

DEĞİŞKEN SİĞAÇ GERİLİMLİ PARALEL ETKİN GÜÇ SÜZGEÇİ

Hasan DİRİK, Muammer ÖZDEMİR

Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Ondokuzmayıs Üniversitesi

hasan_dirik@hotmail.com, ozdemirm@omu.edu.tr

Özet

Etkin güç süzgeçleri elektrik güç sistemlerindeki yüklerin değişken doğası nedeniyle kendileri de değişkenlik göstermek zorundadır. Bu çalışmada, etkin güç süzgeçlerinde kullanılan klasik sabit değerli d.a. taraflı sığaç gerilimi yerine yüke bağlı olarak değeri değişen yeni bir biçimi kullanılarak çalışma performansının artırılması amaçlanmıştır. Burada önerilen yapıda referans akım çıkarım yöntemi olarak anlık tepkin güç algoritması ve akım denetleyici olarak da histerezis akım denetimi yöntemi kullanılmıştır. Süzgecin referans sığaç gerilimi değeri yükün kompanze edilmesi gereken akım değeri üzerinden hesaplanmıştır. Bu çalışmada karşılaştırma amacıyla biri sabit ve diğeri de değişken sığaç gerilimli iki paralel etkin güç süzgeci Matlab/Simulink ortamında tasarlanarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim sonuçları tasarlanan yapının anahtarlama frekansı ve THD değerlerinde önemli oranda iyileştirmeler sağladığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Etkin Güç süzgeci, Değişken sığaç gerilimi, anlık tepkin güç algoritması, histerezis akım denetimi

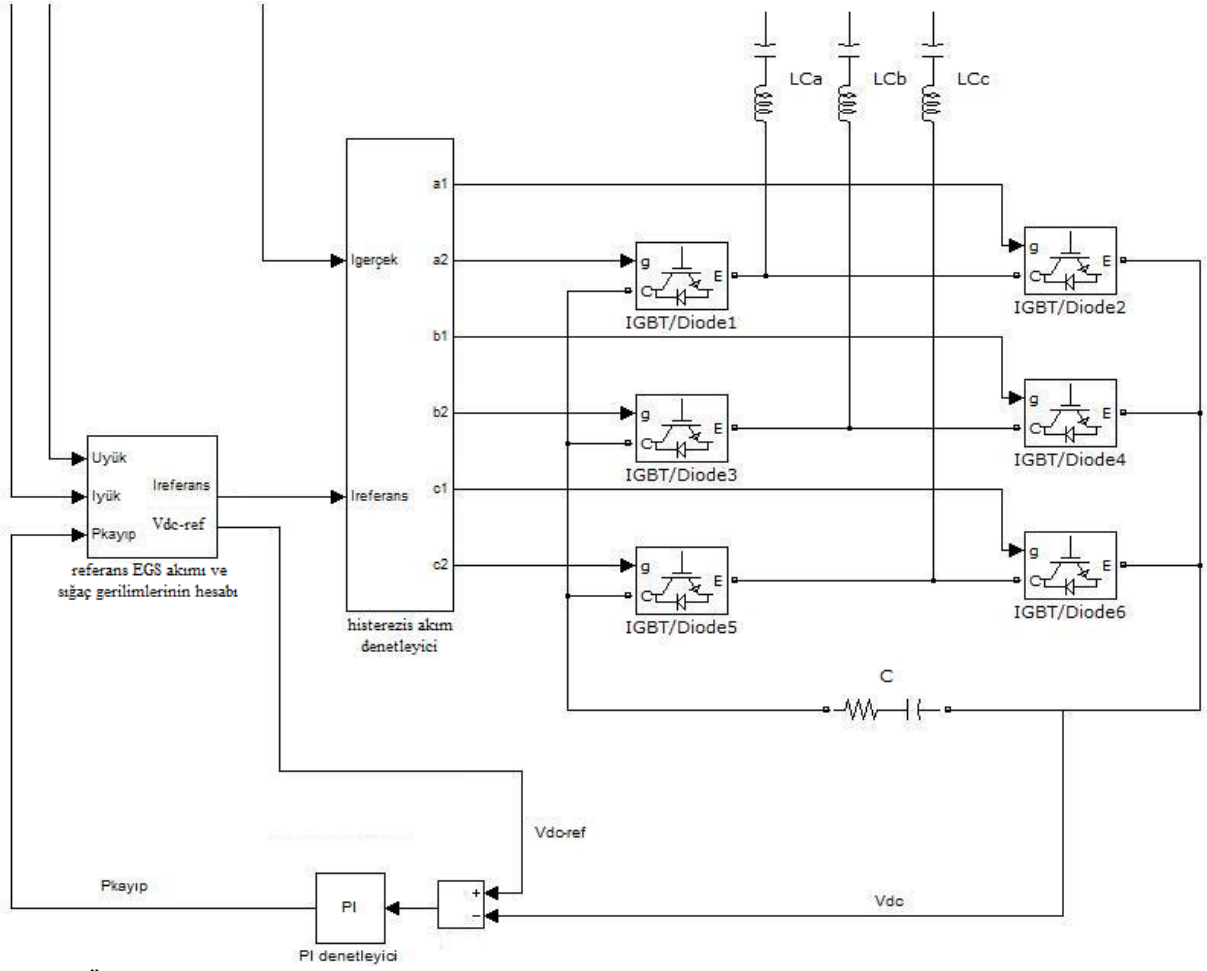
1. Giriş

Tepkin güç, çoğu yükün çekmek zorunda olduğu ve aslında bir işe dönüşmeyen güç türüdür. Bu gücün şebeke yerine yerel tesisler vasıtasıyla sağlanması mümkündür. Sığaç grupları, senkron makineler ve çeşitli FACTS yapıları bu gücü sağlamak için kullanılabilecek alternatifleri oluşturmaktadır. Tepkin güç kompanzasyonu, şebeke kararlılığı, kayıpları ve diğer bazı ekonomik nedenlerden dolayı yük tarafında yapılması oldukça gerekli olan işlemlerden biridir. Bu amaçla gücü belli değeri aşan büyük tüketicilerin şebekeden daha az tepkin güç çekmesini sağlamak amacıyla bazı yasal yaptırımlar ortaya konulmuştur. EPDK tarafından hazırlanan *elektrik iletim sistemi arz güvenilirliği ve kalitesi yönetmeliği*'ne göre tüketicilerin aylık bazda harcamış olduğu endüktif tepkin enerjinin etkin enerjiye oranının %20'yi ve kapasitif tepkin enerjinin etkin enerjiye oranının %15'i geçmemesi istenmektedir. Bu oranların aşılması durumunda dağıtım şirketleri tarafından tüketicilere tepkin enerji bedelinin fatura edileceği bildirilmiştir.[1]

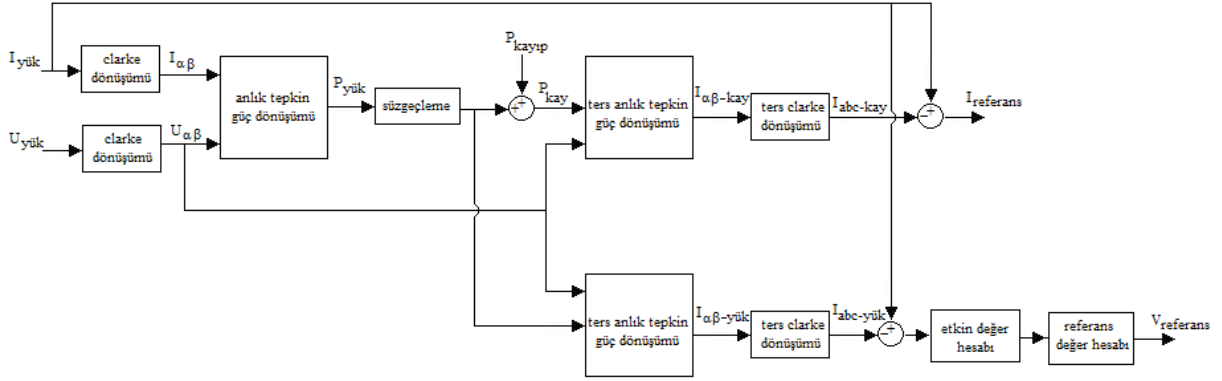
Dağıtım sistemlerinde karşılaşılan güç kalitesizliklerinden biri de doğrusal olmayan yüklerin neden olduğu akım harmonikleridir. Şebekeden çekilecek harmonikli akımlar hem şebeke elemanlarının hem de aynı şebekeden beslenen diğer yüklerin zarar görmesine, kayıplarının artmasına ve istenilmeyen çalışma biçimlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Dağıtım şebekesindeki yüklerin tepkin gücünü ve harmonik akımlarını karşılamak amacıyla son yıllarda üzerinde en çok çalışılan ve öne çıkan yapılardan biri etkin güç süzgeçleridir (EGS). EGSlerin çalışma performansı denetim yapılarında kullanılan referans akımı çıkarım yöntemlerine, anahtarlama biçimlerine ve evirici yapılarına oldukça bağlıdır. Kullanılan başlıca referans akım çıkarım yöntemleri FFT tabanlı yöntemler, anlık tepkin güç yöntemleri (pq yöntemi), senkron referans düzlemi yöntemi (dq yöntemi), süzgeçleme yöntemleri ve yapay sinir ağı yöntemleridir.[2]

Bu çalışmada, biri sabit referanslı sığaç gerilimine ve diğeri de değişken referanslı sığaç gerilimine sahip iki paralel EGS tasarlanmıştır. Sabit referanslı sığaç gerilimi literatürde hemen hemen bütün EGS yapılarında kullanılan biçimdir. Bu yapılar değişken yük koşulları altında her çalışma noktası için aynı THD ve anahtarlama frekansı cevabı ile çalışmazlar. Bunun temel nedeni EGS sığaç geriliminin yalnızca bir çalışma noktası için belirlenmiş olmasından ileri gelir. Bu yüzden burada sığaç geriliminin yüke bağlı olarak değiştirilmesi amaçlanmıştır. Paralel EGSler için referans akımı çıkarım yöntemi olarak basit yapısı, PLL gerektirmemesi ve yeterli cevabı nedeniyle anlık tepkin güç yöntemi kullanılmıştır. Burada önerilen değişken sığaç gerilimli paralel EGSnin genel yapısı şekil 1'de verildiği gibidir. Bu yapı 3-fazlı 3-telli yükler için kullanılan en yaygın yapıdır. Burada, yüksek genlikli EGS 3. harmonik akımlarının geçişini kolaylaştırmak için çıkış süzgeci olarak 150 Hz rezonansa ayarlı bir LC pasif süzgeci kullanılmıştır. EGS akımı histerezis akım denetimi kullanılarak yapılan anahtarlama ile elde edilmiştir. Değişken sığaç gerilimli paralel EGSnin referans sığaç gerilimi kompanze edilen yük akımı kullanılarak elde edilmiştir. Bu gerilim gerçek sığaç gerilimi ile karşılaştırılarak EGSnin kayıp gücü bulunmaktadır.



Şekil 1. Önerilen değişken sığaç gerimli paralel EGSnin genel yapısı



Şekil 2. Referans EGS akımı ve sığaç gerilimi çıkarım şeması

2. Anlık Tepkin Güç Yöntemi

Anlık tepkin güç algoritması doğrusal olmayan ve tepkin güç çeken yüklerin güçlerini zaman domeninde anlık olarak hesaplamaya yarayan bir yöntemdir. Bu yöntem hem sürekli durumda hem de geçici durumlarda 3-fazlı yüklerin etkin güç, tepkin güç ve harmoniklerin oluşturduğu bozucu güçleri iyi bir şekilde ayrıştırabilmektedir. Bu yöntemde 3 fazlı gerilim ve akımlar öncelikle abc düzleminden $\alpha\beta 0$ düzlemine dönüştürülür. Bu dönüşüm işlemi için

Clarke dönüşüm yöntemi kullanılmaktadır. Clarke dönüşümü için kullanılan eşitlikler,

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

biçimindedir. 3-fazlı 3-telli sistemlerde nötr akımı sıfır olduğundan Clarke dönüşümündeki 0 bileşenlerin değeri de sıfır olmaktadır. Bu yüzden bu bileşenlerin hesaplanmasına gerek yoktur. Clarke dönüşümü ile hesaplanan akım ve gerilimler sırasıyla

$$V = V_{\alpha} + jV_{\beta} \quad (2)$$

$$I = I_{\alpha} + jI_{\beta} \quad (3)$$

biçimindedir. Bu değerler

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{\alpha} & V_{\beta} \\ V_{\beta} & V_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{\alpha} \\ I_{\beta} \end{bmatrix} \quad (4)$$

ile verilen anlık güç eşitliklerinde kullanılarak yükün etkin ve tepkin güçlerinin anlık değerleri bulunmaktadır. Gerilim veya akımın harmonikli olması durumunda p ve q değerleri salınımlı değişim gösterecektir. Salınımsız p ve q değerleri bu değerlerin bir tam periyot boyunca ortalama değeri alınarak hesaplanabilmektedir. Yükün her bir fazına ait etkin akım bileşenleri ters dönüşümler kullanılarak bulunabilmektedir. Hesaplanan güç değerlerinden tekrar akım değerlerine geçmek için kullanılacak ters anlık tepkin güç ve ters Clarke dönüşümleri sırasıyla

$$\begin{bmatrix} I_{\alpha} \\ I_{\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{V_{\alpha}^2 + V_{\beta}^2} \begin{bmatrix} V_{\alpha} & -V_{\beta} \\ V_{\beta} & V_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_{\alpha} \\ I_{\beta} \end{bmatrix} \quad (6)$$

eşitlikleri ile verilmektedir. [3]

Burada, benzetimlerde kullanılan her iki EGS yapısında aynı referans akım çıkarım yöntemi kullanılmıştır.

3. Referans Sığaç Geriliminin Bulunması

Önerilen değişken sığaç gerilimli EGSnin referans sığaç gerilimi yüke uygun olarak değiştirilmektedir. Yükün tepkin güç talebi ve harmonik akım genlikleri arttıkça EGSnin vermesi gereken akım değeri de artacaktır. EGSde yüksek genlikli akımların elde edilmesi sığaç ile şebeke gerilimleri arasındaki farkın arttırılmasıyla mümkün görünmektedir. Bu işlem ancak sığaç geriliminin arttırılmasıyla yapılabilir. Yükün kompanze edilmesi gereken akımı harmonikli bir akım olduğundan bu akımın büyüklüğünün ölçüsü

olarak bir tam periyot boyunca hesaplanan etkin değeri kullanılmıştır. Bir periyot boyunca alınan N adet akım örnekleme değeri üzerinden bu akımın etkin değeri,

$$I_{\text{egs}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [i_{\text{egs}}(k)]^2} \quad (7)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Bulunan etkin akım değeri

$$V_{\text{dc-ref}} = V_{\text{abc}} + X \cdot I_{\text{egs}} \quad (8)$$

eşitliğinde kullanılarak referans (olması gereken) sığaç gerilimi hesaplanmaktadır. Bu eşitlikteki V_{abc} şebeke faz-nötr arası gerilimini ve X ise EGS çıkışındaki LC pasif süzgecinin etkin reaktansını göstermektedir. Benzetim çalışmalarında bu değerler sırasıyla 220V ve 24Ω olarak alınmıştır. (Şekil 2)

EGS sığaç geriliminin denetimi bulunan referans sığaç gerilimi ile gerçek sığaç geriliminin karşılaştırılması ile yapılmaktadır. Gerçek sığaç gerilimi ile referans sığaç gerilimi arasındaki fark bir PI denetleyiciye verilerek EGS kayıp gücü hesaplanmaktadır. Bu güç anlık tepkin güç yönteminde elde edilen etkin güce eklenerek EGSnin bağlı olduğu şebekeden çektiği etkin güç değiştirilmekte ve böylece sığaç geriliminin istenilen seviyede olması sağlanmaktadır. [4]

4. Benzetim Çalışmaları

Önerilen değişken sığaç gerilimli EGS yapısı ve aynı özelliklere sahip fakat sığaç gerilimi sabit tutulan EGS yapısının Matlab/Simulink ortamında aynı koşullar altında benzetimi yapılmıştır. Benzetimde kullanılan yükün a fazı gerilim ve akımları

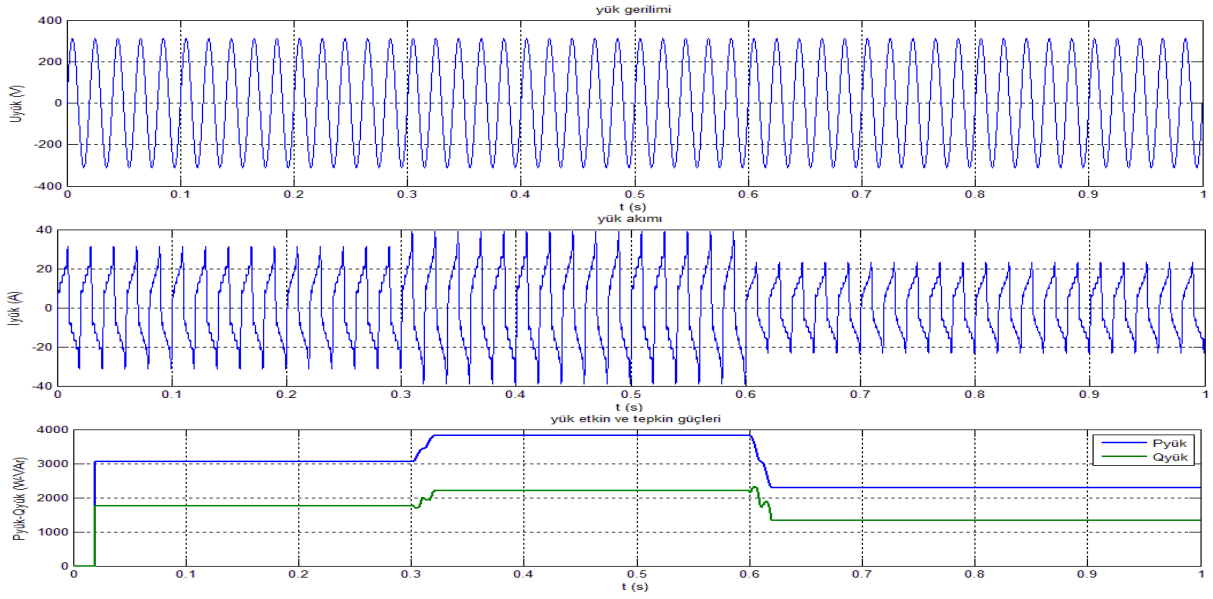
$$U_a(t) = U_m \sin(\omega t) \quad (9)$$

$$I_a(t) = I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{6}) + \frac{I_m}{3} \sin(3\omega t - \frac{\pi}{6}) + \frac{I_m}{5} \sin(5\omega t - \frac{\pi}{6}) + \frac{I_m}{7} \sin(7\omega t - \frac{\pi}{6}) + \frac{I_m}{9} \sin(9\omega t - \frac{\pi}{6}) \quad (10)$$

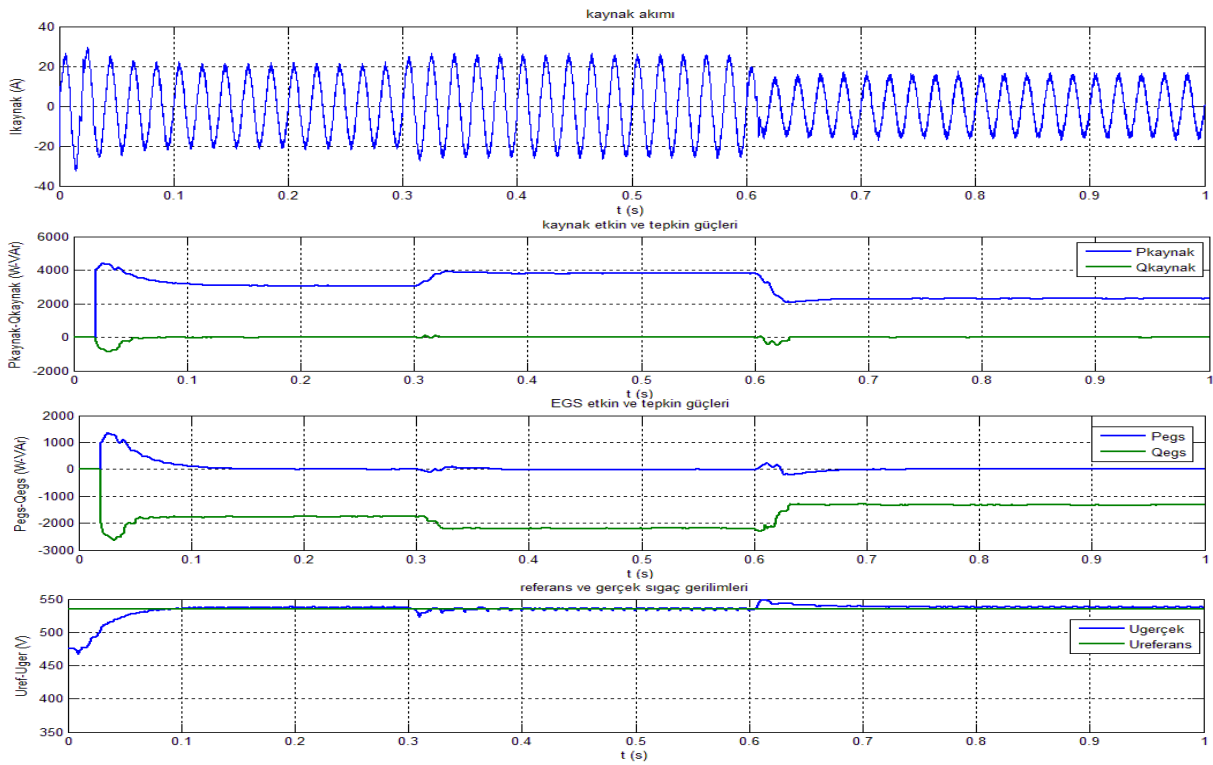
biçiminde olup diğer iki faz için bu akım ve gerilimlerin 120°'er derece faz kaydırılmış biçimleri kullanılmıştır. Burada $U_m = \sqrt{2} \cdot 220V$, $I_m = \sqrt{2} \cdot 16A$ ve $\omega = 100\pi \text{ rad/s}$ olarak alınmıştır. Benzetim çalışmaları her iki EGS yapısı için 1'er saniyelik zaman aralığında yapılmıştır. Yapılan benzetimlerin 0-0,3s aralığında nominal yük kullanılırken 0,3-0,6s aralığında yük akımı %25

oranında arttırılmış ve 0,6-1s zaman aralığında ise yük akımı nominal değerinin %75'ine indirilmiştir. Benzetim sonucunda elde edilen yük gerilim, akım ve güçlerinin değişimi Şekil 3'te verilmiştir.

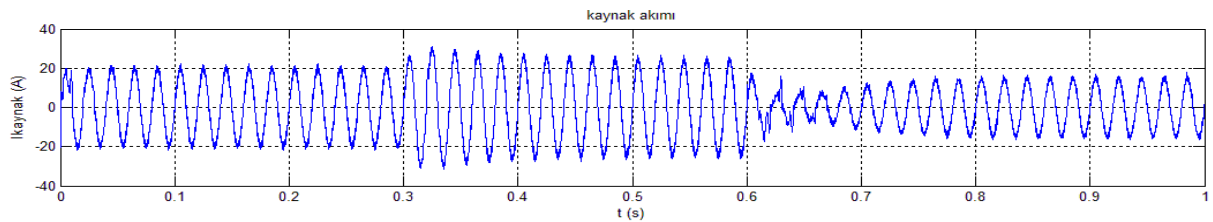
Sabit ve değişken sığaç gerilimli EGSler için elde edilen kaynak ve EGS tarafı güçleri, EGS akım ve sığaç gerilimlerinin değişimleri de sırasıyla Şekil 4 ve 5'te verilmiştir.



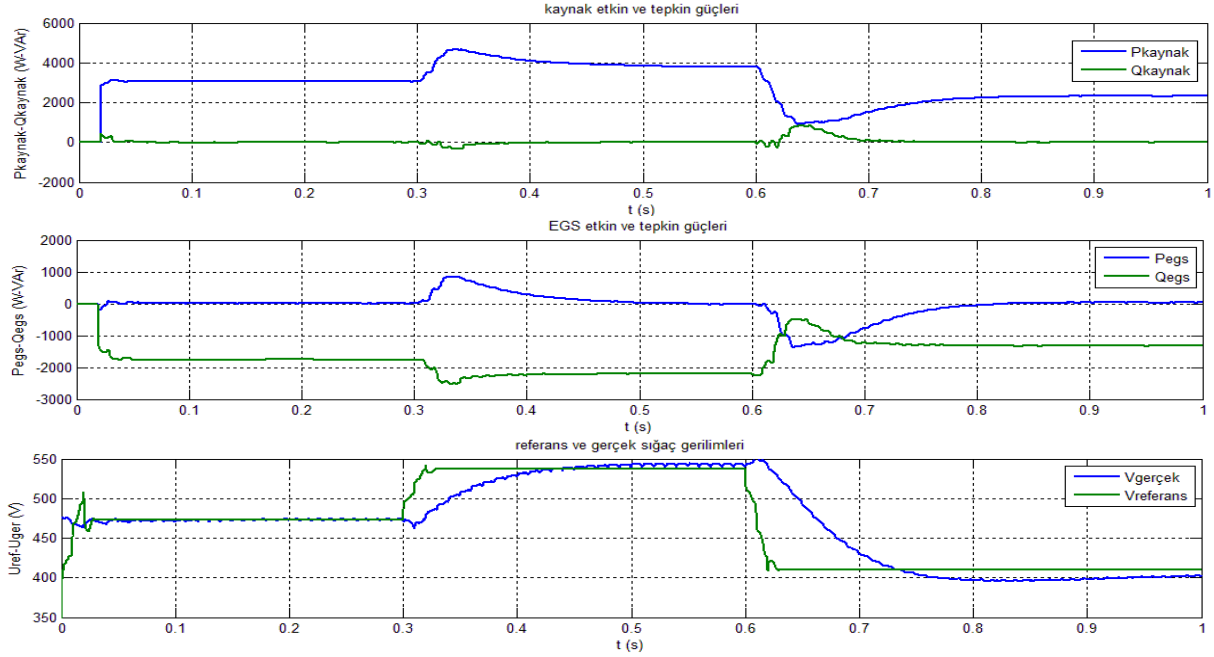
Şekil 3. Benzetimlerde kullanılan yükün a fazına ait gerilim, akım ve güçlerin değişimleri



Şekil 4. Sabit sığaç gerilimli EGS ile yapılan benzetimde elde edilen sonuçlar



Şekil 5. Değişken sığaç gerilimli EGS ile yapılan benzetimde elde edilen sonuçlar



Şekil 5(devamı). Değişken sığaç gerilimli EGS ile yapılan benzetimde elde edilen sonuçlar

Benzetimlerden elde edilen sonuçlara bakıldığında yük tepkin gücünün her iki yapı için kaynak tarafında sıfırlandığı görülmektedir. Gerçek sığaç gerilimlerinin her iki yapı için her yük değişiminde geçici sapmalar yaptığı fakat bu sapmanın değişken sığaç gerilimli EGS için daha uzun süreli olduğu görülmektedir. Bunun temel nedeni kullanılan PI denetleyicinin sabit katsayılarla sahip olmasından ileri gelmektedir. Uyarlamalı bir denetleyici ile değişken sığaç gerilimli EGSnin geçici kararlılık cevabı daha da iyileştirilerek oturma zamanı daha da kısaltılabilir.

Değişken sığaç gerilimli EGSnin sabit sığaç gerilimliye göre üstünlükleri anahtarlama frekansı ve elde edilen kaynak tarafı akımlarının toplam harmonik bozunum (THD) değerlerinde öne çıkmaktadır. Elde edilen THD ve anahtarlama frekansı sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çizelgedeki THD değerleri yükün farklı değerler aldığı ve kaynak akımının kararlı hale geldiği zaman bölgelerindeki THD değerleridir. Anahtarlama frekansları ise 1 saniyelik benzetimde elde edilen ortalama anahtarlama sayısıdır.

Çizelge 1. Benzetimlerden elde edilen THD ve anahtarlama frekansı sonuçları

	THD (%)			anahtarlama frekansı (kHz)
	1. bölge	2. bölge	3. bölge	
sabit sığaç gerilimli EGS	3,76	3,52	4	3,09
değişken sığaç gerilimli EGS	3,72	3,31	3,25	2,77

Çizelgedeki THD değerleri, önerilen yapı ile daha düzgün akım dalga biçimlerinin elde edilebileceğini ve anahtarlama frekansına bağlı olarak anahtarlama kayıplarının azaltılabileceğini göstermektedir.

5. Sonuçlar

Benzetim yoluyla elde edilen sonuçlara göre geleneksel sabit sığaç gerilimli EGSlerin sığaç gerilimlerinin üretmeleri gereken tepkin ve harmonik akımlara uygun olarak değiştirilmesi ile THD ve anahtarlama frekanslarında önemli oranda iyileştirilme sağlamaktadır. Anahtarlama frekansının azaltılması aynı zamanda EGS kayıplarının da azalması anlamına gelmektedir. Değişken sığaç gerilimli EGSnin yük değişimine karşı geçici cevabı daha kötü olmaktadır. Bu cevabın iyileştirilmesine yönelik olarak katsayıları yük değişimi ile beraber değişen bir uyarlamalı PI yapısı kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.1904.10.02 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu; Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik; 23.10.2010 tarihli ve 27738 Sayılı Resmi Gazete
- [2] Bhattacharya, A.; Chakraborty, C.; Bhattacharya, S.;, "Shunt compensation," Industrial Electronics Magazine, IEEE , vol.3, no.3, pp.38-49, Sept. 2009
- [3] H. Akagi, Instantaneous Power Theory and applications to Power Conditioning, New Jersey, USA.: Wiley, 2007.
- [4] Narain G. Hingorani, Lazlo Gyugyi, "Understanding Facts: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems" November 1999, John Wiley & Sons, Incorporated