INTERNATIONAL CONGRESS on ENGINEERING and ARHITECTURE
14-16 November 2018 Alanya / Turkey

Sözlü Sunum

DSTATKOM'un DA-Hat Geriliminin Model Referans Uyarlamalı Denetimi

Resul Çöteli[1], Beşir Dandıl[2], Hakan Açıkgöz[3], Ö. Fatih Keçecioğlu[4], Ahmet Gani[5*]

[1]Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Elazığ/Türkiye.

rcoteli@firat.edu.tr

[2]Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Elazığ/Türkiye.

bdandil@firat.edu.tr

[3]Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Elektrik Programı, Kilis/Türkiye.

[4]K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, K.Maraş/Türkiye.

fkececioglu@ksu.edu.tr

[5]K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, K.Maraş/Türkiye.

agani@ksu.edu.tr

Özet

Dağıtım STATik KOMpanzatör (D-STATKOM) güç sistemlerinde meydana gelen güç kalite problemlerini çözmek için şebekeye paralel bağlanan güç elektroniği tabanlı bir cihazdır. Bu çalışmada, reaktif güç kompanzayon desteği için kullanılan bir D-STATKOM'un DA-hat gerilimi Model Referans Uyarlamalı Sistem (MRUS) ile kontrol edilmiştir. Bu amaçla, üç fazlı güç sistemini, kapasitif endüktif yük gruplarını ve D-STATKOM'u içeren bir benzetim modeli Matlab/Simulink programı yardımı ile oluşturulmuştur. MRUS kullanılarak DA-hat gerilimi kontrol edilen D-STATKOM'un dinamik performansı, şebeke gerilimindeki değişmeler ve farklı yük şartları altında incelenmiştir. Elde edilen benzetim sonuçlarından, şebeke gerilimi ve yük şartları değiştiği zaman MRUS ile kontrol edilen D-STATKOM'un DA-hat geriliminin referans değerinde tutulduğu ve istenilen reaktif akımı sağladığı görülmüştür.

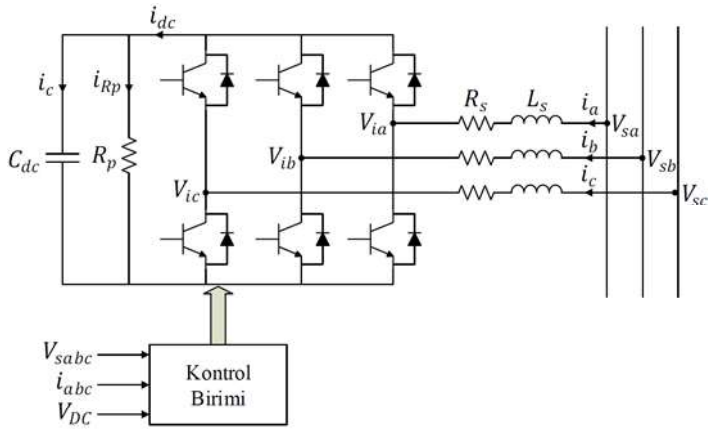
Anahtar Kelimeler: DA-hat gerilim denetimi, D-STATKOM, Model referans uyarlamalı sistem, Enerji kalitesi.

Giriş

N. Hingorani, 1988 yılında AA iletim sistemlerinin güç kalitesini, kontrol edilebilirliğini ve kararlılığını artırmak için güç elektroniği tabanlı yeni bir kompanzasyon cihazı olan Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (Flexible AC Transmission Systems-FACTS) konseptini önermiştir (Hingorani N.G.,1993 ; Hingorani ve ark., 2000 ; Kersting W.H., 2001 ; Saber ve ark., 2017). Dağıtım STATik KOMpanzatörü (D-STATKOM), dağıtım sistemlerinde gerilim regülasyonu veya güç faktörü iyileştirme için reaktif güç desteği sağlayan ve güç sistemine paralel bağlanan bir Dağıtım FACTS (D-FACTS) aygıtıdır.
(Jafarian ve ark., 2010). D-STATKOM, gerilim kaynaklı/akım kaynaklı inverter, kontrol birimi ve bir bağlantı endüktansı olmak üzere toplamda 3 temel bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenlerden kontrol birimi, D-STATKOM'un dinamik cevabını etkileyen en önemli kısımdır. D-STATCOM'un kontrolü ile ilgili çalışmalar, belirli bir referans reaktif akım için D-STATKOM'un çıkış akımı ve DA-hat geriliminin kontrolü üzerine yoğunlaşmaktadır. Hızlı bir kontrol için, genelde D-STATKOM anlık reaktif akım ve anlık faz gerilimlerinin elde edilmesine olanak sağlayan dengeli üç-fazlı sistemler için önerilen dq-eksen teorisi kullanılarak modellenir (Kittaya ve ark., 2012 ; Lehn ve ark., 1998 ; Maryam ve ark., 2007). D-STATKOM'un d ve q-ekseni birbirini etkilediğinden dq-ekseninde kenetlemesiz akım kontrolü üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Li ve ark., 2013 ; Chen ve ark., 2010 ; Blasko ve ark., 1997 ; Molina ve ark., 2006). Ayrıca, D-STATKOM'un kontrolünde doğrusallaştırılmış durum uzay modeli kullanan alternatif bir yaklaşım Ref. (Sahoo ve ark., 2002)'de sunulmuştur.
Bu çalışmada, gerilim regülasyonu ve güç faktörü düzeltme amaçları için kullanılan D-STATKOM'un DA-hat gerilimi Model Referans Uyarlamalı Sistem (MRUS) ile kontrol edilmiştir. MRUS, referans olarak kullanılan sisteme göre sistemin performans beklentilerini elde etmek için kullanılmıştır. Bu amaçla, elde edilmek istenen D-STATKOM'un DA-hat gerilim cevabı için birinci dereceden bir referans model (1/(0.005s+1)) kullanılmıştır. MRUS'un parametre ayarlama mekanizması için eğim yöntemi (Massachusetts Institute of Technology - MIT kuralı) tercih edilmiştir. Gerilim regülasyonu ve güç faktörü düzeltme modlarının her biri için MRUS kullanılarak DA-hat gerilimi kontrol edilen D-STATKOM'un performansı, Matlab/Simulink'te oluşturulan benzetim modeli yardımı ile test edilmiştir. Benzetim çalışmalarında, gerilim regülasyonu modunda çalışan D-STATKOM'un şebeke geriliminde meydana gelen değişmelere karşı bağlantı noktası gerilimini referansta tutma; güç faktörü düzeltme modunda çalışan D-STATKOM'un ise farklı yük şartlarında şebekenin birim güç faktöründe çalışmasını sağlama başarımı gözlemlenmiştir. Farklı çalışma şartlar altında benzetim modelinden elde edilen D-STATKOM'un DA-hat geriliminin değişimi, D-STATKOM'un tarafından üretilen/tüketilen reaktif akımı, şebeke gerilim - akımı için benzetim sonuçları verilmiştir.

D-Statkom

D-STATKOM; güç sistemine bir bağlantı transformatörü/endüktansı yardımı ile paralel bağlanan ve şebeke frekansında kapasitif ya da endüktif reaktif çıkış gücü üretebilen/tüketebilen güç elektroniği tabanlı bir kompanzasyon aygıtıdır. D-STATKOM'un çıkış reaktif gücü bağlantı noktasının geriliminden bağımsız bir şekilde denetlenebilir. Ayrıca D-STATKOM'un yüksek anahtarlama frekansında çalışabilme özelliğinden dolayı tristör tabanlı kompanzasyon cihazlarına göre sistemde meydana gelen değişmelere daha hızlı cevap verebilir (Sahoo ve ark.,2002).



Şekil 1. D-STATKOM'un devre modeli

Şekil 1'de şebekeye doğrudan bağlanabilen üç fazlı gerilim kaynaklı inverter tabanlı D-STATKOM gösterilmiştir. Bu devre yardımı ile D-STATKOM'un matematiksel modelini çıkarılabilir. Şekilden görüldüğü gibi D-STATKOM'un güç devresi; gerilim kaynaklı inverter, bu invertere DA-hat gerilimi sağlayan bir kondansatör (C), inverteri şebekeye bağlamak için bir bağlantı endüktansı (L_s) ve bu bağlantı endüktansının iç direncinden (R_s) meydana gelmektedir. Ayrıca anahtarlama ve DA-hat kondansatörlerinde meydana gelen aktif güç kayıpları, bu aktif gücü tüketecek DA-hat kondansatörlerine paralel bir dirençle (R_p) temsili olarak gösterilmiştir. Şekil 1'den, D-STATKOM'un AA tarafının matematiksel modeli aşağıdaki gibi elde edilebilir (Kittaya ve ark.,2012).

$$L_s \frac{di_{abc}}{dt} = -\frac{R_s}{L_s} i_d + \omega i_q + \frac{1}{L_s}(ku_d V_{dc} - V_{sd}) \quad \textbf{(1.1)}$$

İnverter anahtarları ideal varsayılıp D-STATKOM'un DA tarafının gücü AA tarafının gücüne eşit kabul edilirse, DSTATKOM'un DA tarafı için devre denklemi (1.2) ile gösterilebilir.

$$P_{DA} = P_{AA} \Rightarrow V_{dc} i_{dc} = V_{iabc}^T i_{abc} \quad \textbf{(1.2)}$$

(1.2)'de; V_{dc} D-STATKOM'un DA hat gerilimi, i_{abc} D-STATKOM'un çıkış AA akımları ve i_{dc} D-STATKOM'un DA tarafının akımıdır. Şekil 1'den i_{dc} (1.3)-(1.4)'teki gibi yazılabilir.

$$i_{dc} = i_c + i_{Rp} \tag{1.3}$$

$$V_{dc}(C_{dc}\frac{dV_{dc}}{dt} + \frac{V_{dc}}{R_p}) = V_{iabc}^T i_{abc} \tag{1.4}$$

D-STATKOM'un üç fazlı AA tarafının denklemleri dq-ekseninde aşağıdaki gibi elde edilir (Kittaya ve ark.,2012).

$$\frac{di_d}{dt} = -\frac{R_s}{L_s}i_d + \omega i_q + \frac{1}{L_s}(ku_d V_{dc} - V_{sd}) \tag{1.5}$$

$$\frac{di_q}{dt} = -\frac{R_s}{L_s}i_q + \omega i_d + \frac{1}{L_s}(ku_q V_{dc} - V_{sq}) \tag{1.6}$$

(1.5)-(1.6)'da; ω, AA sistemin açısal frekansı, ku_di_d ve ku_qi_q D-STATKOM'un AA tarafının dq-eksen gerilimleridir. D-STATKOM'un DA tarafının dq-ekseninde devre denklemi ise aşağıdaki gibi elde edilir.

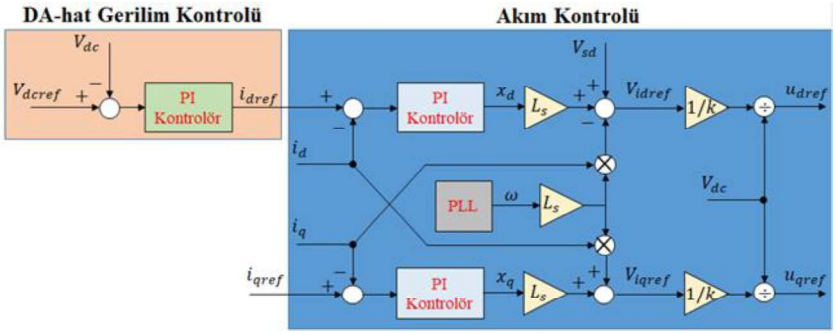
$$\frac{dV_{dc}}{dt} = -\frac{1}{R_p C_{dc}}V_{dc} - \frac{3}{2}\frac{1}{C_{dc}}ku_d i_d - \frac{3}{2}\frac{1}{C_{dc}}ku_q i_q \tag{0.1}$$

D-Statkom'un Kontrolü

D-STATKOM'un dinamik performansını inverter, pasif elemanlar, kontrol algoritması ve bu kontrol algoritmasında kullanılan kontrolör tipi belirler. Uygun tasarlanmayan bir denetleyici D-STATKOM'un dinamik ve statik performansının kötüleşmesine, bunun sonucunda yeterli reaktif gücü üretememesine ve hatta sistemin kararsız olmasına neden olabilir (Çöteli ve ark., 2018). İnverterin çıkış geriliminin temel bileşeninin genliği; DA-hat gerilimi, modülasyon indeksi ve şebeke gerilimi ile eviricinin çıkış geriliminin temel bileşeni arasındaki faz farkı ile kontrol edilebilir. İnverterin çıkış geriliminin temel bileşeninin genliği farklı yöntemlerle kontrol edilebildiği için D-STATKOM'un çıkış reaktif gücünün denetimi için de farklı yöntemler geliştirilmiştir. Önerilen yöntemler (Masand ve ark., 2008).

- DA-hat gerilimi sabit tutulup modülasyon indeksinin kontrolü,
- Modülasyon indeksini sabit tutulup DA-hat geriliminin kontrolü,
- Hem DA-hat geriliminin hem de modülasyon indeksinin kontrolü olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada D-STATKOM'un çıkış reaktif gücü, DA-hat gerilimi sabit tutulup modülasyon indeksi değiştirilerek kontrol edilmiştir. Bu kontrol yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir (Kittaya ve ark., 2012).

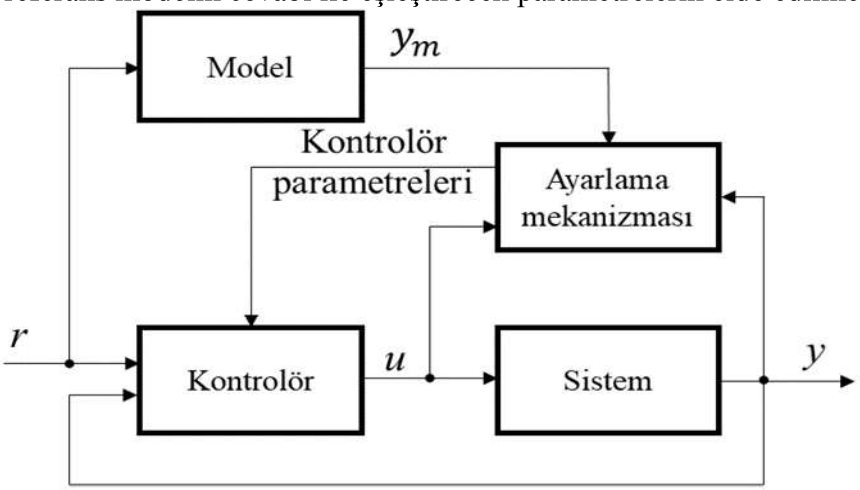


Şekil 2. D-STATKOM'un çıkış akımlarının dolaylı kontrolü

Şekil 2'den görüldüğü gibi, D-STATKOM kontrolü DA-hat geriliminin kontrolü ve dq-eksen akımlarının kontrolü olmak üzere iki döngüden oluşmaktadır. D-STATKOM'un çıkış akımları, çıkış gerilimi ile kontrol edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, D-STATKOM'un dq-eksen akımlarının kontrolü, aktif ve reaktif akım arasında kenetleme etkisi olan iki girişli iki çıkışlı bir sistemdir. D-STATKOM kontrol algoritması dış, orta ve iç seviye olmak üzere 3 kısımdan oluşur (Molina ve ark., 2006). Dış seviye kontrol, D-STATKOM ile güç sistemi arasındaki aktif güç (i_d*) ve reaktif güç (i_q*) akışının kontrolünden sorumludur. D-STATKOM ile şebeke arasındaki aktif güç değişimini sağlayan i_d* DA-hat gerilim kontrolörünün çıkışından elde edilir. Reaktif güç kontrolünü sağlayan i_q* ise D-STATKOM'un kullanım amacına göre iki şekilde elde edilebilir. Gerilim regülasyonu için kullanılan D-STATKOM'da, referans şebeke gerilimi ile ölçülen şebeke gerilimi karşılaştırılır ve hata bir kontrolöre girilerek i_q*elde edilir. Güç faktörü düzeltme amacı ile kullanılan D-STATKOM'da, yükün çektiği q-eksen akımının tersi i_q* olarak alınır. Orta seviye kontrolde, D-STATKOM'un akımlarının dış seviye kontrolden elde edilen referans değerlerini dinamik olarak takip etmesi sağlanır. İç seviye kontrolde ise, orta seviye kontrolden elde edilen kontrol sinyalleri kullanılarak inverter için anahtarlama sinyalleri üretilir. Özellikle dış ve orta seviye kontrol yapılarında Oransal + İntegral (PI) kontrolörler yaygın olarak kullanılmaktadır. PI kontrolörlerin parametreleri açık çevrim transfer fonksiyonunun parametrelerine bağlıdır.

Model Referans Uygulamalı Kontrol

Sonuç kısmında, makalenin/bildirinin en önemli önerileri ve sonuçların pratik uygulamalarına yönelik yazarın görüşleri özet bir şekilde belirtilmelidir. Çalışmanın sunmuş olduğu avantajlar detaylı olarak vurgulanmalıdır. Uyarlamalı kontrolde, sistem parametreleri bilinmiyorsa veya zamanla değişiyorsa kontrolörün sistemden istenilen davranışı gösterebilmesi için kontrolör parametreleri otomatik olarak güncellenir (Coman ve ark., 2013, Akmar ve ark., 2016). MRUS, uyarlamalı kontrolün ana yaklaşımlarından biridir ve Şekil 3'te genel blok diyagramı verilmiştir. Şekil 3'ten görüleceği gibi, MRUS dört kısımdan oluşur. Bu kısımlar bilinmeyen parametreler içeren bir sistem, kontrol sisteminin istenen çıkışını belirlemek için bir referans model, ayarlanabilir parametreler içeren bir geri besleme kontrol ve ayarlanabilir parametreleri güncellemek için bir uyarlama mekanizmasıdır. Sistemin çıkışı referans modelden istenen bir cevap ile karşılaştırılır. Kontrol parametreleri bu hataya göre güncellenir. Amaç, sistemin cevabının, referans modelin cevabı ile eşleştirecek parametrelerin elde edilmesidir.



Şekil 3. MRUS kontrol genel blok diyagram

Referans model, harici bir komuta uyarlamalı kontrol sisteminin ideal cevabını belirtmek için kullanılır. MRUS'ta parametreler eğim yöntemi ve kararlılık teorisi uygulama olmak üzere iki şekilde ayarlanmaktadır. Bu çalışmada parametrelerin ayarlanmasında MIT kuralı kullanılmıştır. Kapalı çevrim sistemde kontrolörün ayarlanabilir bir parametresi (θ) olduğu dikkate alınmalıdır (Coman ve ark., 2013, Akmar ve ark., 2016). MRUS'ta amaç uygunluk fonksiyonu J(θ)'yi minimize edecek şekilde θ'yı ayarlamaktır. Uygunluk fonksiyonu aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$J(\theta) = \frac{1}{2}e \qquad \textbf{(1.8)}$$

J'nin küçük olması gerektiğinden, (1.9)'da verildiği gibi J'yi kullanarak parametreleri negatif eğim yönünde değiştirmek gerekir. Bu denklem MIT kuralı olarak bilinir (Coman ve ark.,2013; Akmar ve ark., 2016).

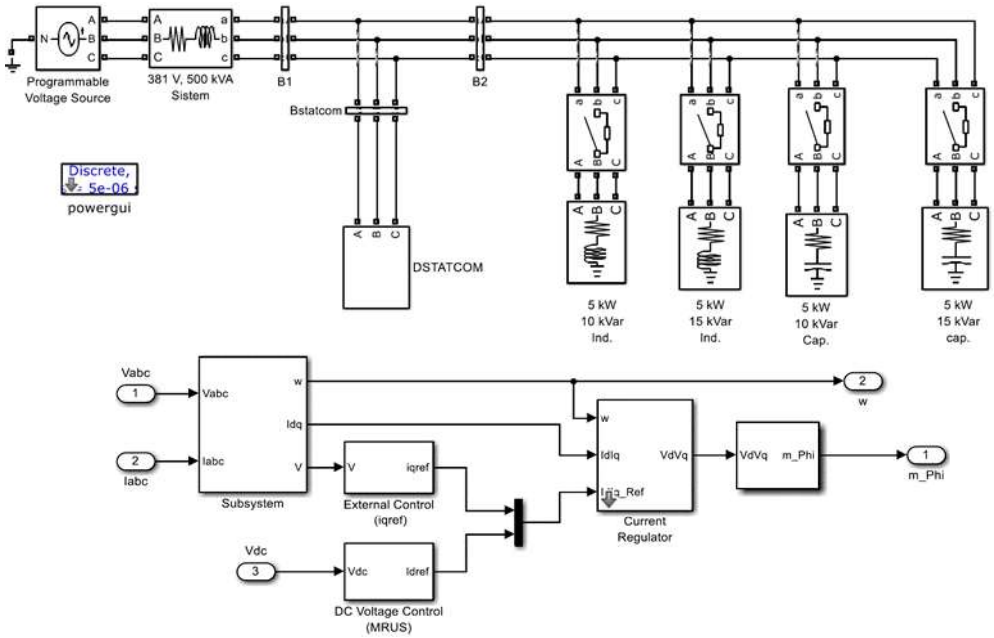
$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma\frac{\partial J}{\partial \theta} = -\gamma\frac{\partial e}{\partial \theta} \qquad \textbf{(0.2)}$$

(1.9)'da; e sistemin çıkışı y(t) ile referans model çıkışı $y_m(t)$ arasındaki hatayı, θ kontrolör parametresi ve γ adaptasyon kazancıdır. Eğer uygunluk fonksiyonu J(θ)=|e| seçilmesi durumunda ayarlama kuralı (10) ile gösterildiği gibi hesaplanır (Coman ve ark., 2013 ; Akmar ve ark., 2016).

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \theta} = -\gamma \frac{\partial e}{\partial \theta} sign(e) \qquad \textbf{(0.3)}$$

Benzetim Sonuçları

Bu makalede, bir güç sisteminde gerilim regülasyonu ve güç faktörü düzeltme amaçları için kullanılan D-STATKOM'un DA-hat geriliminin kontrolü MRUS ile gerçekleştirilmiştir. Kontrol yapısında bulunan referans model 1. dereceden transfer fonksiyonu seçilmiştir. Matlab/Simulink'te oluşturulan benzetim modeli Şekil 4'te gösterilmiştir. Benzetim modelinde kullanılan parametreler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 4. Matlab/Simulink'te oluşturulan benzetim modeli

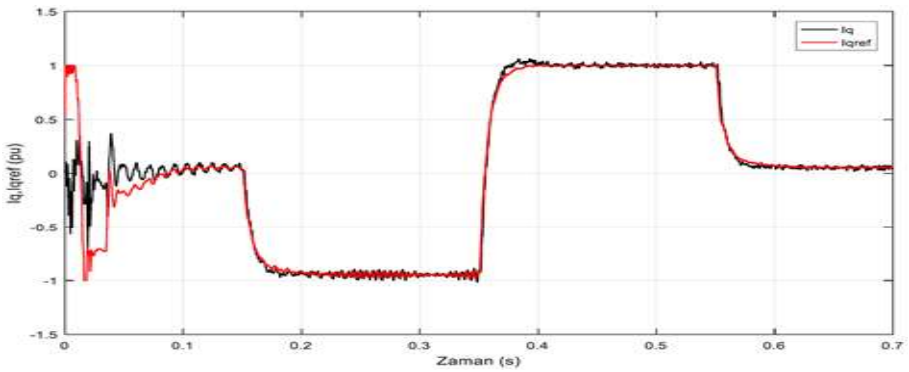
AA şebeke gerilimi-frekansı	380 V-50 Hz
Bağlantı endüktansı	2.89 mH
Bağlantı endüktansının iç direnci	0.1 ohm
Referans DA-hat gerilimi	375 V
DA-hat kondansatörü	3.3 mF
Anahtarlama frekansı	2 kHz
Örnekleme süresi	5 us

Çizelge 1. Benzetim Çalışmasında Kullanılan Parametreler

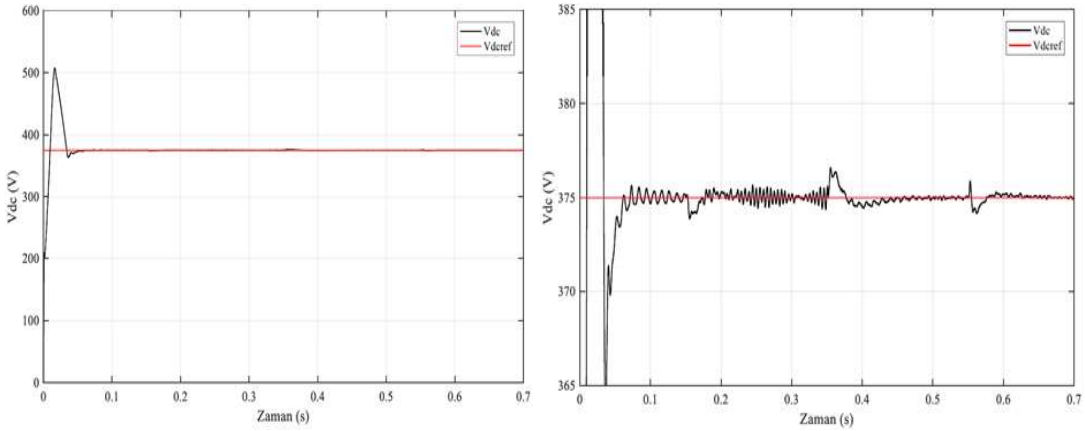
Benzetim çalışmasında D-STATKOM'un dinamik performansı iki senaryo için değerlendirilmiştir. Birinci senaryoda D-STATKOM gerilim regülasyonu modunda çalıştırılmış ve bağlantı noktasının gerilimi nominal değerinden yüksek ve düşük olması durumlarında D-STATKOM'un bağlantı noktasının gerilimini referans değerde tutma başarımı incelenmiştir. İkinci senaryoda D-STATKOM güç faktörü düzeltme modunda çalıştırılmış ve şebekeye başlangıçta 5 kW omik, 10 kVAR endüktif yük

bağlanmıştır. Daha sonra endüktif yük artırılarak toplamda 25 kVAR'a çıkarılmıştır. Son olarak endüktif yükler devreden çıkarılmış ve aynı anda 5 kW omik, 10 kVAR kapasitif yük şebekeye bağlanmış ve belirli bir süre sonra toplam kapasitif yük 25 kVAR'a çıkarılmıştır. Bu senaryoda şebekenin birim güç faktöründe çalışıp çalışmadığı gözlemlenmiştir. Her iki çalışma modu için DA-hat gerilimi MRUS ile kontrol edilen D-STATKOM'un dinamik performansı incelenmiştir.

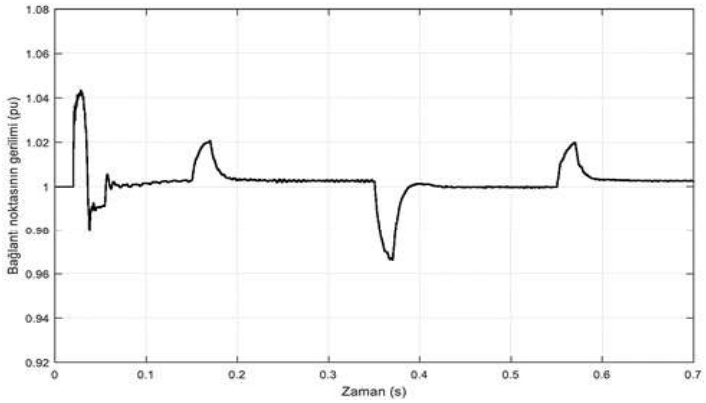
Birinci senaryoda D-STATKOM gerilim regülasyonu modunda çalıştırılmıştır. Benzetim çalışmasında, D-STATKOM'un bağlı olduğu noktanın gerilimi 0.15-0.35 s aralığında nominal değerinin %105'ine ve 0.35-0.55 sn aralığında nominal değerinin % 95'ine ayarlanmıştır. 0.55 sn'den sonra bağlantı noktasının gerilimi nominal değerine ayarlanmıştır. Bu çalışma şartları altında D-STATKOM'un dinamik performansını gösteren reaktif akım ve DA-hat gerilim izleme başarımı, şebeke geriliminin değişimini gösteren benzetim sonuçları Şekil 5-8'de verilmiştir. Şekil 5'ten görüleceği gibi D-STATKOM bağlantı noktasının gerilimini referans değerinde tutabilmek için gerekli reaktif akımı sağlamaktadır. D-STATKOM tarafından üretilen reaktif akım referans değerini hatasız izlediği Şekil 5'ten görülmektedir.



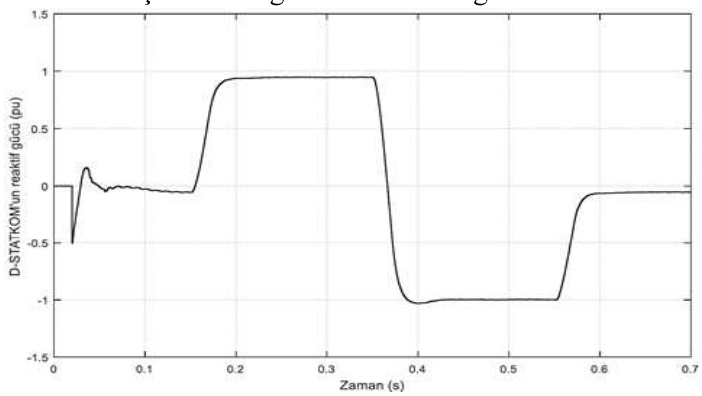
Şekil 5. D-STATKOM'un reaktif akımının referans değerini izleme başarımı



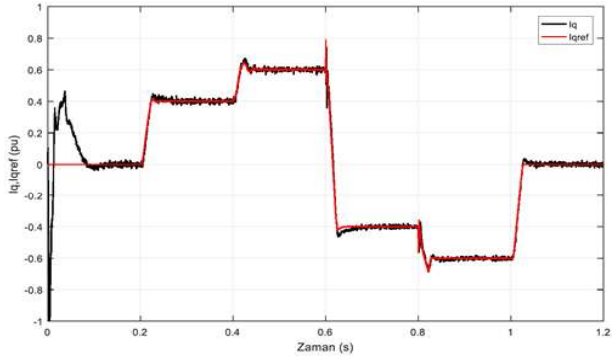
Şekil 6. Gerilim regülasyonu modunda çalışan D-STATKOM'un DA-hat geriliminin değişimi



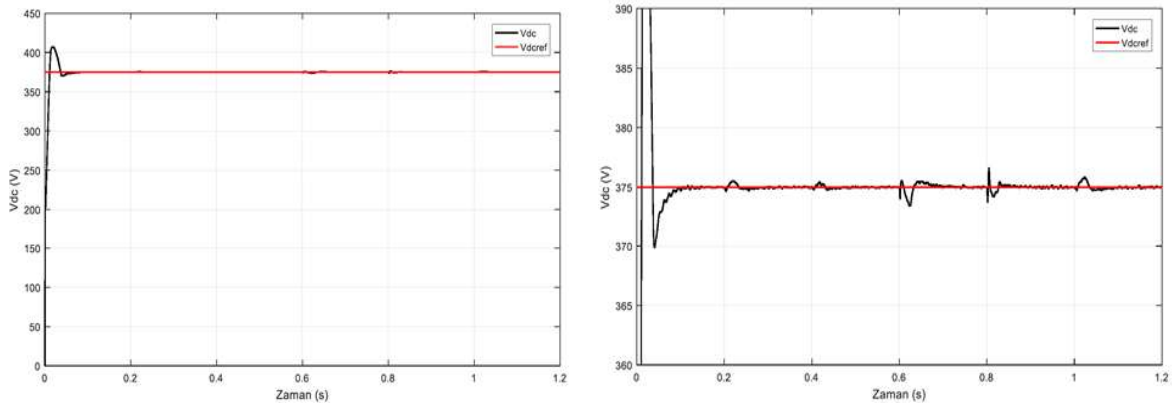
Şekil 7. Bağlantı noktasının gerilimi



Şekil 8. D-STATKOM tarafından üretilen/tüketilen reaktif güç



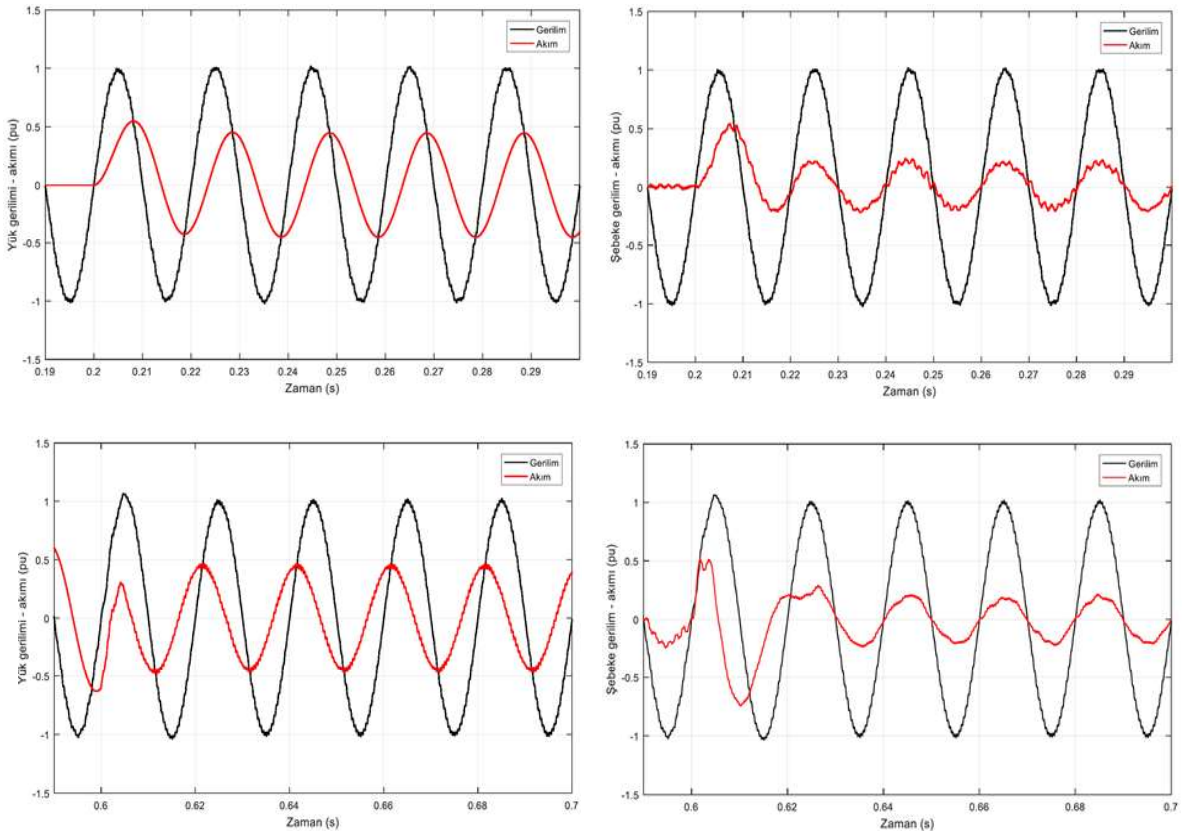
Şekil 9. D-STATKOM tarafından üretilen/tüketilen reaktif akımın referans değerini izleme başarımı



Şekil 10. D-STATKOM'un DA-hat geriliminin referans değerini izleme başarımı

D-STATKOM'un istenilen reaktif akımı sağlayabilmesi için inverter çıkış geriliminin uygun şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. D-STATKOM'un kontrolünde tercih edilen yöntemde, D-STATKOM'un DA-hat gerilimi sabit tutulup inverter çıkış gerilimi modülasyon indeksi ile değiştirilmektedir. Bu nedenle, güç sisteminde çalışma şartlarının değişmesi durumunda D-STATKOM'un DA-hat geriliminin sabit tutulması önemlidir. Şekil 6'da, şebeke gerilimindeki değişmelere karşı D-STATKOM'un DA-hat geriliminin değişimi gösterilmiştir.

D-STATKOM'un DA-hat gerilimi şebeke geriliminin artması/azalması durumunda referans değeri izlemeyi başarmıştır. Gerilim regülasyonu modunda bağlantı noktasının gerilimi 381 V'ta sabit tutulmaya çalışılmıştır. 381 V gerilim değeri 1 per unit (pu) kabul edilmiş ve Şekil 7'de bağlantı noktasının geriliminin değişimi pu cinsinden gösterilmiştir. Şekilden, bağlantı noktasının geriliminin yaklaşık 381 V'ta tutulduğu görülmektedir. Bağlantı noktasının gerilimini referans değerinde tutabilmek için D-STATKOM tarafından üretilen/tüketilen reaktif güç Şekil 8'de gösterilmiştir. Gerilim yükseldiği zaman D-STATKOM endüktif reaktif güç, tersi durumda da kapasitif reaktif güç sağlamıştır.



Şekil 11. Şebeke ile yük gerilimi-akımı arasındaki ilişki

İkinci senaryoda, 0.2 s'ye kadar şebekeye herhangi bir yükün bağlı olmadığı, 0.2-0.4 s aralığında 5 kW omik-10 kVAR endüktif yükün, 0.4-0.6 sn aralığında toplamda 10 kW omik - 25 kVAR endüktif yükün şebekeye bağlı olduğu düşünülmüştür. Son olarak 0.6 s'de tüm endüktif yükler devreden çıkarılmış ve 0.6-0.8 s arasında 5 kW omik-10 kVAR kapasitif yük şebekeye bağlanmış ve 0.8-1 s aralığında 5 kW omik - 15 kVAR kapasitif yük daha devreye alınarak toplam 10 kW omik-25 kVAR kapasitif yük şebekeye bağlanmıştır. 1 s'den sonra tüm yükler devreden çıkarılmıştır. Bu yük şartları altında D-

STATKOM'un dinamik performansı reaktif akım ve DA-hat gerilim izleme başarımı ve şebekenin birim güç faktöründe çalışması açısından incelenmiştir. İkinci senaryona ilişkin benzetim sonuçları Şekil 9-11'de verilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü gibi, güç sistemine endüktif yük(ler) bağlı iken D-STATKOM kapasitif reaktif akım, tersi durumda da endüktif reaktif akım desteği sağlamakta ve D-STATKOM tarafından üretilen/tüketilen reaktif akımın referans değerini hatasız izlemektedir. Bu çalışma şartları altında, D-STATKOM'un DA-hat gerilimi de referans değerini izlediği Şekil 10'da görülmektedir. İkinci senaryoda yük gerilimi-akımı ve şebeke gerilimi-akımı arasındaki ilişki bazı zaman aralıkları için Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi şebeke yaklaşık olarak birim güç faktöründedir.

Sonuçlar

Bu makalede, bir güç sisteminde gerilim regülasyonu ve güç faktörü düzeltme amaçları için kullanılan D-STATKOM'un DA-hat gerilimi MRUS ile kontrol edilmiştir. Bu amaçla, istenen DA-hat gerilim cevabını verecek birinci dereceden bir transfer fonksiyonuna sahip referans model kullanılmıştır. MRUS'un parametre ayarlama mekanizması için MIT kuralı (eğim yöntemi) tercih edilmiştir. Gerilim regülasyonu ve güç faktörü düzeltme görevlerinin her biri için MRUS kullanılarak DA-hat gerilimi kontrol edilen D-STATKOM'un performansı, Matlab/Simulink'te oluşturulan benzetim modeli yardımı ile test edilmiştir. Gerilim regülasyonu modunda, şebeke geriliminde meydana gelen değişmelere karşı D-STATKOM'un şebeke gerilimini referansta tutma, güç faktörü düzeltme modunda ise D-STATKOM'un farklı yük şartlarında şebekenin birim güç faktöründe çalışmasını sağlama başarımı gözlemlenmiştir. Farklı çalışma şartlar altında benzetim modelinden elde edilen D-STATKOM'un DA-hat geriliminin ve reaktif akımının referansı izleme başarımı incelenmiştir. Benzetim sonuçlarından, her iki çalışma modunda D-STATKOM'un dinamik performansının tatmin edici olduğu görülmektedir.

Kaynaklar

Akmar M.A., Naniwa T., Taniai Y., 2016. Model Reference Adaptive Control for DC motor based on Simulink, 6th International Annual Engineering Seminar (InAES),Yogyakarta/ Indonesia.

Blasko V., Kaura V., 1997. A new mathematical model and control of a three-phase AC-DC voltage source converter, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 12, pp. 116-123.

Chen W.L., Liang W.G., Gau H.S., 2010. Design of a mode decoupling STATCOM for voltage control of wind-driven induction generator systems, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 25, pp. 1758-1767.

Coman S., Boldisor Cr., 2013. Model reference adaptive control for a DC electrical drive, Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Vol. 6, pp. 33-39.

Çöteli R., Açıkgöz H., Dandıl B., Tuncer S., 2018. Real-time implementation of three-level inverter based D-STATCOM using neuro-fuzzy controller, Turk J Elec Eng Comp Sci, vol. 26 pp. 2088-2103.

Ghosh A., Ledwich G., 2012. Power quality enhancement using custom power devices, Springer Science.

Hingorani N.G., Gyugyi L., 2000. Chapter 5: Static Shunt Compensators: SVC and STATCOM, Understanding FACTS: concepts and technology of flexible AC transmission systems, ISBN: 0-7803-3455-8,IEEE Press, pp.135-207.

Hingorani N.G., 1993. High Power Electronics and Flexible AC Transmission System, IEEE Spectrum, Vol. 30, pp. 40-45.

Jafarian P., Bina M.T., 2010. State-feedback current control of VSI-based D-STATCOM for load compensation, 9th International Conference on Environment and Electrical Engineering , Prague/ Czech Republic.

Kersting W.H., 2001. Distribution system modeling and analysis, CRC Press.

Lehn P.W., Iravani M.R.,1998. Experimental evaluation of STATCOM closed loop dynamics, IEEE transactions on Power Delivery, Vol. 13, pp. 1378-1384.

Li S., Xu L., Haskew T.A., 2013. Control of VSC-based STATCOM using conventional and direct-current vector control strategies, International Journal of Electrical Power-Energy Systems, Vol. 45, pp. 175-186.

Maryam S., Nikkhajoei H., Iravani R., 2007. A space vector modulated STATCOM based on a three-level neutral point clamped converter, IEEE transactions on Power Delivery, Vol. 22, pp.1029-1039.

Masand D., Jain S., Agnihotri G., 2008. Control Strategies for Distribution Static Compensator for Power Quality Improvement, IETE Journal of Research, Vol. 54, pp. 421-428.
Molina M., Mercado P.E., 2006. Control Design and Simulation of DSTATCOM with Energy Storage for Power Quality Improvements, IEEE/PES Transmission-Distribution Conference and Exposition, Caracas/ Venezuela.
Saber B., Abdelkader B., Said B., Mansour B., 2017. Integral sliding mode control of four-leg DSTATCOM coupled with SMES unit, 5th International Conference on Electrical Engineering, Boumerdes/ Algeria.
Sahoo N.C., Panigrahi B.K., Dash P.K., Panda G., 2002 Application of a multivariable feedback linearization scheme for STATCOM control, Electric Power Systems Research, Vol. 62, pp. 81-91.