

# ENDÜSTRİYEL BİR TESİSTE DİNAMİK KOMPANZASYON UYGULAMASI

Özgür GENCER

Semra ÖZTÜRK

Tarık ERFİDAN

Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,  
Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

San-el Mühendislik Elektrik Taahüt Ltd. Şti.  
ABB Harmonik Filtre Sistem Entegratörü

ogencer@san-el.com, semra@kocaeli.edu.tr, terfidan@kocaeli.edu.tr

## ÖZET

Ülkemizde 1 Ocak 2008 tarihinden itibaren uygulamaya giren reaktif güç oranları, işletmelerde reaktif güç kompanzasyonunun önemini ve uygulamada en etkin tekniklerinin kullanımını gerekli kılmıştır. Güç sistemlerinde, harmonik üreten yarı iletken tabanlı cihazların yaygın olarak kullanılması ile birlikte, bilinen reaktif güç kompanzasyonu yöntemlerinin yerini harmonik bozulmaları da hesaba katan pasif filtreli kompanzasyon sistemlerinin kullanılması almıştır.

Bu çalışmada, yüksek harmonik bozulmanın görüldüğü endüstriyel bir tesiste reaktif güç kompanzasyonu gerçekleştirmek amacıyla Dinamik Kompanzator (DynaComp) uygulaması yapılmış, sonuçlar irdelenmiştir.

## ANAHTAR KELİMELELER

Harmonik, pasif filtre, reaktif güç kompanzasyonu

## GİRİŞ

Enerji Piyasası ve Düzenleme kurulunun, “Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” 9 Ocak 2007 tarihinde resmi gazetede yayımlanmıştır. Buna göre, 1 Ocak 2008 tarihinden itibaren” sistemden çekilen endüktif reaktif enerjinin sistemden çekilen aktif enerjiye oranı %20’yi, sisteme verilen kapasitif reaktif enerjinin sistemden çekilen aktif enerjiye oranı ise %15’i geçemez” koşulu getirilmiştir. Bu karar, bu tarihten itibaren reaktif güç kontrolü ile ilgili çalışmaların hızlanmasına neden olmuştur.

Reaktif güç oranlarında yapılan düzenlemelerin başlıca nedenleri şunlardır:

- Enerji üretim birimlerinin işletme maliyetlerinin yüksek olması,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliğinin artırılması çalışmalarının gelişme sürecinde olması,
- İletim, dağıtım sistemindeki kayıp ve kaçakların büyük olması,
- Devletin kayıpları azaltmak için yeterli kaynağa sahip olmaması.

Alçak gerilim sistemlerinde reaktif güç kontrolü, gerekli malzemelerin (kondansatör, reaktör anahtarlar, koruyucu cihazlar vb.) düşük maliyetle ve kısa sürede temin edilebilir olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Güç sistemlerinde endüktif yükler nedeniyle akım ile gerilim arasında oluşan faz farkının ürünü olan endüktif gücü karşılamak için şönt kapasitörler kullanılır. Ancak, bu kapasitörler nedeni ile sistemde var olan güç kalitesi problemleri daha da artabilir. Bahsedilen güç kalitesi problemlerinin başlıcaları harmonikler ve sistemde oluşabilecek rezonans durumlarıdır [1].

Harmonik problemine neden olan güç elektroniği kontrollü motorlar, aynı zamanda oluşan gerilim ve akım harmoniklerinden en fazla etkilenen yüklerdir. Harmoniklerin yarı iletkenli cihazlarda, koruyucu cihazların açması nedeniyle üretim kayıpları, nötr-toprak gerilimleri, görüntü sistemlerinde titreşim, reaktif güç katsayısının düşmesi, aşırı ısınma ve kayıpların artması gibi etkileri olmaktadır [4].

Güç sistemlerinde harmonik kaynağı olan yüklerin artmasıyla, bilinen reaktif güç kompanzasyon yöntemlerinin dışında, harmonikli sistemlerde reaktif güç kompanzasyonu yapabilen düzenleyicilerin geliştirilmesi zorunlu olmuştur.

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan reaktif güç düzenleyicilerde, gerilim kontrolü ve harmonik filtreleme özellikleri mevcuttur.

Bu çalışmada, yüksek harmonik gerilim bozulmalı bir endüstriyel tesiste reaktif güç kompanzasyonu için gerekli ölçümler sonucunda, bir dinamik gerilim düzenleyici sisteminin uygulaması yapılmış ve sonuçları gösterilmiştir.

## DİNAMİK REAKTİF GÜÇ KONTROLÖRÜ

İdeal bir güç sisteminde gerilim ve akım, temel harmonik frekansında (50 Hz) saf sinüs formundadır. Ancak, güç sistemi ekipmanlarının karakteristikleri ve lineer olmayan yükler nedeniyle akım ve gerilim sinyallerinin sinüs şekilleri bozulur ve sinyaller harmonikler içerirler.

Lineer olmayan yüklerin çektikleri harmonikli akımlar, bağlı oldukları şebekenin gücü ve sisteme bağlı elemanların (transformatör, hat, kondansatör ve endüktif yükler) empedanslarına bağlı olarak bağlantı noktalarında harmonik gerilimlerin oluşmasına yol açarlar.

Harmonikli sistemlerde reaktif güç kompanzasyonu için sadece kondansatörler kullanılamazlar. Sisteme doğrudan bağlanan kondansatörler, sistemdeki endüktif yükler ile seri ve paralel rezonans devresi oluşturarak, yüksek gerilim/akımlara sebep olmaktadır. Alternatif akım devrelerinde oluşan bu rezonansın yok edilmesi mümkün değildir, ancak rezonans frekansı kontrol edilebilir. Rezonans frekansını kontrol için kompanzasyon sistemine seri bağlı reaktörlerden oluşan "Pasif Filtreli Kompanzasyon" sistemleri geliştirilmiştir.

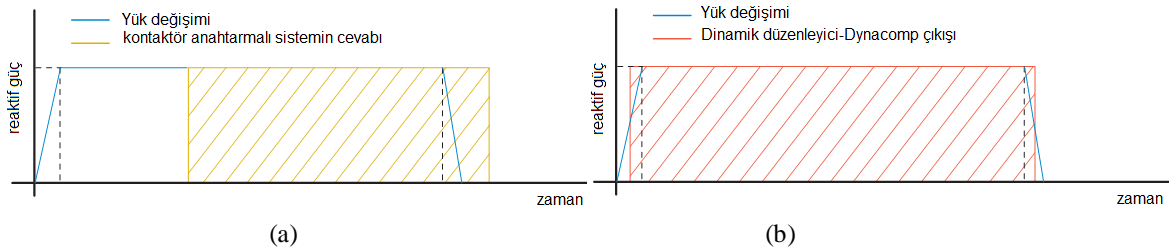
Pasif filtreli kompanzasyon sistemlerinde belirlenen rezonans frekanslarında harmonik akımları için

alternatif bir yol oluşturularak etkilerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Pasif filtreli kompanzasyon sistemi tasarımında:

- gerilim seviyesi,
- gerilim harmonik bozulma oranı,
- transformatör gücü,
- transformatör bağlantı şekli,
- yük değişimlerinin hızı,
- güç değişimlerinin dağılımı,
- frekans ayarı,
- kondansatörlerin gerilim seviyesi,
- ortam sıcaklığı,
- deniz seviyesinden yükseklik,

kriterlerinin belirlenmesi gereklidir.

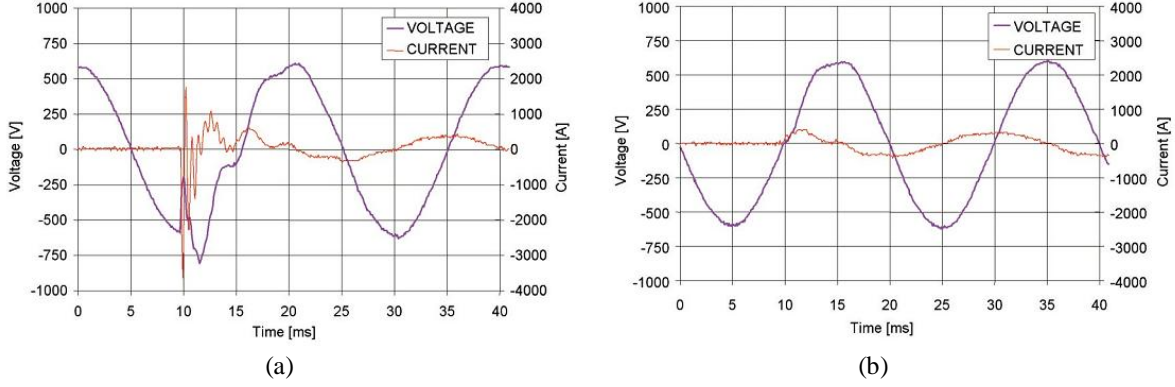
Özellikle reaktif güç gereksiniminin çok hızlı değiştiği ve aşırı akım ve gerilim darbelerinin istenmediği reaktif güç kompanzasyon sistemlerinde kontaktörler yerine tristör anahtarlamalı Dinamik Reaktif Güç Düzenleyiciler (Dynamic VAR Compansator-DynaComp) kullanılır. Bu düzenleyici, mikro işlemci tabanlı kontrol modülü sayesinde gerilimin tam sıfır geçiş noktasında anahtarlama yaparak, darbeleri engeller. Bu sayede CNC, PLC ve bilgisayarlar gibi hassas cihazların da bulunduğu tesislerde, reaktif güç kompanzasyon sisteminin anahtarlamalarından kaynaklanabilecek, sorunları da ortadan kaldırır. 20 ms'den kısa süredeki anahtarlama yeteneği sayesinde geleneksel reaktif güç kompanzasyonu sistemlerinin performansının yetmediği noktalarda başarılı sonuçlar verir. Şekil 1'de kontaktörlü sistemin reaktif yük değişimlerine tepkisi ile DynaComp'un tepkisi karşılaştırılmıştır. Reaktif güç kontrol rölesi, reaktif güç değişimlerinde kondansatörün şarj/deşarj süresi için belirlenen süre sonunda gerekli gücü kontaktörlü sistemde en az 5 s gibi bir sürede anahtarlar. Dolayısıyla bu süre içerisinde yük değişimlerine cevap verilemez. DynaComp ise 10 ms içinde anahtarlama yapabildiği için değişimlere çok hızlı tepki verir.



Şekil 1. Yük değişimlerine (a) kontaktör anahtarlamalı sistem cevabı (b) DynaComp'un cevabı

Güç sistemlerinde kondansatörlerin anahtarlanması sırasında, anahtarlama anında gerilimin açısına bağlı olarak, nominal akımın çok üzerinde manyetik mıknatıslanma akımları akar. Bunun önlenmesi için gerilim sinyalinin sıfır geçişlerinde anahtarlanması gerekir. Kontaktörlü sistemde reaktif güç kontrol rölesi, kontaktöre anahtarlama komutunu belirlenen

süreyi sayarak verir. Dolayısıyla belirlenen süre gerilimin hangi açısına karşılık geliyor ise kontrol etmeden kademeyi anahtarlar. Bu da şekil 2'de görülen salınımların oluşmasına sebep olur. DynaComp ise, gerilimin sıfır geçişlerini takip ederek kademeyi 10ms'de bir devreye alabilir.



Şekil 2. Gerilim/akım eğrileri  
(a) Kontaktörlü sistemle anahtarlama (b) DynaComp ile anahtarlama

## DİNAMİK REAKTİF GÜÇ KONTROLÜ(DynaComp) UYGULAMASI

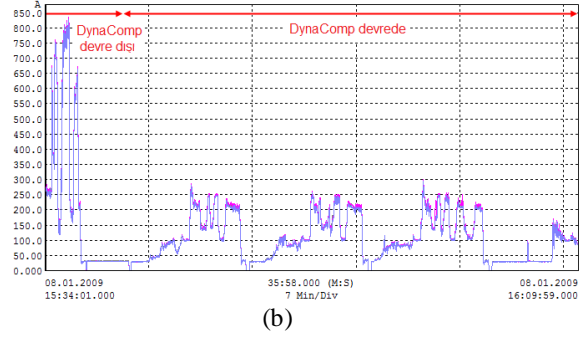
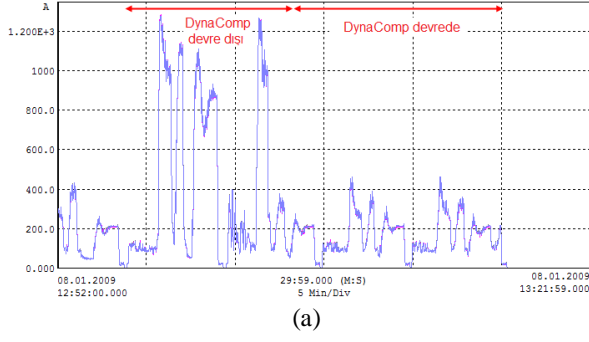
Pasif filtreli kompanzasyon sistemlerinin kullanımında temel amaç harmonikli bozulmanın yüksek olduğu yerlerde reaktif güç kompanzasyonu yapılmasını sağlamak ve bunu yaparken belirlenen frekanstaki harmonik derecelerinin etkilerini de azaltmaktır.

Harmonik bozulma oranlarını sınırlamakla ilgili iki tür uygulama bulunmaktadır. Bunlardan birincisi IEC standartlarında, kullanılan cihazların tür ve özelliklerine göre getirilen sınırlamalardır. Diğeri ise IEEE standartlarına göre, güç sistemlerinde gerilim seviyesi, sistemin bağlı kısa devre gücü ve yüklenme durumuna bağlı olarak belirlenir. Reaktif güç kontrolü tüm sistem için yapılacaksa, IEEE standartları referans alınmalıdır. Buna göre, alçak gerilim sistemlerinde gerilim harmonik bozulma oranının %5'in altında olması sağlanmalıdır [1]. Bozulma oranı pasif harmonik filtre sistemi ile düşürülür, aktif filtre sistemi ile tamamen yok edilir. Dolayısıyla pasif harmonik sistem tasarımı yapılırken sistem elemanlarının harmonik bozulma dayanımları özenle belirlenmelidir.

Bu çalışma kapsamında, Çerkezköy'de bulunan bir polimer kauçuk fabrikasında yüksek harmonikli akım ve gerilimden doğan enerji kalitesi sorunlarının giderilmesi ve reaktif güç kompanzasyonunun

sağlanması amacı ile bir DynaComp uygulaması yapılmıştır. Tesiste 1250 kVA gücünde sekonder sargıları birinin üçgen diğerinin yıldız iki trafonun her birinin çıkışında bulunan 800 kVA gücündeki bambrin makineleri, sistemde yüksek harmonikli akım ve gerilimle çalışmaktadır. Sistemde istenilen reaktif oranların sağlanması, faz gerilimlerinin belirli bir aralıkta sabit tutulabilmesi, kayıpların azaltılması ve güvenilir çalışma için pasif filtreli reaktif güç kompanzasyonu ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla gerilim/akım, harmonik bozulma oranları, reaktif güç değişimleri izlenerek sistem için her bir transformatör çıkışına 1000 kVAr (1x200kVAr+2x400kVAr) DynaComp kompanzasyon sistemi kurulması gerektiği belirlenmiştir. Kompanzasyon sistemi, baskın olan 5. harmonik için rezonans frekansı 189 Hz'e ayarlanmıştır. Kademelerde kullanılan reaktörlerin gerilim harmonik bozulma dayanım derecesi %14'dür.

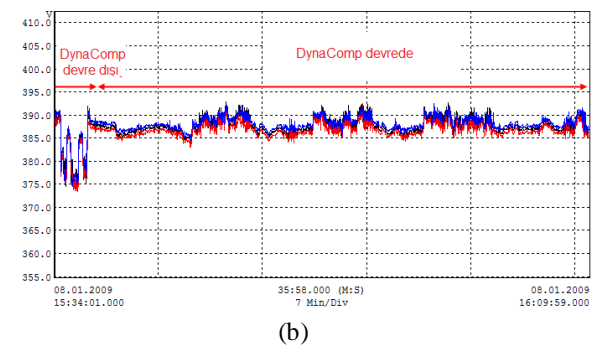
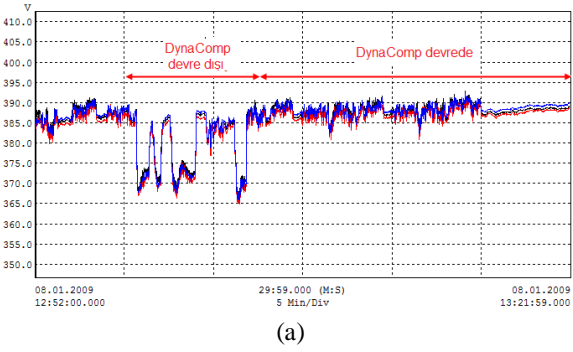
Şekil 3'de her iki transformatörün sekonder sargılarındaki faz akımlarının değişimi görülmektedir. DynaComp devre dışı iken yıldız sargıda faz akımı 1250A'e, üçgen sargı da ise 800A'e kadar çıkmaktadır. DynaComp devreye alındığında ise sargıların akımları 400A ve 250A olmakta böylece faz akımları %70 oranında azalmaktadır.



Şekil 3. Faz akımlarının değişimi (a) yıldız sargı (b) üçgen sargı

Şekil 4'de DynaComp Sistemi devrede ve devre dışı iken ölçülen faz gerilimleri görülmektedir. Buna göre DynaComp devrede değilken fazlar arası gerilim

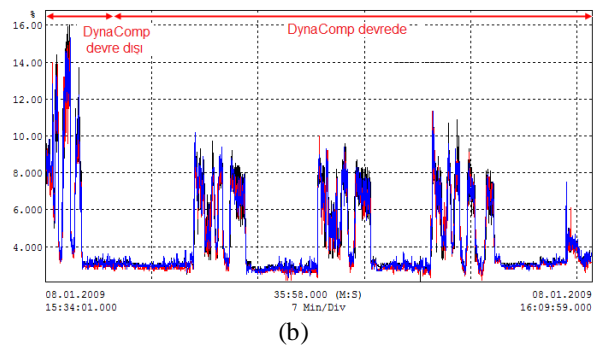
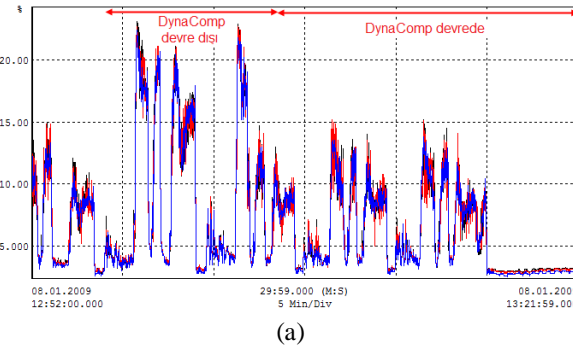
yıldız sargıda 365V'a, üçgende ise 375V'a kadar indiği görülmektedir. DynaComp devreye girdiğinde ise faz gerilimleri 390V'da sabit kalmaktadır.



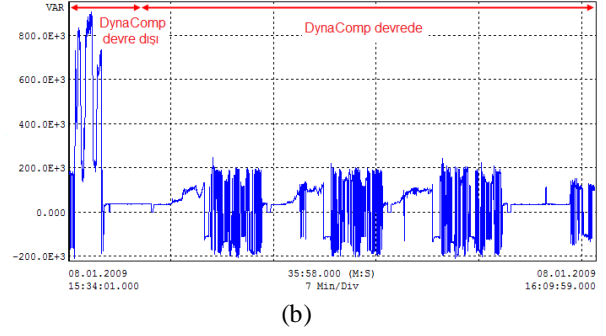
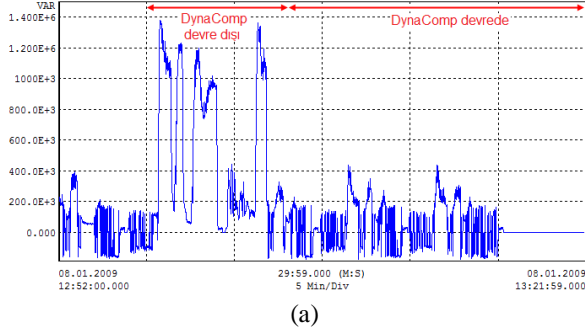
Şekil 4. Faz gerilimlerinin değişimi (a) yıldız sargı (b) üçgen sargı

Gerilim harmonik bozulmalarının her iki sargıdaki değişimleri Şekil 5'deki gibidir. DynaComp devrede değilken yıldız sargıda %25'i, üçgen sargıda ise

%14'ü bulan gerilim bozulması, DynaComp devreye girdiğinde ise bu oran %8'e düşmektedir.



Şekil 5. Gerilim harmoniklerinin değişimi (a) yıldız sargı (b) üçgen sargı



Şekil 6. Reaktif güç değişimi (a) yıldız sargı (b) üçgen sargı

DynaComp'un esas uygulama amacı olan reaktif güç kontrolünün yıldız ve üçgen sargılardan alınan sonuçları Şekil 6'da görülmektedir. DynaComp devrede değil iken sistemin reaktif güç ihtiyacı yıldız sargıda 1200 kVAr, üçgen sargıda 800 kVAr'dır. DynaComp devreye girdiğinde kademeler hızla anahtarlanarak reaktif güç ihtiyacı 200 kVA'ya düşürülmüş, böylece sistemin günlük %6 endüktif, %2 kapasitif reaktif oranlarla çalışması sağlanmıştır.

#### SONUÇLAR

Bu çalışmada yüksek gerilim harmonik bozulmalı bir endüstriyel tesise, dinamik kompanzasyon sistemi uygulaması yapılmış ve sonuçları irdelenmiştir. Tristör kontrollü DynaComp uygulaması ile tesiste gerekli olan reaktif güç kontrolü sağlanmıştır. DynaComp, reaktif güç kontrolü yanında faz gerilimlerinin belirli sınırlar arasında kalmasını ve faz akımlarında %70'lik bir azalma sağlayarak kayıpların azalmasını sağlamıştır. Ayrıca, tesisteki yüksek harmonik bozulma oranlarında önemli azalmalar gözlemlenmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] IEEE Std. 519-1992 "Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems"
- [2] IEEE Working Group on Power System Harmonics. Power System Harmonics: An Overview. IEEE Trans On Power Apparatus and Systems PAS 102: 2455–2459, 1983.
- [3] R Yacmini. Power System Harmonics Power Eng J 10(4): 185– 93, 1996.
- [4] ABB Press, "Power Factor Correction & Harmonic Filtering in Electrical Plants", 1SDC00707G0201