

ÜÇ EVİRİCİ ÜNİTESİYLE OLUŞTURULAN DAĞINIK GÜÇ SİSTEMİ DISTRIBUTED POWER SYSTEM CONSISTING OF THREE INVERTER UNITS

Koray Şener PARLAK¹ Mehmet ÖZDEMİR² Mehmet Timur AYDEMİR³

¹Teknik Bilimler MYO
Fırat Üniversitesi
kparlak@firat.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Fırat Üniversitesi
ozdemir@firat.edu.tr

³Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Gazi Üniversitesi
aydemirt@gazi.edu.tr

Özet

Bu çalışmada paralel çalışan üç evirici ünitesiyle oluşturulan bir dağıtık güç sisteminin geçici ve sürekli durum davranışı incelenmiştir. Sistemin toplam yükü, farklı güç oranlarında seçilen eviriciler arasında doğru orantılı olarak paylaştırılmıştır. Eviricilerin, yük paylaşımı esnasında değişen çıkış frekansları, uygulanan denetimle tekrar nominal değerine getirilmiştir. Çalışma ilkelerini göstermek için MATLAB/Simulink programında yapılan benzetimler kullanılmıştır.

Abstract

Transient and steady state behavior of a distributed system consisting of three inverters are investigated. Total load of the system is shared among all the units depending on their rated power levels. The output frequency values of the inverters are restored to their pre-transient values by using the suggested controller. MATLAB SIMULINK simulations have been used to demonstrate the operation principles.

1. Giriş

Gelişmiş elektronik cihazların günlük yaşamın her alanında sürekli kullanılıyor olması, enerji akışının sürekliliğini çok önemli bir hale getirmiştir [1-4]. Kesintisiz Güç Kaynakları (KGK) enerji sürekliliğini sağlamak için en yaygın kullanılan çözüm yöntemlerinden biri olsa da, bu cihazlar yüksek güç talebine karşı yetersiz kalmakta, maliyetleri de bir dezavantaj oluşturmaktadır [2, 3].

Bu doğrultuda yapılan çalışmalarla tek bir KGK yerine birden fazla KGK ünitesi paralel çalıştırılarak, güç kapasitesinin artırılması, maliyet, bir üniteye oluşan arıza durumunda diğer ünitelerin enerji akışını sağlaması konusunda ilerlemeler sağlanmıştır [5]. Doğal olarak da, bu çalışmalara paralel olarak KGK ünitelerinin kontrolü için yapılan çalışmalar önemli hale gelmiştir [6-8].

Yapılan çalışmaların bazılarında, KGK ünitelerinin birbirine bağımlı çalışması, üniteler arasında güç, akım veya frekans bilgilerinin taşındığı haberleşme hatlarının kullanılması, sistemin kurulumu ve güvenilirliği açısından bir eksiklik oluşturur. Bu tür sistemler tam dağıtık olmayan sistemler olarak adlandırılır. Anılan eksiklikleri gidermek için tam dağıtık sistemler veya mikrogrid denilen yapılar, son yıllarda güncel bir uygulama alanı bulmuştur [1-3, 9].

Mikrogrid sistemlerinde, farklı tipte ve güçlerde jeneratörlerle beslenebilen ve evirici arabirimleriyle esnek bir kurulum yapısında yerleştirilebilen, farklı yük veya yük gruplarına kesintisiz, güç kalitesi yüksek bir enerji akışı sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada, üç evirici (KGK yerine kullanılan) birimiyle oluşturulan tam dağıtık bir güç sisteminde, üniteler arasında sistemin toplam aktif yükünün paylaştırılması amaçlanmıştır. İlk etapta ünitelerin paralel çalışmasını ve yük paylaşımını sağlayan güç-frekans düşüm yöntemi kısaca anlatılarak, üç evirici ünitesiyle oluşturulan dağıtık güç sisteminin modeli oluşturulmuştur. Bu model üzerinde yapılan sayısal benzetimlerde sistemin dinamik ve sürekli durum davranışları incelenmiştir.

2. Yük-frekans düşümü ve frekans düzenleme algoritması

Enterkonnekte güç sistemlerinde kullanılan jeneratörlere ait yük-frekans düşüm karakteristiği, dağıtık çalışan güç sistemlerindeki KGK veya evirici ünitelerinin kontrolü için kullanılabilir. Sistemin kontrolünde bu yöntemin kullanılmasının üç önemli avantajı vardır.

Birincisi, sistemde kullanılan KGK veya eviricilerin başka bir senkronizasyon düzeneğine ihtiyaç duymadan paralel çalışmasını sağlar. Ünitelerin çıkış frekansları, düşüm karakteristiğince belirlenen bir değerde olacağından, frekans referans hatası, frekansa etki eden başka etken ve bozucu sinyallerden kaynaklanan frekans

kayması ve senkronizasyonun bozulması gibi problemler kendiliğinden giderilmiş olur.

İkinci avantaj, ünitelerin birbirlerine göre olan güç oranları kontrol algoritması içinde tanımlandığından, sistemin toplam yükünün ünitelerin güçleriyle doğru orantılı olarak paylaşılmasıdır. Böylece her ünite kendi gücüyle orantılı olarak optimal bir güç seviyesinde çalışacağından anahtarlama kayıpları ve aşırı yüklenme problemleri minimize edilir.

Diğer önemli bir özelliği ise her üniteye ait denetleyici, sadece denetlediği birime ait akım ve gerilim parametrelerini geri besleme bilgisi olarak aldığından, üniteler arasında herhangi bir haberleşme hattının kullanılmasına gerek kalmaz. Bu sayede bu haberleşme hattının kullanılmasıyla ortaya çıkabilecek sistem arızaları ve fiziksel kurulumunun kısıtlamaları aşılmış olur [10].

Yük-Frekans düşüm karakteristiğinin denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\omega_i = \omega_0 - b_i(P_0 - P_i) \quad (1)$$

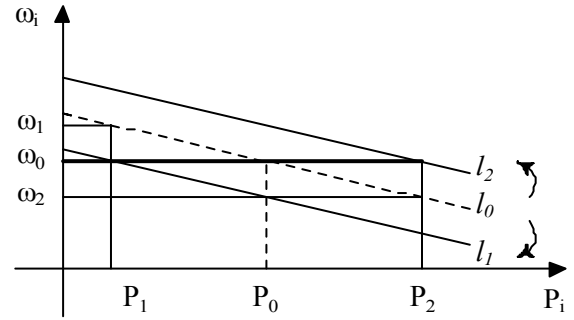
Burada “-b”, eviricinin çıkış gücündeki değişimine karşılık çıkış frekansındaki değişimi belirleyen bir katsayıdır. Eviricilerin bu katsayılarının oranı, birbirlerine göre olan güç oranını göstermektedir.

Yük değişimiyle sapan frekansı tekrar nominal değerine getirmek için düşüm karakteristiği, yükün artmasına veya azalmasına bağlı olarak aşağı ya da yukarı yönde kaydırılır. Bu kaydırma esnasında eğrinin eğimi (-b) değişmezken, kaydırma hızı da önemlidir. Eğer kaydırma hızlı olacak şekilde bir frekans düzenleme uygulanırsa sistem yük paylaşımını doğru olarak tamamlayamadan nominal frekansa gelmeye çalışacaktır. Şekil 1 ve Şekil 2 de Yük-Frekans düşüm ve frekans düzenleme algoritmasını birlikte kullanan karakteristik ve blok şema gösterilmiştir.

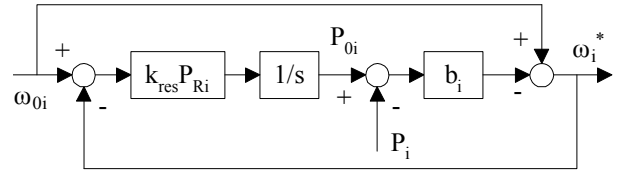
3. Üç Üniteli Dağılık Sistemin Yapısı

Şekil 3’de 3 üniteli dağılık sistemin yapısı gösterilmiştir. Her bir ünite, diğeriyle bir ara bağlantı hattı (tie-line) ile bağlanmıştır. Bu bağlantı bir endüktansla sağlanırken, bu endüktanstan geçen aktif güç şu şekilde verilebilir.

$$P_{tie} = \frac{3V_i V_k}{2\omega L_{tie-ik}} \sin\delta \quad (2)$$



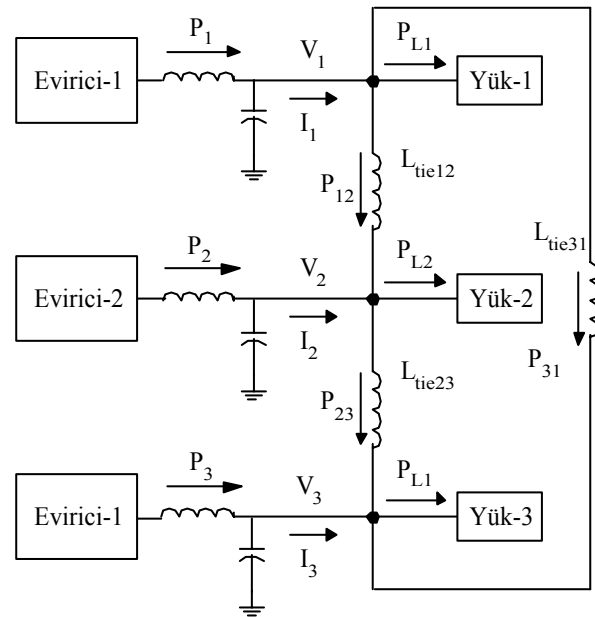
Şekil 1: Yük-frekans düşüm karakteristiği ve frekans düzenleme



Şekil 2: Yük-frekans düşüm karakteristiği ve frekans düzenleme algoritmasının blok şeması

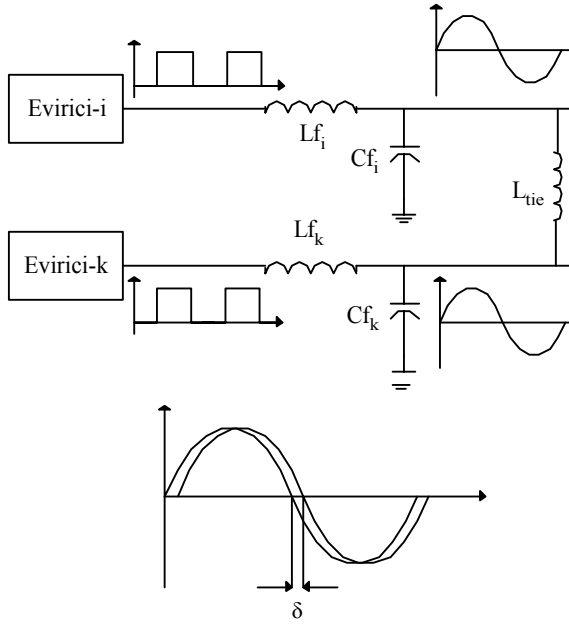
Burada δ , V_i ve V_k gerilimleri arasındaki faz farkıdır. Formülden de görüldüğü gibi, akan güç δ ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla δ 'nin kontrol edilmesiyle yani, eviricilerin çıkış gerilimlerinin frekanslarının kontrol edilmesiyle, ünitelerden çekilen gücün kontrolü sağlanır.

Evirici çıkışlarında kullanılan alçak geçiren süzgeçlerin amacı, sadece yüksek harmonikli işaret bileşenlerini süzmek değil aynı zamanda evirici çıkışlarındaki darbeli işaretleri sinüzoidal işaret formuna çevirmek içindir.



Şekil 3: Üç evirici ünitesiyle oluşturulan dağılık güç sisteminin yapısı

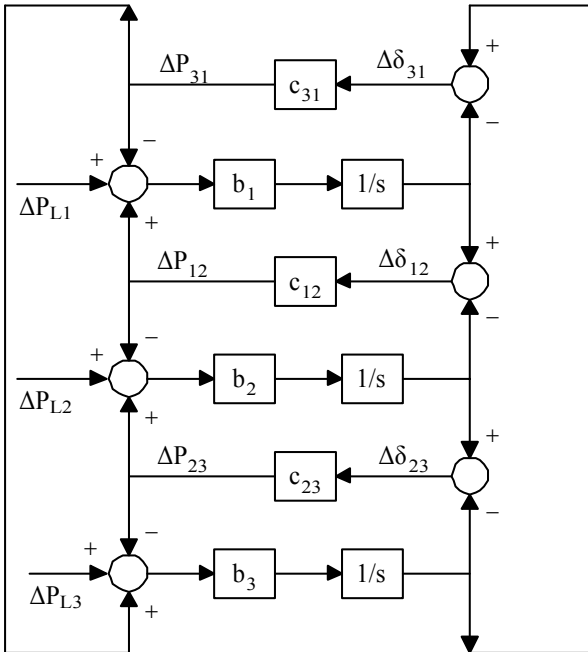
Denklem (1)'de verilen δ 'nın, sinüzoidal sinyaller arasında olması gerektiği açıktır. (Şekil 4)



Şekil 4: Evirici çıkış süzgeci.

4. Üç Üniteli Dağılık Sistemin Basitleştirilmiş Dinamik Modeli

Şekil 3'de verilen 3 üniteli dağılık sistemin basitleştirilmiş dinamik modeli Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5: Üç üniteli dağılık sistemin dinamik modeli

Bu modelin oluşturulmasında, evirici çıkışındaki süzgeçler ihmal edilmiştir.

Herhangi bir ünitenin çıkışında bir güç değişimi olduğunda;

$$\Delta P_i = \Delta P_{L_i} - \Delta P_{i-1,i} + \Delta P_{i,i+1} \quad (3)$$

Denklem (2)'nin parametrelerine göre kısmi değişimler incelenirse;

$$\Delta P_{ik} = \frac{\partial P_{ik}}{\partial \delta_{ik}} \Delta \delta_{ik} + \frac{\partial P_{ik}}{\partial V_i} \Delta V_i + \frac{\partial P_{ik}}{\partial V_k} \Delta V_k \quad (4)$$

V_i ve V_k gerilimlerinin sabit olduğunu düşünürsek, ΔV_i ve ΔV_k 0 olacağından,

$$\Delta P_{ik} = \frac{3}{2} \left(\frac{V_i V_k}{\omega_0 L_{tie-ik}} \cos \delta_{ik} \right) \Delta \delta_{ik} \quad (5)$$

Küçük δ_{ik} lar için $\cos \delta_{ik} \approx 1$ olarak alınırsa yukarıdaki denklem basitçe şöyle yazılabilir;

$$\Delta P_{ik} = c_{ik} \Delta \delta_{ik} \quad (6)$$

$$c_{ik} = \frac{3 V_i V_k}{2 \omega_0 L_{tie-ik}} \quad (7)$$

$\Delta \delta_{ik}$ için dinamik denklem aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\frac{d}{dt} (\Delta \delta_{ik}) = \Delta \omega_i - \Delta \omega_k \quad (8)$$

Denklem (1)'den güç-frekans düşümü;

$$\Delta \omega_i = b_i \Delta P_i, \quad \Delta \omega_k = b_k \Delta P_k \quad (9)$$

ΔP_{ik} (ve diğer benzer terimler) (6)'da yerine koyularak ve (8) denklemi kullanılarak aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\frac{d}{dt} (\Delta \delta_{ik}) = -b_i c_{i-1,i} \Delta \delta_{i-1,i} + (b_i + b_k) c_{ik} \Delta \delta_{ik} - \quad (10)$$

$$b_k c_{k,k+1} \Delta \delta_{k,k+1} + b_i \Delta P_{L_i} - b_k \Delta P_{L_k}$$

Şekil 5'de gösterilen modelde, ΔP_{L_i} , i. ünitenin karşısındaki yük değişimini, ΔP_{ik} ara bağlantı hatlarından akan güç değişimi, $\Delta \delta_{ik}$ ise eviricilerin çıkış gerilimleri arasındaki faz farklarının değişimlerini temsil etmektedir ($k = i + 1$). Sistemdeki herhangi bir yük değişimine bütün üniteler güçleri oranında tepki verirken her bir ünitenin frekansı düşüm karakteristiğince belirlenen oranda değişerek ünitelerin çıkış gerilimleri arasında bir faz farkı oluşturur. Sistem sürekli duruma geçtiğinde ünitelerin frekansları eşitlenerek faz farkları sabit bir değer alacaklardır.

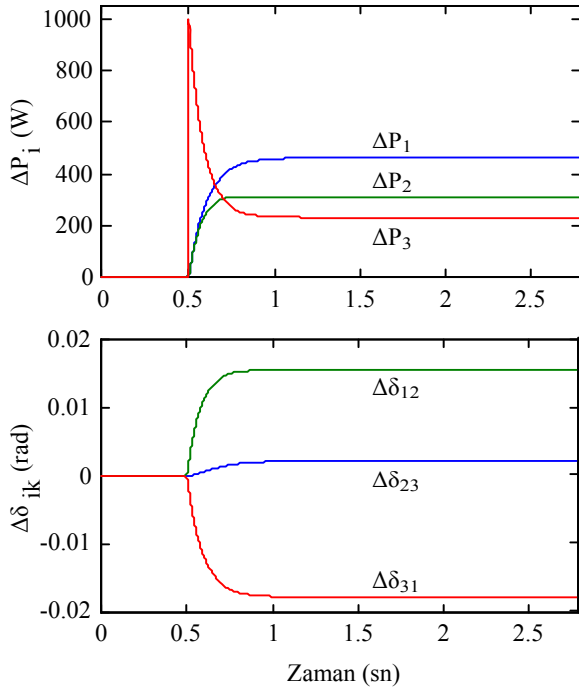
Aşağıdaki parametreler için, Şekil 5’de verilen modelde 0.5’inci sn.’de, üçüncü ünitenin karşısındaki yükte (ΔP_{L3}) 1000W’lık bir yük artışı olması durumunda, $\Delta\delta_{ik}$ ve ΔP_1 ’nin değişimini gösteren benzetim sonuçları Şekil 6’da verilmiştir.

$$b_1 \setminus b_2 \setminus b_3 = 1.10^{-4} \setminus 1,5.10^{-4} \setminus 2.10^{-4} \text{ W/(rad/sn)}$$

$$V_i = 220\text{V}$$

$$\omega_0 = 314 \text{ rad/sn}$$

$$L_{\text{tie-ik}} = 10\text{mH}$$



Şekil 6: Yükleme durumunda eviricilerin çıkış güçleri ve faz farkları değişimleri

Şekil.6’den görüldüğü gibi, bütün üniteler yük değişimine karşılık vermektedir. Yük değişimi üçüncü ünitenin yakınında olduğundan, ilk önce bu ünite tüm yükü karşılamaya çalışarak, anlık olarak 1000W lık bir güç artışı göstermiştir. Aynı anda bu üniteye ait güç-frekans karakteristiği, frekansı düşürerek diğer ünitelerle aralarında bir faz farkı meydana gelmiştir. Bu faz farkı diğer ünitelerin de yük artışına karşılık vermesini sağlar. Sonuçta ünitelerde sırasıyla 462W, 307W ve 231W olarak güç artışı olmuştur. Bu değerler ünitelerin birbirlerine göre olan güç oranlarıyla da uyusmaktadır (1:1/1.5:1/2).

Şekilde ayrıca, ünitelerin çıkış gerilimleri arasındaki faz farkları da görülmektedir. Sistem sürekli duruma eriştiğinde, bütün ünitelerin frekansları aynı değeri alacağından faz farklarındaki değişim de sabit bir değer almıştır.

5. Eviricilerin Modellenmesi İle Oluşturulan Dağılık Sistemin Benzetim Sonuçları

Bu bölümde Şekil 3’de verilen, 3 evirici ünitesi ile oluşturulan dağılık güç sistemindeki eviricilerin modellenerek, bu ünitelere ait aktif güç, frekans, akım ve gerilim parametrelerinin eğrileri verilmiştir. Eviricilerin modellenmesinde Uzak Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu (UVDGM) kullanılmıştır. Eviricilerin birbirlerine göre güç oranları 1:1/1.5:1/2 olacak şekilde, ünitelerin yük-frekans düşüm katsayıları seçilmiştir. Her bir eviricinin çıkışında eşit omik yük kullanılmıştır. Yük paylaşımının sonucunda nominal değerden sapan frekanslar, daha önceden açıklanan algoritma ile tekrar eski değerine getirilmiştir.

Benzetimde kullanılan sistem parametreleri aşağıdaki gibidir:

$$b_1 \setminus b_2 \setminus b_3 = 1.10^{-3} \setminus 1,5.10^{-3} \setminus 2.10^{-3} \text{ W/(rad/sn)}$$

$$L_f = 0.88\text{mH}$$

$$C_f = 250\mu\text{F}$$

$$R = 50\Omega$$

$$L_{\text{tie}} = 10\text{mH}$$

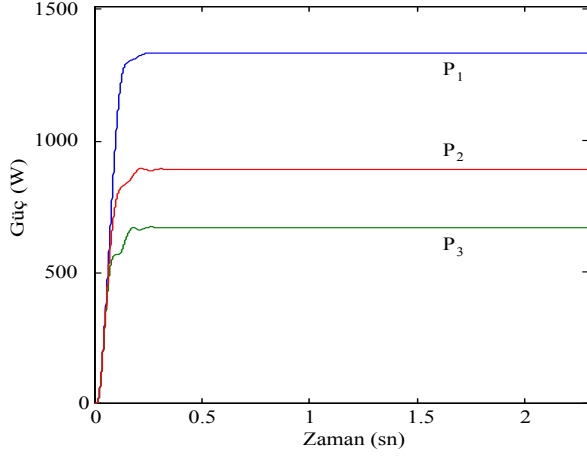
$$f_0 = 50\text{Hz}$$

$$\text{Anahtarlama Frekansı} = 5\text{KHz}$$

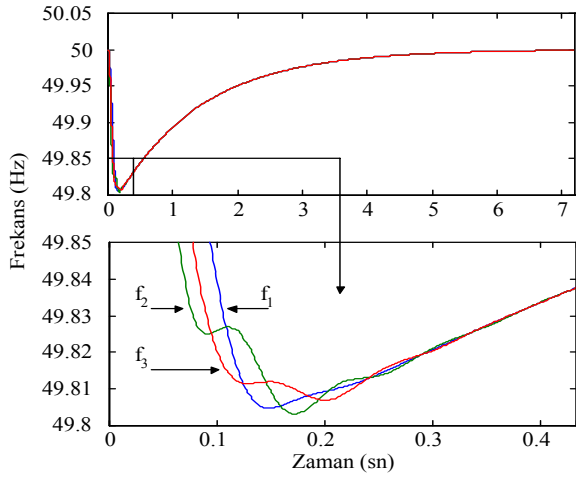
Her bir eviriciye bağlanan 50Ω’luk omik yük sistemden yaklaşık 968W güç çekecektir. Üç ünite de aynı yük olduğundan sistemin toplam yükü 2904 W’dır. Birinci evirici ikincinin 1.5 katı, üçüncü eviricinin de 2 katı gücünde seçildiğinden eviricilerin sisteme sırasıyla 1355W / 895W / 675W güç vermeleri beklenir. Bu durum Şekil 7’de gösterilmiştir.

Düşüm karakteristiğince sistemdeki yük değişimlerine karşı frekansın değişeceği önceden anlatılmıştı. Şekil 8’de, yapılan benzetime ait eviricilerin frekans eğrileri gösterilmiştir. Benzetimin başlamasıyla eviricilerin yüklenmesini takiben frekansları, düşüm katsayısına bağlı olarak azalmıştır. Her eviricinin gücüyle orantılı olan bu düşme, çıkış gerilimlerinde bir faz farkı oluşturacağından ünitelerin arasındaki ara bağlantı hattından bir güç akışı meydana gelerek, üniteler arasında yük paylaşımı oluşmuştur. Yapılan benzetimde, yaklaşık 0.2’nci saniyede frekanslar eşitlenmiş yani güç akışı dengelenerek sistem sürekli duruma geçmiştir. Aynı anda çalışan frekans düzenleme algoritması, değişen evirici frekanslarını yaklaşık 7.’nci saniyede tekrar nominal değerine getirmiştir. Şekilde frekanslar arasındaki farkın daha iyi görülmesi için 0-0.45 sn. ve 49.8-49.85 Hz. arası büyütülerek verilmiştir.

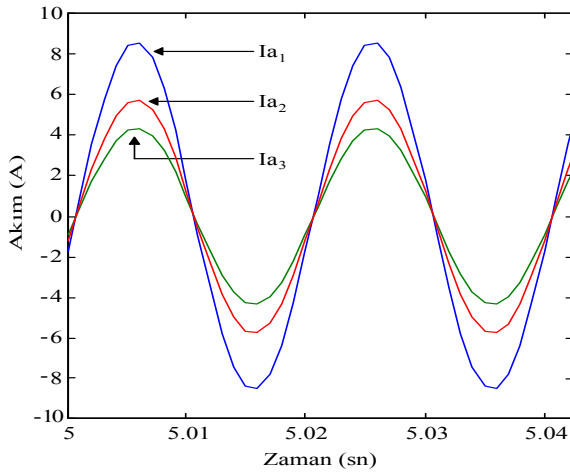
Şekil 9’da eviricilerden çekilen akımlar gösterilmiştir. Üç eviricinin de güçleri birbirlerinden farklı olduğundan bu oranla ilişkili akımlar çekilmektedir.



Şekil 7: Eviricilerden çekilen aktif güçler



Şekil 8: Eviricilerin çıkış frekansları



Şekil 9: Eviricilerin çıkış akımları

6. Sonuçlar

Bu çalışmada üç evirici ünitesiyle oluşturulan dağıtık güç sisteminin yapısı ve çalışması incelenmiştir. Sistemin dinamik denklemleri üzerinden modeli çıkarılarak, herhangi bir yük değişimi olması

durumunda, eviricilerin güç çıkışlarındaki değişim ve evirici çıkışlarındaki faz farkının değişimleri incelenmiştir. Sistem sürekli duruma geldiğinde değişen yükü güçleri oranında paylaşırken, aralarındaki faz farklarının sabit bir değer aldığı görülmüştür.

Sonraki incelemede, eviricilerin UVDGM ile modellemesi yapılarak eviricilerin güç, frekans, akım ve gerilim parametrelerine ilişkin eğriler gösterilmiştir. Bu eğrilerden eviricilerin paralel çalışarak, sistemin toplam yükünü kendi güçleriyle orantılı olarak paylaştığı ve optimal bir güç seviyesinde çalıştığı görülmüştür. Üç evirici ünitesi kullanılarak toplam kurulu güç seviyesini arttırılarak sistemin toplam kurulu gücünü aşmamak şartıyla aşırı yük durumu ve ünitelerdeki anahtarlama kayıpları en aza indirgenmiştir.

7. Kaynaklar

- [1] Venkataramanan G., Illindala M., "Microgrids and sensitive loads", *Power Engineering Society Winter Meeting IEEE*, vol.1, 27-31, Jan. 2002, 315-322.
- [2] Marnay C., Javier R. F., Afzal S.S., "Shape of the Microgrid", *Power Engineering Society Winter Meeting IEEE*, vol.1, 28 Jan.-1 Feb. 2001, 150-153.
- [3] Lasseter R., "Microgrids", *Power Engineering Society Winter Meeting IEEE*, vol.1, 27-31 Jan. 2002, 305-308.
- [4] Platts J., Aubyn J.St., "Uninterruptible Power Supplies", *Peter Peregrinus Ltd., London, for the Institution of Electrical Engineers (IEE)* 1992.
- [5] Ashdown B., Poulin J., "Distributed power a solution for the 90's", *In International Telecommunications Energy Conf. (INTELEC)*, vol.2, Paris France, 1993, 47-51.
- [6] Tuladhar, A., H. Jin, T. Unger, K. Mauch "Control of Parallel Inverters in Distributed AC Power Systems with Consideration of Line Impedance Effect" *IEEE Trans. on IA*, vol: 36, No. 1, 131-138, 2000.
- [7] Chandorkar, M.C., D.M. Divan, B. Banerjee "Control of distributed UPS systems", *In IEEE Power Electronics Specialists Conf. (PESC)*, Taiwan, 1994, 197-204.
- [8] Kawabata, T., S. Higashino "Parallel operation of voltage source inverters", *IEEE Trans. on Industry Applications*, March/April 1998, 281-287.
- [9] Meliopoulos A., "Challenges in simulation and design of microgrids", *In Proc. IEEE Power Eng. Society Winter Meeting*, vol.1, New York USA, 2002, 309-314.
- [10] Parlak K. Ş., Aydemir M. T., Özdemir M., "Active and Reactive Power Sharing in Parallel Operated Inverters", *IEEE MELECON*, Malaga-Spain, May, 2006, 1052-1055.