

DOĞRU AKIMLA ÇALIŞAN ARK OCAKLARINDA HARMONİK ANALİZİ

¹Serhat DUMAN, ²Yıldız FERİK, ³Bora ALBOYACI, ³Nuran YÖRÜKEREN

¹Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü

²Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği ABD

³Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
serhatduman@duzce.edu.tr, yildizferik@hotmail.com, alboyaci@kocaeli.edu.tr,
nurcan@kocaeli.edu.tr

Özet

Doğru akımla (DA) çalışan ark ocakları elektrik güç sistemlerinde iletim ve dağıtım şebekeleri için yüksek derecede güç kalitesine etki eden kaynaklardan biridir. Bu çalışmada bir DA ark ocağı MATLAB/Simulink ile modellenmiş ve benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışmaları şebeke gücü, doğrultucunun tetikleme açıları ve paralel iki DA ark ocağındaki transformatörlerin bağlantı grupları değiştirilerek güç kalitesine etkileri incelenmiş olup çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: DC ark ocağı, harmonikler, filtre

Giriş

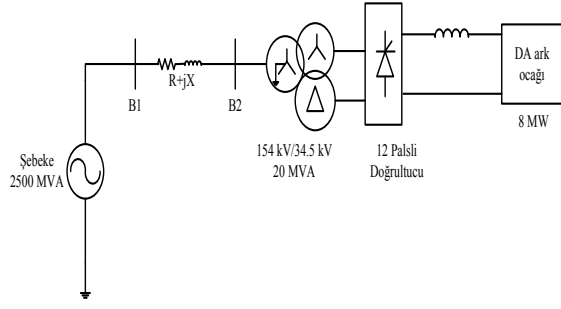
Ark ocaklarındaki büyük bozunumlar yük dalgalanmalarından meydana gelmektedir. Bunlar voltajda fliker oluşmasında neden olmaktadır. Küçük voltaj fliker etkileri akkor lambalarda %0.3 ile %0.5, 6-10 Hz arasında görülebilir. Ark ocaklarının diğer karakteristikleri yük dengesizlikleri ve harmonikler olarak söylenebilir. Son zamanlarda büyük boyutlu güç elektroniği elemanlarının başarılı bir şekilde kullanılmasından dolayı büyük boyutlu ark ocaklarında daha popüler hale gelmiştir [1]. DA ark ocakları çeşitli AA-DA dönüştürücü topolojileri üzerinden güç sistemlerinde kullanılmaktadır. DA ark ocaklarının AA ark ocaklarına göre ana avantajı konvertörün çıkış gerilimini düzenleme olasılığıdır [2]. Prensip, DA ark ocaklarının matematiksel olarak modellenmesinde iki farklı yaklaşım vardır. Birinci olarak ideal voltaj kaynağı, ikinci ise doğrusal omik direnç olarak ark ocakları modellenir. Bu yaklaşımlar elektrik devrelerinde sürekli durum koşullarının hesaplanması için yeterli olmaktadır. Ancak geçici durum hesaplandığında bu modeller kullanılarak farklı sonuçlar elde edilebilir [3].

Ladoux ve arkadaşları yük güçlü DA ark ocağı için AA/DA konvertörlerin karşılaştırma çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışmalarında doğrultucu/chopper topolojisi ile sabit güç kontrolünü amaçlamışlardır. Benzetim sonuçlarında fliker etkilerini azalttıklarını görmüşlerdir [4]. Carpinelli ve arkadaşları güç kalitesi çalışmaları için DA ark ocaklarını kaos temelli modellemesini gerçekleştirmişlerdir [5]. Wu ve arkadaşları DA ark ocaklarının yük karakteristiklerini ve harmonik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında 12 palsli doğrultucu ve harmonik filtreleri ile DA ark ocaklarının oluşturduğu harmoniklerin azaltılabildiğini göstermişlerdir [6]. Fu ve Wu DA ark ocağında güç kalitesi analizi ve iyileştirme çalışmaları yapmışlardır [7]. Wang ve arkadaşları kaos teorisi ve yapay sinir ağlarını kullanarak DA ark ocağının modellemesini gerçekleştirmişlerdir [8]. Abdous ve arkadaşları zaman gecikmeli geri dönüşümlü kontrol yöntemini DA ark ocaklarında oluşan voltaj salınımlarını kaos teorisi ile birlikte incelemişlerdir [9].

Bu çalışmada bir DA ark ocağının modellemesi yapılmıştır. DA ark ocağının yarattığı harmoniklerin şebeke gücüne, doğrultucunun tetikleme açılarına ve paralel iki DA ark ocağındaki transformatörün sekonder sargı yapıları değiştirilerek etkileri incelenmiştir. Sistemde oluşan harmoniklerin giderilmesi için pasif filtre tasarımı yapılmıştır.

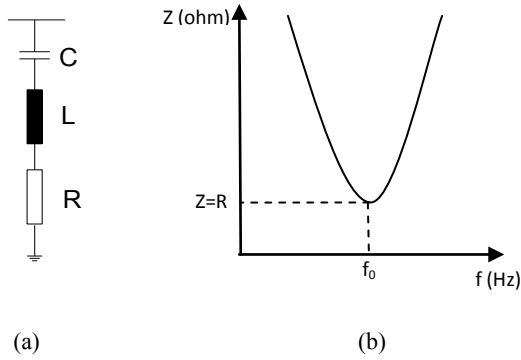
DA Ark Ocağı Modeli ve Harmonik Filtreleme

DA ark ocağı modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de şebeke gerilimi transformatör üzerinden 12 palsli bir doğrultucu ile doğrultularak DA ark ocağına bağlanmıştır. DA ark ocağındaki ani değişim statik konvertörün kullanımından dolayı voltaj salınımlarına ve dalga şekillerinin bozunumlarına neden olur [9].



Şekil 1. DA ark ocağı modeli

DA ark ocağının gerilim ve akım dalga şekillerinde yarattığı harmoniklerin giderilmesi için tek ayarlı paralel pasif filtre tasarımı yapılmıştır. Şekil 2’de tek ayarlı paralel pasif filtre ve empedans frekans eğrisinin değişimi gösterilmektedir



Şekil 2. (a) Tek ayarlı filtre (b) Empedans-frekans eğrisi

Tek ayarlı paralel pasif filtre tasarımı için kullanılan denklemler eşitlik (1)-(9) arasında gösterilmektedir. Eşitlik (1)’de filtre empedansı ifade edilmektedir.

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (1)$$

X_C ve X_L kapasitör ve endüktansın temel frekanstaki değerleri olmak üzere filtre boyutu eşitlik (2)’deki gibi ifade edilir.

$$S = \frac{V_s^2}{X_C - X_L} \quad (2)$$

n . harmonik için ayarlanmış filtrenin endüktans ve kapasite değerleri eşitlik (3) ve (5) arasında gösterilmektedir.

$$X_0 = nX_L = \frac{X_C}{n} \quad (3)$$

$$X_L = \frac{X_C}{n^2} \quad (4)$$

$$R = \frac{X_0}{Q} \quad (5)$$

Filtre boyutu yeniden düzenlendiğinde ve her bir filtre kolu için gerekli kondansatör ve endüktans değerleri eşitlik (6) ve (9) arasında gösterilmektedir.

$$S = \frac{V_s^2}{X_C \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)} \quad (6)$$

$$I_H = \sum_{n=2}^n \sqrt{I_n^2} \quad (7)$$

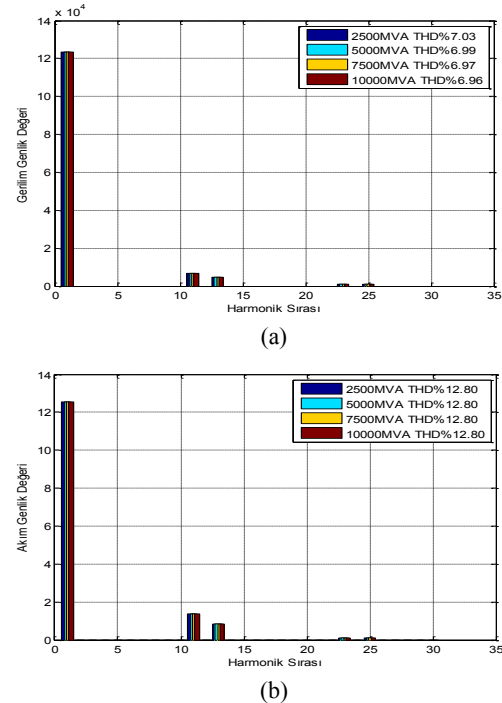
$$C_n = C \frac{I_n}{I_H} \quad (8)$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 50^2 n^2 C} \quad (9)$$

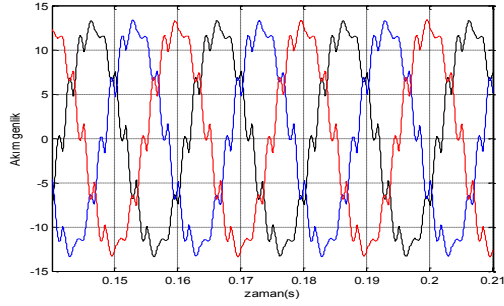
Benzetim Çalışmaları

A. Senaryo 1

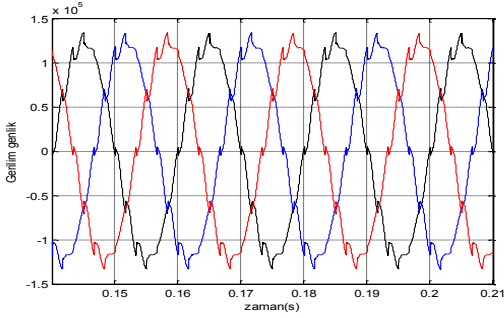
Benzetim çalışmasında ilk olarak şebeke gücü artırılarak gerilim ve akım da oluşan harmoniklerin incelenmesi yapılmıştır. Şekil 3’de gerilim ve akımda oluşan harmonikler, Şekil 4’de ise B1 ve B2 baralarındaki gerilim ve akım dalga şekilleri gösterilmektedir. Şekil 5’de filtre sonrası gerilim ve akım harmonikleri, Şekil 6’da filtre sonrası B1 ve B2 baralarındaki gerilim ve akım dalga şekillerini göstermektedir.



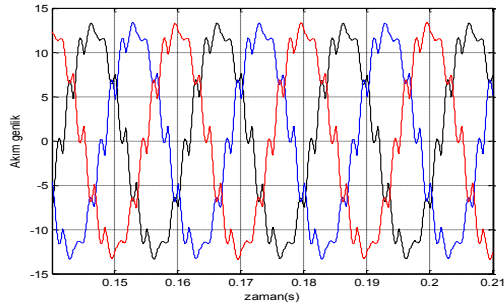
Şekil 3. (a) Gerilim harmonikleri (b) Akım harmonikleri



(a)

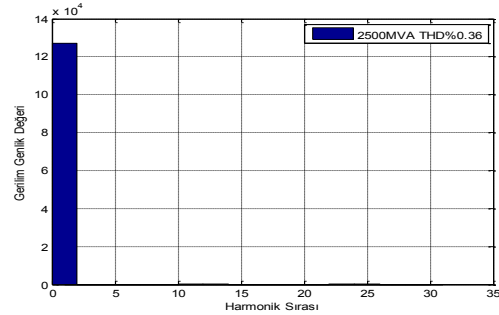


(b)

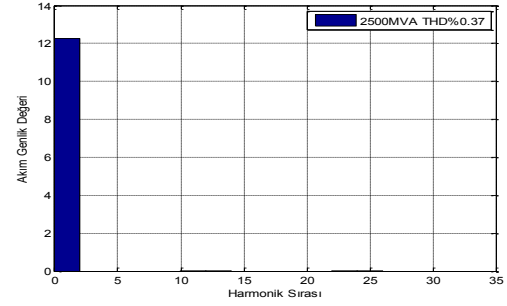


(c)

Şekil 4. (a) B1 barası akım dalga şekli (b) B1 barası gerilim dalga şekli (c) B2 barası akım dalga şekli

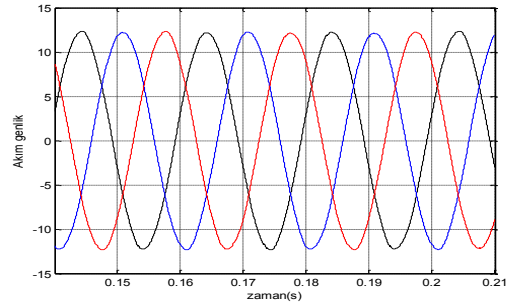


(a)

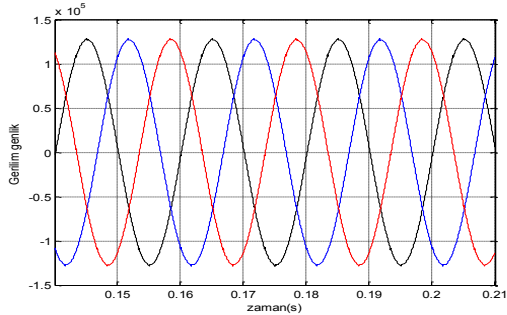


(b)

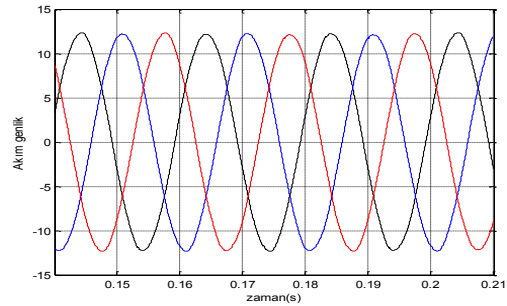
Şekil 5. (a) Gerilim harmonikleri (b) Akım harmonikleri



(a)



(b)



(c)

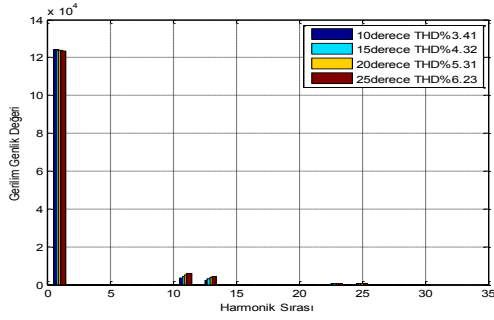
Şekil 6. (a) B1 barası akım dalga şekli (b) B1 barası gerilim dalga şekli (c) B2 barası akım dalga şekli

B. Senaryo 2

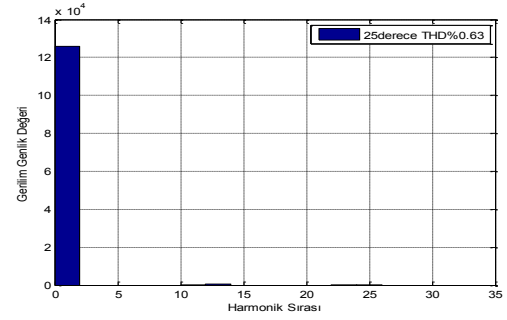
Burada 12 palsli doğrultucunun tetikleme açıları değiştirilerek sistemde oluşan gerilim ve akım harmoniklerinin etkileri incelenmiştir. Şekil 7'de gerilim ve akımda oluşan harmonikler, Şekil 8'de ise B1 ve B2 baralarındaki gerilim ve akım dalga şekilleri gösterilmektedir. Şekil 9'da filtre sonrası gerilim ve akım harmonikleri, Şekil 10'da filtre sonrası B1 ve B2 baralarındaki gerilim ve akım dalga şekillerini göstermektedir.

C. Senaryo 3

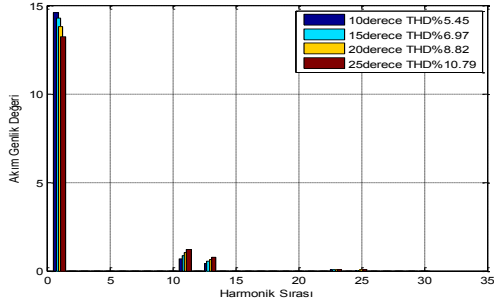
Bu bölümde 6 palsli iki doğrultucu paralel olarak bağlanmıştır. Transformatörlerin bağlantı grupları ilk olarak Yg-D1 ve Yg-D1 şeklinde belirlenerek benzetim çalışması yapılmıştır. İkinci olarak bağlantı grupları Yg-D1 ve Yg-D11 olarak belirlenip benzetim çalışmaları yapılmıştır. Şekil 11'de sistemin devre şeması gösterilmektedir. Şekil 11'e göre yapılan benzetim çalışmalarında gerilim ve akım harmoniklerinin etkileri incelenmiştir.



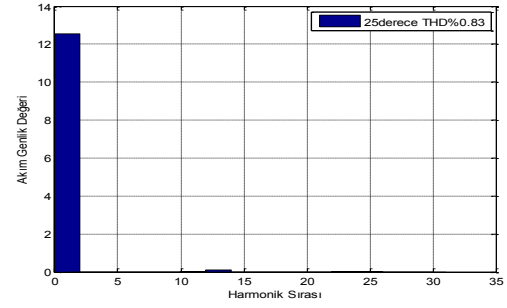
(a)



(a)



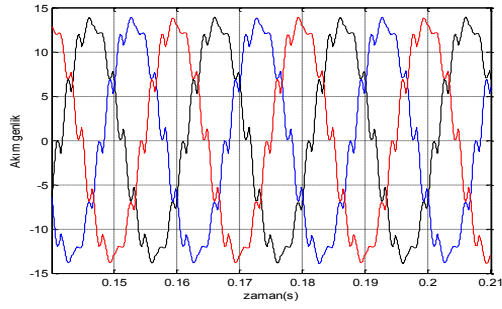
(b)



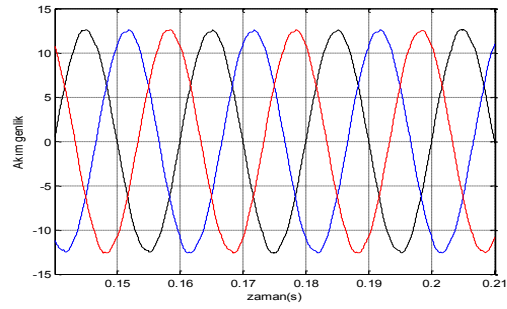
(b)

Şekil 7. (a) Gerilim harmonikleri (b) Akım harmonikleri

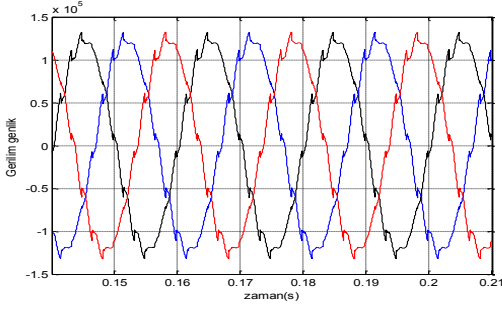
Şekil 9. (a) Gerilim harmonikleri (b) Akım harmonikleri



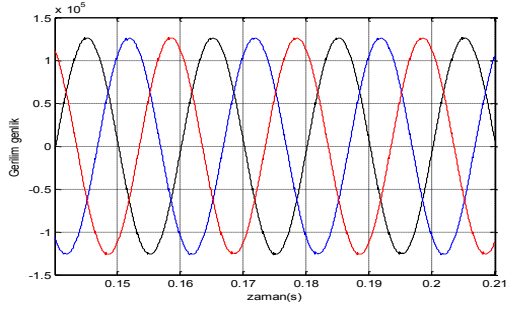
(a)



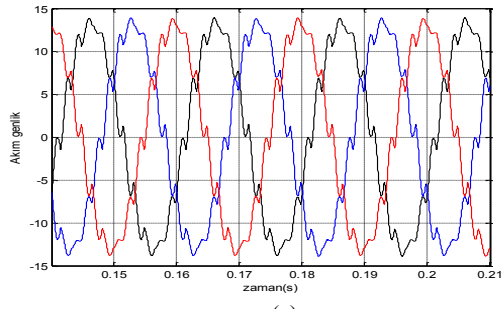
(a)



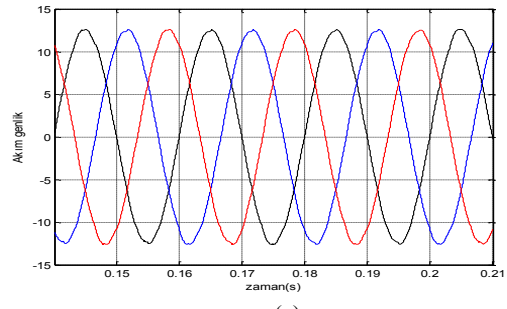
(b)



(b)



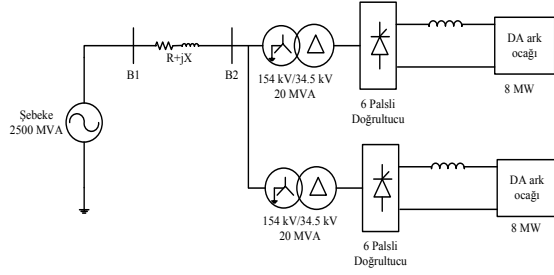
(c)



(c)

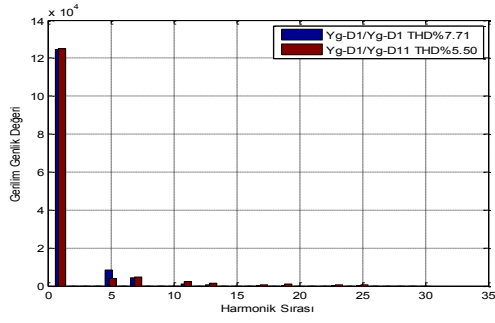
Şekil 8. (a) B1 barası akım dalga şekli (b) B1 barası gerilim dalga şekli (c) B2 barası akım dalga şekli

Şekil 10. (a) B1 barası akım dalga şekli (b) B1 barası gerilim dalga şekli (c) B2 barası akım dalga şekli

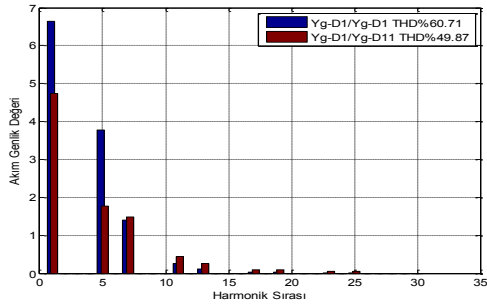


Şekil 11: Paralel 6 palsli doğrultuculu DA ark ocağı modeli

Şekil 12'de gerilim ve akımda oluşan harmonikler, Şekil 13'de ise B1 ve B2 baralarındaki gerilim ve akım dalga şekilleri gösterilmektedir. Şekil 14'de filtre sonrası gerilim ve akım harmonikleri, Şekil 15'de filtre sonrası B1 ve B2 baralarındaki gerilim ve akım dalga şekillerini göstermektedir.

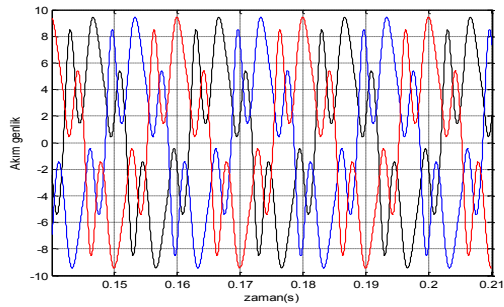


(a)

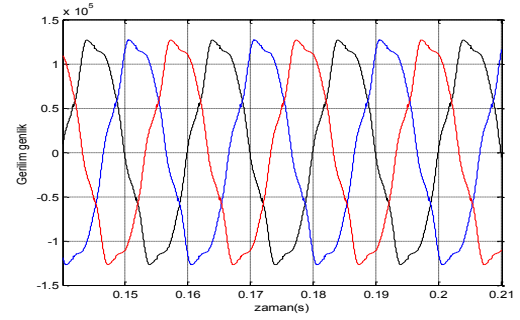


(b)

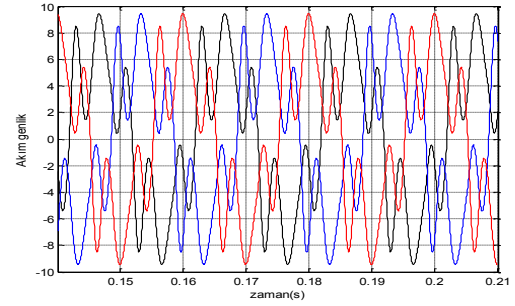
Şekil 12. (a) Gerilim harmonikleri (b) Akım harmonikleri



(a)

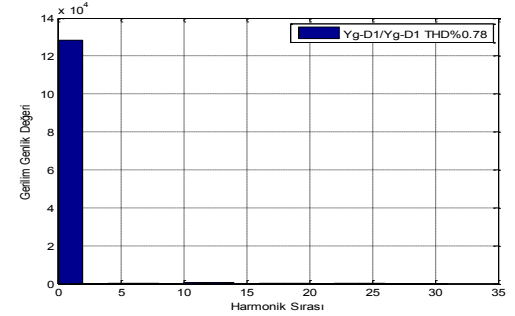


(b)

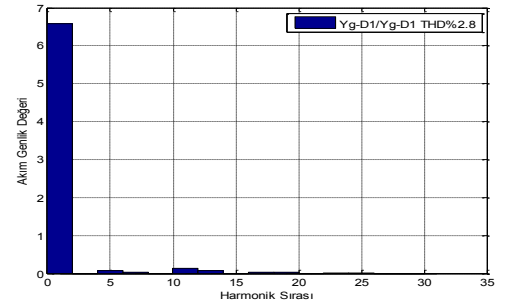


(c)

Şekil 13: (a) B1 barası akım dalga şekli (b) B1 barası gerilim dalga şekli (c) B2 barası akım dalga şekli

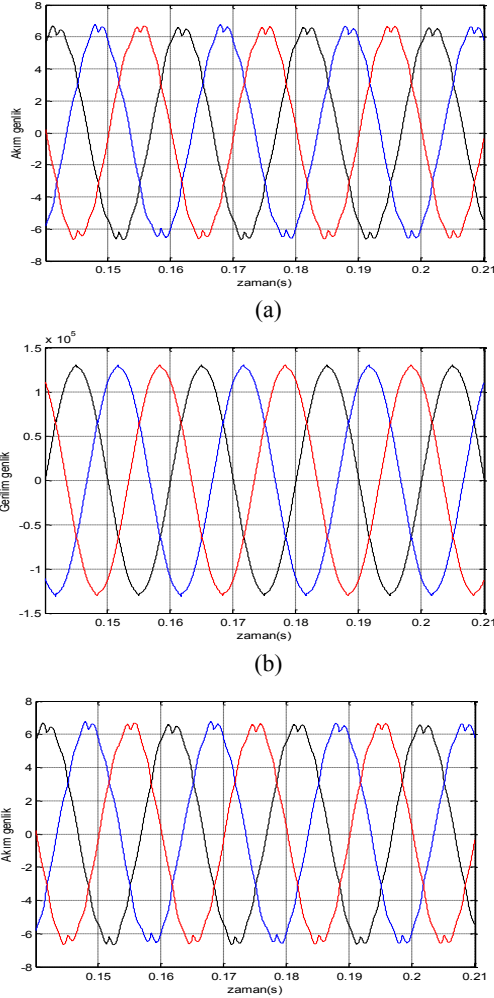


(a)



(b)

Şekil 14. (a) Gerilim harmonikleri (b) Akım harmonikleri



Şekil 15: (a) B1 barası akım dalga şekli (b) B1 barası gerilim dalga şekli (c) B2 barası akım dalga şekli

Sonuçlar

Bu çalışmada farklı senaryolar altında DA ark ocağının güç kalitesine etkisi incelenmiştir. İlk olarak şebeke gücü artırılarak sistemin daha güçlü şebekeden beslenmesi sağlandığında gerilim harmoniklerinin azaldığı akım harmoniklerinin ise aynı kaldığı görülmektedir. İkinci senaryoda ise tetikleme açıları arttırıldığında sistemde gerilim ve akım harmoniklerinin arttığı gözlenmiştir. Üçüncü senaryoda ise 6 palsli doğrultuculu paralel bağlı iki DA ark ocağı düşünülmüştür. Doğrultucuların önlerindeki transformatörlerin bağlantı grupları Yg-D1/Yg-D1 ve Yg-D1/Yg-D11 olarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Yg-D1/Yg-D11 bağlantı grubundaki çalışmada sistemde faz kayması olduğundan gerilim akım harmoniklerinin azaldığı görülmüştür. Tüm senaryolarda baskın olan harmonikler için tek ayarlı paralel pasif filtre tasarımı yapılarak gerilim ve akım harmonikleri elimine edilmiştir. Sonuç olarak DA ark ocaklarında oluşan harmonik mertebelerinin giderilmesinde daha yüksek puls sayısına sahip doğrultucuların dizaynı ve transformatör üzerinden fazlarının kaydırılması şebekedeki harmoniklerin azalmasını sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] T. H. Fu, C. J. Wu, "Load characteristics analysis of ac and dc arc furnaces using various power definitions and statistic method", *IEEE Transactions on Power Delivery*, sayı. 17, no. 4, s. 1099-1105, 2002.
- [2] C. Lazaroiu, D. Zaninelli, "DC arc furnace modelling for power quality analysis", *U. P. B. Sci. Bull, Series C*, sayı. 72, no. 1, s. 191-200, 2010.
- [3] D. Stade, H. Schau, I. Aprelkov, A. Novitskiy, "Mathematical simulation of dc arc furnace operation in electric power systems", *8th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, s. 1081-1091, 1998.
- [4] P. Ladoux, G. Postiglione, H. Foch, J. Nuns, "A comparative study of AC/DC converters for high-power DC arc furnace", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, sayı. 52, no. 3, s. 747-757, 2005.
- [5] G. Carpinelli, F. Iacovone, A. Russo, P. Varlone, "Chaos-based modeling of DC arc furnaces for power quality issues", *IEEE Transactions on Power Delivery*, sayı. 19, no. 4, s. 1869-1876, 2004.
- [6] C. J. Wu, T. H. Fu, Y. J. Chen, "Load characteristics and harmonic analysis of DC arc Furnace", *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, s. 778-782, 2000.
- [7] T. H. Fu, C. J. Wu, "Power quality analysis and improvement of dc arc furnace load", *IEEE TENCON '02*, s.1937-1940, 2002.
- [8] F. Wang, Z. Jin, Z. Zhu, X. Wang, "Modeling the DC electric arc furnace based on chaos theory and neural network", *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, s. 1-6, 2005.
- [9] F. Abdous, A. N. Ranjbar, S. H. H. Nia, A. S. Eslami, "Chaos control of voltage fluctuations in DC arc furnaces using time-delay feedback control", *Second International Conference on Electrical Engineering*, 2008.