

ELEKTRONİK BALASTLI FLORESAN LAMBA HARMONİKLERİNİN ÖLÇÜMÜ, YOKEDİLMESİ VE SİMÜLASYONU İÇİN YENİ BİR YÖNTEM

Bora ALBOYACI, Ö. Özgür GENCER

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Müh. Bölümü, 41040,
İZMİT, e-posta: alboyaci@kou.edu.tr, ogencer@kou.edu.tr

ÖZET

Günümüzde güç elektroniği ve lineer olmayan elemanların yaygın olarak kullanılmasıyla, güç sistemlerinde giderek artan oranlarda harmonik akımları sisteme enjekte edilmektedir. Sisteme verilen harmonik akımlarının tam olarak değerlendirilebilmesi ancak doğru harmonik modellerinin çıkartılabilmesi ile mümkündür. Bu amaçla, öncelikle enerji analizörleri yardımıyla elektronik balastlı floresan lambanın harmonik davranışı belirlenmiştir. Ölçümlerden sonra Matlab (Simulink) ve EMT/ATP bilgisayar programlarında lambanın modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerle, gerçek ölçüm değerleri, floresan lambaya üçüncü harmonik filtre bağlı ve bağlı değilken karşılaştırılmıştır. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Dağıtım sistemlerinde ve konutlarda yaygın olarak kullanılan elektronik balastlı floresan lambaların harmonik bozulmaları simülasyon sonuçları ile bulunabilecek ve önceden değerlendirilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: Harmonikler, Harmonik Ölçümü, Elektronik Balast.

A NEW ALGORITHM FOR ELECTRONIC BALLAST FLUORESCENT LAMP'S HARMONICS MEASUREMENT, ELIMINATION AND SIMULATION

ABSTRACT

Since the increasing use of power electronic devices, harmonic study has become an important subject of power system analysis and design. Accurate harmonic presentations are based on accurate load models. These loads are nonlinear and their models must reflect the nature of the harmonic components. An example of a nonlinear load is the compact fluorescent lamps, which are widely used. The goal of this paper is to develop an accurate model for a fluorescent lamp and to include the effect of the imbalance in power system. A case of parallel harmonic resonance that

resulted in the misbehaviors of the electronic ballast is verified by means of measurements and computer simulations with Matlab Simulink Toolbox and EMTP/ATP.

Keywords: Harmonics, Harmonic Measurement, Electronic Ballast.

1. GİRİŞ

Güç sistemlerinde harmonikler, gerilim ve akımda bulunan farklı genlikte ve frekanstaki sinüzoidal işaretlerle, bozulmuş sinüzoidal işaretlerin toplamından oluşur. Bir frekansa sahip sinüzoidal olmayan dalgada, temel frekanslı sinüzoidal dalganın yanında çok sayıda sinüzoidal bileşenlerde olabilir. Söz konusu ilave bileşenlerin frekansı temel frekansın tam katıdır ve harmonik bileşen olarak adlandırılır.

Elektrik güç sistemlerinde enerjinin üretilmesi, iletimi ve dağıtımı sırasında, akım ve gerilimin anma frekansında değişmesi ve sinüs eğrisine çok benzer biçimde olması istenir. Son yıllarda, yarı-iletken elemanlarının kullanımının yaygınlaşması, gerilim ve akım dalga şekillerinde istenmeyen bozulmalara yol açmaktadır [1]. Dağıtım sistemlerindeki tek fazlı yüklerden elektronik balastlı floresan lambalar, önemli harmonik kaynaklarıdır [2].

Transformatörlerin gereksiz yere yüklenip ömür kayıpları, kondansatörlerin patlaması, ilave hat kayıpları vb. şeklinde olabilecek harmoniklerin zararlı etkileri ölçümler ile belirlenip, gerekli filtre devreleriyle standart değerlerde tutulması, kaliteli bir enerji sistemi için gereklidir.

Bu çalışmada öncelikle Fluke41 ve AR5 enerji analizörleri ile elektronik balastlı floresan lambaların akım ve gerilim dalga şekilleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda floresan lambalarda üçüncü harmoniğin baskın olduğu görülmüştür. Bu harmoniği ortadan kaldıracak pasif filtre dizayn edilerek enerji analizörleri ile ölçümler yeniden yapılmıştır. Aynı sonuçların Matlab ve EMTP/ATP simülasyon programlarında oluşturulması yoluna gidilmiştir. Her iki modelin simülasyon sonuçları sonuç kısmında değerlendirilmiştir. Bilgisayar ortamında floresan lamba ve balast modellenerek, enerji analizörüyle elde edilen akım ve gerilim dalga şekilleri büyük yaklaşıklıkla elde edilmiştir.

2. HARMONİK BOZULMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Normal işletme koşullarında, harmoniklerin varlığı ile akım, gerilim ve güç ifadeleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$V_{(t)} = \sum_{h=1}^{\infty} V_h(t) = \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} V_h \sin(hw_0 t + \theta_h) \quad (1)$$

$$I_{(t)} = \sum_{h=1}^{\infty} I_h(t) = \sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{2} I_h \sin(hw_0 t + \delta_h) \quad (2)$$

$$V_{ef} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2} \quad I_{ef} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \quad (3)$$

$$P = \int_0^T V_{(t)} I_{(t)} dt = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos(\theta_h - \delta_h) \quad (4)$$

Burada I_h ve V_h sırasıyla h. harmonik akım ve geriliminin efektif değeridir [3].

Harmoniklerin sistem elemanlarına olan etkisinin belirleyici en önemli ölçütlerinden birisi *Toplam Harmonik Bozunum* (THB)'dur. THB'nin değeri,

$$THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1}, \quad THB_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (5)$$

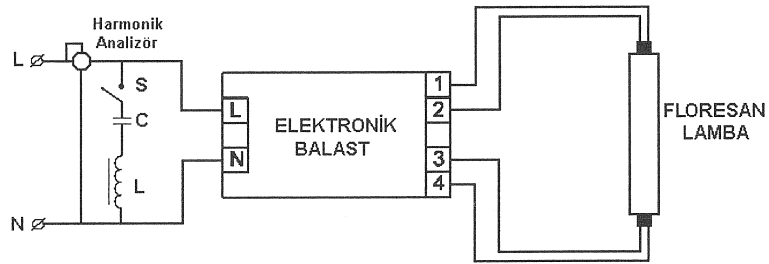
ifadelerinden yararlanılarak bulunur. Burada THB, harmonik bileşenlerin efektif değerlerinin, temel harmonik bileşen değerine oranıdır ve genellikle yüzde olarak ifade edilir. Bu büyüklük, harmonikleri içeren periyodik dalga formunun, tam sinüs biçimli dalgadan sapmasını tespit etmek için kullanılır [4].

3. HARMONİK ÖLÇÜM TEST SONUÇLARI

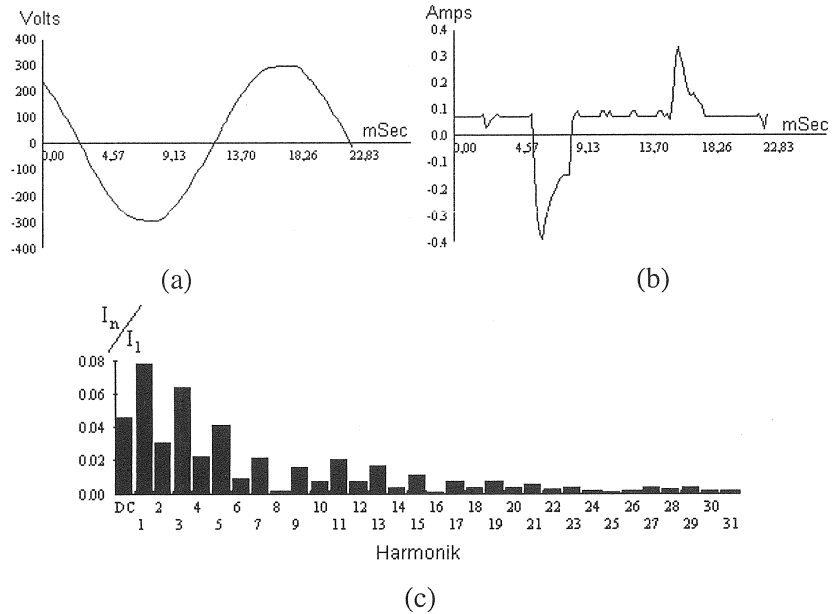
Elektronik balastın yapısının, güç elektroniği elemanlarından oluşması nedeni ile güç kaybı oldukça düşüktür. Manyetik balastlarda 2,8 sn. seviyesindeki ateşleme süresi elektronik balastlarda 0,4-1 sn civarındadır. Manyetik balastlarda 0,5-0,6 seviyesinde olan güç faktörü, filtre devresiyle birleştirilmiş elektronik balastlarda 0,95'e kadar çıkabilmektedir. Gürültüye karşı korunma gerektiren yerlerde elektronik balast en uygun çözümdür.

Isınma olmadığı için daha verimli çalışır ve yangın riski de ortadan kalkar. Elektronik balastın sayılan bu avantajları yanında, başlıca dezavantajı güç kalitesi üzerine olan olumsuz etkileridir [5].

Elektronik balastlı floresan lambaların oluşturdukları harmonikleri görmek için Şekil 1'deki deney düzeneği kurulmuştur. Bu ölçümler piyasada bulunan bir çok elektronik balast üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ancak bu çalışmada şu an diğerlerine göre ekonomikliği nedeniyle en çok kullanılan elektronik balast kullanılmıştır. Test ve simülasyonlarda kullanılacak floresan lambanın gücü 18 W'dır.

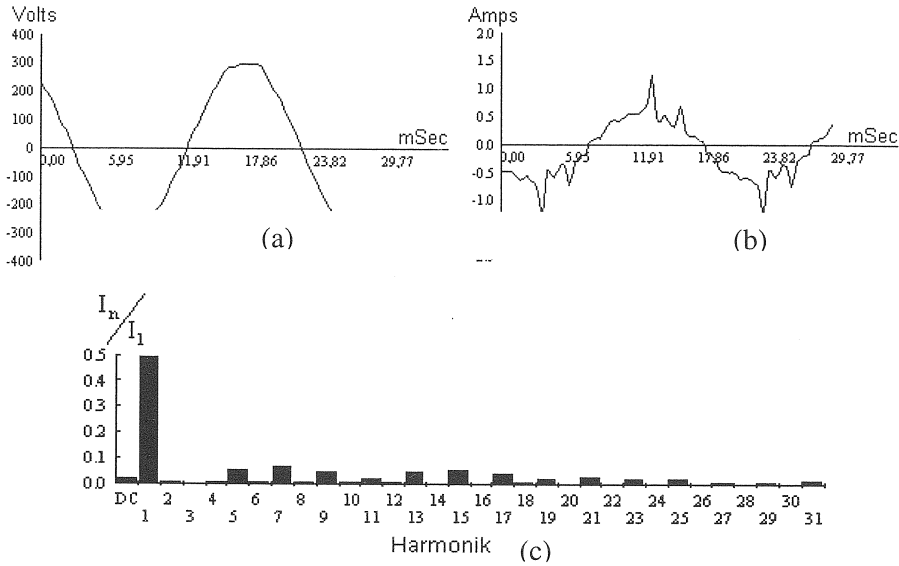


Şekil 1. Elektronik Balastlı Floresan Lamba Deney Montaj Şeması



Şekil 2. Elektronik Balastlı Floresan Lambaya Filtre Bağlı Değilken (a) Gerilim dalga şekli, (b) Akım dalga şekli, (c) Akım harmonik spektrumu

Şekil 1’de oluşturulan deney şemasından, Şekil 2’deki ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Şekil 2(a)’da gösterilen gerilim dalga şekli aynı zamanda şebeke geriliminin dalga şeklindedir. Şebeke gerilimi şebekede bulunan lineer olmayan elemanlardan dolayı az da olsa harmonik içermektedir. Çalışmada şebeke geriliminin saf sinüs olduğu kabul edilmiştir. Şekil 2(c)’deki akım harmonik spektrumuna bakıldığında en baskın harmoniğin üçüncü harmonik olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Elektronik Balastlı Floresan Lambaya Filtre Bağlıyken
(a) Gerilim dalga şekli, (b) Akım dalga şekli, (c) Akım harmonik spektrumu

Baskın olan harmoniğin yok edilmesi durumunda akım dalga şekli sinüs formuna yaklaşacaktır. Bu amaçla Şekil 1’deki S anahtarı kapatılarak, üçüncü harmoniği ortadan kaldıracak olan pasif filtre dizayn edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, üçüncü harmonik akımını filtre etmek için bağlanması gereken yüke paralel LC devresinin elemanlarının değeri Denklem 6’dan bulunabilir.

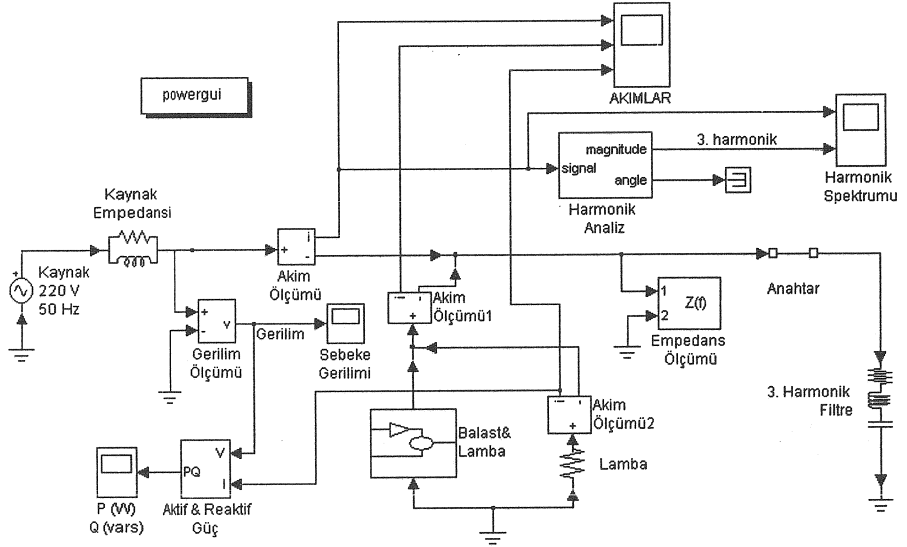
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (6)$$

Kullanılacak olan bobin ve kondansatörün değeri belirlenirken, sistemin güç faktörünü temel harmonik frekansında yükseltecek değerler seçilmelidir.

Buna göre sistemin güç faktörü belirlenip, filtrenin temel harmonik frekansında aşırı kompanzasyona neden olması veya sistemi endüktif olarak yüklemesi önlenmelidir [6]. Burada seçilecek olan L ve C şebekede rezonans olaylarına yol açmayacak nitelikte olmalıdır.

Pasif filtrede, $C=5\mu F$ ve $L = 225$ mH kullanıldığında akım için ölçülen değerler Şekil 3’de görülmektedir. Şekil 3(a)’daki gerilim dalga şekli aynen Şekil 2’de verildiği gibidir. Şekil 3(b)’den de görüleceği gibi, akım dalga formu sinüs formuna daha da yaklaşmıştır. Ayrıca akım harmonik spektrumunda üçüncü harmoniğin devreden pasif filtre yardımıyla kaldırıldığı görülmektedir.

1. BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU

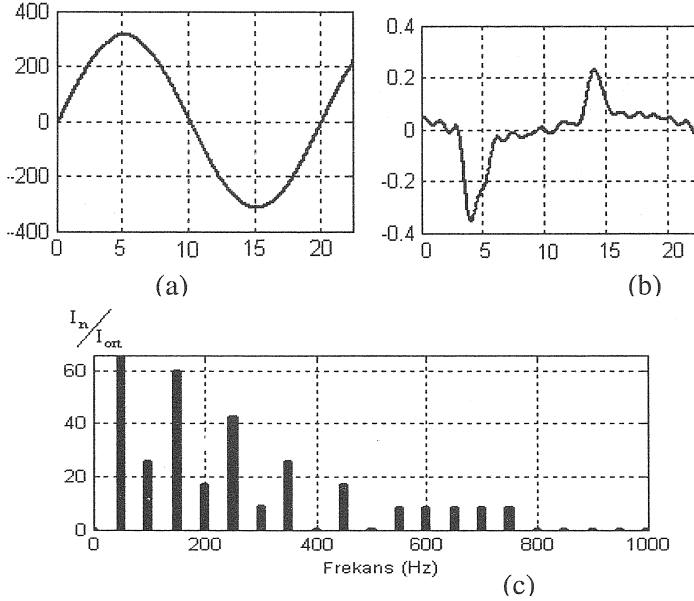


Şekil 4. Elektronik Balastlı Floresan Lambanın Matlab Harmonik Modeli

Şekil 4’de Matlab Simulink (Power System Toolbox) simülasyon programında geliştirilen ve önerilen floresan lamba harmonik modeli verilmiştir. Kaynak olarak 220 V, 50 Hz şebeke alınmış ve belirli bir kaynak empedansı ile modellenmiştir. Bu kaynak empedansı ele alınan şebekenin gücünü göstermektedir. Floresan lamba modeline bir anahtar üzerinden paralel olarak pasif filtre bağlanmıştır.

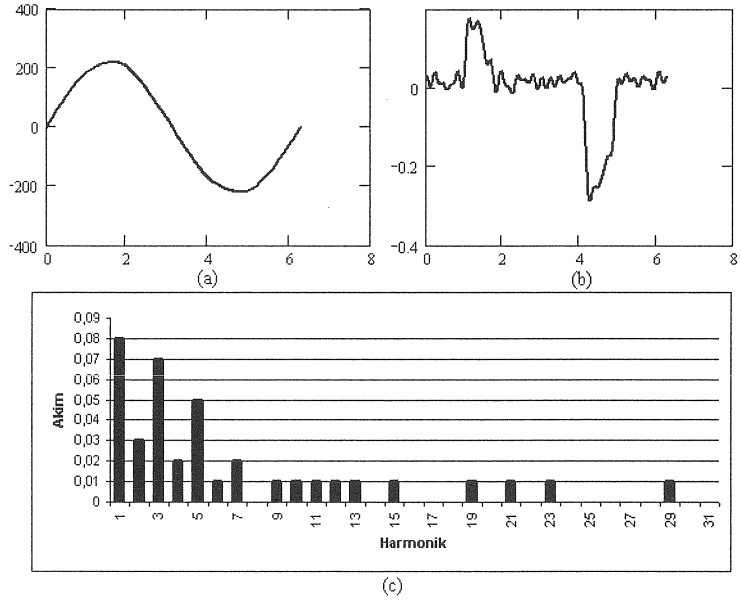
Şekil 5’deki devrede filtre anahtarı açık iken gerilim, akım ve harmonik spektrumu değerleri gösterilmiştir. Şekil 5(a)’da gösterilmiş olan şebeke

gerilimim saf sinüs olduğuna dikkat edilmelidir. Çünkü diğer bozucu etkiler burada ihmal edilmiştir. Akım harmonik spektrumu dikkate alındığında da deney sonuçlarında olduğu gibi üçüncü harmoniğin en baskın olan harmonik olduğu görülmektedir. Enerji analizörleri harmonik spektrumlarında harmonik akımlarını değerlendirirken, nominal akımı temel bileşene oranlayarak, bilgisayar programı ise harmonik akımlarını ortalama akım değerine oranlayarak vermektedir.



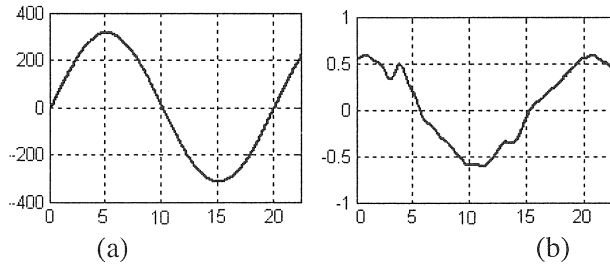
Şekil 5. Filtre Bağlı Değilken Matlab Programıyla Oluşturulan
(a) Gerilim dalga şekli, (b) Akım dalga şekli, (c) Akım harmonik spektrumu

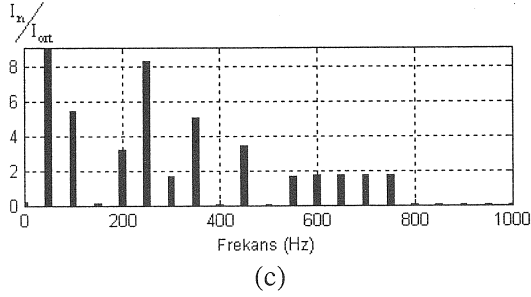
Şekil 4'e görülen modeldeki veriler kullanılarak, elektronik balastlı floresan lamba devresinde filtre bağlı değilken EMTP/ATP programıyla yapılan simülasyon sonucunda elde edilen, gerilim akım değerleri ile akımın harmonik spektrumunda gösterimi Şekil 6'da görülmektedir.



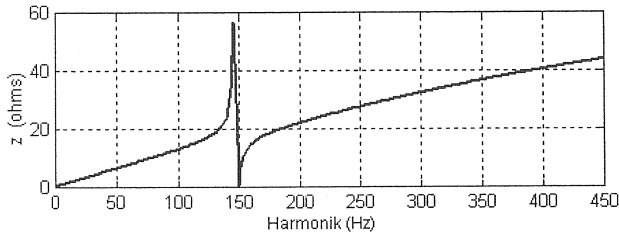
Şekil 6. Filtre Bağlı Değişken EMTP/ATP Programıyla Oluşturulan
(a) Gerilim dalga şekli, (b) Akım dalga şekli, (c) Akım harmonik spektrumu

Şekil 7’de floresan lambanın bilgisayar Matlab (Simulink) modelinde bulunan filtre anahtarının kapatılması durumunda oluşan gerilim, akım ve harmonik spektrumlarının değişimi gösterilmiştir. Üçüncü harmonik filtre devreye bağlandığında ana koldan geçen akımın dalga şekli Şekil 7(b)’de gösterilen değeri alır. Bu değerde sinüs akımına çok yakın bir değerdir. Ayrıca Şekil 7(c)’de 150 hz’deki üçüncü harmonik bileşeninin değeri sıfıra yaklaşmıştır. Bu değerın sıfıra yaklaşmış olduğu ayrıca Şekil 8’de verilmiş olan filtre empedansının frekansa bağlı değişiminden izlenebilir. Floresan lamba akımının üçüncü harmonik bileşeni filtre üzerinden devresini tamamlamaktadır.



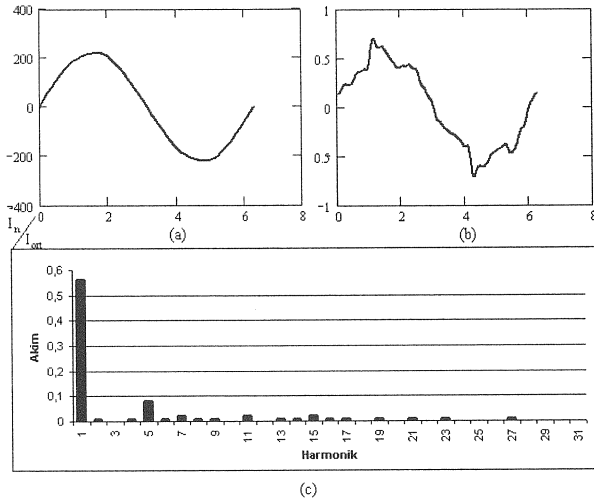


Şekil 7. Filtre Bağlı Değilken Matlab Programıyla Oluşturulan
(a) Gerilim dalga şekli, (b) Akım dalga şekli, (c) Akım harmonik spektrumu



Şekil 8. Filtre Empedansının Frekansa Bağlı Değişimi

Simülasyon EMTP/ATP programıyla yapıldığında, devreye filtre bağlı iken yani Şekil 4'deki S anahtarı kapatıldığında Şekil-9'daki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 9. Filtre Bağlı Durumda EMTP/ATP Programıyla Oluşturulan
(a) Gerilim dalga şekli, (b) Akım dalga şekli, (c) Akım harmonik spektrumu

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Elektrik enerjisi, yasal bir kalite standardı yayımlanmamış olan birkaç tüketim ürününden birisidir. Ancak günümüzde elektrik enerjisinin de belli bir standardı olması gerektiği düşüncesi, gelişmiş ve gelişmekte olan bir çok ülke tarafından kabul edilmektedir.

Oluşturulan bilgisayar modellerinden elde edilen akım, gerilim ve harmonik spektrumu değerleriyle gerçek ölçüm sonuçlarının büyük yaklaşıklıkla aynı olduğu görülmüştür. Gerçek sonuçlarla beraber, oluşturulan modelin uygulanabilirliği için iki adet simülasyon programı kullanılmıştır. Bu simülasyon programlarında çok büyük yaklaşıklıkla aynı sonuçları verdiği görülmüştür. EMTP/ATP modeli yanında daha önce uygulanmamış olan Matlab (Simulink) programında benzer sonuçlar elde edilebilmiştir. Ayrıca yayında sözü geçen şebeke saf sinus kaynağı değildir. Bu çalışmalar saf sinus kaynağı olan şebekelerde denenerek daha net sonuçlar elde edilebilir.

Buna göre, sistem tasarımcılarının gerçek sistemlerini oluşturmadan önce, bilgisayar modeli sayesinde sistemin davranışını önceden kestirebilmelerine yarayacaktır. Bu şekilde tasarımcılar sistemin hangi noktada rezonansa gideceğini, hangi harmoniklerin baskın olduğunu, hangi harmoniği yok etmek için ne değerlerde bobin ve kondansatör seçmeleri gerektiğini önceden hesaplayabileceklerdir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Araştırma Fonu'nun 2003/66 sayılı "*Güç Sistemlerinde Gerilim Bozulmalarının Cihazlara Etkisinin Modellenmesi ve Standartının Oluşturulması*" isimli projesi olarak desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

1. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE, NY, USA, (1993).
2. Emmanuel A. E., Gentile T. J., Pileggi D. J., Gulachenski E. M., and Root C. E., The Effect of Modern Compact Fluorescent Lights on Voltage Distortion, IEEE Trans. Power Delivery, 8 (3), (1993).
3. Dugan R. C., McGranaghan M. F., Beaty H. W., Electrical Power System Quality, McGraw-Hill New York, (1996).
4. Bornitz E., Hoffman M., Leiner G., Harmonics in Electrical Systems and Their Reduction Through Filter Circuits, CIGRE Report No. 304
5. Yörükeren Nuran, Yeğin E. Mustafa, Albayacı Bora, Akalın Gül, Elektronik Balastların Oluşturduğu Harmonikler, Elmeksem'97 Bursa IV. Elektromekanik Sempozyumu, 150, (1997).
6. Herbert L. Ginn III, Improvement Of Resonant Harmonic Filter Effectiveness in the Presence of Distribution Voltage Distortion, Louisiana State University, (2002).