

DAĞITIM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN AYDINLATMA AYGITLARINDAKİ HARMONİĞİN ÖLÇÜMÜ, YOKEDİLMESİ VE SİMULE EDİLMESİYLE İLGİLİ YENİ BİR ALGORİTMA

Ö. Özgür GENCER¹
ogencer@kou.edu.tr

Nuran YÖRÜKEREN²
yorukeren@kou.edu.tr

Bora ALBOYACI³
alboyaci@kou.edu.tr

Elif İNAN⁴
einan@kou.edu.tr

^{1,2,3,4}Elektrik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi,
Kocaeli Üniversitesi, 41100, Kocaeli.

ÖZET

Bu çalışmanın amacı enerji dağıtım sisteminde kullanılan aydınlatma cihazlarından kaynaklanan harmonik bozulmaların belirlemek ve çözümü için yeni bir yaklaşım gerçekleştirmektir. Bu amaçla önce filtresiz elektronik balastlı floresan lamba için ölçümler yapılmış, bir filtre devresi dizayn edilmiştir. Dağıtım sisteminden elde edilen verilere göre aydınlatma cihazlarından dolayı meydana gelen harmonikler belirlenmiştir. Elde edilen tüm ölçümler EMTP/ATP simülasyonları ve analiz programıyla doğrulanmıştır

1. GİRİŞ

Güç elektroniği cihazlarının kullanımındaki artışla birlikte güç sistem analizi ve tasarımında harmonik çalışma daha önemli bir hale gelmiştir. Doğru harmonik çözümlerinin temeli doğru yük modellerine dayanmaktadır. Lineer olmayan bu yüklerin modelleri harmonik bileşenlerin doğal yansıması olmalıdır. Lineer olmayan bir yüke örnek olarak sıkça kullanılan kompakt floresan lambalar verilebilir [1].

Harmonik bozulmanın problemi günümüzde yüksek seviye olduğu için, orta ve alçak gerilim dağıtım sistemlerinde sürekli izlenerek zararları en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Dünya çapında bu konuda bir çok araştırma yapılmıştır [2,3]. Gerilim ya da akımın yüzde toplam harmonik bozulmasının (THB) hesabı aşağıdaki gibidir [4];

$$THB_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad THB_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (1)$$

Enerji sağlayıcılar şebekenin her noktasında gerilim kalitesinin sürdürülmesinden sorumludur. Buna ilişkin uluslar arası bazı sınırlar Tablo 1'de verilmiştir [5].

Tablo 1. Nominal geriliminde yüzde olarak harmonik bozulma limitleri.

Bara Gerilimi PCC(V _n)	Bireysel Harmonik Gerilim Bozulumu (%)	Toplam Gerilim Bozulması THB _{VN} (%)
V _n ≤ 69 kV	3.0	5.0

Yerel bölgelerde lineer olmayan yüklerin sayısında artış olabilir, bu yükler harmonik üretir ya da harmonik bozulmaya duyarlıdır [6].

Son 60 yıldır ayarlı pasif filtreler, harmonik akımı yok etmede en çok kullanılan yöntemdir. Birçok akım dalga şeklinde düzeltici teknikler son 20 yıldır geliştirilmiştir. Bütün tekniklerin amacı giriş akımının sürekli olmasını sağlayarak tüm akım harmonik bozulmayı azaltmaktır [7].

Harmonik problemin çözümünde en sık kullanılan yöntem LC pasif filtrelerdir. Bu filtreler lineer olmayan yüke paralel bağlı bir akım kaynağı gibi çalışırlar ve yükün gereksinim duyduğu harmonik akımları üretirler. Bu yapıda uçlar sadece temeli karşılamak için vardır ve iletim hattı boyunca enerji kirliliği problemi önlenir. Uygun kontrol stratejisiyle, güç faktörünü doğrultmak mümkündür [8].

Harmonik filtre tasarım problemleri endüstrideki yaygınlıklarına göre iki kategoride sınıflandırılır. Bunlardan biri cihaz uygun olmayan derecelerde harmonik akımlarının enjekte etmesi, diğeri ise cihazın rezonansı tetikleyecek harmonik akımları enjekte etmesidir [9].

Bugün bile aktif filtreler güç kalitesi tekniği açısından pasif filtrelere oranla daha etkin olmasına rağmen ekonomik olduğu için pasif filtreler tercih edilmektedir [9].

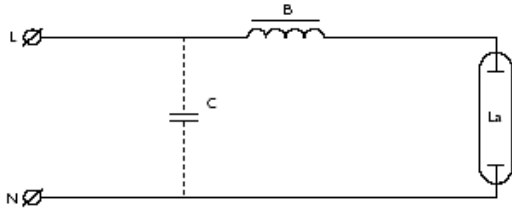
Bu çalışma Kocaeli ilinde bulunan bir toplu konut bölgesinde yapıldı. Ölçüm almak için yerel elektrik dağıtım sistemi yöneticileriyle bir protokol oluşturuldu. Bölge 4000 konut, 2 ilkokul, 1 yüksekokul, 3 ticari bina, 2 kültür merkezi ve 1 camiden oluşmaktadır. Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Araştırma Vakfı tarafından desteklenmektedir.

2. DERJ LAMBA KARAKTERİSTİKLERİ

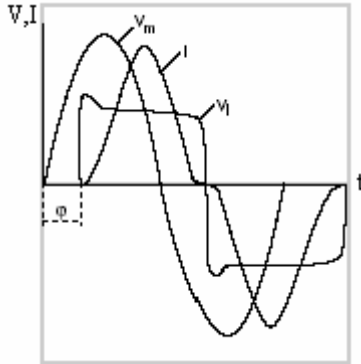
Halka açık alanların aydınlatılmasında endüstriye oranla enerji tüketimi daha az olsa da, tüm gelişen ülkelerde halka açık alan aydınlatmasına önem verilmektedir.

Kullanılan yüksek verimli yüksek basınç deşarj lambaları ile önemli boyutta enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Ancak bu tip lambalar düşük güç faktörlü lineer olmayan elemanlardır.

Gazlı deşarj lambalı devreler endüktif balastlarla dengelenirler ve paralel kompanzasyon kondansatörüyle devrenin güç faktörü kompanze edilir (Şekil 1'de görüldüğü gibi). Devrede paralel kondansatör olmadığı durumda yani sadece endüktif balast varken devre akımında faz kayması olur ve uygulanan gerilim akımdan ileri fazdadır.



Şekil 1. Paralel kondansatörle güç faktörünün düzeltilmesi



Şekil 2. Lamba akımı (I), lamba gerilimi (Vλ) ve temel değerleri

Lamba gerilim ve akımı aynı fazda, balastın gerilimi ise akıma göre 90° ileri fazdadır. Balast gerilimi ve lamba geriliminin vektörel toplamı temel gerilimi verir. Burada $\cos = V_I/V_m$ olduğu görülmektedir. Hangi durumda olursa olsun enerji kaynağı dağıtım sistemlerin tabanı olan $V_m \cdot I_1$ görünür gücü elde etmelidir.

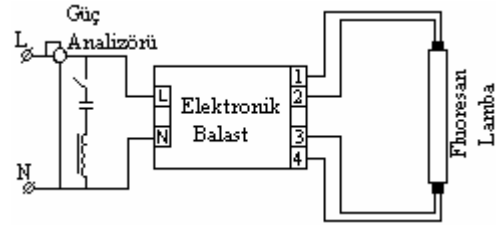
Bakır/demir balastlarla dengelenmiş bütün deşarj lambaları lamba akımında harmonikler üretirler. Bunun birinci nedeni lambanın geriliminin her

yarım çevrimde değişen polariteli bir kare dalga olmasıdır. Lamba gerilimi ve kaynak gerilimi arasındaki fark vektörü balasta karşılık gelen gerilimdir bu yüzden lamba geriliminin harmonikleri balast geriliminde oluşur

İkinci neden endüktif balasttaki histeresiz etkisidir. Balast gerilim ve akımı arasındaki ilişki yardımıyla her bir balast gerilimi için sonuç akımı bulunabilir [10]. Her ne kadar balast gerilimi saf sinüs olsa da balast akımında harmonik oluşabilir, fakat harmonik değeri deşarj lambasının neden olduğu harmoniğe oranla oldukça küçüktür.

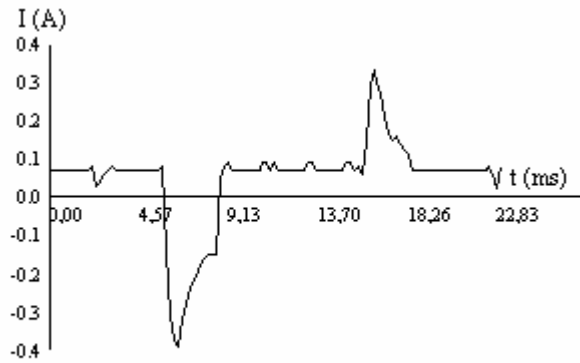
3. ELEKTRONİK BALASTLI FLUORESAN LAMBALARDA HARMONİKLERİN SİMÜLASYONU

Şekil 3'de filtreli ve filtresiz durumda güç faktörünün bulunması için tasarlanmış filtresiz elektronik balastlı floresan lamba devresi görülmektedir.



Şekil 3. Elektronik balastlı floresan lamba

Şekil 4'de ortaklaşma noktasındaki (PCC:Point of Common Coupling) faz akımı görülmektedir.



Şekil 4. Akım dalga şekli

Devrenin aktif gücü 17W, reaktif gücü 3VAR ve görünen gücü 30VA' dir. Buna göre harmonikler sonucu oluşan bozulma gücü (D), VAD (Volt Amper Distortion) biriminde;

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \rightarrow D = 24 \text{ VAD}$$

olarak bulunur. Sistemdeki temel harmoniğin faz açısı 13°'dir. Bu durumda temel güç faktörü,

$$GF_{\text{temel}} = \cos 13^\circ = 0.9743$$

'dir. Bu değeri kompanze etmeye gerek yoktur.

Lambanın toplam akım harmonik bozulması %123.1'dir. Bu durumda bozulum güç faktörü;

$$GF_{\text{bozulum}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (THB_1 / 100)^2}} = 0.63$$

ve sistemin gerçek güç faktörü;

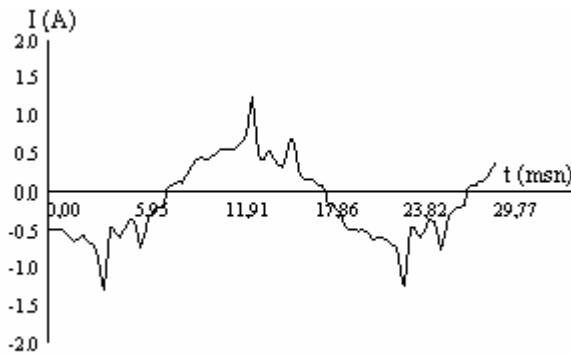
$$GF_{\text{gerçek}} = GF_{\text{temel}} \cdot GF_{\text{bozulum}} = 0.6138$$

olarak elde edilir.

Şekil 5'deki dalga şekli lineer olmayan yüklerde güç faktörünün okunmasında karşılaşılan güçlüğü bir örnektir. Bir çok ölçü aleti, harmonikli durumlarda yararlı olmayan, temel güç faktörünü okur.

Harmonikleri yok edecek filtre devreleri tasarlanırken temel harmonik frekansında güç faktörü değeri düşükse bu değeri arttıracak, yüksekse azalmayacak özellikte olmasına dikkat edilmelidir [11].

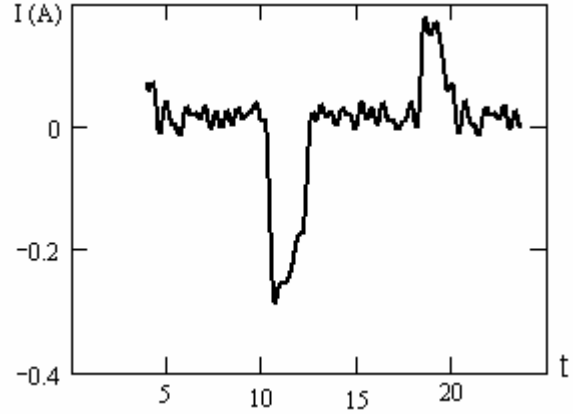
Filtre devresi en baskın olan harmoniği yok edecek şekilde oluşturulmalıdır. Bu sistemde baskın harmonik 3. harmonikdir. Uygulamada değeri 11,4 µF olan kondansatör ve değeri 98mH olan endüktans kullanılmıştır. Şekil 'deki anahtar kapatılıp ve filtre devreye alındığında akım dalga şekli Şekil 5'deki gibi elde edilmiştir.



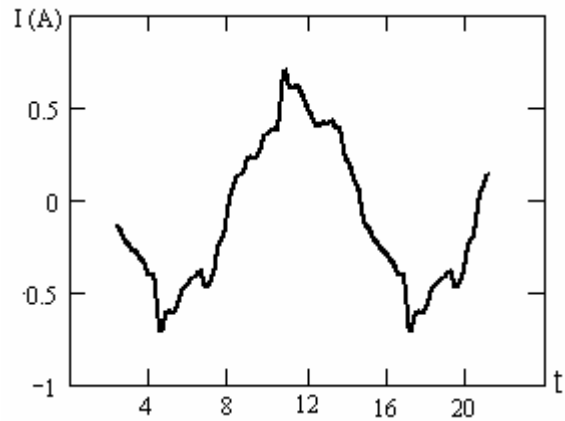
Şekil 5. Filtre devreyken sistemin akım dalga şekli

Güç sistem dizaynında harmonikler modellenirken basitliğinden dolayı Akım Kaynak Modeli kullanılır. Bu model ticari (aydınlatma vb.) ve bireysel (bilgisayar vb.) cihazların modellenmesinde pratik ve yaklaşımli bir yöntemdir [11].

Şekil 6 ve Şekil 7'de harmoniklerin akım kaynağı gibi modellenmesi sonucu elde edilen değerler görülmektedir. Buradan ölçümlerin ve modelleme sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Filtre devrede değilken modele ait akım dalga şekli

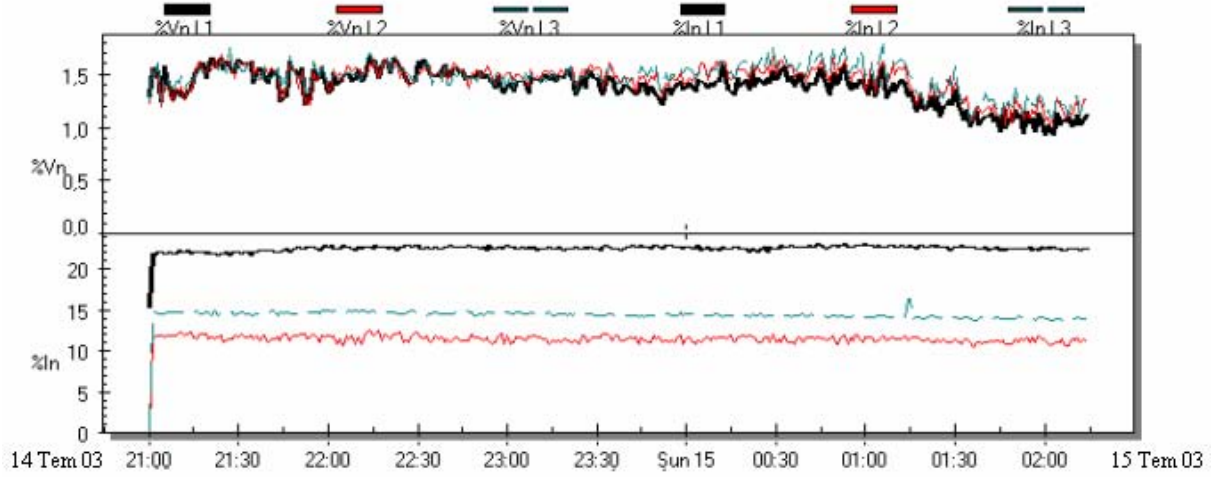


Şekil 7. Filtre devreyken modele ait akım dalga şekli

4. DAĞITIM SİSTEMİ ÖLÇÜMLERİ

Bir elektriksel sistemi model parametrelerine göre ayarlayarak kritik durumlar hakkında daha çok veri elde etmek yerine, birçok ölçümle elde edilen verilere dayanarak sistemi modellemek ve belirli bir duruma göre simüle etmek daha olasıdır.

Ölçümler, gerilimde %3'lük gerilim harmonik bozulmaya sahip bir transformatör, güç faktörü düzeltici ve yüklerden oluşan bir dağıtım sisteminden alınmıştır. Deşarj lambaları devreyken sistemin çalışması gözlenmiştir

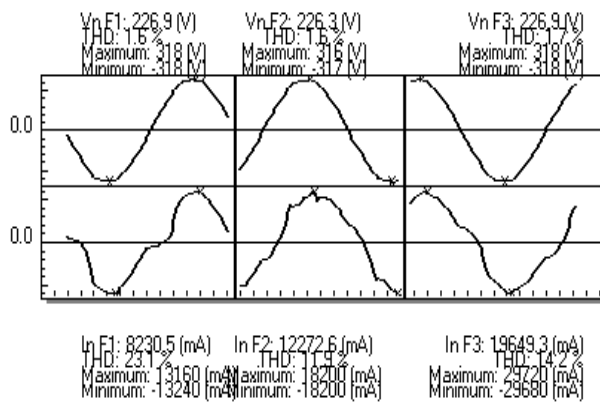


Şekil 8. Dağıtım sisteminden ölçülen gerilim ve akım toplam harmonik bozulmaları

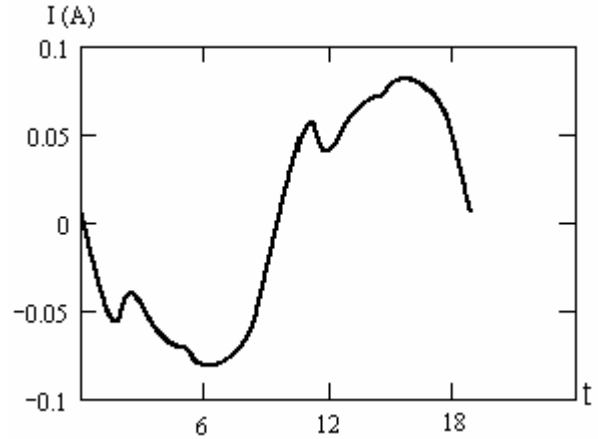
Ölçümler Ref. [12] baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm cihazları üç gerilim probu ve üç akım probundan sinyalleri alır. Veri 7 saatten daha uzun bir sürede binary modda kaydedilmiştir.

Şekil 8’de harmonik akımların maksimum değerlerinin görülmektedir. Şekilden, harmonik spektrumda en yüksek harmonik bileşenin 3. harmonik olduğu, yüklerin dengesizliği ve en büyük akımın 1. fazda olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda modelde bizi ilgilendiren bu fazın maksimum akım harmoniğidir. Bu da Şekil 8’deki grafikte 00:53’te olmaktadır..

00:53’de ölçülen üç fazın gerilim ve akım dalga şekilleri Şekil 9’da sunulmaktadır.



Şekil 9. 00:53’deki gerilim ve akım dalga şekilleri



Şekil 10. EMTP/ATP programından alınan sonuçlar

Şekil 10’daki simülasyon sonuçları ve Şekil 9’daki ölçüm sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Eğer gerilimdeki harmonik bozulmayı saptamak istenirse, kurulacak olan modelde dağıtım transformatörü modeli kullanılmalıdır. Transformator, birbirine seri ve paralel bağlı empedansların kombinasyonlarıyla temsil edilir. Bu elemanların değerleri herhangi bir h. harmonik için doğrudan transformatörün temel harmonik seri empedansından hesaplanır [13].

$$Z_T = R_T + X_T \quad (2)$$

$$R_S = R_T \quad (3)$$

$$X_p = hX_T \quad (4)$$

$$R_p = 80X_T \quad (5)$$

Böylece transformatörün harmonik empedans eşitliği;

$$Z_{th} = R_S + \frac{h^2 X_T^2 R_P}{R_P^2 + h^2 X_T^2} + j \frac{h X_T R_P^2}{R_P^2 + h^2 X_T^2} \quad (6)$$

şeklinde bulunabilir.

5. SONUÇLAR

Bu makalede alçak gerilim dağıtım sistemi ve bu sisteme bağlı deşarj lambalarından alınan ölçüm sonuçları ve bu ölçüm sonuçlarına göre elde edilen simülasyon sonuçları incelenmiştir. Bazı deşarj lamba çeşitleri ve onlara ait pasif harmonik filtreler modellenmiş ve EMTP/ATP simülasyon programı kullanılarak analiz edilmiştir. Ölçümlerin analizi ve hesaplamalar devrelerde güç tanımlamalarına odaklanmamıza neden olmuştur.

Yapılan uygulama da görüldüğü gibi, simülasyon sonuçlarıyla deneysel sonuçların karşılaştırmak oldukça zordur. Bununla birlikte önerilen harmonik model basit ve uygulanabilir olduğundan yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Bu simülasyonda harmonik gerilim seviyeleri dikkate alınmamıştır. Bunun nedeni sistemdeki akım bozulmasının değerinin çok yüksek olmamasıdır. Ancak gerilim bozulmasının modellenmesi için bir yol gösterilmiştir.

6. TEŞEKKÜR

2003/16 Projesi kapsamındaki bu makale Kocaeli Üniversitesi Araştırma Vakfı tarafından desteklenmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. B.W. Kennedy, Power Quality Primer, McGraw Hill, 2000.
2. Math H.J. Bollen, Understanding Power Quality Problem, IEEE Press Series, 2000.
3. IEEE Std. C57.110-1998, IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents, IEEE-SA Standards Board, 1998.
4. IEEE Industry Application Society/Power Engineering Society, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE Std. 519-1992, April 1993.
5. J. Arrillaga, N.R. Watson, S. Chen, Power System Quality Assessment, John Wiley&Sons, 2000.
6. E. Acha, M.Madrigal, Power Systems Harmonics, John Wiley&Sons, 2001.

7. J. Lundquist, M.H.J. Bollen, Harmonic Active Power Flow in Low Medium Voltage Distribution System,
8. A.T.Johns, D.F.Warne Voltage Quality In Electrical Power Systems, , IEE Power and Energy Series, 2001
9. R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, H.W. Beaty, Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, New York, 1996
10. The influence of the high power ratio Non-linear loads on the low voltage system operation-case studies, IPST 2001 Conference.
11. EN 6100-European Standard.
12. IEEE PES Tutorial on Harmonics Modeling and Simulation, 98TP125-0, Piscataway, NJ, 1998
13. CIGRE Working Group, 36-05, "Harmonics, Characteristic Parameters, Methods of Study, Estimates of Existing Values in the Network", Electra, No.77, July 1981, pp 35-54