

ARA HARMONİKLERDEN KAYNAKLANAN GERİLİM KIRPIŞMASININ AYDINLATMA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Aslan İNAN¹

Nurten ERMİŞ²

¹ Elektrik Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Yıldız Teknik Üniversitesi, 80750, Beşiktaş, İstanbul
² TSE Kalite Kampüsü, Çayırova, Gebze

¹e-posta: inan@yildiz.edu.tr ²e-posta: nurtenermis@hotmail.com

ABSTRACT

Applications of solid-state converters for adjustable speed drives and frequency are becoming more popular in industrial systems due to the improvements in power transistor technology. Recently, however, the presence of interharmonic currents in the input to these drives has come under discussion. Interharmonics are defined as steady state currents or voltages which are not an integer multiple of the fundamental frequency. This paper provides an evaluation of voltage flicker caused by the generation of interharmonics. In addition, a simplified model is presented which can be used to predict interharmonic levels for a wide range of source situations. It is important to accurately define instantaneous voltage flicker magnitudes and frequencies in order to correctly evaluate voltage fluctuations and besides the coordination of flicker emission on the supply systems and for the connection of fluctuating loads.

1. GİRİŞ

Temel olarak elektrik enerjisinin tüketicilere sabit frekans ve sabit genlikli tam sinusoidal gerilim şeklinde kesintisiz olarak dağıtılması esas amaçtır. Bu amacın gerçekleştirilmemesi, tüketiciler açısından elektrik kullanım hoşnutsuzluğu ve elektrik arızaları ile beraber ekonomik açıdan büyük rakamlarla ifade edilen ürün ve üretim kayıplarına, üreticiler açısından ise tüketici şikayetleri ile beraber arıza giderme çalışmaları, yük ve maddi kayıplara yol açar.

Enerji kalitesi bozuklukları kısa süreli gerilim değişimleri, uzun süreli gerilim değişimleri, geçici rejimler (transientler), gerilim dengesizliği, dalgaşekli bozulması (harmonik, gürültü vb), şebeke frekans değişimleri ve gerilim dalgalanmaları şeklinde ana başlıklar altında kategorize edilebilir [1].

Önemli bir güç kalitesi bozukluğu olarak karşımıza çıkan ve genelde tüketicilerin en çok karşılaştıkları gerilim dalgalanmalarının en tipik belirtisi özellikle ışık kaynaklarında görülen gerilim kırışmasıdır.

Avrupa Birliği EN61000-3-3 standardına göre gerilim dalgalanması, genel çerçevede efektif gerilimin sürekli değişimi veya bir dizi gerilim değişmesi olarak ifade edilmiştir. Yine aynı standartta gerilim kırışması da parlaklık ve spektral dağılımının zamanla dalgalandığı bir ışık uyarımının göz duyusu üzerindeki kararsız etkisi olarak tanımlanmıştır. Gerilim kırışması, kısa süreli (dakika mertebesinde) ve uzun süreli (birkaç saat mertebesinde) olmak üzere ikiye ayrılır. Gerilim kırışmasının karakteristiği, yükün tipine ve boyutuna göre değişiklik gösterir [2].

Yapılan araştırmalarda insan gözünün, 0.5 Hz ile 25 Hz frekans bandındaki gerilim kırışmalarına hassasiyeti tesbit edilmiştir. Bu nedenle uygulamada gerilim kırışması veya sadece kırışma, 0.5 ile 25 Hz arasındaki gerilim dalgalanmalarının, elektrik ışık kaynağında (genelde aydınlatma amaçlı olan ışık kaynaklarında) oluşturduğu gözle hissedilebilen değişimler olarak adlandırılmaktadır [3].

Gerilim dalgalanmaları ve kırışma, motor ve generatorlerin işletim performansını bozar, elektronik cihazlarının ömürlerini azaltır ve yanlış çalışmalarına neden olur, bilgisayar dünyasında işlem hatalarına ve bellek kayıplarına yol açar, ışık kaynaklarının etkinliklerini (en tipik olanı akkor telli lambalarda yaptığı kırışma etkisidir) bozar [4].

2. GERİLİM KIRPIŞMASININ MODELLENMESİ

Gerilim kırışmasının davranışı ya stokastik ya da salınımsal periyodik olabilir. Kısa bir zaman periyodu için gerilim kırışması, module edilen işaretin keyfi rasgele frekans ve genlikli sinus dalgası olduğu varsayımı ile yaklaşık olarak genlik modülasyonlu dalga olarak modellenebilir. Buna göre kısa süreli bir zaman aralığında gerilim kırışması

$$v(t) = \left\{ A_0 + \sum_{k=1}^m A_k \cos(\omega_{fk}t + \varphi_k) \right\} \cos(\omega_0t + \varphi_0) \quad (1)$$

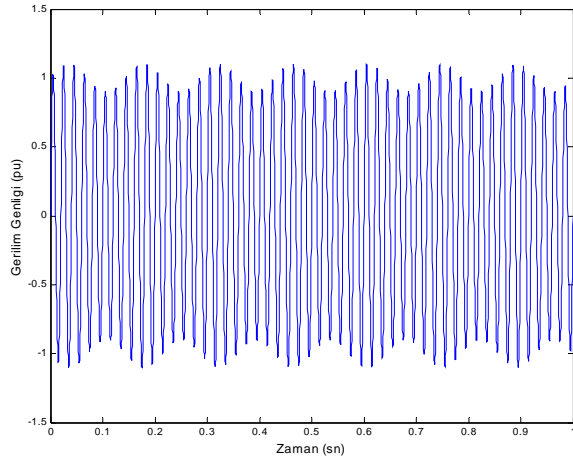
şeklinde ifade edilebilir. Burada A_0 temel bileşen gerilimin genliğini, ω_0 temel bileşen gerilim frekansını,

φ_0 temel bileşen gerilim faz açısını, A_k k. frekanstaki gerilim kırışma genliğini, φ_k k. frekanstaki gerilim kırışma faz açısını, m ise temel bileşen gerilim dalga şekline dahil edilecek kırışma bileşen sayısını gösterir.

Örnek olarak şebeke frekansının 50 Hz kabulü ile şebeke ve kırışma gerilim genliklerinin p.u. cinsinden verildiği değişik frekanlardaki aşağıdaki gerilim kırışma sinyal modellerini düşünebiliriz.

Tek terimli sinusoidal zarflı gerilim kırışma modeli (Şekil-1):

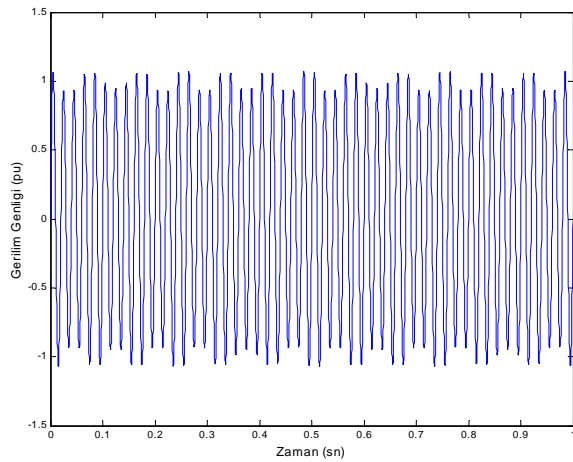
$$v_1(t)=[1+0.2\sin(2\pi 7t)] \sin(2\pi 50t) \quad (2)$$



Şekil-1 Sinusoidal modülasyonlu kırışma örneği

Dört terime kadar Fourier serisine açılmış dikdörtgen zarflı gerilim kırışma modeli (Şekil-2):

$$v_3(t)=\{0.95+(0.05)\left[\frac{4}{\pi} \sin(2\pi wt) - \frac{4}{3\pi} \sin(2\pi 3t) + \frac{4}{5\pi} \sin(2\pi 5t) - \frac{4}{7\pi} \sin(2\pi 7t)\right]\} \sin(2\pi 50t) \quad (3)$$



Şekil-2 Dikdörtgen modülasyonlu kırışma örneği

3. ARA HARMONİKLER ve MODELLENMESİ

Bir dalga şeklindeki harmonikler ile ara ve alt harmonikler, bir frekans aralığında yarı sürekli haldeki dalga şeklinin spektral bileşenleri cinsinden tanımlanır. Tablo-1'de f ilgili f_1 temel şebeke frekansını göstermek üzere bu durum özetlenmiştir.

Tablo-1 Frekansa göre harmonik tanımları

Terim	Açıklama
Harmonik	$f = hf_1$, $h > 0$ ve bir tamsayı
DC	$f = 0$, $f=hf_1$ ve $h=0$
Araharmonik	$f \neq hf_1$, $h > 0$ ve tamsayı değil
Altharmonik	$f > 0$ ve $f < f_1$

Araharmonikler, temel frekansın tam katı olmayan yani bilinen anlamda harmonik olmayan kararlı hal akım ve gerilimlerdir. Araharmonikleri üreten başlıca kaynaklar, frekans dönüştürücüler, ark kaynağı makineleri ve a.a. ark fırınlarıdır. Diğer kaynaklar ise indüksiyon motorları (sargılı rotor ve senkronaltı dönüştürücü kaskatlı), indüksiyon fırınları, integral çevrimli kontrol (ısıtma uygulamalarında) ve düşük frekanslı enerji taşıyıcı hatlar olarak sıralanabilir [4].

Temel frekanstan daha büyük araharmonik frekanslı bileşenler, harmonik akımların neden olduğu ısınma problemlerine benzer etkiler oluşturur. Bu ısınma etkisine ek olarak CRT ve lamba kırışması, seri ayarlı filtrelerde aşırı yüklenme, iletim girişimleri ve akım transformatörü doyması gibi etkileri de tesbit edilmiştir.

En önemli etkilerinden biri de ışık kırışması üzerinde yaptığı görsel etkidir. Temel gerilim bileşeni üzerindeki kararlı hal tek bileşenli araharmonik gerilim modülasyonu

$$v_3(t)=A\sin(2\pi f_1) + B\sin(2\pi f_2t) + C\sin(2\pi f_3) \quad (4)$$

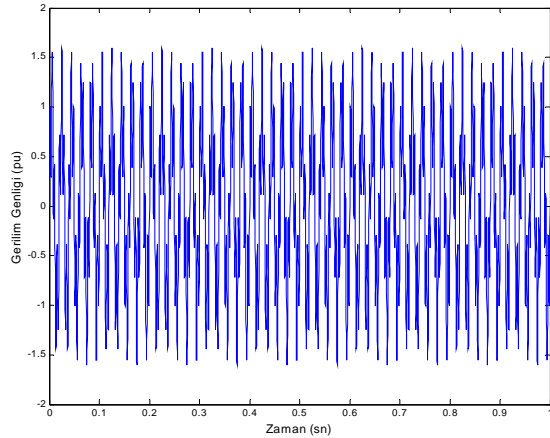
şeklinde ifade edilebilir. Burada A temel bileşen gerilimin genliğini, f_1 temel bileşen frekansını, B ve C ara harmonik bileşen gerilim genliklerini, f_2 ve f_3 ise ara harmonik frekanslarını gösterir. Gerilim genliğindeki en büyük gerilim değişimi, araharmonik bileşenin genliğine eşittir.

Yapılan çalışmalar en az iki araharmonik bileşenin görsel kırışma oluşturabileceğini göstermiştir [4]. İki bileşen durumunda efektif kaynak geriliminde $f_3 - f_2$ frekansında bir modülasyon görülür.

Örnek olarak şebeke gerilim genliği 1 p.u. ve frekansı 50 Hz olarak 0.2 p.u. genlikli, 182 ve 184 Hz frekanslarındaki araharmonik bileşenli gerilim dalga şekli

$$v_3(t)=\sin(2\pi f_1)+0.2*\sin(2\pi 182t)+0.2*\sin(2\pi 184t) \quad (5)$$

şeklinde gösterilebilir. Şekil-3’de Denklem 5 ile verilen iki araharmonik bileşen içeren gerilim dalga şekli verilmiştir.



Şekil-3 Ara harmonik modülasyonlu kırpışma örneği

4. ARA HARMONİKLERİN AYDINLATMA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Avrupa Birliği EN61000-3-3 standardına göre genel dağıtım şebekelerinde temel bileşenin en fazla %0.2 oranında bir ara harmonik bileşenin olması tavsiye edilmektedir [2]. Amerika’da ise IEEE kurumu bünyesinde bir çalışma grubu oluşturulmuş ancak henüz ilgili standart taslak halindedir. IEEE harmonik çalışma grubuna bağlı araharmonik alt grubunun yaptığı deneysel çalışmalara göre şu genel sonuçlara ulaşılabilmektedir [5]:

- Araharmonik frekansı arttıkça efektif gerilim üzerindeki etkisi azalır.
- Araharmonik gerilimler, elektronik balastlar için kırpışma frekansının temel bileşenin katlarına yakın frekanslarda lamba kırpışmasına neden olur.
- Araharmonik gerilimler, akkor telli lambalarda başlıca kırpışma frekansının temel bileşen ve ikinci harmoniğe yakın frekanslarında lamba kırpışmasına neden olur.
- Daha yüksek frekanslarda akkor telli lambalar üzerindeki etkisi düşer.

Ara harmoniklerin ürettiği gerilim kırpışmasının lambalar üzerindeki etkisi genelde lamba kazanç faktörüyle kıyaslanır. Verilen bir modülasyon frekansı için kazanç faktörü (GF)

$$GF = \frac{\frac{\Delta\Phi}{\Phi}}{\frac{\Delta U}{U}} \quad (5)$$

şeklinde formüle edilir. Burada

- $\Delta\Phi$, ışık akısının ortalama değerinin uçları arasındaki farktır. Ortalama değer 10 ms için hesaplanır.
- Φ , 1 sn lik kayıt için hesaplanan ışık akısının ortalama değeridir.
- ΔU , 1 sn lik kayıt için kaynak geriliminin ortalama tepe değerinin uçları arasındaki farktır.
- U , 1 sn lik kayıt için kaynak geriliminin ortalama tepe değeridir.

Tablo 1’de floresan lambaların bazı araharmonik frekansındaki kazanç faktörleri gösterilmiştir.

Table 1. Araharmonik frekanslarında floresan lamba kazanç faktörleri

Lamba tipi	Ara harmonik frekansları		
	65 Hz	165 Hz	260 Hz
FL	0.75	0.3	0.05
EFL	0.3→0.7	<0.05	<0.05
KFL	1	0.35	0.3
EKFL	0.75 →0.9	0.65→0.9	0.6→0.8

FL: Floresan Lamba

EFL: Elektronik Balastlı Floresan Lamba

KFL: Kompakt Floresan Lamba

EKFL: Elektronik Balastlı Kompakt Floresan Lamba

İnsan gözü 30 Hz’in üzerindeki ışık akısı dalgalanmalarını hissetmez. Bir gerilim kırpışma etkisi oluşturan yüklerin varlığı durumunda ışık akısı $f=f_m$ (f_m : modülasyon frekansı) frekansında module edilir. Tablo 1’den görüleceği gibi ikinci harmonik (100 Hz) altındaki araharmoniklerin lamba kazanç faktörü üzerindeki etkisi büyüktür. Dolayısıyla efektif kaynak geriliminde de büyük oranda bir modülasyona neden olur. İkinci harmonik üzerindeki ara harmoniklerin frekansları arttıkça efektif gerilim modülasyonu sifıra gider. Bu nedenle

Genellikle kompakt floresan lambalar, kritik frekanslara karşı hassastırlar ve bu nedenle araharmoniklerin bulunduğu ve ışık kararlılığı ve kalitesi istenen yerlerde kullanılmamalıdır.

Bir çok harici elektronik balast kullanan lambalar, 100 Hz’in üzerinde daha az hassasiyet gösterirler. Bu nedenle bu tür lambalar araharmoniklerin neden olduğu gerilim kırpışmasına kısmi bir çözüm olarak düşünülebilir.

5. SONUÇ

Akım ve reaktif güçteki ani değişiklikler, gerilim kırpışması olarak adlandırılır ve aydınlatma amaçlı lambaların ışık parlaklığında ani değişimlere neden olurlar. Bu lambalardaki ışık parlaklığının değişmesi, enerji verimini düşürür ve insan gözünde rahatsız edici etkilere dolayısıyla psikolojik bir sıkıntıya yol açar.

Bu makalede gerilim kırpışmasının bu olumsuz etkisini analiz etmek için matematiksel modeller sunulmuştur. Bir gerilim kırpışma sinyalinin kısa bir zaman

aralığı için modeli biliniyorsa bu modeli kullanarak bir çok ampirik sonuçlar içeren analizler yapılabilir.

Bu makalede ayrıca IEEE harmonik çalışma grubuna bağlı araharmonik alt kolunun yaptığı deneysel çalışmaların bir yorumu sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] İnan A., Attar F., Elektrik Güç Kalitesi, KAYNAK ELEKTRİK DERGİSİ, Sayı: 113, Sayfa: 85-96, Ağustos 1998.
- [2] EN 61000-3-3 Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 3: Limitation Of Voltage Fluctuations And Flicker In Low-Voltage Supply Systems For Equipment With Rated Current \leq 16A, CENELEG, 1994.
- [3] Kennedy B. W., Power Quality Primer, McGraw-Hill, USA, 2000.
- [4] Gunther, E. W., "Interharmonics in Power Systems," POWER ENGINEERING SOCIETY SUMMER MEETING, Vol. 2, pp. 813-817, 2001.
- [5] IEEE Interharmonic Task Force, Cigré 36.05 / CIRED 2 CC02, Voltage Quality Working Group, 2001.
- [6] EN 61000-4-7 Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 4: Testing and Measurement Techniques Section 7: General guide on harmonics and interharmonics measurements and Instrumentation, for power supply systems and equipment, CENELEG, 1994.