

BİLGİSAYAR YÜKLERİNİN HARMONİK AKTİVİTE KESTİRİMİ VE HARMONİK ANALİZİ

Bora ACARKAN⁽¹⁾

Osman KILIÇ⁽²⁾

Selim AY⁽³⁾

Niyazi GÜNDÜZ⁽⁴⁾

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

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

⁽⁴⁾ İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü & NYZ Mühendislik

⁽¹⁾acarkan@yildiz.edu.tr, ⁽²⁾osman.kilic@marmara.edu.tr, ⁽³⁾selimay@yildiz.edu.tr, ⁽⁴⁾ngunduz@nyz.com.tr

Özet – Günümüzde modern hayatın bir gerekliliği olarak bilgisayar kullanımı gerek iş hayatında gerek günlük hayatımızda vazgeçilmez unsurlar haline gelmiştir. Teknolojinin ilerlemesiyle bilgisayar ve donanımlarındaki gelişmelerin devam etmesiyle bu donanımların kullanıldığı sahalar gittikçe artmaktadır. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak bilgisayarların maliyetlerinin düşmesi ve gelir düzeylerinin de artmasıyla bilgisayar kullanımı da sürekli artmaktadır. Bilgisayarların sadece yüksek harmonik bozulmaya sahip anahtarlamalı güç kaynakları ile beslenebilmesi nedeniyle bu donanımların enerji kalitesi açısından incelenmesi zorunlu olmaktadır.

Masaüstü veya taşınabilir bilgisayarlar tek başına düşünüldüğünde güç sisteminde büyük bir bozucu etkiye sahip değildir. Fakat bu düşük güçlü donanımların iş yerleri, bankalar, okullar, araştırma merkezleri ve evlerde bir arada topluca veya yayılı yük olarak yüksek sayılarda kullanılması, güç sisteminde önemli oranlarda “harmonik kirlilik” potansiyeli oluşturmaktadır. Bu çalışmada örnek bir masaüstü ve taşınabilir bilgisayarın harmonik modelleri MATLAB® programı kullanılarak geliştirilmiş ve Simulink® benzetim modelleri yardımıyla harmonik aktivite analizleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar, Anahtarlamalı güç kaynağı, Harmonik modelleme, Harmonik analiz, MATLAB, Simulink.

1. GİRİŞ

Ofis binalarında elektronik donanımların ve bilgisayarların kullanımının artması alçak gerilim dağıtım sistemlerindeki harmonik sorunlarını büyük oranda artırmaktadır. Dağıtım sistemindeki harmonikler, enerji sistemine bağlı cihazların verimini düşürmesi ve öngörülen ömürlerini kısaltmasının yanında güç kayıplarının artmasına, cihazların hatalı çalışmasına ve dağıtım sisteminin güvenilirlik sınırları dışında işletilmesine neden olmaktadır. Ofis ve ticari binalarda bulunan yüksek sayıdaki bilgisayar yükleri ve özellikle masaüstü

bilgisayarlar bu yapıdaki ana harmonik kaynaklarıdır. Doğru, güvenilir bir sistem tasarımı ve kayıpların en aza indirgenmesi için harmonik analizlerin yapılması oldukça önemlidir. Harmonik analiz aşamasının en önemli unsuru ise donanım ve sistemin doğru modellenmesidir.

Çeşitli harmonik kaynaklarına aşağıdaki donanımlar örnek olarak verilebilir [1, 2]:

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

Bilgisayarların şebekeden beslenmesinde kullanılan anahtarlamalı güç kaynaklarından 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,
- İletişim hatlarında girişim meydana gelmesi,
- Besleme geriliminin bozulması,
- Güç kayıplarının artması,
- Güç ölçümünde hatalı sonuçlar alınması

Alçak gerilim şebekelerinde bulunan yüksek sayıdaki masaüstü ve taşınabilir bilgisayarlar, kasalarına entegre güç kaynakları ve harici güç kaynakları nedeniyle şebekede tek harmoniklerin seviyesi önemli oranda sistemi etkiler. Özellikle üç ve üçün katlarındaki “triplen” harmonik akım bileşenleri, üç fazlı dört iletkenli devrelerde nötr iletkeninden geçerek yüklenen iletkenin ısınmasına neden olur [4].

Bu çalışma kapsamında, özellikle daha yaygın kullanım alanına ve taşınabilir bilgisayarlara göre daha yüksek güç

değerlerine sahip olan bir masaüstü PC ele alınmış, harmonik analizine yönelik harmonik modelleri geliştirilmiştir.

2. DENEYSEL VE SAYISAL UYGULAMA

2.1. Nonlineer Modelleme

Lineer bir devrede sadece tek bir nonlinear eleman bulunuyorsa basit olarak grafiksel çözüm 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.

Çalışmanın uygulama bölümünde harmonik analizine yönelik tek fazlı Simulink® benzetim modelleri geliştirilmiştir. Benzetim devre parametrelerinde, nominal besleme gerilimi 50 Hz temel frekanslı 220 V, iletken kesitleri 2.5 mm², linyede bulunan PC sayısı 7 adet, bilgisayarlar arasındaki mesafeler de 5 m olarak belirlenmiştir. $\Delta V = 1$ 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 tipik bir PC'ye ait nonlinear uç denklemler elde edilmiştir [6].

Fazlardaki akım-gerilim dağılımlarını belirlemek için tek fazlı nonlinear direnç modelleri geliştirilmiştir. Belirlenen akım-gerilim dağılımlarına göre harmonik ölçüm verileri, 41. harmonik değerlerine kadar tek fazlı Simulink® harmonik akım enjeksiyon modellerine uygulanmıştır.

2.2. Nonlineer 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 denklemlerinde belirgin bir fark oluşmamaktadır [7].

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 [8]. Ölçümler sonucunda elde edilen karakteristikler polinomial fonksiyonlara uygunluk gösterdiğinden bütün donanım bu tür fonksiyonlarla modellenmiştir. Uygunluk kriteri olarak regresyon göstergelerinden korelasyon katsayıları “r²” ve “düzeltilmiş r²” (adjusted r²) baz alınmıştır.

Modellerde kullanılan PC'nin ölçülen akım-gerilim değerleri Tablo 1'de; $\Delta V=1$ V, $\Delta V=5$ V için MATLAB/Curve Fitting aracılığıyla elde edilen 1.°, 2.°, 3.° ve 4.° polinomial nonlinear karakteristik parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Karakteristiklerden 0,99'un üzerinde r² değerlerinin elde edildiği 1.°, 2.° ve 3.° polinomlar için $\Delta V=1$ V ve $\Delta V=5$ V karakteristiklerinden hesaplanan akım değerlerinin aralarındaki farkın %1'in altında olduğu görülmektedir.

Tablo 1 Nonlinear direnç karakteristiğini elde etmek için yapılan ölçümlerin değerleri

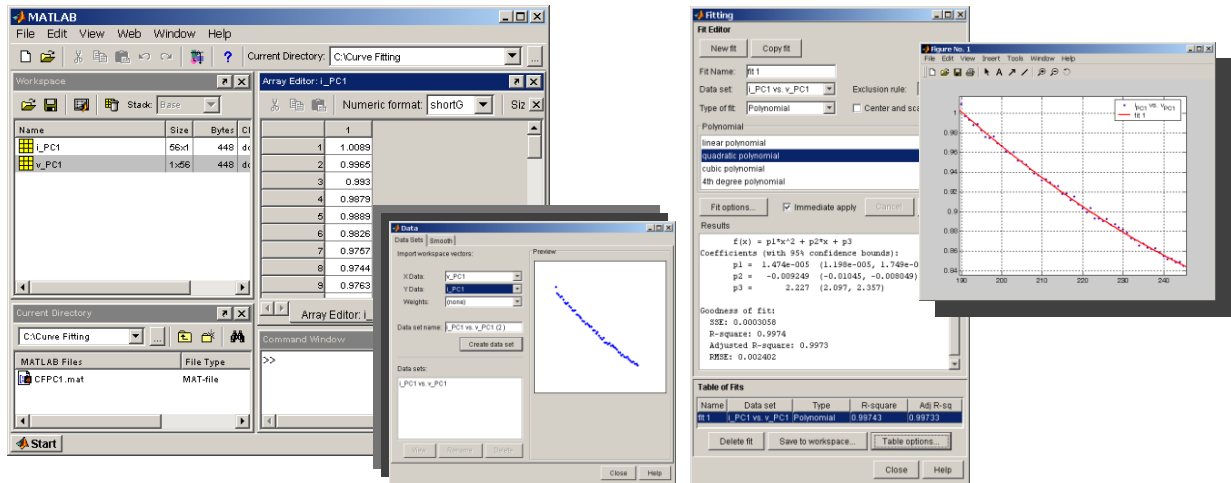
PC için ölçülen gerilim ve akım değerleri ($\Delta V=1$ V)											
Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)	Gerilim (V)	Akım (A)
190	1,0089	200	0,9663	210	0,9314	220	0,9029	230	0,8816	240	0,8547
191	0,9965	201	0,9606	211	0,9329	221	0,8994	231	0,8787	241	0,8514
192	0,9930	202	0,9592	212	0,9292	222	0,9033	232	0,8728	242	0,8523
193	0,9879	203	0,9601	213	0,9260	223	0,8930	233	0,8712	243	0,8486
194	0,9889	204	0,9515	214	0,9260	224	0,8930	234	0,8656	244	0,8487
195	0,9826	205	0,9505	215	0,9179	225	0,8900	235	0,8676	245	0,8447
196	0,9757	206	0,9475	216	0,9182	226	0,8922	236	0,8632		
197	0,9744	207	0,9434	217	0,9115	227	0,8865	237	0,8622		
198	0,9763	208	0,9387	218	0,9150	228	0,8872	238	0,8629		
199	0,9694	209	0,9367	219	0,9074	229	0,8838	239	0,8583		

Tablo 2 Polinomial nonlinear karakteristiklerin parametreleri

Derece Katsayı	$\Delta V=1\text{ V}$				$\Delta V=5\text{ V}$			
	1.°	2.°	3.°	4.°	1.°	2.°	3.°	4.°
p_0	1,533	2,227	3,165	21,22	1,545	2,494	6,163	14,49
p_1	-0,0028	-0,0092	-0,0223	-0,3566	-0,0029	-0,0117	-0,0627	-0,2171
p_2	-	$1,47 \cdot 10^{-5}$	$7,48 \cdot 10^{-5}$	$2,39 \cdot 10^{-3}$	-	$2,02 \cdot 10^{-5}$	$25,6 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$
p_3	-	-	$-9,21 \cdot 10^{-8}$	$-7,21 \cdot 10^{-6}$	-	-	$-3,61 \cdot 10^{-7}$	$-3,65 \cdot 10^{-6}$
p_4	-	-	-	$8,18 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	$3,78 \cdot 10^{-9}$

Tablo 3 Nonlinear karakteristiklerden elde edilen değerlerin karşılaştırılması

Besleme gerilimi	Ölçülen akım	Karakteristiklerden hesaplanan akım değerleri							
		1.° polinom		2.° polinom		3.° polinom		4.° polinom	
		$\Delta V=1\text{ V}$	$\Delta V=5\text{ V}$	$\Delta V=1\text{ V}$	$\Delta V=5\text{ V}$	$\Delta V=1\text{ V}$	$\Delta V=5\text{ V}$	$\Delta V=1\text{ V}$	$\Delta V=5\text{ V}$
(V)	(A)	(A)		(A)		(A)		(A)	
210	0,9314	0,9370	0,9383	0,9347	0,9332	0,9334	0,9324	0,9618	0,9190
213	0,9260	0,9285	0,9296	0,9257	0,9238	0,9244	0,9235	0,9537	0,9099
216	0,9182	0,9200	0,9210	0,9169	0,9148	0,9157	0,9150	0,9458	0,9012
219	0,9074	0,9115	0,9123	0,9084	0,9061	0,9073	0,9069	0,9381	0,8928
222	0,9033	0,9030	0,9036	0,9002	0,8978	0,8992	0,8992	0,9305	0,8848
225	0,8900	0,8944	0,8950	0,8922	0,8899	0,8913	0,8917	0,9232	0,8769
228	0,8872	0,8859	0,8863	0,8845	0,8823	0,8836	0,8845	0,9160	0,8693
231	0,8787	0,8774	0,8776	0,8770	0,8751	0,8762	0,8774	0,9090	0,8618
234	0,8656	0,8689	0,8690	0,8698	0,8682	0,8689	0,8704	0,9023	0,8544
237	0,8622	0,8604	0,8603	0,8629	0,8617	0,8619	0,8634	0,8960	0,8471
240	0,8547	0,8519	0,8516	0,8563	0,8556	0,8550	0,8565	0,8901	0,8399

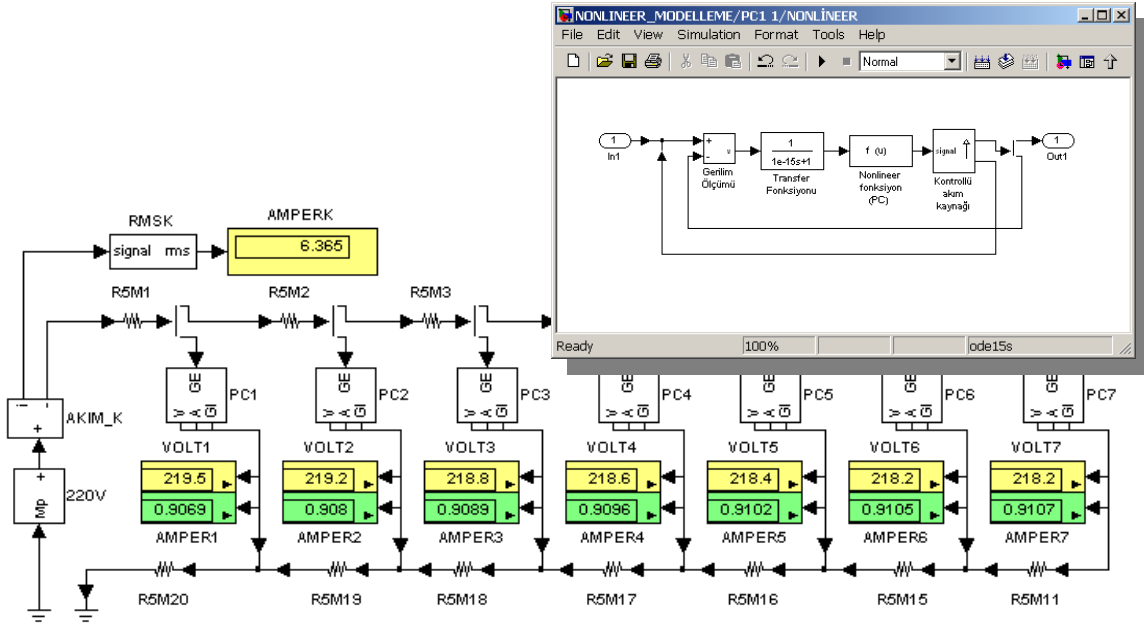


Şekil 1 Ölçüm verisinin MATLAB ortamına aktarılması ve PC için tanımlanan 2.° polinomial nonlinear karakteristik

2.3. Simulink® nonlinear direnç modeli

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.

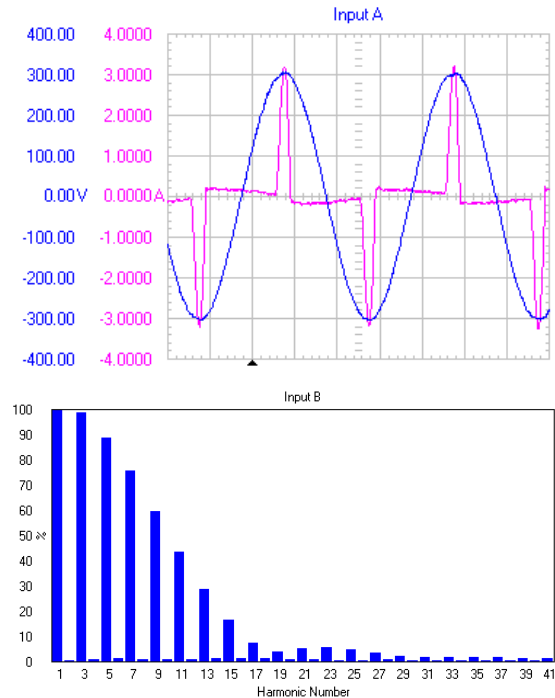
Simulink® benzetim devrelerinin simülasyonu sonucu nonlinear devredeki akım-gerilim dağılımı elde edilir [9]. 200 W'lık anahtarlamalı güç kaynağına sahip bir PC'nin sinüsoidal besleme gerilimi için akım-gerilim dağılımının elde edildiği ve nonlinear direnç modellerinden oluşan Simulink® modeli Şekil 2'de gösterilmiştir.



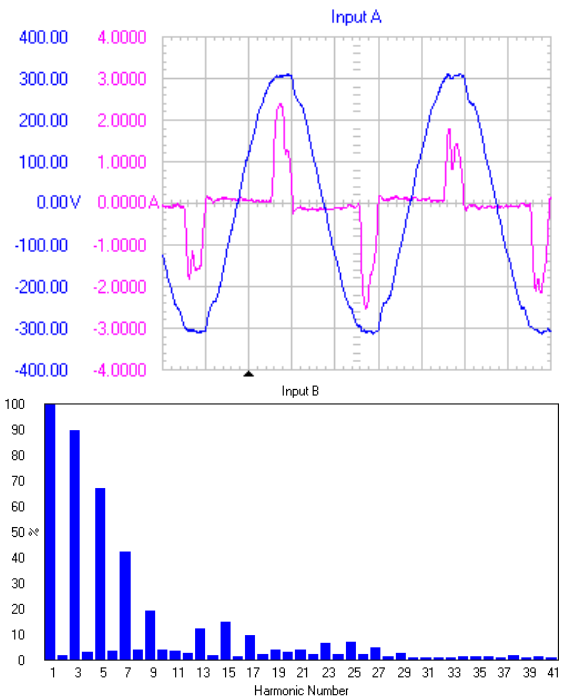
Şekil 2 PC'lerin nonlinear direnç modellerinden oluşan tek fazlı Simulink® devre modeli

2.4. Harmonik akım enjeksiyon modeli

Bu çalışmada incelenen PC devresinin akım dalga biçimleri, anahtarlama güç kaynaklarının nonlinear karakteristiğinden dolayı sinüs dalgasının bozulmaya uğramış dalga biçimindedir. Uygulanan 220 V'luk sinüsoidal ve şebeke besleme gerilimine karşılık 200 W'lık anahtarlama güç kaynağına sahip masaüstü bilgisayara ait gerilim ve akım dalga biçimleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

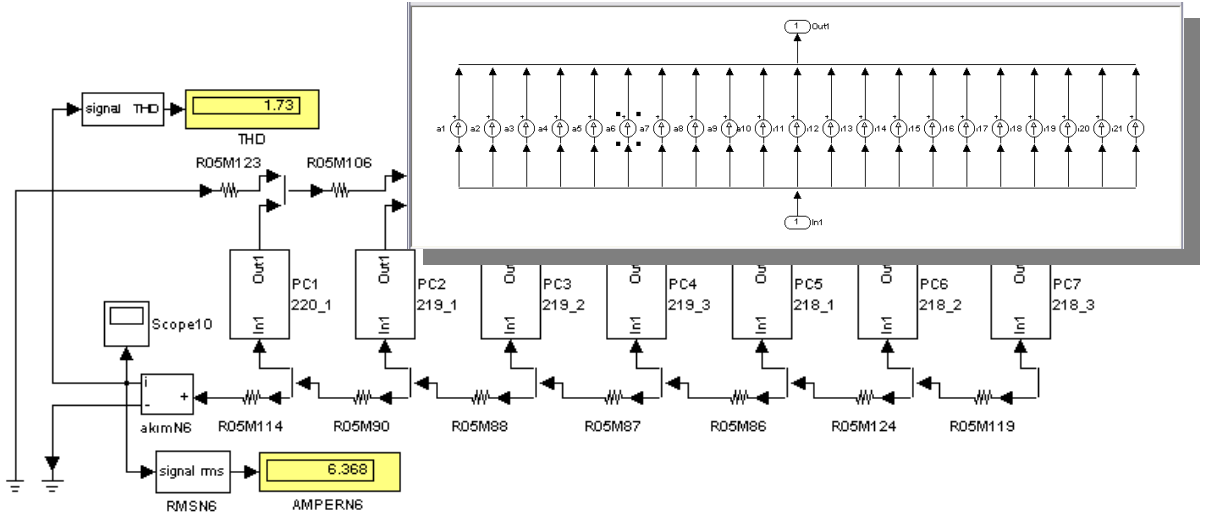


Şekil 3 Sinüsoidal 220 V besleme gerilimi için PC'nin gerilim ve akım dalga biçimleri ve akım harmonik spektrumu.



Şekil 4 Şebeke besleme gerilimi ($V_{\text{şebeke}} = 223 \text{ V}$, $THD_1 = \%2,51$) için PC'nin gerilim ve akım dalga biçimleri ve akım harmonik spektrumu.

Nonlinear karakteristiğe sahip olmasından dolayı çalışmada incelenen masaüstü bilgisayar, temel bileşen ve harmonik bileşenlerin belirli genlik ve faz açısı değerleriyle paralel harmonik akım kaynakları biçiminde modellenebilirler [10]. 200 W'lık anahtarlama güç kaynaklı PC'lerden oluşan tek fazlı Simulink® harmonik akım enjeksiyon modeli Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5 Sinüsoidal 220 V besleme gerilimi için PC'lerden oluşan tek fazlı devrenin MATLAB/Simulink akım enjeksiyon modeli ve THD değeri

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada düşük güçlü fakat yüksek harmonik içeriğe sahip özellikle yüksek miktarlarda ve yayılı yük olarak kullanılan masaüstü bilgisayarların harmonik aktivitelerinin analizine yönelik Simulink® modelleri geliştirilmiş ve tek fazlı Simulink® modelleri kullanılarak harmonik analizi gerçekleştirilmiştir.

Nonlinear elemanları içeren bir devrede akım-gerilim dağılımlarını elde etmek için Simulink® ortamında uygulanan nonlinear direnç modellerinin (Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3, Şekil 2) iteratif yöntemlerle çözümlenmeye göre daha kolay uygulanabilir, hızlı ve esnek bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Harmonik akım enjeksiyon modeli de (Şekil 5) nonlinear elemanlar için uygulanabilen harmonik analiz yöntemlerinden biridir. Bu iki farklı yöntem ölçüm verilerine dayalı olarak, hem sinüsoidal gerilim ve hem de şebeke gerilimi koşullarındaki harmonik analizi için başarıyla bir arada uygulanabilmektedir.

Geliştirilen benzetim devrelerinde, herhangi bir noktanın harmonik analizine yönelik akım dalga biçimi kolaylıkla elde edilebilmektedir. Bilgisayarlardan oluşan tek fazlı benzetim devresinde nötr iletkeninde %173 oranında harmonik bozulma gözlemlenmiştir. 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 PCon 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. Uzunoğlu, R. Yumurtacı, A. Karakaş ve O. Arıkan, *Elektrik Tesislerinde Harmonikler*, 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] *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.
- [7] 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.
- [8] Schwartz, C. ve Gran, R., "Describing Function Analysis using MATLAB and Simulink", *IEEE Control Systems Magazine*, 21(4):19-26, 2001.
- [9] MATLAB documentation: www.mathworks.com
- [10] 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.