

GÜÇ SİSTEMLERİNDE SIFIR GEÇİŞ VE TAYLOR YÖNTEMLERİ KULLANILARAK FREKANS KESTİRİMİ

Bekir ÇENGELCİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Kampus
Afyonkarahisar, Türkiye
bcengelci@aku.edu.tr

Özet

Bu çalışmada günlük yaşam içerisinde kullandığımız birçok elektrik tüketen alıcıların şebeke sinyalinde oluşturdukları, harmonik frekanslarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Harmonik analizinde frekans hesaplaması yapılır iken fourier seri dönüşümleri ve fourier tabanlı hesaplama yöntemleri sıklıkla kullanılmıştır. Fourier serileri ile hesap yapma güçlükleri ve hesaplamaların uzun sürmesinden dolayı, frekans hesaplamalarında yeni yöntem arayışları sürmektedir. Çalışmada güç sistemlerinde karşılaşılabilecek muhtemel bir harmonik sinyalin iki alternatif hesaplama yöntemi önerilmiştir. Öncelikle bir elektrik motorunu besleyen şebekeden motorun çektiği akıma ait veriler kayıt edilmiş ve Matlab programı yardımıyla bu verilere uygun denklem elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu denklemin zaman eksenini kestiği noktalar sayısal sıfır geçiş yöntemi ve sayısal analiz yöntemi olan Taylor serisi yardımı ile tespit edilmiştir. Bu noktalardan yararlanılarak sinyale ait temel periyot ve frekans hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Frekans Kestirimi, Güç Sistem Analizi, Sıfır Geçiş Yöntemi, Taylor Serisi Yöntemi

POWER SYSTEM FREQUENCY ESTIMATION BY ZERO CROSSING AND TAYLOR METHODS

Abstract

This study is aimed to determine the frequency harmonics of signal used in a daily life by many power-consumers in network. Fourier series transformation and fourier based calculation methods are frequently used to find frequency of harmonic analysis. Because of the difficulties of fourier calculations and time consuming new methods has

been investigated to calculate frequency. In this study, two alternative methods has been proposed to calculate the frequency of a harmonic signal which is normally encountered in power systems Feeding the inverter output data using a business machine was a real application. Matlab data recorded with the help of the network equation card data on Matlab curve fitting tool again using the appropriate equations were obtained from these data. Then, the crossing points of the equation when the axes of the numerical analysis methods, Taylor series method and zero crossing methods have been identified. Period and frequency of the signal were calculated using these points.

Keywords: Frequency Estimation, Power System Analysis, Zero Crossing Method, Taylor Series Method

1. Giriş

Frekans kestirimi; bir sinyale ait parametrelerden sinyale ait frekansın ölçülmesi işlemidir [1]. Yaygın olarak kullanılan frekans kestirim yöntemleri ve bu yöntemlerin uygulamalarından bazıları sıfır geçiş tekniği [2,3], seviye geçiş tekniği [4], en küçük kareler yöntemi [5], Newton yöntemi [6], taylor yöntemi, kalman filtresi [7,8], fourier dönüşümü [9,10], dalgacık dönüşümü [11,12], prony yöntemi [13,14] dir. Frekans kestiriminde çalışılan sinyaller ikiye ayrılmaktadır. Bunlar sinüsoidal ve sinüsoidal olmayan sinyallerdir. Ayrıca bu sinyaller gürültü içerikli olduğu gibi gürültü içermeyen sinyallerden oluşmaktadırlar. Elektriksel sinyaller sayısal analiz yöntemleri kullanılarak parametrelerine ayrılabilir. Frekans kestiriminde birçok sayısal analiz yöntemi kullanılmıştır. Yöntemlerin uygulamasında kullanılan algoritmaların karmaşıklığı devamlı olarak frekans kestirimi yöntemleri üzerinde arayışlara neden olmuştur. Bu çalışmada daha sade olan sıfır geçiş yöntemi, Taylor serisi ile birlikte birleştirilip hibrit bir sayısal analiz yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntem kullanılarak frekans hesabı yapılmıştır. Bu yapılan frekans kestirim yöntemleri arasındaki sayısal işlem olarak en sade olanı ve en az hata ile frekans kestirimi yapan yöntem başarılı yöntem olarak tespit edilmiştir. Bur makalede, frekans kestirimi için geliştirmiş olduğumuz hibrit bir yapı sunulmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Matematiksel Modelin Elde Edilmesi

Uygulama da 6400 Hz. ile örneklenmiş gerçek uygulama olan elektrik motorunun şebekeden çektiği akım verileri kayıt edilmiş ve bu sinyale ait veriler kullanılmıştır. Kayıt edilen bu verileri bir fonksiyona çevirmek için matlab programı kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur. Eğri uydurma da genellikle kullanılan yöntemler polinomsal yaklaşım, üstsel yaklaşım, fourier yaklaşımı, gaussian, interpolant, power, oransal, smoothing spline, sinüs fonksiyonlarının toplamı şeklinde yaklaşım yöntemleridir. Verilerin yapısına uygun olarak en az veri kaybı olacak yöntem, sinüslerin birleşimi yöntemi en uygun yöntem olarak tespit edilip bu yöntem yardımı ile verilere ait matematiksel model elde edilmiştir.

6400 Hz. ile örneklenmiş bir akım sinyalinin 1024 verisini kullanarak uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama yapılırken öncelikle bu verileri kullanarak, matlab programında 10e-11 de bir veri kaybı olacak şekilde sinüs bileşenlerinden oluşan bir denklem elde edilmiştir.

Elde Edilen Model

$$f(x) = a_1 \sin(b_1 x + c_1) + a_2 \sin(b_2 x + c_2) + a_3 \sin(b_3 x + c_3) + a_4 \sin(b_4 x + c_4) + a_5 \sin(b_5 x + c_5) \quad (1)$$

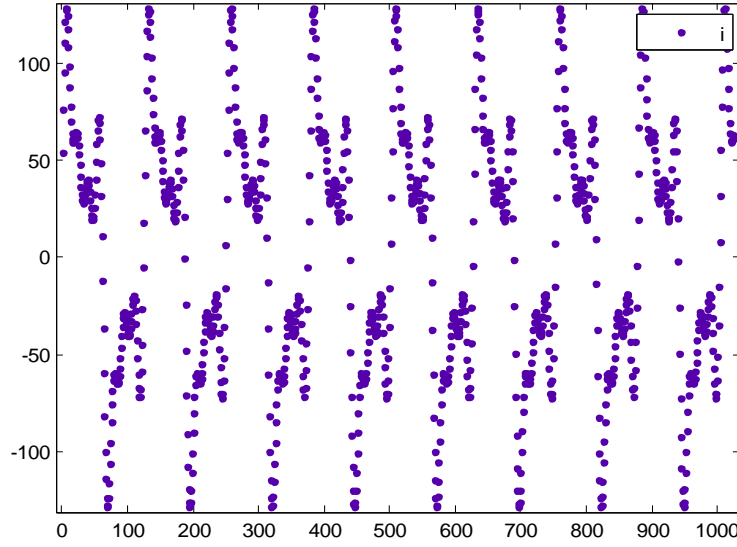
Tablo1. 1. Denklemin katsayıları

a₁	70.71	a₂	42.43	a₃	28.28	a₄	2.28e-011	a₅	21.21
b₁	0.05007	b₂	0.1502	b₃	0.2503	b₄	0.1514	b₅	0.3505
c₁	0.4363	c₂	1.123e-013	c₃	1.012e-014	c₄	-0.6299	c₅	5.202e-015

Tablo 1. de elde edilen denklem (1) in katsayıları sunulmuştur.

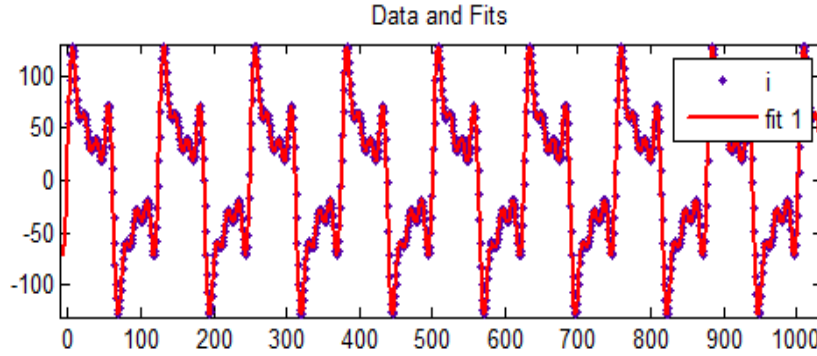
Sinyale ait elde edilen denklem aşağıda verilmiştir;

$$i = (7071/100 \sin(5007/100000 * t + 4363/10000) + 4243/100 \sin(751/5000 * t + 83554/15845) + 707/25 \sin(2503/10000 * t - 204395/25353) + 43470/61897 \sin(303/2000 * t - 67/100) + 2121/100 \sin(701/2000 * t - 54851/12676)) \quad (2)$$



Şekil 1. Kayıt edilen veriler

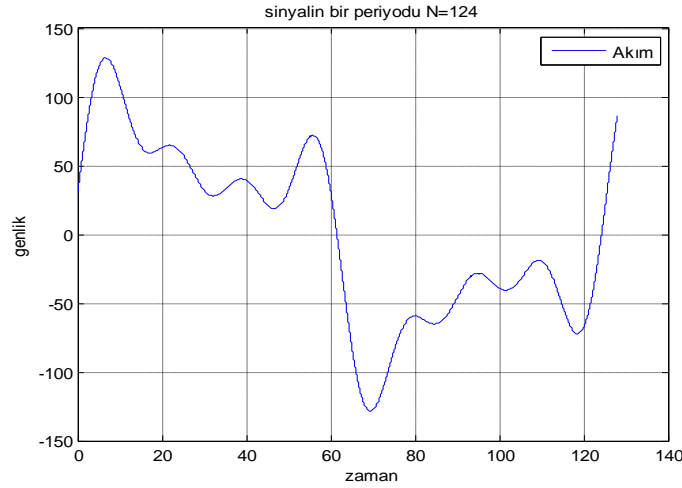
Şekil 1’de elektrik motorunun çektiği akımın genlik ve zaman değerleri, matlab ortamına alınarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Verilere uygun elde edilen eğri

Şekil 2’ de akıma ait verilerden geçen denklem sinüslerin toplamı yöntemi ile elde edilerek gösterilmiştir.

Şekil 3.de ise uydurulan eğriden geriye kalan hata verileri gösterilmiştir. Bu eğri uydurma işleminde Matlab programı kullanılmıştır. Kayıt edilen datalara $10e-11$ hata ve veri kaybı ile yakınsama sağlanmıştır.



Şekil 3.Sinyalin bir periyodu

3.Sıfır Geçiş Noktalarının Belirlenmesi ve Frekans Hesabı

3.1. Sıfır Geçiş Yöntemi

Sıfır geçiş tekniği sade bir yöntem olduğu için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak niceleme hatası, sinyalin harmonikleri, oluşan gürültülerden vb. dolayı sıfır geçişleri belirlemede hatalar oluşmaktadır. Bununla birlikte frekans değişikliklerini izlemede yavaş kalmaktadır. Çünkü uygulamada sıfır geçişler ancak yarım döngü geçtikten sonra tespit edilmektedir. İstikrarlı bir sonuç alabilmek için birçok döngüyü kullanmak gerekir [2]. Doğru sıfır geçişleri tespit edebilmek için yardımcı yöntemlerin kullanılması gerekir.

Bu sıfır geçiş noktaları belirlenirken, sinyalin yaklaşık bir periyotluk dilimine ait denklemin 0 ile 126 noktaları arasındaki değerleri incelenerek denklemin pozitiften negatif değere, negatiften pozitif değere geçiş noktaları belirlenmiştir. Bu noktalar sıfır geçiş noktaları olarak alınmıştır.

Bu geçiş noktaları yardımı ile işaretin periyodu ve frekansı hesaplanmıştır.

3.2. Sıfır Geçiş Noktalarının tespit edilmesi

6400 Hz. örnekleme frekansı ile kayıt edilen veri değerleri Matlab programı yardımı ile denklem 2'deki akım denklemi elde edilmiş ve bu denklemin öncelikle sıfır geçiş noktaları tespit edilmiştir.

Matlab programı yardımı ile hesaplanan sıfır geçiş noktaları:

1.denklem için sıfır geçişleri;

$$\text{ans} = 61.2000 \quad 124.6000$$

Frekans Hesabı

Periyot = 2*(1.sıfır geçiş noktası – 2.sıfır geçiş noktası)

$$P = 2*(124.6 - 61.2) = 126.8 \text{ sn.} \quad (3)$$

Örnekleme frekansı = 6400 Hz.

f = örnekleme frekansı / bir periyot zamanı

$$f = 6400 / 126.8 = 50.47 \text{ Hz.} \quad (4)$$

$$ts = 1/f = 0.0198 \text{ sn.} \quad (5)$$

Bir periyodun oluşması için geçen zaman 0.0198 sn. bulunmuştur.

3.3. Taylor ve Maclaurin Formülleri

Taylor formülü;

$$f(b) = f(a) + \frac{b-a}{1!} f'(a) + \frac{(b-a)^2}{2!} f''(a) + \dots + \frac{(b-a)^{n-1}}{(n-1)!} f^{(n-1)}(a) + \frac{(b-a)^n}{n!} f^{(n)}(x_1) \quad (6)$$

Benzer şekilde $b = a + h$ ve $0 < \theta < 1$ olarak $x_1 = a + \theta h$ yapılırsa formül,

$$f(a+h) = f(a) + \frac{h}{1!} f'(a) + \frac{h^2}{2!} f''(a) + \dots + \frac{h^{n-1}}{(n-1)!} f^{(n-1)}(a) + \frac{h^n}{n!} f^{(n)}(a + \theta h) \quad (7)$$

Şeklini alır. Bu formül $f(x)$ in artımını x in artımı h cinsinden verir.

Taylor formülünde $a = 0, b = x$ yapılırsa,

Maclaurin formülü adı verilen;

$$f(x) = f(0) + \frac{x}{1!} f'(0) + \frac{x^2}{2!} f''(0) + \dots + \frac{x^{n-1}}{(n-1)!} f^{(n-1)}(0) + \frac{x^n}{n!} f^{(n)}(\theta x) \quad (8)$$

formülü elde edilir.

Buna göre bu formül yardımıyla x in verilmiş olan bir değeri için $f(x)$ fonksiyonunun sayısal değeri istenilen yaklaşıklıkta hesaplanabilir.

O halde Maclaurin formülü;

$$f(x) = f(0) + \frac{x}{1!} f'(0) + \frac{x^2}{2!} f''(0) + \dots + \frac{x^{n-1}}{(n-1)!} f^{(n-1)}(0) + \varepsilon x^n \quad (9)$$

Şekline girer. Bu formül x in sıfır civarındaki değerleri için $f(x)$ in hesabında kolaylık sağlar.

$$f(a+h) = f(a) + hf'(a) + \frac{h^2}{2!} f''(a) + \dots + \frac{h^{n-1}}{(n-1)!} f^{(n-1)}(a) + \frac{h^n}{n} f^{(n)}(a + \theta h) \quad (10)$$

Formülündeki h , mutlak değer bakımından yeter derecede küçük ve h^2 li terim h lı terimin yanında ihmal edilebilirse h in daha yukarı derecelerinin bulunduğu terimlerde ihmal edilebileceğinden

$$f(a+h) \cong f(a) + hf'(a) \quad (11)$$

yazılabilir. Daha yaklaşık bir değer bulunmak istenirse,

$$f(a+h) \cong f(a) + hf'(a) + \frac{h^2}{2} f''(a) \quad (12)$$

Formülü kullanılır.

3.4. Sıfır geçişlerin Taylor serisi yardımı ile daha kesin değerlere yaklaştırılması

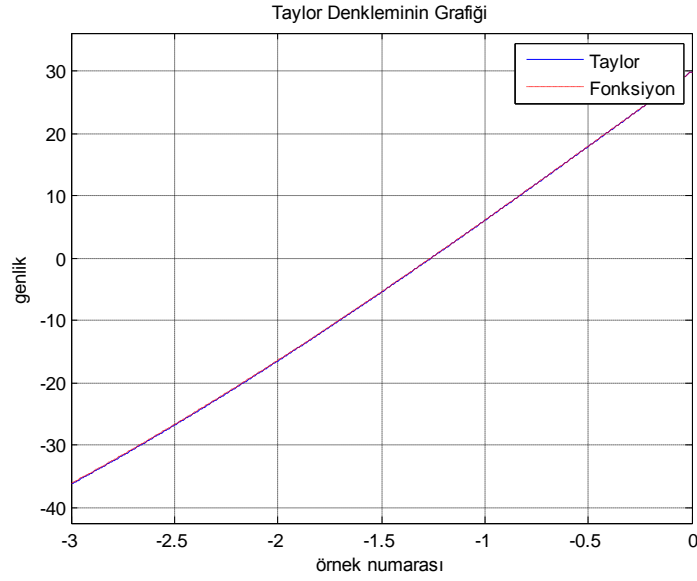
Frekans kestirim uygulamasında Taylor serisinin bilinen bir fonksiyona yakınsama özelliğini kullanarak. Daha önceden Matlab programı yardımı ile Taylor serisi açılımıyla eşit bir eğri elde etmek hedeflendi.

Taylor serisi belirli noktalara yakınsama işlemini serinin birkaç terimiyle gerçekleştirebilirken, belirli uzunluklardaki fonksiyonlara yakınsama işlemi daha çok terimli Taylor serisi ile gerçekleşmektedir. İşlemlerin uzun serilerde elle yapılması oldukça güçleşirken matlab programı yardımı ile kolayca çözülebilmektedir.

Matlab programını yazarken işaretin sıfır geçişleri serinin yakınsama noktası olarak alınmıştır. Bu noktaya yakınsama yapan Taylor serisi denklemi matlab programı yardımı ile elde edilmiştir. Bu denklem in kökleri ise bize sıfır geçiş noktasını $1e-4$ doğrulukta vermektedir.

3.5. Taylor Serisi İle Sıfır Geçiş Noktalarına Yakınsama Ve Elde Edilen Grafikler

Negatif köke ait yaklaşım

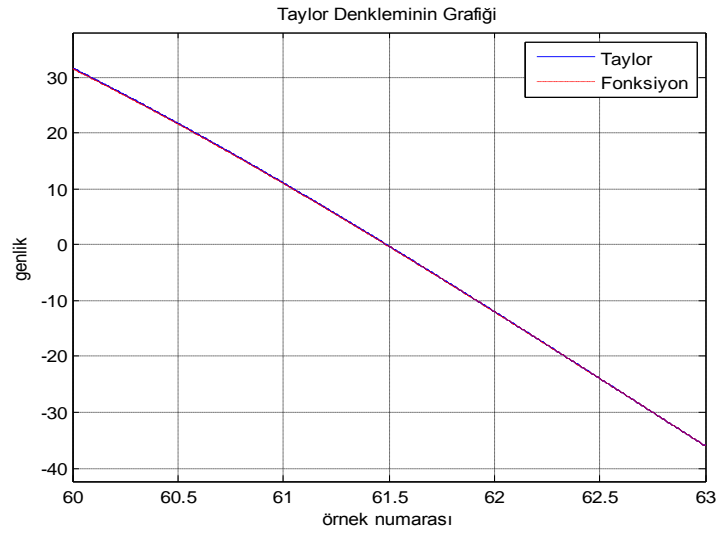


Şekil 5. Taylor Denklemi ile Negatif köke Yakınsama

Taylor denkleminin kökü matlab yardımı ile bulunmuştur.

Negatif kök = -1.2583

Birinci köke ait yaklaşım

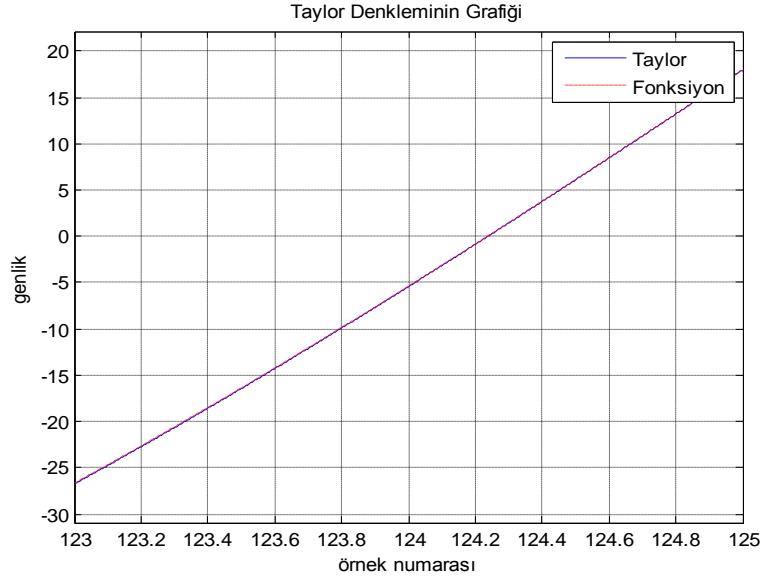


Şekil 6. Taylor Denklemi ile 1.köke Yakınsama

1.kök

kök = 61.4899

İkinci köke ait yaklaşım



Şekil 7. Taylor Denklemi ile 2.köke Yakınsama

2. kök

$$\text{kök} = 124.2382$$

3.6. Bulunan kökler yardımı ile frekans hesabı

3. Kök ile 1. kök arasındaki farktan;

$$\text{Kök farkı} = 124.2382 + 1.2583 = 125.4965$$

$f = \text{Örnekleme sayısı} / \text{bir periyottaki örnek sayısı}$

$$f = \frac{6400}{125.4965} = 50.9974 \text{ Hz.} \quad (14)$$

Tablo 2. Gerçek frekansla kestirilen frekansların karşılaştırılması

	Gerçek Frekans(Hz)	Kestirilen Frekans(Hz)	Periyot (sn)
1.Sıfır Geçiş Yöntemi	51	50.47	0.0198
2.Taylor Serisi ile iyileştirilmiş Yöntem	51	50.997	0.019608

Tablo 2. de işarete ait gerçek frekans değeri 51 Hz. iken, sıfır geçiş yöntemi kullanılarak kestirimi yapılan frekans değeri 50.47 Hz. dir. Bu yöntemin iyileştirilmesi olarak sunulan ve Hibrit bir yapıya sahip olan Taylor serisi ile frekans kestiriminden elde edilen frekans kestirim sonucu 50.997 Hz. olmuştur.

4. Sonuç

Bu geliştirilen frekans kestirimi yöntemi sonucunda frekans çok küçük hata ile bulunabilmiştir. Öncelikle işarete ait verilerden veri kaybı en az olacak bir şekilde sinüslerin toplamı modeli kullanılarak matematiksel denklem elde edilmiştir. Bu denklem yardımı ile işaret işleme gerçekleştirilmiştir. İşarete ait gerçek frekans değeri 51 hz. İken, sıfır geçiş yöntemi kullanılarak hesaplanan frekans 50.955 olarak bulunmuştur. Bu yöntemin sonucunda kestirilen frekansın Hata oranı% 0.045 olmuştur. Sıfır geçiş yöntemi ile birlikte Taylor serisi birleşik bir algoritma olarak kullanıldığı zaman frekans 50.997 olarak bulunmuş ve hata oranı % 0.003 düşmüştür. Böylece frekans kestiriminde iyileştirme gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] J.K. Wua, J. Longa, J.X. Wanga, F. Hea. A novel method for fundamental frequency measurement of multi-harmonic signals with noises using numerical differentiation. *Mechanical Systems and Signal Processing* 2005; 19(4): 806-816.
- [2] P.J. Moore, R.D. Carranza, A.T. Johns. Model system tests on a new numeric method of power system frequency Measurement. *IEEE Transactions on Power Delivery* 1996; 11 (2): 696-701.
- [3] M.M. Begovic, P.M. Djuric, S. Dunlap, A.G. Phadke. Frequency tracking in power networks in the presence of Harmonics. *IEEE Transactions on Power Delivery* 1993; 8 (2): 480-486.
- [4] C.T. Nguyen, K. A. Srinivasan. A new technique for rapid tracking of frequency deviations based on level crossings. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems* 1984; 103 (8): 2230-2236.
- [5] M.S. Sachdev, M.M. Giray. A least error squares technique for determining power system frequency. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems* 1985; 104 (2): 437-443.
- [6] V.V. Terzija, M.B. Djuric, B.D.Kovacevic. Voltage phasor and local system frequency estimation using Newton type algorithm. *IEEE Transactions on Power Delivery* 1994; 9 (3): 1368-1374.
- [7] Z. Salcic , Zhenguo Li, U.D. Annakkage, N. Pahalawaththa. A comparison of frequency measurement methods for underfrequency load shedding. *Electric Power Systems Research* 1998; 45: 209-219.

- [8] M.S. Sachdev, H.C. Wood, N.G. Johnson. Kalman filtering applied to power system measurements for relaying. *IEEE Transactions on Power Apparatus and System* 1985; 104 (12): 3565–3573.
- [9] A.G. Phadke, J.S. Thorp, M.G. Adamiak. A new measurement technique for tracking voltage phasors, local system frequency, and rate of change of frequency. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems* 1983; 102 (5): 1025–1038.
- [10] A.A. Girgis, F.M. Ham. A new FFT-based digital frequency relay for load shedding. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems* 1982; 101: 433–439.
- [11] Milenko B. Djurić, Zeljko R. Djuricic. Electric Power Systems Research Frequency measurement of distorted signals using Fourier and zero crossing techniques. *Electric Power Systems Research* 2008; 78(8): 1407-1415.
- [12] Ke-Jun Xu, Xiao-Fen Wang, Yong-Shan Li. Fundamental wave extraction and frequency measurement based on IIR wavelet filter banks. *Measurement* 2007; 40: 665-671.
- [13] H.P. Yin, D. Duhamel, P. Argoul. Natural frequencies and damping estimation using wavelet transform of a frequency response function. *Journal of sound and vibration* 2004; 271(3-5): 999-1014.
- [14] Tadeusz Lobos and Jacek Rezmer. Real-Time Determination of Power System Frequency. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 1997; 46(4): 877-881.