



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Pasif filtre kullanılarak elektronik balastlı floresan lambanın harmoniklerinin azaltılması ve simülasyonu

Simulation and harmonics reduction of electronic ballast fluorescent lamp by using passive filter

Yazar(lar) (Author(s)): Bahadır ERDOĞAN¹, Ali Bekir YILDIZ²

ORCID¹: 0000-0002-0600-0488

ORCID²: 0000-0003-4043-7859

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Erdoğan B. ve Yıldız A.B., “Pasif filtre kullanılarak elektronik balastlı floresan lambanın harmoniklerinin azaltılması ve simülasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 149-155, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.389640

Pasif Filtre Kullanılarak Elektronik Balastlı Floresan Lambanın Harmoniklerinin Azaltılması ve Simülasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Bahadır ERDOĞAN, Ali Bekir YILDIZ*

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 14.11.2017 ; Kabul/Accepted : 25.12.2017)

ÖZ

Elektrik tesislerinde elektrik enerjisine olan ihtiyaç kadar enerjinin kalitesi de büyük önem taşımaktadır. Güç kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan biri, sistemdeki lineer olmayan yüklerden kaynaklanan harmoniklerdir. Son yıllarda güç elektroniğinin gelişimiyle artan lineer olmayan yükler, elektrik tesislerinde dalga şekillerinin bozulmasına ve harmoniklerin oluşmasına neden olmaktadır. Sistemdeki harmonikler ekonomik ve teknik zararlara neden olmaktadır. Bir tesisin tasarımı aşamasında alınacak bazı önlemler dışında, harmoniklerin azaltılması için en önemli yöntem harmonik filtrelerin kullanılmasıdır. Bu çalışmada, elektronik balastlı bir floresan lambanın çalışma durumlarına ilişkin harmonik ölçümleri alınmıştır. Daha sonra, ölçülen harmonikleri azaltmak amacıyla pasif filtreler tasarlanarak etkileri ve Toplam harmonik bozunum (THB) değerlerindeki azalmalar gözlemlenmiştir. Filtre tasarımında tek ayarlı ve çift ayarlı modeller kullanılmıştır. Aynı sistem, Matlab/Simulink ortamında modellenerek, ölçüm ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Filtre, güç kalitesi, harmonik, THB.

Simulation and Harmonics Reduction of Electronic Ballast Fluorescent Lamp by Using Passive Filter

ABSTRACT

The quality of energy is great importance as much as the electricity is required in power systems. One of the most important factors affecting the power quality is the harmonics resulting from non-linear loads in the system. In recent years, the development of the power electronics causes non-linear loads to increase. Correspondingly, it causes waveform distortions and harmonics in power systems. Harmonics cause technical and economical losses in the system. Except for some precaution to take in the design phase of a power system, the most important method for reducing harmonics is the use of harmonic filters. In this study, harmonic measurements of fluorescent lamp with electronic ballast are taken. Thereafter, passive filters are designed to reduce harmonics, their effects and decreases in Total Harmonics Distortion (THD) values are observed. Single-tuned and double-tuned models are used in filter design. The same system is modeled in Matlab/Simulink, the theoretical results are compared with measurement results.

Keywords: Filter, power quality, harmonics, THD.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik tesislerinde elektrik enerjisine olan ihtiyaç kadar enerjinin kalitesi de büyük önem taşımaktadır. Güç kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan biri sistemdeki lineer olmayan yüklerden kaynaklanan harmoniklerdir. Elektrik enerji sistemlerinde; akım, gerilim gibi büyüklüklerin dalga şekli temel frekanslı sinüsoidal bir değişime sahip olmalıdır. Bunun için de sistemin sinüsoidal bir kaynakla beslenmesi ve yüklerin lineer olması gereklidir. Sisteme bağlı elektrik enerjisiyle çalışan cihazların doğru ve verimli bir şekilde çalışması için dalga şeklinin ve frekansının değişmeden kullanılması önemlidir. Fakat sistemde var olan ve her geçen gün sayısı artan lineer olmayan yükler sistemde

harmonik akım bileşenlerinin oluşmasına neden olurlar. Eğer herhangi bir önlem alınmazsa harmonik akım bileşenlerinin oluşturduğu harmonik gerilimler sisteme bağlı bütün yükler üzerinden harmonik akımlar akıtır. Böylece herhangi bir tüketici harmonik bozunuma neden olmasa bile sistemdeki bozulmalardan etkilenmiş olacaktır. Harmonik bozunum, enerji sisteminde ve bu sisteme bağlı bütün elemanların üzerinde teknik ve ekonomik olumsuzluklar meydana getirir. Ekonomik olumsuzluk olarak iletim hatları, dağıtım sistemleri, motor ve generatör gibi elemanlarda ek kayıplara neden olması, teknik olumsuzluk olarak ise sistem elemanlarının zarar görüp sistemin çalışamaz duruma gelmesi ya da anahtarlama elemanlarının yanlış anlarda anahtarlama yapıp doğru çalışmamasına neden olması örnek olarak verilebilir. Ayrıca sistemde harmonikler nedeniyle değişik frekanslarda akım ve gerilimler

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : abyildiz@kocaeli.edu.tr

olacağından, harmonikler sistemde rezonans olayına yol açarak aşırı gerilim ve akımların oluşmasına neden olabilirler. Aşırı gerilim ve akımlar sistemdeki elemanlara büyük zararlar vereceklerdir. Harmoniklerin oluşturacağı bu olumsuzluklardan etkilenmemek için harmonikli sistemlerin analiz edilip buna uygun önlemlerin alınması büyük önem taşımaktadır. Ref.[1-6]'da güç sistemlerindeki harmoniklerin nedenleri, etkileri incelenmiş ve analizleri verilmiştir.

Harmoniklerin yok edilmesi veya etkilerinin azaltılması için iki farklı yöntem vardır. Bunlardan birincisi harmonik üreten elemanların harmonik üretmeyecek ya da mümkün olduğunca az harmonik üretecek şekilde tasarlanması veya şebeke bağlantılarının uygun şekilde yapılmasıdır. İkinci yöntem ise harmoniklerin üretildikten sonra filtreler yardımıyla yok edilmesidir. Ref.[7-12]'de harmoniklerin azaltılması için çeşitli filtreleme teknikleri önerilmiştir.

Elektrik tesislerinde pek çok harmonik üreten eleman söz konusudur. Bunlar arasında en yaygın olanı ve bilineni, elektronik balastlı floresan lambalardır. Bu yük çeşidi, hem konutlarda hem sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Ref.[13-17]'de floresan lambaların ürettiği harmonikler incelenmiş, çeşitli harmonik modelleri elde edilmiş, simülasyonları yapılmış, filtreleme teknikleri incelenmiştir.

Bu çalışmada, yaygın kullanılan elektronik balastlı floresan lambanın çalışma durumlarına ilişkin harmonik ölçümleri alınmıştır. Daha sonra, ölçülen harmonikleri azaltmak amacıyla pasif filtreler tasarlanarak etkileri ve Toplam Harmonik Bozunum (THB) değerlerindeki azalmalar gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın temel katkısı, filtre tasarımında tek ayarlı ve çift ayarlı modeller kullanılarak, sistemin Matlab/Simulink ortamında modellenmesi, ölçüm ile teorik sonuçların karşılaştırılmasıdır.

2. TOPLAM HARMONİK BOZUNUMU (TOTAL HARMONIC DISTORTION)

Toplam harmonik bozunumu (THB), harmonik içeren periyodik dalga şeklinin tam bir sinüs dalga şeklinden ne kadar saptığını belirlemek için kullanılır. THB gerilim ve akım ifadeleri, sırasıyla denk.(1.a) ve denk.(1.b)'deki gibidir. Bu oran genellikle yüzde olarak ifade edilir [18]

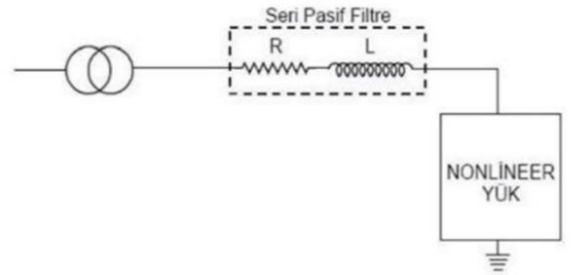
$$THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (1.a)$$

$$THB_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (1.b)$$

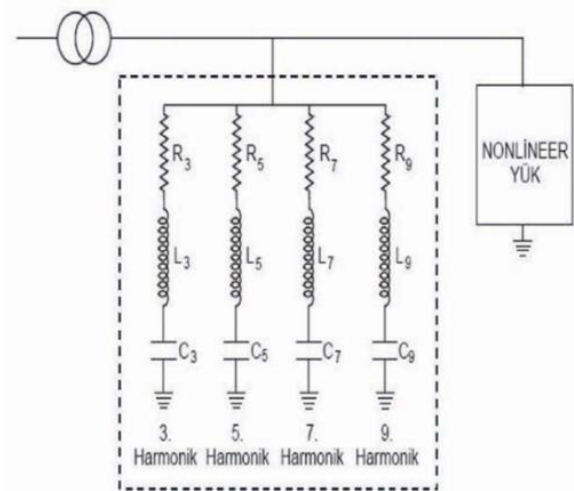
Denk. (1.a) ve (1.b)'de, THB_V gerilim harmoniklerini, THB_I akım harmoniklerini, V_n ve I_n sırasıyla n. gerilim ve akım harmoniğini ifade etmektedir.

3. PASİF HARMONİK FİLTRELER (PASSIVE HARMONIC FILTERS)

Günümüzde harmoniklerin zararlı etkilerinden korunmak için en etkili yöntem harmonik filtrelerin kullanılmasıdır. Harmonik filtreler tasarlanırken, kullanılan elemanlara göre iki sınıfa ayrılır. Bunlar; R, L, C elemanları kullanılarak tasarlanan pasif filtreler ve güç elektroniği anahtarlar elemanları kullanılarak tasarlanan aktif filtrelerdir. Pasif filtreler uzun yıllardır kullanılmakta olup ekonomik olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Pasif filtreler R, L ve C elemanları kullanılarak tasarlanır. Tasarımında devredeki endüktans ve kapasite elemanlarının reaktanslarının frekansa bağlı değişiminden ve rezonans frekansındaki tepkilerinden faydalanılır. Pasif filtreler, seri pasif filtreler ve paralel pasif filtreler olmak üzere ikiye ayrılır. Seri pasif filtreler genellikle AC motor sürücü ve yüksek güçlü AC/DC dönüştürücülerin önlerinde kullanılır. Paralel pasif filtreler ise harmonik kaynağı ile şebeke arasına paralel olarak bağlanarak, harmoniklere düşük empedanslı bir yol oluşturup yük yerine filtre üzerinden akmasını sağlarlar. Şekil 1'de bu filtrelerin bağlantı şekilleri gösterilmiştir.



(a)



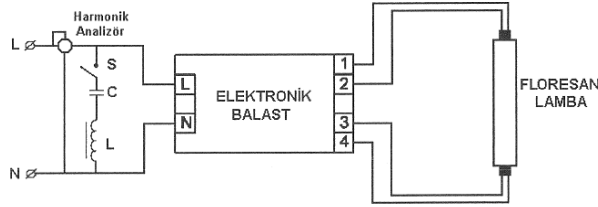
(b)

Şekil 1. (a) Seri filtre bağlantısı (b) Paralel filtre bağlantısı ((a) Connection of series passive filter (b) Connection of parallel filters)

4. ELEKTRONİK BALASTLI FLORESAN LAMBANIN HARMONİK ÖLÇÜMÜ VE FİLTRE UYGULAMALARI (HARMONIC MEASUREMENT OF FLUORESCENT LAMP WITH ELECTRONIC BALLAST AND FILTER APPLICATIONS)

Aydınlatmada kullanılan elemanlardan elektronik balastlar filtresiz kullanıldığında harmonik üretirler. Filtresiz kullanılan yüksek frekanslı elektronik balastlarda en etkin harmonik bileşenler 3, 5, 7. ve 9. harmoniklerdir.

Yapılan çalışmada Fluke 434 Güç Kalitesi Analizörü kullanılarak elektronik balastlı bir floresan lambanın çalışma durumuna ilişkin harmonik ölçümleri alınmıştır. Daha sonra, ölçülen harmonikleri azaltmak amacıyla pasif filtreler tasarlanarak THB değerlerindeki azalmalar gözlemlenmiştir. Filtre tasarımında tek ayarlı ve çift ayarlı pasif filtreler kullanılmış, filtreler sisteme ayrı ayrı uygulanarak etkileri karşılaştırılmıştır. Kurulan deney montaj şeması Şekil 2’de gösterilmiştir. Filtresiz ölçüm sonuçları Şekil 3’te verilmiştir.



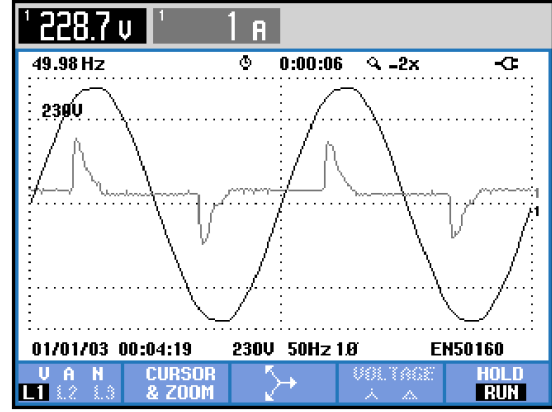
Şekil 2. Deney montaj şeması (Installation diagram of experiment)

Şekil 3’te görüldüğü gibi, akım dalga şekli sinüs şeklinden oldukça uzaklaşmıştır. THB değeri %80,9 olarak ölçülmüştür. Sistemdeki en etkin harmonik bileşen 3. harmoniktir ($f_3=150\text{Hz}$). Sisteme ait gerekli filtreleme işlemi için L ve C yük bankaları kullanılmıştır. Tek ayarlı filtreler için denk.(2), çift ayarlı filtreler içinse, buna ilave olarak denk.(3) ve denk.(4) de kullanılmıştır [19]. Tek ve çift ayarlı filtre yapıları Şekil 4’de görülmektedir. Üç farklı filtre uygulaması gerçekleştirilmiştir. Sadece 3. harmonik için tek ayarlı bir filtre, 100Hz frekansına sahip tek ayarlı bir filtre, 3. ve 5. harmonikleri yok etmek için çift ayarlı filtre uygulamaları yapılmıştır.

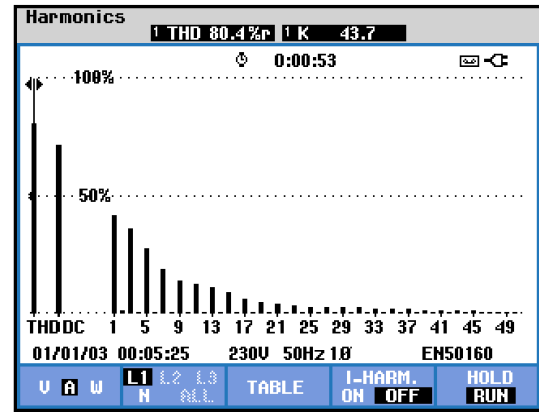
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Çizelge 1. Kullanılan Filtreler ve L-C değerleri (The used filters and values of L-C)

Filtre Çeşidi	C1 (uF)	L1 (mH)	C2 (uF)	L2 (mH)
Tek ayarlı 3. harmonik (150Hz) filtresi	3,4	300	–	–
Tek ayarlı 100Hz’lik filtre	8,5	300	–	–
3. ve 5. harmonikler için Çift Ayarlı filtre	4,25	150	4,25	150



(a)



(b)

Şekil 3. Filtresiz ölçüm sonuçları (a) Akım ve Gerilim Dalga Şekli (b) Akım Harmonik Spektrumu (Results of measurements without filter (a) Current and Voltage Waveforms (b) Current Harmonic Spectrum)

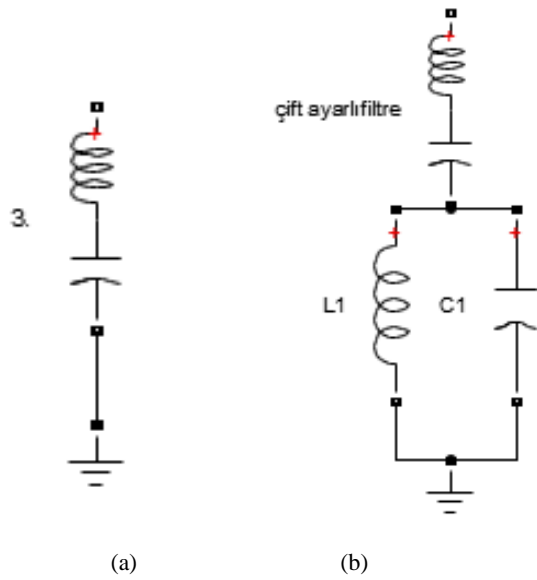
$$\text{Bant Genişliği: } BG = f_{c2} - f_{c1} \quad (3)$$

Köşe frekansları:

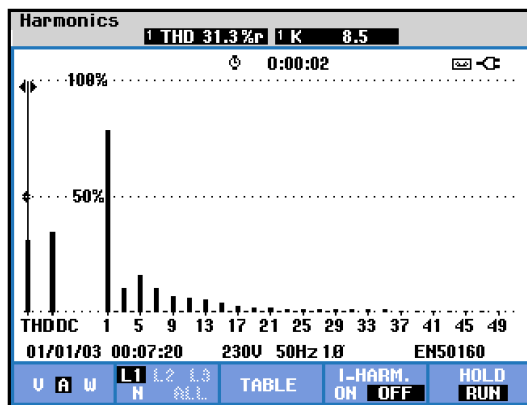
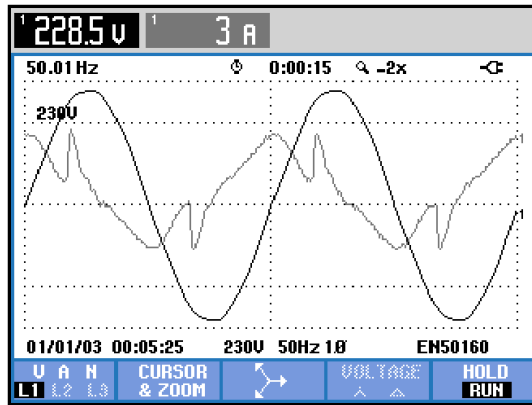
$$f_{c1} = f_r - \frac{BG}{2}, \quad f_{c2} = f_r + \frac{BG}{2} \quad (4)$$

Denk.(2)’de f_r rezonans frekansını, denk.(3) ve denk.(4)’de f_{c1} ve f_{c2} alt ve üst kesim frekanslarını ifade etmektedir.

Her üç filtre uygulaması için kullanılan L-C eleman değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Filtreler bağlandıktan sonra alınan ölçümler, sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir.

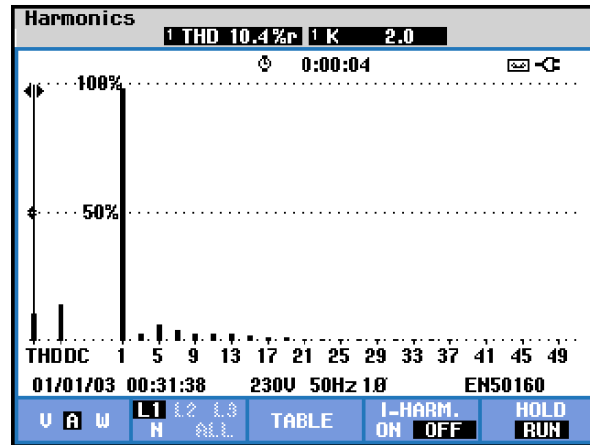
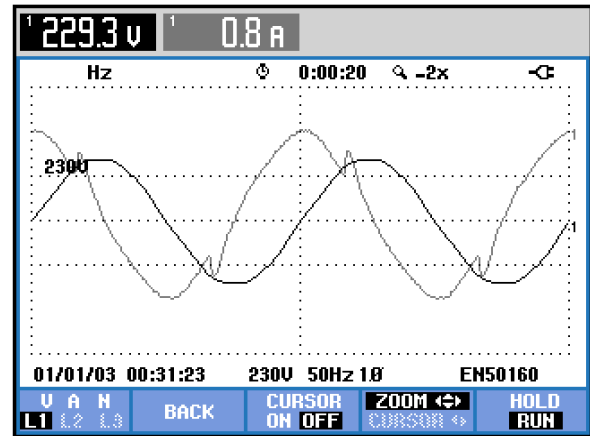


Şekil 4. (a) Tek ayarlı filtre (b) Çift ayarlı filtre ((a) Single tuned filter (b) Double tuned filter)

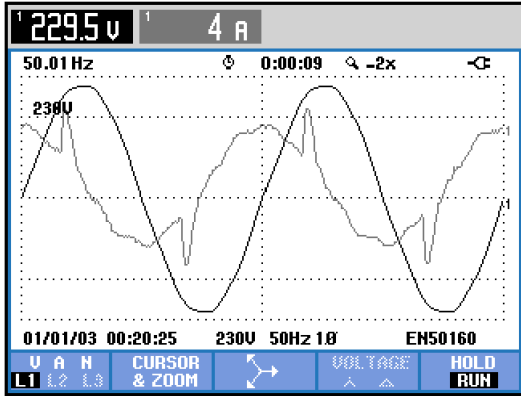


Şekil 5. 150Hz'lik (3. Harmonik) tek ayarlı filtreye ait ölçüm sonuçları (a) Akım ve gerilim dalga şekli, (b) Akım harmonik spektrumu (150 Hz (3rd Harmonic) measurement results of single tuned filter (a) Current and voltage waveforms (b) Current harmonic spectrum)

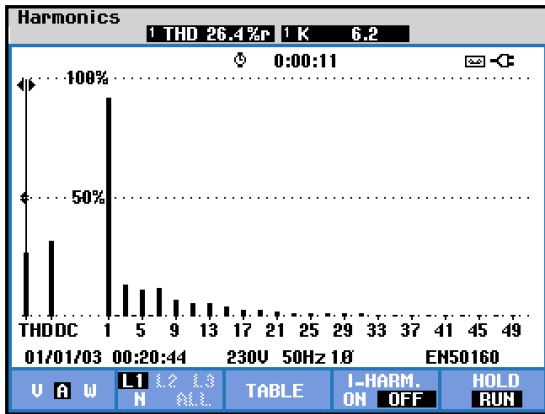
Şekil 5'ten de görülebileceği gibi, 3. harmonik için filtre bağlandıktan sonra, akım dalga şekli önemli oranlı düzelmiştir. THB %80,9 dan %31,3'e düşmüştür. $f_3=150\text{Hz}$ frekansındaki 3. harmonik, Şekil 5.b'de görüldüğü gibi sönümlenmiştir. Şekil 7'de, Çift ayarlı filtre bağlandıktan sonra 3 ve 5. harmoniğin beraber sönümlendikleri, THB oranının ise %26,4 e düştüğü gözlemlenmiştir. Şekil 6'da, filtre bağlandıktan sonra, 100 Hz ve üzeri neredeyse bütün harmoniklerin sönümlendiği gözlemlenmiş, THB oranı %10,4'e düşmüştür. Dalga şeklini düzeltmek açısından en iyi sonucu bu filtre vermiştir, fakat sistemin eşdeğer empedansı değiştiğinden şebekeden çekilen akım 8 katına çıkmıştır.



Şekil 6. 100 Hz'lik tek ayarlı filtreye ait ölçüm sonuçları (a) Akım ve gerilim dalga şekli, (b) Akım harmonik spektrumu (100 Hz measurement results of single tuned filter (a) Current and voltage waveforms (b) Current harmonic spectrum)



(a)

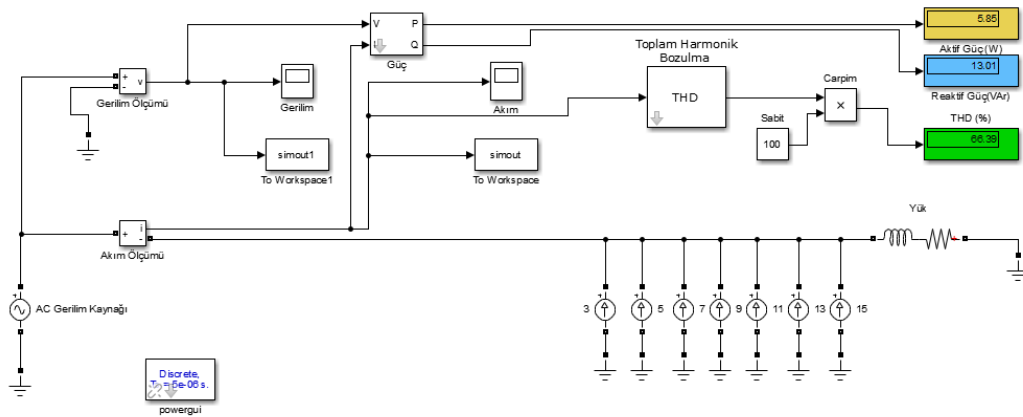


(b)

Şekil 7. Çift ayarlı filtreye (3. ve 5. harmonikler için) ait ölçüm sonuçları (a) Akım ve gerilim dalga şekli, (b) Akım harmonik spektrumu (Measurement results of double tuned filter (for 3rd and 5th harmonics) (a) Current and voltage waveforms (b) Current harmonic spectrum)

5. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI (SIMULATION STUDY)

Bu bölümde harmonik ölçümü yapılan elektronik balastlı floresan lamba içeren sistem



Şekil 8. Elektronik balastlı floresan lamba MATLAB/Simulink modeli (MATLAB/Simulink model of Fluorescent Lamp with Electronic Ballast)

MATLAB/Simulink ile modellenmiş ve sistem üzerine çeşitli filtreler ayrı ayrı eklenerek sonuçlar gözlemlenmiştir.

Sistemin modellenmesinde, lineer olmayan yükü temsil etmesi için ise her bir harmonik derecesi için o frekanstaki akım kaynakları kullanılmıştır [20]. Yüke ait eleman değerleri için deneysel ölçümdeki; $R = 1389,649 \Omega$ ve $L = 9,84 H$ olarak alınmıştır. Nonlineer yüke ait akım kaynaklarının değerleri, denk.(5) ile bulunmuştur. Sonuçlar, Çizelge 2’de verilmiştir.

$$\%I_n = \frac{I_n}{I_{rms}} \quad (5)$$

Denk.(5)’te, I_n n. harmonik bileşenini, I_{rms} akımın etkin değerini ifade etmektedir.

Çizelge 2. Harmonik Akımlarının Tepe Değerleri (Peak values of harmonic currents)

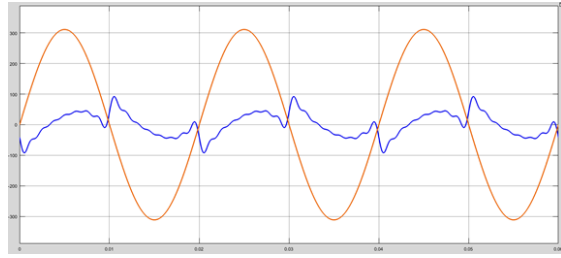
n. harmonik akım	Tepe Değeri (mA)	Frekans
3	39,739	150 Hz
5	30,8299	250 Hz
7	21,496	350 Hz
9	15,981	450 Hz
11	14,2836	550 Hz
13	12,59	650 Hz
15	10,041	750 Hz

Çizelge 3. Deneysel ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırması (Comparison of test and simulation results)

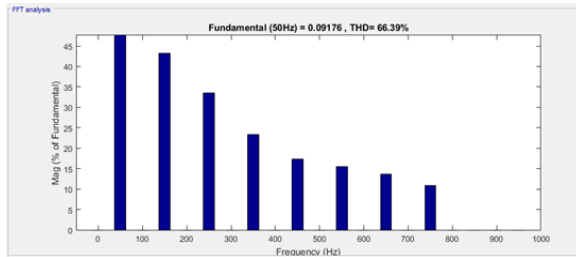
Filtreler	Deneysel THB (%)	Simülasyon THB (%)
Filtresiz durum	80,9	66,39
Tek ayarlı 3. harmonik (150Hz) filtresi	31,9	18,41
Tek ayarlı 100Hz’lik filtre	10,4	5,99
3. ve 5. harmonikler için Çift Ayarlı filtre	27,6	15,55

Matlab/Simulink'te kurulan devre modeli, Şekil 8'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, harmonik kaynaklar, yük paralel olarak bağlanmıştır.

Simülasyondan alınan sonuçlar, Şekil 9 ve Çizelge 3'te gösterilmiştir. Simülasyon sonuçlarının deney sonuçlarıyla aynı paralellikte ilerlediği görülmüştür. Başlangıçta filtresiz THB'nin simülasyonda düşük çıkmasının sebebi simülasyonda sadece 15. harmoniğe kadar akım kaynağı kullanılması olduğu düşünülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 9. Filtresiz ölçüm sonuçları, (a) Akım ve gerilim dalga şekli (b) Akım harmonik spektrumu (Results of measurements without filter (a) Current and Voltage Waveforms (b) Current Harmonic Spectrum)

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada harmonikleri engelleme yöntemlerinden biri olan filtreler üzerinde durulmuş ve filtresiz bir sistemle harmonik filtre uygulanmış bir sistem deneysel ve simülasyon ortamında karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda pasif filtre uygulamalarının THB üzerindeki olumlu etkileri gözlemlenmiştir. THB bakımından en iyi sonucu 100Hz'lik tek ayarlı filtre kullanımı vermiştir. Fakat bu filtrenin, devrenin eşdeğer empedansını olumsuz yönde değiştirmesiyle hattın çekilen akım artmıştır. Bu yüzden en etkili çözüm, devrede filtreleme işlemi yapılırken aynı zamanda kompanzasyon ihtiyacının da dikkate alınmasıdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Zhang J., Wen H., Tang L., Teng Z., Chen Z., "Frequency Shifting and Filtering Algorithm for Power System Harmonic Estimation", *IEEE Int. Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS)*, UK, 1-6, (2017).

- [2] Lee T.L., Hu S.H., "An Active Filter with Resonant Current Control to Suppress Harmonics Resonance in a Distribution Power System", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 4(1): 198-209, (2016).
- [3] Markovska M., Taskovski D., "Polyphase Representation of QMF Filter Bank for Power System Harmonics Analysis", *IEEE Int. Conf. on Computer as a Tool (EUROCON)*, Spain, 1-6, (2015).
- [4] Chen C., Chen Y.C., "Discussion on Covariance Matrix of Kalman Filter for Power System Harmonic Analysis", *Int. Symp. on Computer, Consumer and Control*, Taiwan, 589-592, (2014).
- [5] Kocatepe C., Uzunoğlu M., Yumurtacı R., "Elektrik Tesislerinde Harmonikler", Birsen Yayınevi, İstanbul, (2003).
- [6] Efe S.B., "Güç Sistemlerinde Harmonikler ve Harmoniklerin Analizi", *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, (2006).
- [7] Parthasarathy S., Kanakavel S.C., Karthickkumar S.A., "A harmonic distortion analysis of power distribution systems with hybrid power filter", *Int. Conf. on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, India, 1-11, 82016).
- [8] Rani R.S., Rao C.S., Kumar M.V., "Analysis of Active Power Filter for Harmonic Mitigation in Distribution System", *Int. Conf. on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, India, 1338-1446, (2016).
- [9] Shen H., et al., "Analysis Power Filter Equivalent to an Infinite Feeder for Harmonic Suppression in Radial Distribution Systems" *IET Power Electronics*, 9(7): 1331-1340, (2016).
- [10] Su C.L., Hong C.J., "Design of Passive Harmonic Filters to Enhance Power Quality and Energy Efficiency in Ship Power Systems", *49th IEEE/ IAS Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference*, USA, 1-8, (2013).
- [11] Taskovski D., Koleva L., "Measurement of Harmonics in Power Systems Using near Perfect Reconstruction Filter Banks", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(2): 1025-1026, (2012).
- [12] Rüstemli S., Okuducu E., Efe S.B., "Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Pasif Filtre Kullanılarak Azaltılması ve Simülasyonu", *EMO Enerji Verimliliği ve Kalitesi Semp.*, (2011).
- [13] Alboyacı B., Gencer Ö.Ö., "Elektronik Balastlı Floresan Lamba Harmoniklerinin Ölçümü, Yok edilmesi ve Simülasyonu İçin Yeni Bir Yöntem", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4: 57-66, (2003).
- [14] Moulahoum S., Houassine H., Kabache N., "Parallel active filter to eliminate harmonics generated by compact fluorescent lamps", *21st Mediterranean Conference on Control and Automation*, Greece, 143-148, (2013).
- [15] Nassif A.B., Acharya J., "An investigation on the harmonic attenuation effect of modern compact fluorescent lamps"; *13th International Conference on Harmonic and Quality Power*, Australia, 1-6, (2008).
- [16] Colin A.J., Djokic S.Z., Cresswell C.E., "Cancellation of harmonics between groups of modern compact fluorescent lamps", *International Symposium on Power*

- Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, Italy, 1190-1194, (2014).
- [17] Molina J., Sainz L., "Compact fluorescent lamp modelling for large-scale harmonic penetration studies", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(3): 1523-1531, (2015).
- [18] Gencer Ö.Ö., Yörükeren N., Alboyacı B., İnan E., "Dağıtım Sistemlerinde Kullanılan Aydınlatma Aygıtlarındaki Harmoniğin Ölçümü, Yok edilmesi ve Simüle Edilmesiyle İlgili Yeni Bir Algoritma", *Türk Aydınlatma Milli Komitesi*, (2002).
- [19] Yıldız A.B., "Elektrik Devreleri Teori ve Çözümlü Örnekler Kısım 2", Volga Yayınları, Kocaeli, (2006).
- [20] Keçecioglu Ö.F., Açıkgoz H., Şekelli M., "Harmonik Bozunum Kompanzasyonu için Melez ve Çift Ayarlı Pasif Güç Filtresi Tasarımı ve Performans Analizi", *Eleco Elektrik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, (2014).