIN std. 40110 görünür gücünü minimize eden bir başka ifadeyle bu görünür güç tanımına göre hesaplanan güç faktörünü,

$$gf = P/S_{\Sigma}, \quad P = \sum_{m=a,b,c} \sum_n V_{mn} I_{mn} \cos(\theta_{mn} - \delta_{mn}) \quad (17)$$

azami değerine ulaştırarak dengeli kondansatör grubunun gücünü verir.

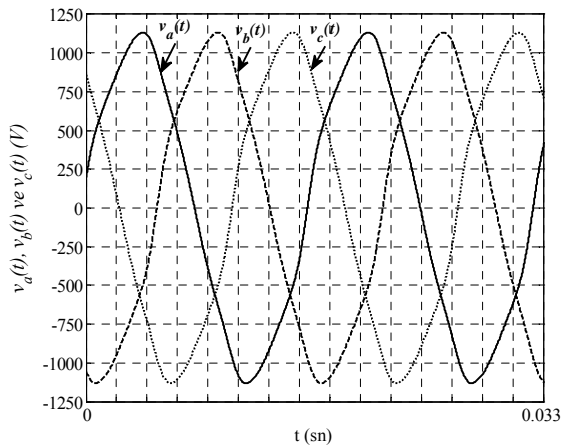
### 3 Örnek Bir sistemde Uygulama

Önerilen yöntemin örnek uygulamasının yapılacağı sistem Şekil 1'de verilmiştir.



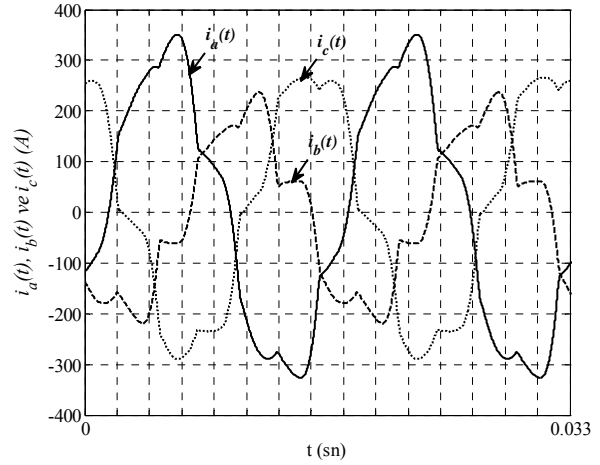
Şekil 1: Uygulama sistemi.

Şekil 1'de verilen sistem üç çeşit yük tipine sahiptir; bunlar, saf direnç besleyen 6 darbeli doğrultucu, d.a. motor besleyen 6 darbeli doğrultucu ve dengersiz induktif yüklerdir. Sistemin ortak bağlantı noktasında ölçülen faz-nötr arası gerilimleri ile kompansezyonsuz durumda kaynaktan çekilen faz akımlarına ait dalga şekilleri sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2: Ortak bağlantı noktasında ölçülen faz-nötr gerilimlerinin dalga şekilleri (temel frekans: 60Hz).

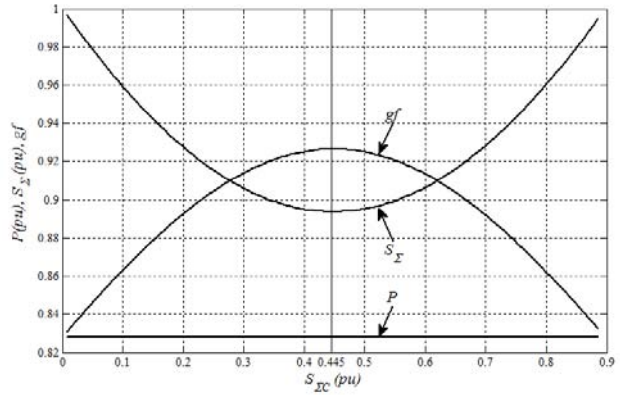
Şekil 2'den faz-nötr gerilimlerinin dengeli fakat bozulmuş dalga şekillerine sahip olduğu görülmektedir. Bu harmonik bozulmanın miktarı ise THD olarak 5% değerinde ölçülmüştür.



Şekil 3: Sistemin kompansezyonsuz durumunda faz akımlarının dalga şekilleri (temel frekans: 60Hz).

Şekil 3'de verilen kaynaktan çekilen faz akımlarının dengersiz ve bozulmaya uğramış dalga şekillerine sahip olduğu görülmektedir. Dengersizlik miktarları temel harmonik akımı için  $I_1^-/I_1^+$  (%) olarak 26.35 değerinde ölçülmüştür. Diğer taraftan bozulma miktarları THD olarak a, b ve c fazları için sırasıyla 14%, 22% ve 16% değerlerinde ölçülmüştür.

Yıldız bağlı dengeli kondansatör grubunun (16)'da verilen ifadeye göre hesaplanan gücünün ( $S_{\Sigma C}$ ) artışıyla ortak bağlantı noktasında ölçülen güç faktörü ( $gf$ ), aktif ( $P$ ) ve DIN std. 40110 görünür ( $S_{\Sigma}$ ) güçlerinin değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Aynı şekil içinde dikey çizgiyle işaretlenen değer güç faktörünün azami olduğu durumda yıldız bağlı dengeli kompansezyon kondansatörü grubunun gücüdür.



Şekil 4: Yıldız bağlı dengeli kondansatör grubunun gücünün artışıyla ortak bağlantı noktasında ölçülen güç faktörü, aktif ve görünür güçlerin değişimi.

Şekil 4'den kompansezyonsuz durumda ölçülen güç faktörü ( $gf$ ), aktif ( $P$ ) ve görünür ( $S_{\Sigma}$ ) güçlerin sırasıyla 0.82, 0.82pu ve 1pu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, güç faktörünün azami değeri olan 0.92'ye ulaşıldığı durumda görünür güç 0.89pu olup kondansatör grubu görünür gücü ( $S_{\Sigma C}$ ) 0.445pu değerindedir.

Diğer taraftan her bir fazdan çekilen temel harmonik reaktif ( $Q_1$ ) ve Fryze'nin tanımladığı reaktif ( $Q_f$ ) güçler ile önerilen yöntemle alakalı (12)'de verilen reaktif gücün kompansezyonsuz durumda ortak bağlantı noktasında ölçülen değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Her bir fazdan çekilen temel harmonik reaktif, Fryze'nin tanımladığı reaktif ve önerilen yöntemle alakalı reaktif güçlerin kompanzasyonsuz durumdaki değerleri.

	a fazı	b fazı	c fazı
$Q_I$ (pu)	0.2349	0.1495	0.0907
$Q_f$ (pu)	0.2410	0.1583	0.1042
$Q_r^{f,az}$ (pu)	0.1483		

Tablo 1'den a, b ve c fazlarından çekilen; temel harmonik reaktif güçlerinin sırasıyla 0.2349pu, 0.1495pu ve 0.0907pu değerlerinde ve Fryze reaktif güçlerinin ise sırasıyla 0.2410pu, 0.1583pu ve 0.1042pu değerlerinde olduğu görülmektedir. Önerilen yöntemde tanımlanan reaktif gücün ( $Q_r^{f,az}$ ) sistemin kompanzasyonsuz halinde her bir fazdan ölçülen değeri ise 0.1483pu olup bu değer (13)'de yerine konulduğunda Şekil 4'den görülen en iyi yıldız bağlı dengeli kompanzasyon kondansatörü grubunun sistemde var olan gerilim şartlarında çektiği güç olan 0.445pu değeri bulunur.

Bu veriler yardımıyla reaktif güç kontrol rölelerinde uygulanan klasik yöntemler;

- **Yöntem 1:** a fazından (gücün ölçüldüğü faz) çekilen temel harmonik reaktif gücü olan 0.2349pu gücünde üç özdeş kondansatörden oluşan yıldız bağlı kondansatör grubunun,
- **Yöntem 2:** a fazından (gücün ölçüldüğü faz) çekilen Fryze reaktif gücü olan 0.2410pu gücünde üç özdeş kondansatörden oluşan yıldız bağlı kondansatör grubunun,

sisteme bağlanması biçiminde örnek sisteme uygulanmıştır. Yöntem 1 ve Yöntem 2'ye göre yapılan kompanzasyonlardan sonra güç faktörü sırasıyla 0.88 ve 0.87 değerlerinde ölçülmüştür.

Önerilen yöntem için (12)'den hesap edilen ve Tablo 1'de verilmiş olan 0.1483pu değerinin (14)'de verilen ifadede yerine konulmasıyla 0.1449pu değeri hesap edilir. Bu değere eşit güçte plaka güçleri seçilen üç özdeş kondansatörden oluşan yıldız bağlı kondansatör grubu sisteme alındığında güç faktörü 0.92 değerinde ölçülmüştür.

Yukarıda verilen Yöntem 1, Yöntem 2 ve önerilen yönteme ait sonuçlardan önerilen yöntem ile ulaşılan güç faktörünün diğer iki yöntemle ulaşılanlara göre daha büyük olduğu görülmüştür.

## 4 Sonuç

Bu çalışmada, reaktif güç rölelerinde uygulanan kompanzasyon kondansatörü plaka gücünün belirlenmesine ilişkin klasik yöntemler kısaca özetlenmiştir. Bu özetten bahsedilen yöntemlerin sinüzoidal olmayan-dengesiz sistemlerde azami güç faktörünün elde edilmesinde kullanılamayacağı görülmüştür.

Bu boşluğu doldurmak amacıyla sinüzoidal olmayan tek fazlı ve sinüzoidal olmayan-dengesiz üç faz-üç iletkenli sistemler için en iyi dengeli kompanzasyon kondansatörü grubunda bulunan özdeş kondansatörlerin plaka gücünün seçilmesinde kullanılmak üzere bir hesap yöntemi önerilmiştir.

Önerilen yöntemin literatürde var olan klasik yöntemlere göre güç faktörünün iyileştirilmesi bakımından üstünlüğü niteliksel ve niceliksel analizlerle gösterilmiştir.

İleriki çalışmalarda yöntemin reaktif güç rölelerinde pratik uygulanması yapılacaktır.

## 5 Kaynaklar

- [1] U. Arifoğlu, Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi, Alfa Bas. Dağ. İstanbul (2002): 135-137.
- [2] U. Arifoğlu, K. Ayan, Lineer Olmayan Devrelerin Kompanzasyonunda Optimum Kapasite Seçimi, YTÜD, (1) (2001): 51-61.
- [3] M. E. Balci and M. H. Hocaoglu, Quantitative Comparison of Power Decompositions, EPSR, 78 (3) (2008): 318-329.
- [4] M. E. Balci and M. H. Hocaoglu, New Power Decomposition for Sinusoidal and Nonsinusoidal Conditions, the 12<sup>th</sup> International Conference on Power Harmonics & Quality of Power. Cascais, Portugal, (September 2006).
- [5] W. G. Morsi, M. E. El-Hawary, Defining Power Components in Nonsinusoidal Unbalanced Polyphase Systems: The Issues, IEEE Trans. on Power Del. 22 (4) (2007): 2428 – 2438.
- [6] IEEE Standard, Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities under Sinusoidal Non-sinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions, IEEE Standard 1459-2000. (2002).
- [7] F. Buchholz, Das Begriffssystem Rechtleistung, Wirkleistung, Totale Blindleistung, Selbstverlag, Munchen, Germany (1950).
- [8] German Standard, AC Quantities: Part 2- Multi Conductor Circuits, DIN std. 40110. (2002).
- [9] A. E. Emanuel, On the Definition of Power Factor and Apparent Power in Unbalanced Polyphase Circuits with Sinusoidal Voltage and Currents, IEEE Trans. on Power Del. 8 (3) (1993): 841 – 852.
- [10] A. E. Emanuel, Apparent Power Definitions for Three-phase Systems, IEEE Trans. on Power Del. 14 (3) (1999): 767 – 772.
- [11] J. L. Willems, J. A. Ghijselen, A. E. Emanuel, The Apparent Power Concept and the IEEE Standard 1459-2000, IEEE Trans. on Power Del. 20 (2) (2005): 876-884.
- [12] J. L. Willems, J. A. Ghijselen, A. E. Emanuel, Addendum to the Apparent Power Concept and the IEEE Standard 1459-2000, IEEE Trans. on Power Del. 20 (2) (2005): 885–886.
- [13] M. Şekeli, Hassas Bir Reaktif Güç Kompanzasyonu İçin Gerekli Güçlerin Hesabında Temel Bileşenlerin Kullanılması, KSU, Journal of Science and Engineering. 9 (2) (2006): 66-70.
- [14] ENTES Elek. Cih. İmal. ve Tic. AŞ., RG-12T Reaktif Güç Kontrol Rölesi Kullanım Kılavuzu, www.entes.com.tr/pdf/RG-T\_TR.pdf, En son erişim: Temmuz 2009.
- [15] FEDERAL Elektrik, FX Serisi Reaktif Güç Kontrol Röleleri Kullanım Kılavuzu, www.federal.com.tr/tr/v2/Katalog/17-Reaktif\_roler.pdf, En son erişim: Temmuz 2009.