

SODYUM BUHARLI LAMBALARIN HARMONİK AKTİVİTE KESTİRİMİ VE HARMONİK ANALİZİ

Bora ACARKAN⁽¹⁾ Osman KILIÇ⁽²⁾ Selim AY⁽³⁾

^{(1),(3)} Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü

⁽²⁾ Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü

⁽¹⁾acarkan@yildiz.edu.tr, ⁽²⁾osman.kilic@marmara.edu.tr, ⁽³⁾selimay@yildiz.edu.tr

Özet – Günümüzde modern hayatın bir gerekliliği olarak aydınlanma ihtiyacı ve aydınlatma kalitesi gereksinimi gittikçe artmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle ışık kaynakları ve donanımlarında da gelişmeler devam etmektedir. Ancak lamba yapılarının iyileştirilmesi dışında deşarj lambaları üzerinde bu ilerlemelerin etkileri görülememiştir. Bu nedenle cıva buharlı, sodyum buharlı ve metalik halojenürlü lambalar gibi geleneksel deşarj lambaları özellikle geniş hacimlerin ve açık alanların aydınlatılmasında kullanılan vazgeçilmez ışık kaynaklarıdır. Özellikle renksel özellikleri ve verimlerinden dolayı sodyum buharlı lambalar yol aydınlatmasında, bahçe ve meydan aydınlatmalarında kullanılan en yaygın ışık kaynaklarıdır.

Sodyum buharlı lambalar tek başına düşünüldüğünde güç sisteminde büyük bir bozucu etkiye sahip değildir. Fakat bu düşük güçlü ışık kaynaklarının uzun otoyollar, cadde ve sokaklar, bahçe, meydan, liman gibi açık alanlarda bir arada topluca veya yayılı yük olarak yüksek sayılarda kullanılması, güç sisteminde önemli oranlarda “harmonik kirlilik” potansiyeli oluşturmaktadır. Bu çalışmada geleneksel manyetik balastlı sodyum buharlı lambaların harmonik modelleri MATLAB® programı kullanılarak geliştirilmiş ve Simulink® benzetim modelleri yardımıyla orta uzunlukta bir cadde için harmonik aktivite analizleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sodyum buharlı lamba, Manyetik balast, Harmonik modelleme, Harmonik analiz, MATLAB, Simulink.

1. GİRİŞ

Günümüzde düşük maliyet, uzun ömür özellikleriyle öne çıkan ve birçok ışık kaynağının ikamesinde kullanılabilen LED elemanlı ışık kaynakları yüksek verimli deşarj lambalarının yerine hala kullanılmamaktadır. Sadece çok düşük aydınlık seviyeleri ve alçak mesafeden yapılan dış aydınlatma armatürleri için birkaç uygulama vardır. Sodyum buharlı, cıva buharlı, metalik halojenürlü (metal halide) ve floresan lambalar gibi deşarj lambaları aydınlatmada önemli bir kullanım oranına sahiptir. Özellikle sodyum

buharlı lambalar otoyol, cadde, sokak, park, bahçe, meydan gibi açık alanların aydınlatılmasında yoğun olarak kullanılmaktadır. Bütün bu lambalar elektrik arkı neticesinde ışınma sağladıkları için nonlineer karakteristiğe sahiptirler ve harmonik akımlara neden olurlar. Harmonik üreten bu aydınlatma elemanlarının günlük hayatta kullanımları vazgeçilmez hale gelmiştir. Çeşitli harmonik kaynaklarına aşağıdaki donanımlar örnek olarak verilebilir [1, 2]:

- Deşarj lambaları,
- Masaüstü ve dizüstü bilgisayarlar,
- Ayarlanabilir motor sürücüler,
- Endüstriyel kontrol donanımları,
- Yarı iletken içeren devreler,
- Kesintisiz güç kaynağı sistemleri,
- Elektronik ev aletleri.

Deşarj lambalarından kaynaklanan harmonik akımlar, güç sistemindeki ısı kayıpları, dolayısıyla enerji maliyetini artırmaktadır. Ayrıca güç sistemine enjekte edilen harmonik akımlar, sistemde gerilim distorsiyonlarına neden olmaktadır. Harmonik akımların neden olduğu başlıca sorunlara aşağıdaki örnekler verilebilir [3]:

- Transformatörlerin aşırı ısınması ve nominal kapasitelerinin azalması,
- Nötr iletkenlerinin aşırı yüklenmesi,
- İletkenlerin ve bağlantıların aşırı ısınması,
- Kompanzasyon kondansatörlerinin zarar görmesi,
- Rezonans olaylarının meydana gelmesi,
- Elektronik donanımın hatalı çalışması,
- İletişim hatlarında girişim meydana gelmesi,
- Besleme geriliminin bozulması,
- Güç kayıplarının artması,
- Güç ölçümünde hatalı sonuçlar alınması,
- Koruma donanımının istenmeyen açma işlemleri yapması.

Bir tüp içerisindeki sodyum buharlı gaz karışımı içinden elektrik akımının boşalması prensibine dayanarak çalışan sodyum buharlı lambalar nonlineer akım-gerilim karakteristiğine sahip oldukları için

harmonik üretirler. Bu tip lambalar iletim esnasında negatif direnç karakteristiği gösterirler.

Dış aydınlatmada yaygın olarak kullanılan sodyum buharlı lambaları içeren aydınlatma tesislerinde tek harmoniklerin seviyesi önemli oranda sistemi etkiler. Özellikle üç ve üçün katlarındaki “triplen” harmonik akım bileşenleri, üç fazlı dört iletkenli aydınlatma devrelerinde nötr iletkeninden geçerek yüklenen iletkenin ısınmasına neden olur. Ayrıca lambalara bağlanan balastların manyetik devreleri olması nedeniyle bu elemanlar da harmonik üretirler [4].

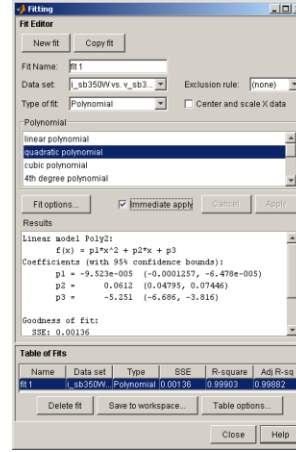
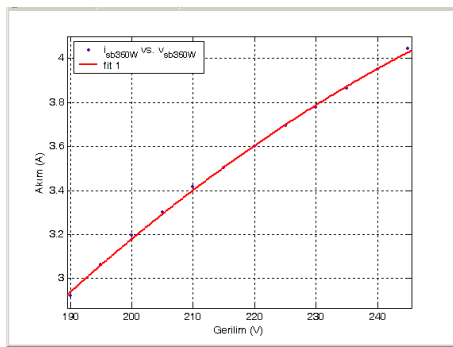
Bu çalışma kapsamında, özellikle dış aydınlatmada yaygın kullanım alanına sahip sodyum buharlı lambalar ele alınmış, harmonik analizine yönelik harmonik modelleri geliştirilmiştir.

2. NONLINEER MODELLEME

Lineer bir devrede sadece tek bir nonlinear eleman bulunuyorsa basit olarak grafiksel çözümler uygulanabilir. Fakat birden fazla nonlinear eleman içeren bir devreyi bilinen analitik yöntemlerle çözmek mümkün değildir. Nonlinear elemanları içeren devreler, problemin ve eldeki verilerin yapısına bağlı olarak değişik yollarla çözümlenebilir [5]. Bu çalışmada nonlinear devre modelleri Simulink® kullanarak geliştirilmiş ve çözümlenmiştir.

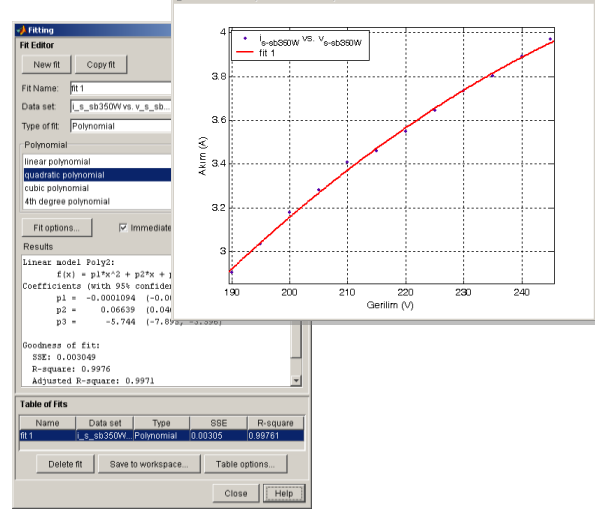
2.1. Nonlinear akım-gerilim karakteristikleri

Nonlinear devreyi Simulink® ortamında modellemek ve çözmek için ilk aşama nonlinear elemanın karakteristiğinin elde edilmesidir. Nonlinear elemanın $I=f(V)$ veya $V=f(I)$ biçimindeki uç denklemini elde etmek için çalışma aralığında akım ve gerilim değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Şebeke koşullarında nominal gerilimin $\pm\%10$ aralığında ölçüm yapmak yeterlidir. Ölçüm basamakları olarak $\Delta V=1$ ila $\Delta V=5$ V arasında ölçüm adımları seçilebilir. Çalışma aralığında karakteristiği fazla değişmeyen elemanlar için $\Delta V=5$ volt ölçü adımı uygulanabilir. Laboratuvar ortamında yapılan ölçüm sonuçlarına göre bu durumda değerlendirilecek veri sayısı azalmasına rağmen elde edilen modellerin denklem parametrelerinde belirgin bir fark oluşmamaktadır [6].



Şekil-1. 350 W sodyum buharlı armatürün sinüsoidal besleme gerilimindeki akım-gerilim karakteristiği.

Bu çalışmada nonlinear direnç modelleri için uç denklemlerin elde edilmesinde MATLAB® yazılımının Curve Fitting aracı kullanılmıştır. Bu araç yardımıyla bilinen fonksiyon tiplerinin yanı sıra kullanıcı tarafından uygulanacak özel fonksiyon tipleri de tanımlamak mümkündür [7]. 350 W'lık sodyum buharlı lambalı armatüre ait akım-gerilim karakteristiği sinüsoidal besleme gerilimi için Şekil-1'de, şebeke besleme gerilimi için Şekil-2'de gösterilmiştir.

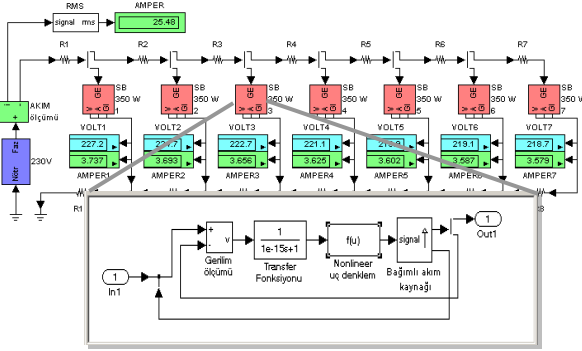


Şekil-2. 350 W sodyum buharlı armatürün şebeke besleme gerilimindeki akım-gerilim karakteristiği.

2.2. Simulink® modelleri

Nonlinear devre çözümleri için Simulink® modelleri iteratif yöntemler kullanarak yazılım geliştirmeye göre daha kolay, hızlı ve esnek bir yapıdadır. Geliştirilen modellerde bağımlı akım kaynakları kullanıldığı için elemanların $I=f(V)$ biçimindeki uç denklemleri kullanılmalıdır. Simulink® benzetim devrelerinin simülasyonu sonucu nonlinear devredeki akım-gerilim dağılımı elde edilir [7]. 350 W sodyum buharlı armatürün sinüsoidal besleme gerilimi için

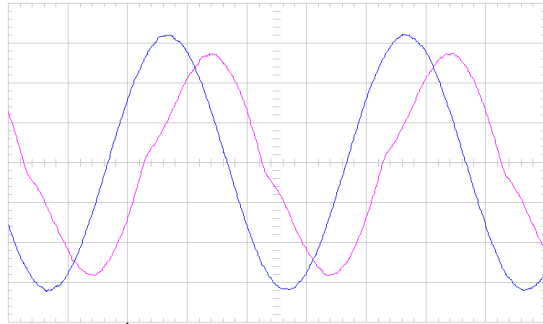
akım-gerilim dağılımının elde edildiği ve nonlineer direnç modellerinden oluşan Simulink® modeli Şekil-3'de gösterilmiştir.



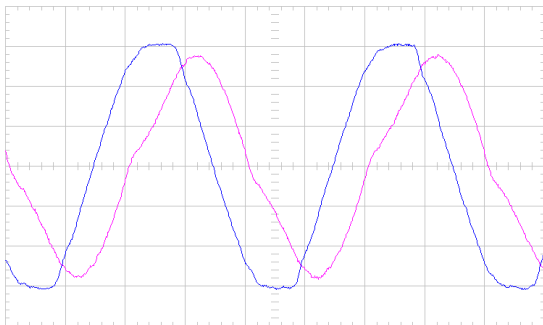
Şekil-3. 350 W sodyum buharlı armatürlerin nonlineer direnç modellerinden oluşan tek fazlı Simulink® devre modeli.

2.3. Harmonik akım enjeksiyon modeli

Bu çalışmada incelenen sodyum buharlı lamba devresinin akım dalga biçimleri, manyetik balastların nonlineer karakteristiğinden dolayı sinüs dalgasının bozulmaya uğramış dalga biçimindedir. Uygulanan 230 V'luk sinüsoidal ve şebeke besleme gerilimine karşılık 350 W sodyum buharlı lambalı armatüre ait gerilim ve akım dalga biçimleri Şekil-4'de verilmiştir.

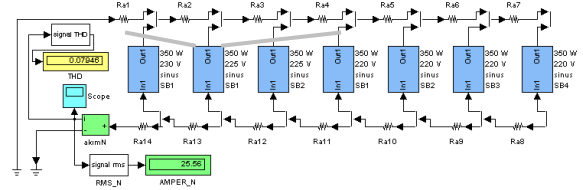
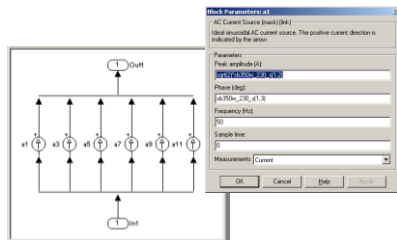


(a)



(b)

Şekil-4. 350 W sodyum buharlı armatüre ait sinüsoidal besleme gerilimi (a) ve şebeke besleme gerilimi (b) için gerilim ve akım dalga biçimleri.



Şekil-5. Sinüsoidal 230 V besleme gerilimi için sodyum buharlı armatürlerden oluşan tek fazlı harmonik akım enjeksiyon modeli.

Nonlineer karakteristiğe sahip olmasından dolayı çalışmada incelenen 350 W'lık sodyum buharlı armatür, temel bileşen ve harmonik bileşenlerin belirli genlik ve faz açısı değerleriyle paralel harmonik akım kaynakları biçiminde modellenebilirler [8, 9, 10]. 350 W'lık sodyum buharlı armatürlerden oluşan tek fazlı Simulink® harmonik akım enjeksiyon modeli Şekil-5'de gösterilmiştir.

3. DENEYSEL VE SAYISAL UYGULAMA

Çalışmanın uygulama bölümünde harmonik analize yönelik tek fazlı Simulink® benzetim modelleri geliştirilmiştir. Benzetim devre parametrelerinde, nominal besleme gerilimi 50 Hz temel frekanslı 230 V, kesitleri 16 mm², armatür sayısı 7 adet, armatürler arasındaki mesafeler de 50 m olarak belirlenmiştir. $\Delta V = 5$ volt ölçü adımı ile 190 V ile 245 V aralığında, TS EN 61000-3-2 standardına göre sinüsoidal besleme gerilimi altında ve şebeke besleme gerilimi altında yapılan laboratuvar ölçüm verileri kullanılarak MATLAB® Curve Fitting aracıyla 350 W'lık sodyum buharlı armatüre ait nonlineer uç denklemler elde edilmiştir [11]. Fazlardaki akım-gerilim dağılımlarını belirlemek için tek fazlı nonlineer direnç modelleri geliştirilmiştir. Belirlenen akım-gerilim dağılımlarına göre harmonik ölçüm verileri, 11. harmonik değerlerine kadar tek fazlı Simulink® harmonik akım enjeksiyon modellerine uygulanmıştır.

Simülasyon sonuçlarından elde edilen THD değerlerine ilave olarak, harmonik bileşenlerin toplam akımın efektif değerine oranını gösteren THD_{rms} değerleri de hesaplanmıştır:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (1)$$

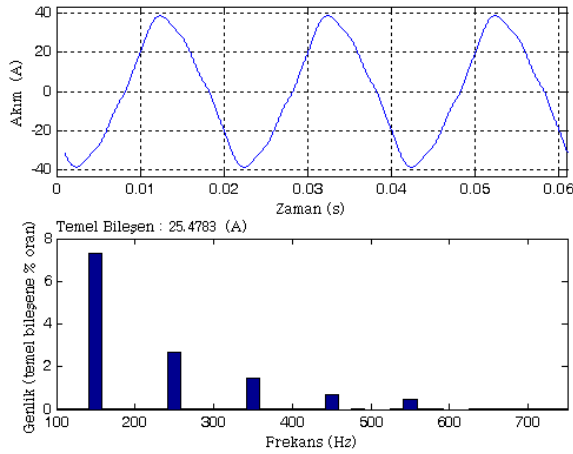
$$THD_{I(rms)} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I} \quad (2)$$

Sinüsoidal gerilimle besleme ve şebeke gerilimi ile besleme durumlarının incelendiği tek fazlı benzetim devrelerinden elde edilen nötr iletkenlerine ait akım değerleri, toplam harmonik distorsiyon değerleri ve akım dalga biçimleri karşılaştırılmıştır. Sinüsoidal ve şebekeden besleme durumları için nötr iletkenindeki akım ve harmonik aktivite değerleri Tablo-1'de verilmiştir.

Tablo-1. Sinüsoidal ve şebekeden besleme durumları için nötr iletkenindeki akım ve harmonik aktivite değerleri

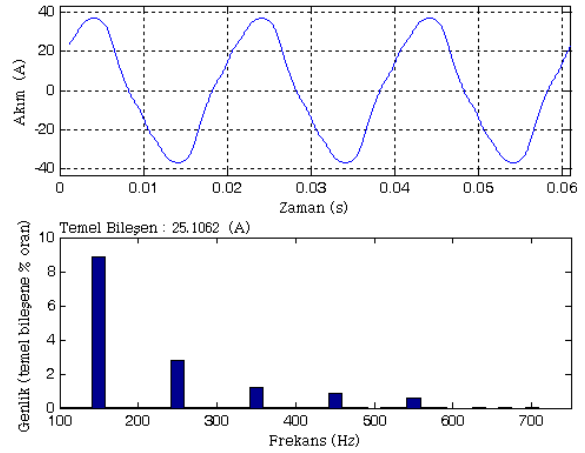
Besleme gerilimi (230 V)	Nötr akımı (A)	THD _I (%)	THD _{I(rms)} (%)
Sinüsoidal	25.559	7.9457	7.9207
Şebeke	25.217	9.4154	9.3740

Sinüsoidal besleme gerilimi için nötr iletkenindeki akımın dalga biçimi ve harmonik spektrumu Şekil-6'da gösterilmiştir.



Şekil-6. Sinüsoidal besleme gerilimi için nötr akımının dalga biçimi ve harmonik spektrumu.

Harmonik distorsiyon değerinin bir miktar arttığı şebekeden besleme durumu için nötr iletkenindeki akımın dalga biçimi ve harmonik spektrumu Şekil-7'de gösterilmiştir.



Şekil-7. Sinüsoidal besleme gerilimi için nötr akımının dalga biçimi ve harmonik spektrumu.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada düşük harmonik içeriğe sahip fakat özellikle dış aydınlatmada yüksek miktarlarda ve yayılı yük olarak kullanılan bir sodyum buharlı lambanın harmonik aktivitelerinin analizine yönelik Simulink® modelleri geliştirilmiş ve tek fazlı Simulink® modelleri kullanılarak harmonik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Nonlinear elemanları içeren bir devrede akım-gerilim dağılımlarını elde etmek için Simulink® ortamında uygulanan nonlinear direnç modellerinin iteratif yöntemlerle çözümlenmeye göre daha kolay uygulanabilir, hızlı ve esnek bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Harmonik akım enjeksiyon modeli de nonlinear elemanlar için uygulanabilen harmonik analiz yöntemlerinden biridir. Bu iki farklı yöntem ölçüm verilerine dayalı olarak, sinüsoidal gerilim ve şebeke gerilimi koşullarındaki harmonik analizi için başarıyla bir arada uygulanmıştır. Geliştirilen benzetim devrelerinde, herhangi bir noktanın harmonik analizine yönelik akım dalga biçimi kolaylıkla elde edilebilmektedir.

Nötr iletkeninde şebeke gerilimi ile besleme durumunda %9.4, sinüsoidal beslemede ise %7.9 oranında harmonik bozulma gözlemlenmiştir. Besleme geriliminin sinüsoidal dalga biçiminden uzaklaştıkça akım dalga biçiminin de bozulduğu ve harmonik akımları artırdığı Tablo-1, Şekil-6 ve Şekil-7'den açıkça görülmektedir. Harmoniklerden kaynaklanan mahzurları azaltmak için filtre kullanımı, nötr iletken kesitini artırma gibi bilinen önlemlerin yanı sıra ileriki çalışmalarda üç fazlı sistemlerdeki yük dengesizliği ve yük dağılımının da dikkate alındığı üç fazlı devre modelleri ile analiz yapılması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] IEEE working group on Power System Harmonic, "Power System Harmonics: An Overview", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-102, pp. 2455-2460, 1983.
- [2] K. C. Umeh, A. Mohamed, R. Mohamed, "Comparing the Harmonic Characteristics of Typical Single-Phase Nonlinear Loads", *IEEE PECon 2003, National Power Engineering Conference*, Bangi, Malaysia, 2003, pp. 383- 87.
- [3] W. Jewell and D.J. Ward, "Single Phase Harmonic Limits", *PSERC EMI, Power Quality and Safety Workshop*, Wichita State University, Kansas, 18-19 Apr. 2002.
- [4] C. Kocatepe, M. Uzunođlu, R. Yumurtacı, A. Karakaş ve O. Arıkan, *Elektrik Tesislerinde Hamonikler*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2003.
- [5] B. Acarkan, S. Zorlu and O. Kılıç, "Nonlinear Resistance Modeling using Matlab and Simulink in Estimation of City Street Lighting Harmonic Activity", *IEEE EUROCON 2005, The International Conference on Computer as a Tool*, vol. 2, pp.1251-1254, Belgrade, 21-24 Nov. 2005.
- [6] B. Acarkan, O. Kılıç ve A. İnan "Alçak Gerilimde Tek Fazlı Yükler için Harmonik Akım Sınırları", *ELECO'2004 Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, s.84-88, Bursa, 2004.
- [7] MATLAB documentation: www.mathworks.com
- [8] IEEE Task Force on Harmonics Modeling and Simulation, "Modeling Devices with Nonlinear Voltage-Current Characteristics for Harmonic Studies", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 19, no. 4, pp. 1802-1811, 2004.
- [9] S. Rios, R. Castaneda, "Harmonic Distortion and Power Factor Assessment in City Street Gas Discharge Lamps", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 11, no. 2, pp. 1032-1040, Apr. 1996.
- [10] E. L. Laskowski, J. F. Donoghue, "A Model of a Mercury Arc Lamp's Terminal V-I Behavior", *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. IA-17, no. 4, pp. 419-426, July/Aug. 1981.
- [11] *TS EN 61000-3-2*, Elektro-manyetik Uyumluluk (EMU) - Bölüm 3-2: Sınır Değerler – Harmonik Akım Emisyonlar için Sınır Değerler (Faz Başına Donanımın Giriş Akımı $\leq 16A$), 2003.