

# Üç-Fazlı Üç-Seviyeli Kaskat Evirici Tabanlı D-STATCOM Kullanılarak Yük Kompanzasyonu

Resul ÇÖTELİ, Erkan DENİZ, Beşir DANDİL, Servet TUNCER

## ÖZET

İletim ve dağıtım hatlarında meydana gelen kayıpların azaltılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve daha kaliteli bir enerjinin tüketicisi tarafından kullanılması için reaktif güç kompanzasyonu bir gerekliliktir. Son yıllarda yarı iletken teknolojisinindeki gelişmelere bağlı olarak yapılan çalışmalar, güç sistemlerinde reaktif güç kompanzasyonunun yarı iletken anahtarlar ile yapılması durumunda, gerilim yükselmelerinin/çökmelerinin önlenebileceğini, geçici ve dinamik kararlılığın iyileştirilebileceğini göstermiştir. Bu çalışmada, orta gerilim (OG) transformatörünün tüketicisi tarafında yük kompanzasyonu için 380V/±25kVAR'lık üç-fazlı 3-seviyeli kaskat evirici tabanlı Dağıtım Statik Senkron Kompanzatorü (D-STATCOM) önerilmiştir. Bu amaçla; güç sistemi, D-STATCOM ve kontrol birimi MATLAB/Simulink ve Simpower Systems kullanılarak modellenmiştir. D-STATCOM'un gerekli reaktif gücü sağlayabilme performansı, güç sistemi barasına bağlı olan farklı güçlerdeki endüktif ve kapasitif yükler devreye alınıp çıkarılarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** D-STATCOM, Yük Kompanzasyonu, Üç-Seviyeli Kaskat Evirici.

## Load Compensation By Using Three-Phases Three-Level Cascaded Inverter Based D-Statcom

### ABSTRACT

Reactive power compensation is a necessity for decreasing the losses in transmission and distribution lines, reducing the manufacturing cost and more quality energy to customers. In recent years, studies depending on advances in semiconductor technology showed that voltage collapse in the power systems can be prevented and dynamic stability in the power systems can be improved if reactive power compensation is done with semiconductors. In this paper, three-phase 3-level cascade inverter based on D-STATCOM of ±25kVAR connected to secondary of distribution transformer is simulated for purpose of load compensation. For this aim, distribution system, D-STATCOM and control unit are modelled with MATLAB/Simulink ve Simpower Systems and D-STATCOM's performance for load compensation is investigated in terms of switching on/off inductive and capacitive loads that they have different power values.

**Keywords:** D-STATCOM, Load Compensation, Three-Level Cascade Inverter.

### 1. GİRİŞ

Bir dağıtım sisteminden beslenen yükler, aktif gücün yanı sıra reaktif güçte çekmektedirler. Alternatif akımla çalışan elektrik makinelerinde manyetik alan meydana getirmek için şebekeden çekilen ve hemen ardından şebekeye geri verilen bu reaktif güç herhangi bir aktif iş yapmaz. Bununla birlikte şebekeyi gereksiz yere yükler ve işletme maliyetlerini artırır. Çekilen reaktif gücün belli sınırların dışında olması durumunda ise ek cezalar nedeniyle ödenilen ücret katlanarak artmaktadır (1). 2007 yılında Enerji Piyasası ve Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından "Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi" yönetmeliğinde yapılan değişikliklerle sistemden çekilen endüktif reaktif enerjinin sistemden çekilen aktif enerjiye oranı %20'yi, sisteme verilen kapasitif reaktif enerjinin sistemden çekilen aktif ener-

jiye oranı ise %15'i geçemez" koşulu getirilmiştir. Reaktif güç sınırını aşan tüketiciler, kurulu güçleri oranlarında ceza ödemektedirler. Reaktif güç kompanzasyonu şebekeyi gereksiz yere yüklememek ve sistemde meydana gelen kayıpları azaltmak için iletim ve dağıtım sistemlerinde uzun süreden beri yapılmaktadır. Genel olarak dağıtım sistemlerinde kompanzasyon amacıyla sabit ya da mekanik anahtarlamalı kondansatörler/reaktörler, otomatik gerilim regülâtörleri, kademe değiştirici transformatörler kullanılmaktadırlar (2). Anahtarlamalı şönt kompanzasyon ile bazı dinamik yükler için etkili bir kompanzasyon gerçekleştirilirken, sabit şönt kompanzasyon ile bu tür yüklerin kompanzasyonu etkili bir şekilde yapılamaz (3). Sabit ve anahtarlamalı tip kondansatör/reaktör gruplarının verebileceği reaktif güç miktarı bağlı olduğu noktanın gerilimi ile orantılı olduğundan, bağlantı noktasının gerilim değerinin değişmesi bu kompanzatorlerin verebileceği reaktif güç miktarını da değiştirecektir. Ayrıca bu kompanzatorlerin aşırı gerilimlere ve doğrusal olmayan yüklerle karşı hassas olmaları ise diğer bir dezavantajlarıdır. Son yıllarda, talep edilen reaktif gücün bağlantı noktasının geriliminden bağımsız ve hızlı bir şekilde temini için evirici tabanlı Esnek Alternatif Akım

*Makale 10.07.2009 tarihinde gelmiş, 21.05.2010 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.*

*R. ÇÖTELİ, E. DENİZ, B. DANDİL, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü*

*e-posta :rcoteli@firat.edu.tr, edeniz@firat.edu.tr, bdandil@firat.edu.tr*

*S. TUNCER, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü*

*e-posta :stuncer@firat.edu.tr*

*Digital Object Identifier 10.2339/2010.13.1.7-13.*

İletim Sistemleri (FACTS) aygıtları dağıtım sistemlerine uygulanmaya başlanmıştır.

Evirici tabanlı FACTS aygıtları, Tristör Anahtarlama Kondansatörler (TSC) ve Tristör Denetimli Reaktörler (TCR) gibi geleneksel VAR kompanzatorlarının yerini alacak yeni nesil reaktif güç kompanzatorları olarak kabul edilmektedir (4). FACTS aygıtları kullanılarak reaktif güç kompanzasyonu yapılması durumunda kompanzatorün fiziksel boyutu küçültülebilir ve güç sisteminin dinamik kararlılığı iyileştirilebilir (5). Statik Senkron Kompanzator (STATCOM) hem dağıtım hem de iletim sistemlerinde kullanılan şönt bağlı bir FACTS aygıtıdır. STATCOM, dağıtım sistemlerinde gerilim regülasyonu, güç faktörü düzeltme, yük dengeleme ve harmonik kompanzasyonu için kullanılır ve Dağıtım STATCOM (D-STATCOM) olarak adlandırılır (6). Bu tür kompanzatorlerin cevap süreleri yaklaşık 1-2 periyot olduğundan çoğu dinamik yüklerin kompanzasyon akımı ihtiyacını hızlı bir şekilde karşılayabilirler. Mekanik anahtarlama kondansatör/reaktör grupları ile kısmen değişken reaktif çıkış gücü elde edilebilirken, D-STATCOM maksimum endüktif veya kapasitif reaktif çıkış gücü sınırları arasında istenilen miktarda değişken bir reaktif çıkış gücü verebilme yeteneğine sahiptir.

Bu çalışmada, şebekenin güç faktörünün düzeltilmesi amacı ile orta gerilim transformatörünün tüketici tarafına bağlı 380V/±25kVAR üç-fazlı 3-seviyeli kaskat evirici tabanlı D-STATCOM'un MATLAB/Simulink/Simpower System'de benzetimi yapılmıştır. Benzetim çalışmasında, şebekeye belirli zaman aralıklarında farklı değerlerdeki omik-endüktif ve omik-kapasitif özellikli yükler bağlanarak bu yüklerin reaktif güç kompanzasyonu D-STATCOM ile gerçekleştirilmiş ve D-STATCOM'un endüktif ve kapasitif kompanzasyon akımını sağlama başarımı incelenmiştir.

## 2. ÜÇ-FAZLI ÜÇ-SEVİYELİ KASKAT EVİRİCİ TABANLI D-STATCOM

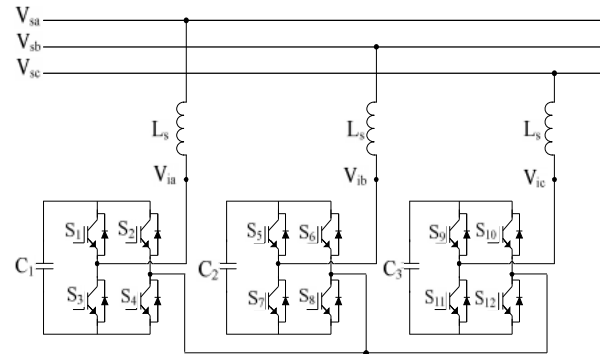
D-STATCOM; şebeke frekansında, hem endüktif hem de kapasitif reaktif güç tüketen/üreten ve bir bağlantı transformatörü ya da bir bağlantı endüktansı yardımı ile güç sistemine paralel bağlanan FACTS aygıtıdır (7).

Günümüze kadar D-STATCOM'un güç devresinde iki seviyeli çok darbeli evirici (İS-ÇDE) ve iki seviyeli Darbe Genişlik Modülasyon denetimli evirici (İS-DGME) yapıları kullanılmıştır. İS-ÇDE'ler kullanılarak gerçekleştirilen D-STATCOM devrelerinde inverter çıkışı dalga şekillerinin harmonik içeriğini azaltmak için zigzag transformatörler kullanılmaktadır. Bu transformatörlerin sistemdeki en pahalı eleman olması, toplam kayıpların yaklaşık %50'sinin bu elemanlar üzerinde meydana gelmesi ve denetimde zorluklar oluşturması gibi dezavantajları vardır (9). Son yıllarda D-STATCOM'un denetiminde, harmonik içeriğini azalttığı ve transformatör devresini basitleştirdiği için yüksek anahtarlama frekansında çalışabilen denetimli yarı iletken anahtarların kullanıldığı DGM teknikleri tercih edilmektedirler (8). İS-DGME'ler kullanılarak oluşturu-

lanan D-STATCOM devrelerinde ise yüksek bir reaktif çıkış gücü alınmak istenirse yarı iletken anahtarların çok yüksek gerilim değerlerine dayanabilmesi için seri bağlantıların yapılması gerekir (10). Bu durumda seri bağlı anahtarların senkronize bir şekilde anahtarlama problemi ortaya çıkmaktadır (6). Bunlara ek olarak, iki seviyeli eviricilerin orta veya yüksek güç/gerilim uygulamalarında anahtarlama kayıpları ve anahtarların anma değerlerindeki kısıtlamadan dolayı yüksek anahtarlama frekanslarında çalışmalarında sınırlamalar vardır. Ayrıca orta ve yüksek güçlü uygulamalarda geleneksel eviriciler; düşük verim, büyük transformatörlerin kullanılması ve yüksek fiyat gibi dezavantajlara sahiptir (11). Bu sebeplerden dolayı evirici ailesinin yeni bir üyesi olan çok seviyeli eviriciler (ÇSE) orta veya yüksek güç/gerilim uygulamaları için bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır.

ÇSE'lerin yüksek gerilimlere çıkabilmeleri ve düşük harmonik içeriklere sahip olmaları nedeniyle son yıllarda yapılan çalışmalar bu eviriciler üzerinde yoğunlaşmıştır (12). ÇSE'lerin diyot-kenetlemeli, kondansatör-kenetlemeli ve kaskat bağlı olmak üzere üç farklı devre topolojisi vardır. Çok seviyeli kaskat eviricinin; basitçe bir modül haline getirilebilmesi, güç kapasitesi açısından bütün sistemi esnek yapması ve diğer çok seviyeli evirici yapıları içerisinde en az sayıda eleman kullanması bu yapının popüler olmasını sağlamıştır (13). Kaskat çok seviyeli eviricilerde çıkış geriliminin seviye sayısı, her faza H-köprü hücrelerin seri bağlanması ile artırılabilir. Böylece var olan eviricinin gücü kolaylıkla yükseltilebilir. Ancak bunu diğer ÇSE yapıları için söylemek oldukça zordur. Aynı zamanda 3-seviyeli kaskat eviricide DA gerilim dengeleme devresine ihtiyaç olmaması bu yapının diğer bir avantajıdır.

Şekil 1'de üç-fazlı üç-seviyeli kaskat evirici tabanlı D-STATCOM'un devre şeması gösterilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi D-STATCOM; üç-seviyeli kaskat evirici, bu eviriciye DA gerilim sağlayan 3 adet DA hat kondansatörü (C), eviriciyi şebekeye bağlamak için kullanılan bağlantı endüktansından ( $L_s$ ) meydana gelmektedir.



Şekil 1. Üç-fazlı 3-seviyeli kaskat evirici tabanlı D-STATCOM'un devre şeması

D-STATCOM, eviricinin çıkış geriliminin genliğine bağlı olarak güç sistemi ile reaktif güç alışverişini yapar. Eğer, eviricinin ürettiği gerilimin genliği şebeke geriliminin genliğinden büyükse, akım eviriciden şebe-

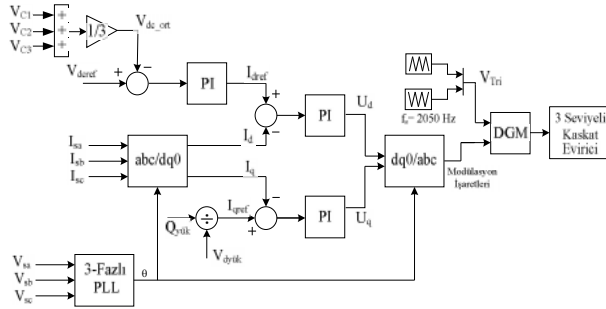
keye doğru akar ve evirici kapasitif bir eleman gibi davranarak kapasitif reaktif güç üretir. Tersi durumda ise akım şebekeden eviriciye doğru akar ve evirici endüktif bir eleman gibi davranarak endüktif reaktif güç tüketir. Eğer eviricinin ürettiği gerilimin genliği şebeke geriliminin genliğine eşitse şebeke ile evirici arasında herhangi bir reaktif güç alışverişi olmaz. D-STATCOM'un ürettiği/tükettiği reaktif güç miktarı;

$$\pm Q = \frac{V_s^2 - V_s V_i \cos \delta}{X} \quad (1)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada  $V_s$  kaynak gerilimi,  $V_i$  eviricinin çıkış gerilimi,  $X$  bağlantı endüktansının kaçak reaktansı ve  $\delta$  ise evirici çıkış gerilimi ile şebeke gerilimi arasındaki faz farkıdır.

### 3. ÜÇ-FAZLI ÜÇ-SEVİYELİ KASKAT EVİRİCİ TABANLI D-STATCOM'UN DENETİMİ

Yük kompanzasyonunda amaç, şebekenin akım ve geriliminin aynı fazda kalmasını sağlamaktır. Bu nedenle yükün talep ettiği reaktif akımın şebekeden çekilmesi yerine bir kompanzâtörden sağlanması gerekir. D-STATCOM yüke paralel bağlı denetimli bir akım kaynağı gibi davranarak yükün reaktif akım talebini karşılar. D-STATCOM'un reaktif güç kompanzasyonuna ilişkin denetim şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.



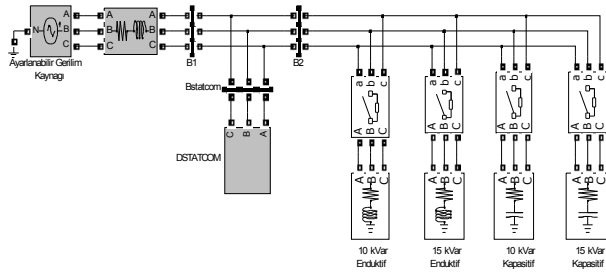
Şekil 2. D-STATCOM reaktif güç kompanzasyonuna ilişkin denetim şeması

Şekil 2'de görüldüğü gibi D-STATCOM denetleyici devresi; DA gerilim denetim, reaktif gerilim denetim ve akım denetim döngüsünden meydana gelmektedir. DA gerilim denetim döngüsünde bir ve akım denetim döngüsünde iki adet denetleyiciye ihtiyaç vardır ve bu denetleyici döngülerinde genellikle sabit parametrelili Oransal+İntegral (PI) denetleyiciler kullanılır. dq-eksen akımlarının denetiminin gerçekleştirilebilmesi için ölçülen üç faz gerilimleri ve akımları birim değere (pu) dönüştürülür. Üç-faz gerilimi, üç-fazlı Faz Kilitleme Devresine (PLL) girilerek şebeke geriliminin faz açısı ( $\theta$ ) tespit edilir. Bu açı bilgisi kullanılarak D-STATCOM'un bağlı bulunduğu baranın üç faz akımları ve gerilimleri dq0 bileşenlerine dönüştürülür. DA gerilim denetim döngüsünde, referans DA gerilim değeri ( $V_{dref}$ ) ile ölçülen üç adet DA hat kondansatör gerilimlerinin ortalaması karşılaştırılır, elde edilen hata PI denetleyiciye giriş olarak uygulanır. PI denetleyicinin çıkışında ise referans aktif akım bileşeni ( $I_{dref}$ ) elde edilir. Üç-seviyeli kaskat eviricide gerilim dengesizliği mey-

dana gelmediğinden, üç kondansatörün gerilim değerlerinin ortalaması alınarak DA gerilim denetimi yapılabilir. Şebekenin akım ve geriliminin yaklaşık olarak aynı fazda olması için yükün çektiği reaktif gücün tamamının kompanzâtör tarafından sağlanması gerekmektedir. Yani, şebekenin güç faktörünün "1" olması için yüklerin şebekeden çektiği reaktif gücün tam tersinin D-STATCOM tarafından üretilmesi/ tüketilmesi gerekir. Bu nedenle, D-STATCOM'un üretmesi/tüketmesi gereken kompanzasyon akımı ( $I_{qref}$ ) belirlenirken yükün çektiği reaktif güç ölçülür ve bu reaktif gücün şebeke geriliminin d-eksen bileşenine ( $V_d$ ) oranı yükün çektiği reaktif akım bileşenini verir ( $-I_q = Q/V_d$ ). Bu akımın tam tersi alınarak D-STATCOM'un üretmesi/tüketmesi gereken reaktif akım bileşeni ( $I_{qref}$ ) elde edilir. Eviricide, DA hattı ve bağlantı endüktansında meydana gelen kayıpları karşılamak ve buna bağlı olarak DA hat kondansatör gerilimlerinin istenilen referans değerinde dolu kalması için şebeke gerilimi ile aynı fazda olan aktif akım bileşeni ( $I_d$ ) şebekeden çekilir. Şebeke gerilimi ile  $90^\circ$  faz farkı olan  $I_q$  ise yükün reaktif akım ihtiyacını sağlar. DA gerilim denetiminden elde edilen  $I_{dref}$  ile  $I_d$  ve reaktif güç denetim döngüsünden elde edilen  $I_{qref}$  ile  $I_q$  karşılaştırılıp elde edilen hata değerleri PI denetleyicilere giriş olarak uygulanır. PI denetleyicilerin çıkışında eviricinin üretmesi gereken gerilimlerin d ve q-eksen bileşenleri ( $U_d-U_q$ ) tespit edilir. Daha sonra,  $U_d$  ve  $U_q$  üç-faza çevrilerek modülasyon dalgaları elde edilir. Bu modülasyon dalgaları zıt fazda iki adet taşıyıcı dalga ile karşılaştırılarak evirici için kapı darbeleri çok seviyeli Sinüzoidal DGM (SDGM) yöntemi ile üretilir.

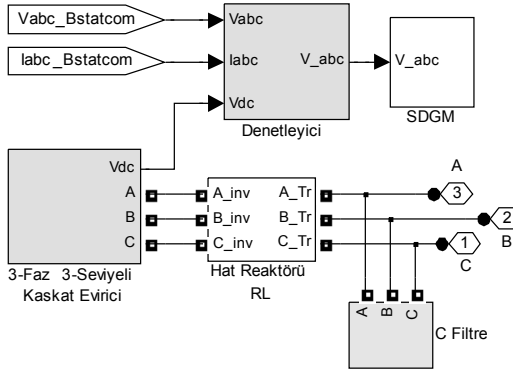
### 4. ÜÇ-FAZLI ÜÇ-SEVİYELİ KASKAT EVİRİCİ TABANLI D-STATCOM'UN MATLAB BENZETİMİ

Bu çalışmada, bir dağıtım transformatörünün sekonder tarafında yük kompanzasyonu amacı ile kullanılan 380V/ $\pm 25$ kVAR'lık bir D-STATCOM'un MATLAB/Simulink/Simpower System'de benzetimi yapılmıştır. Benzetimi yapılan D-STATCOM ve güç sistemine ait parametreler Ek'te verilmiştir. Yük kompanzasyonu yapılan dağıtım şebekesinin MATLAB/Simpower Systems Toolbox'ında oluşturulan benzetim modeli Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi model; bir adet üç-fazlı gerilim kaynağı, iki adet endüktif ve iki adet kapasitif olmak üzere toplam dört adet yük ve bu yüklerle paralel bağlı D-STATCOM'dan oluşmaktadır. Benzetim modelinde 10kVAR ve 15kVAR endüktif olmak üzere toplam 25kVAR'lık endüktif, 10kVAR ve 15kVAR kapasitif olmak üzere toplam 25kVAR'lık kapasitif yükler kullanılmıştır. Şekil 3'te kaynak B1 barasına, D-STATCOM Bstatcom barasına, yükler ise B2 barasına bağlıdır.



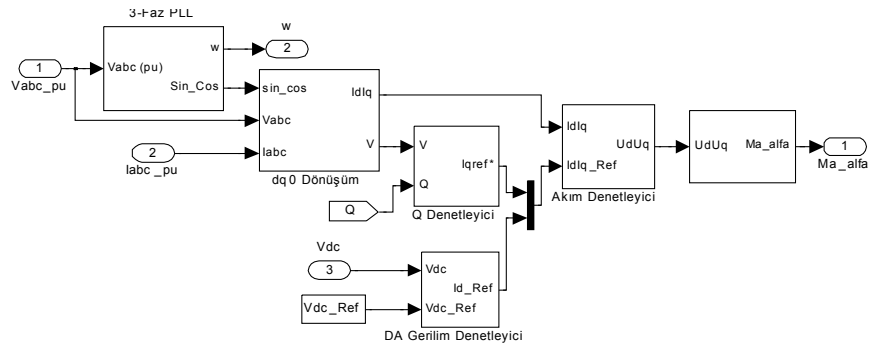
Şekil 3. MATLAB/Simpower Systems Toolbox'ında oluşturulan benzetim modeli

MATLAB/Simpower Systems Toolbox'ında oluşturulan benzetim modelinin “DSTATCOM” alt bloğu Şekil 4’te gösterilmiştir. D-STATCOM alt bloğu; üç-fazlı 3-seviyeli kaskat evirici, denetleyici, D-STATCOM’un güç sistemi ile reaktif güç alışverişi yapabilmesi ve akım harmoniklerinin yok edilmesi için bir hat reaktörü ve eviricinin çıkışında gerilim harmoniklerin yok edilmesi için her biri  $80\mu\text{F}$ ’lık yıldız bağlı kondansatör grubundan oluşmaktadır.



Şekil 4. D-STATCOM devresinin MATLAB/Simpower Systems Toolbox'ında hazırlanmış modeli

Şekil 4’teki “Denetleyici” bloğunun MATLAB-Simpower Systems modeli Şekil 5’te gösterilmiştir (14). Denetleyici bloğunda, 3-fazlı PLL kullanılarak şebeke-



Şekil 5. D-STATCOM’un denetleyici devresine ait MATLAB/Simpower Systems modeli

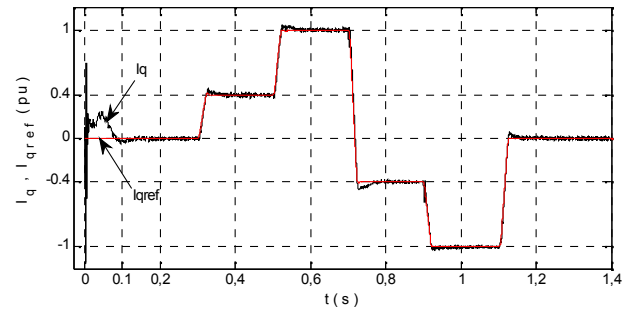
nin faz açısının tespiti, ölçülen akım ve gerilim değerlerinin dq-eksen bileşenlerine dönüştürülmesi, DA gerilim denetimi, Q denetimi, akım denetimi ve akım denetleyicisinin çıkışından elde edilen bilgilerle modülasyon indeksi ve şebeke ile D-STATCOM çıkış gerilimleri arasındaki faz farkının belirlenmesi gerçekleştirilmektedir.

## 5. BENZETİM SONUÇLARI

Benzetim çalışmasında  $t=0$  anında şebekeye hiçbir yük bağlı değildir.  $t=0.3\text{s}$ ’de  $5\text{kW}-10\text{kVAR}$ ’lık omik-endüktif yük ve  $t=0.5\text{s}$ ’de ilave olarak  $5\text{kW}-15\text{kVAR}$ ’lık omik-endüktif yük devreye alınmıştır.  $t=0.7\text{s}$ ’de omik-endüktif yükler devreden çıkarılarak aynı anda  $5\text{kW}-10\text{kVAR}$ ’lık omik-kapasitif ve  $t=0.9\text{s}$ ’de ilave olarak  $5\text{kW}-15\text{kVAR}$ ’lık diğer omik-kapasitif yük devreye alınmıştır.  $t=1.1\text{s}$ ’de ise tüm yükler devreden çıkarılmıştır.

Böylece D-STATCOM’un ( $Q = \mp 25\text{kVAR}$ ) şebekeye bağlı farklı değerlerdeki endüktif ve kapasitif yükler için kompanzasyon akımı sağlayabilme yeteneği gözlemlenmiştir.

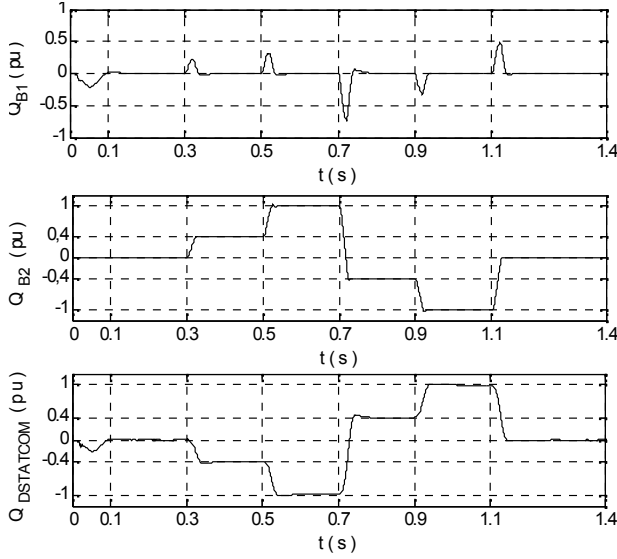
D-STATCOM’un yükün talep ettiği reaktif gücü çok kısa sürede sağlayabilmesi için akım denetiminin çok hızlı bir şekilde yapılması gerekmektedir. D-STATCOM’un ürettiği/tükettiği reaktif akımın referans reaktif akımı izleme başarımına ilişkin benzetim sonucu Şekil 6’da gösterilmiştir. Şekil 6’dan görüldüğü gibi, D-STATCOM’un ürettiği/tükettiği reaktif akım referans yükün kompanzasyon akımı ihtiyacını çok kısa bir sürede (yaklaşık  $0.02\text{s}$ ) sağlamaktadır.



Şekil 6. D-STATCOM’un reaktif akım bileşeninin değişimi

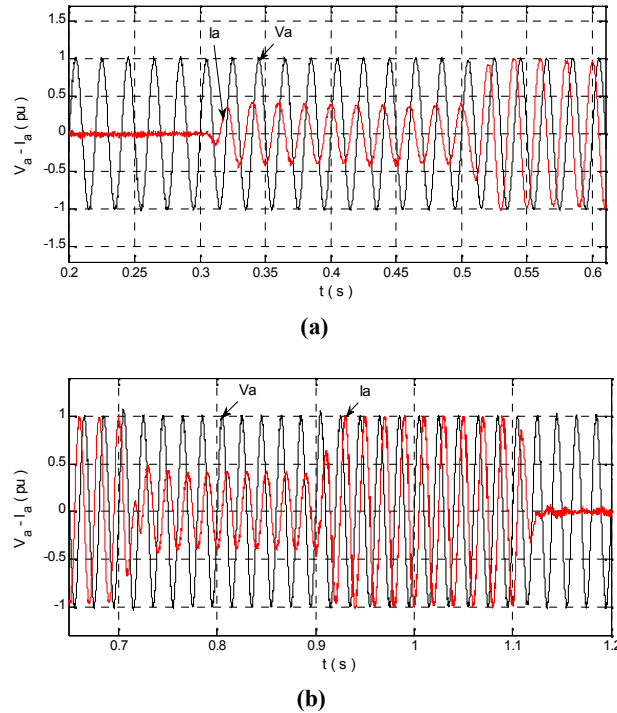
Kaynaktan çekilen, yükün çektiği ve D-STATCOM’un ürettiği/tükettiği reaktif güç miktarları

aktif güç tüketerek yükün kompanzasyon akımının tamamını sağlamayı başarmıştır.

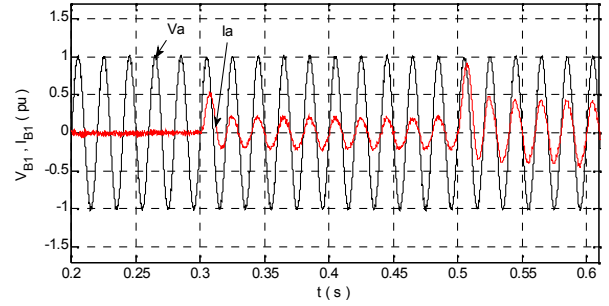


Şekil 7. Kaynaktan çekilen, yükün çektiği ve D-STATCOM'un ürettiği/tükettiği reaktif güç

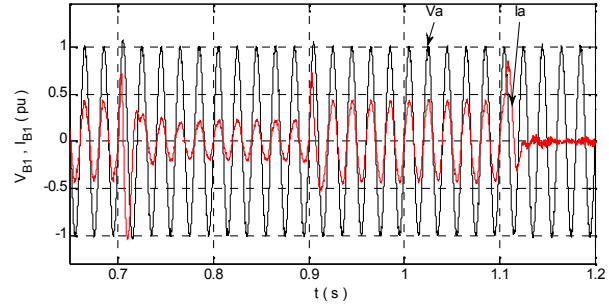
D-STATCOM çok kısa sürede yükün talep ettiği reaktif gücü sağlayarak kaynağın akım ve geriliminin aynı fazda kalmasını (birim güç faktörü) sağlamaktadır. D-STATCOM'un bir fazının akım-geriliminin dalga şekline ait benzetim sonucu Şekil 8(a) ve 8(b)'de ve kaynağın bir fazının akım-gerilimi arasındaki faz ilişkisine ait benzetim sonucu ise Şekil 9(a) ve 9(b)'de gösterilmiştir.



Şekil 8. (a).  $t=(0.2-0.65)s$  için D-STATCOM'un bir fazına ait akım-geriliminin dalga şekilleri  
(b).  $t=(0.65-1.2)s$  için D-STATCOM'un bir fazına ait akım-geriliminin dalga şekilleri



(a)

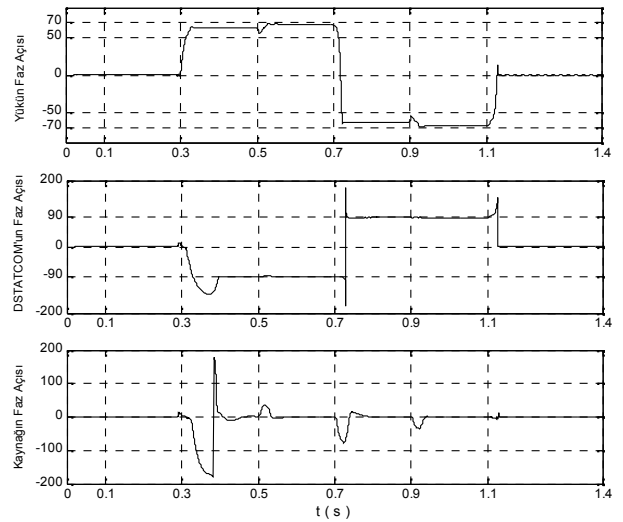


(b)

Şekil 9 (a).  $t=(0.2-0.65)s$  için kaynağın bir fazına ait akım-gerilimin dalga şekilleri

(b).  $t=(0.65-1.2)s$  için kaynağın bir fazına ait akım-gerilimin dalga şekilleri

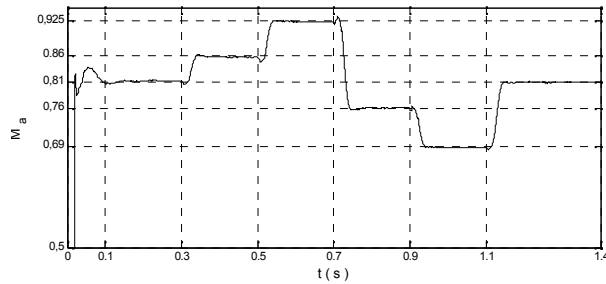
B2, Bstatcom ve B1 baralarının akım ve gerilimleri arasındaki faz açılarının değişimlerine ilişkin benzetim sonuçları Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10'da görüldüğü gibi şebekeye endüktif veya kapasitif yükler bağlandığı zaman D-STATCOM bu yüklerin kompanzasyon akımı ihtiyacını çok kısa sürede sağladığı için şebekenin akım ve gerilimi de çok kısa sürede aynı faza gelmiştir. Benzetim çalışmasında D-STATCOM'un akım-gerilimi arasındaki faz farkının tam  $90^\circ$  olmadığı görülmektedir. Bu durum bağlantı reaktörünün iç direncinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 10. B2, Bstatcom ve B1 baralarının faz açılarının değişimleri

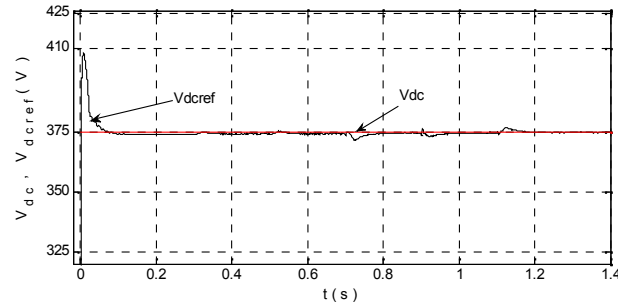
D-STATCOM şebeke ile reaktif güç alışverişini eviricinin çıkış geriliminin genliğini değiştirerek ger-

çıkartılmaktadır. DGM denetimli D-STATCOM'larda eviricinin çıkış geriliminin genliği modülasyon indeksi ile ( $M_a$ ) değiştirilir. Benzetim çalışmasında eviricinin çıkış gerilimi,  $M_a$ 'nın kapalı çevrim değiştirilmesi ile gerçekleştirilir.  $M_a$ 'nın değişimine ilişkin benzetim sonucu Şekil 11'de gösterilmiştir. D-STATCOM'un tam kapasitif çalışma durumu için  $M_a=0.925$ , tam endüktif çalışma durumu için  $M_a=0.69$ , hiçbir reaktif güç alış veriş yapmadığı durum (bekleme durumu) için ise  $M_a=0.81$  olduğu Şekil 11'den görülmektedir.



Şekil 11. Modülasyon indeksinin değişimi

DGM denetimli D-STATCOM'larda, çıkış gerilimi eviricinin kazancı değiştirilerek ayarlandığı için D-STATCOM'un DA hat gerilimi sabit tutulmaktadır. Benzetim çalışmasında kullanılan üç-fazlı 3-seviyeli kaskat eviricinin her bir fazında 3.3mF'lık kondansatörler kullanılmıştır. DA gerilim denetleyicisinin DA hat kondansatörlerinin gerilimlerinin ortalamasını 375V referans değerinde tutmayı başardığı Şekil 12'deki benzetim sonucundan görülmektedir.



Şekil 12. D-STATCOM'un DA hat geriliminin değişimi

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada, geleneksel kompanzasyon yöntemlerine göre daha hızlı ve güvenilir olan D-STATCOM'un MATLAB programı yardımı ile benzetimi yapılmıştır. Benzetim çalışmasında D-STATCOM  $\pm 25$ kVAR'lık reaktif gücü verebilecek şekilde modellenmiş ve dağıtım transformatörünün tüketici tarafında kompanzasyon amacı ile kullanılmıştır. D-STATCOM'un reaktif güç sağlayabilme performansı farklı güçlerdeki endüktif/kapasitif yükler devreye alınıp çıkarılarak incelenmiştir. D-STATCOM talep edilen reaktif gücü yaklaşık bir periyot gibi çok kısa sürede karşılayarak şebeke akım ve geriliminin aynı fazda kalmasını sağladığı benzetim sonuçlarından görülmektedir.

## 7. TEŞEKKÜR

Bu makalede sunulan çalışmalar, TÜBİTAK-107E245 No.lu "Dağıtım Sistemlerinin Dinamik Kompanzasyonu için 3-Seviyeli Kaskat İnverter Tabanlı Dağıtım Statik Senkron Kompanzator'un (D-STATCOM) Gerçekleştirilmesi" proje kapsamında yürütülmüştür. Yazarlar, sağlanan destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür eder.

### Ek: D-STATCOM ve AA güç sisteminin devre parametreleri

Anahtarlama Frekansı	: 2050Hz
Bağlantı Endüktansın Empedansı	: $0.1+0.908j \Omega$
DA Hat Gerilim Değeri	: 375V
DA Hat Kondansatör Değeri	: 3.3mF
Şebeke Gerilimi ve Frekansı	: 380V-50Hz
AA Filtre Kondansatörü	: 80 $\mu$ F (Y-bağlı)

## 8. KAYNAKLAR

1. Gyugyi, L., "Power Electronics in Electric Utilities: Static Var Compensators", Proceedings of The IEEE, vol. 76, no. 4, pp. 483-493, 1988.
2. Lu F.C., Hsu, Y.Y., Reactive Power/Voltage Control in a Distribution Substation Using Dynamic Programming, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 142, No. 6, November 1995.
3. Kemerer, R. S. and Berkebile, L. E, Directly Connected Static Var Compensation in Distribution System Applications, IEEE Transactins on Industry Applications Vol. 35, No. 1, January/February 1999.
4. Peng, F. Z., Lai, J. S., McKeever, J. W. and VanCoevering, J., A Multilevel Voltage Source Inverter with Separate DC Source for Static Var Generation, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 32, No 5, 1996.
5. Sarath, B.T., Scheidecker, Mr. D., Multi-Level Converters for Static Var Compensation. Update on New Power Electronic Techniques, IEE Colloquium on Page(s):4/1, 1997.
6. Çetin, A., Design and Implementation of A Voltage Source Converter Based STATCOM for Reactive Power Compensation and Harmonic Filtering, METU Electrical and Electronic Engineering Department Phd Thesis, Pages: 222, 2007.
7. Sirisukprasert S., "The Modeling and Control of a Cascaded-Multilevel Converter-Based STATCOM", Phd. Thesis, Blacksburg, Virginia The United State of America, February 13 2004.
8. Çötel, R. ve Aydoğmuş, Z., DGM-Statcom ile Reaktif Güç Kompanzasyonu, Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic, Vol: 10 No: 2 pp.123-128, 2007.
9. Hochgraf, C., Lasseter, R., Divan, D. and Lipo, T.A., Comparison of Multilevel Inverters for Static Var Compensation, Industry Applications Society Annual Meeting, Conference Record of the 1994 IEEE, Page(s):921-928, vol.2, 1994.
10. Ekanayake, J.B., Jenkins, N. and Cooper, C.B., Experimental Investigation of An Advanced Static Var Compensator. Generation Trans. and Distr. IEE Proceed. Volume 142, Issue 2, Page(s):202-210, 1995.

11. Choi, N. S. Cho, J. G. and Cho, G. H., A General Circuit Topology of Multilevel Inverter, IEEE Trans. Ind. Applicant, Vol. 2, No. 1, 1991.
12. Tuncer, S., Dandil, B., Adaptive Neuro-Fuzzy Current Control for Multilevel Inverter Fed Induction Motor, COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, Pages: 668-681, 2008.
13. Dandil, B., Tuncer, S., Four-Quadrant Control of Multilevel Inverter Fed Induction Motor Drives. Journal of Scientific and Industrial Research, Vol. 67, pp. 688-696, 2008.
14. Giroux, P., Sybille G., Le-Huy, H., Modelling and Simulation of a Distribution STATCOM using Simulink's Power Systems Blockset, Proceedings of the 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON'01, 2001.