

GÜÇ BİLEŞENLERİNİN DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ TABANLI HESAPLANMASI

*Fahri VATANSEVER** 

Alınma: 09.04.2020 ; düzeltme: 26.05.2020 ; kabul: 01.06.2020

Öz: Sistemler için birçok güç tanımlamaları yapılmıştır. Farklı güç tanımlamaları ve bileşenlerinin doğru bir şekilde hesaplanması ve ölçülmesi son derece önemlidir. Bu amaçla çok sayıda yöntemler ve teknikler geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada; literatürde tanımlanan gelen-yansıyan-iletilemiş güç bileşenlerinin geleneksel Fourier dönüşümüne alternatif olarak dalgacık paket dönüşümü kullanılarak hesaplanması önerilmiştir. İlgili güç analizlerini yapmak için etkileşimli grafiksel arayüz programı tasarlanmış; önerilen hesaplama tekniğinin etkinliği ve doğruluğu, gerçekleştirilen benzetimlerle/uygulamalarla gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gelen güç, yansıyan güç, iletilemiş güç, yansıyan güç kayıp faktörü, dalgacık paket dönüşümü.

The Power Components Calculation based on Wavelet Transform

Abstract: Many power definitions have been made for the systems. It is extremely important that different power definitions and their components are accurately calculated and measured. Various methods and techniques have been developed for this purpose. In realized study, it was proposed that calculation of incident-reflected-transmitted power components which are defined in literature can be carried out with wavelet packet transform as an alternative to the traditional Fourier transform. An interactive graphical user interface program was designed to perform related power analysis and the effectiveness and accuracy of the proposed calculation technique was demonstrated by the performed simulations/applications.

Keywords: Incident power, reflected power, transmitted power, reflected power loss factor, wavelet packet transform.

1. GİRİŞ

Modern enerji sistemlerinde, “güç kalitesi” geniş yer tutmaktadır. IEEE’nin Standart IEEE1100’a göre güç kalitesi; cihazlar için uygun güç sağlama ve topraklama koşullarını içeren genel bir kavram olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1) (Sankaran, 2002). Güç kalitesini nicelendirmek için de güç büyüklüklerinin ölçülmesi/hesaplanması gerekmektedir.

*Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. bölümü, 16059 Bursa/Türkiye
İletişim yazarı: Fahri Vatansever (fahriv@uludag.edu.tr)



Şekil 1:

Güç kalitesinin ilgili olduğu alanlar

Literatürde değişik koşullar altında farklı güç tanımlamaları yapılmıştır (Budeanu, 1927; Fryze, 1931; Shepherd and Zakikhani, 1972; Sharon, 1973; Kusters and Moore, 1980; Czarnecki, 1985; IEEE, 1988; Slonim and Van der Wyk, 1988; Emanuel, 1990; Filipski, Baghzouz and Cox, 1994; Arseneau et al., 1996). Farklı matematiksel dönüşümler ve teknikler/algortmalar kullanılarak bu tanımlanan güçlerin hesaplanmaları ve ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Geleneksel olarak bu hesaplamalar ve ölçümler çoğunlukla Fourier dönüşümü tabanlı gerçekleştirilmektedir. Simetrik trigonometrik baz fonksiyonları ve sabit pencereleme fonksiyonları kullanan Fourier dönüşümleri ile sürekli rejimdeki statik işaretlerin analizi çok yüksek doğruluklarla gerçekleştirilmektedir. Ancak dinamik işaretlerin analizinde - özellikle geçici rejimlerin veya dinamik işaretlerin eşzamanlı analizinde - problemlerle karşılaşmaktadır. Dinamik işaretlerin eşzamanlı analizinde, asimetrik baz ve değişken pencereleme fonksiyonları kullanan dalgacık dönüşümleri; işaretleri frekans bantlarına ayrıştırarak ayrı ayrı inceleme imkânı sağlamakta, işarete ait ilgili kısımların yüksek çözünürlükle betimlemesini gerçekleştirebilmekte, sürekli ve geçici rejimleri eşzamanlı analiz edebilmekte, karmaşık matematiksel işlemler (trigonometrik, üstel vb.) gerektirmemekte, sadece sayısal konvolüsyon, veri azaltma gibi basit işlemler kullanmakta (dolayısıyla sayısal sistemlerle yapılmasında basitlik, kolaylık vb. sunmakta) ve temelde çoklu çözünürlük analizine dayanmaktadır (Çankaya ve Vatansever, 2002; Vatansever ve diğ., 2009; Vatansever and Ozdemir, 2010). Bu nedenlerle son yıllarda literatürde ve uygulamalarda dalgacık dönüşümü tabanlı harmonik ve güç yaklaşımları da yer almaktadır (Yoon and Devaney, 1998; Yoon and Devaney, 2000; Hamid, Mardiana and Kawasaki, 2002; Vatansever and Ozdemir, 2008; Vatansever and Ozdemir, 2009; Vatansever and Ozdemir, 2010).

Bu çalışmada; (Lu, Lin and Huang, 2000)'de tanımlanan ve hızlı Fourier dönüşüm algortmalarıyla hesaplanan güç bileşenlerinin (gelen-yansıyan-iletile aktif, reaktif ve distorsiyon) ayrık dalgacık paket dönüşümüyle elde edilmesi önerilmektedir. Bu doğrultuda tanımlanan güç bileşenlerine ilişkin dalgacık paket tabanlı eşitlikler sunulmuş ve tasarlanan arayüz programıyla değişik benzetimler/uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

2. DALGACIK PAKET DÖNÜŞÜMÜ

Herhangi bir $x(t)$ fonksiyonunun sürekli dalgacık dönüşümü (CWT) matematiksel olarak

$$\left. \begin{aligned} W(a,b) &= \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \\ x(t) &= \frac{1}{C_{\psi}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{a^2} W(a,b) \psi_{a,b}(t) da db \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

denklem çifti ile verilmektedir. Bu eşitliklerde $a > 0, b \in \mathfrak{R}$ olmak üzere a , ölçekleme/yayılm parametresini; b dönüşüm/öteleme parametresini; $x(t)$, işareti/fonksiyonu; ψ , dalgacık fonksiyonunu (ana dalgacı); $W(a,b)$ da işaretin sürekli dalgacık dönüşümünü ve C_{ψ} da seçilen

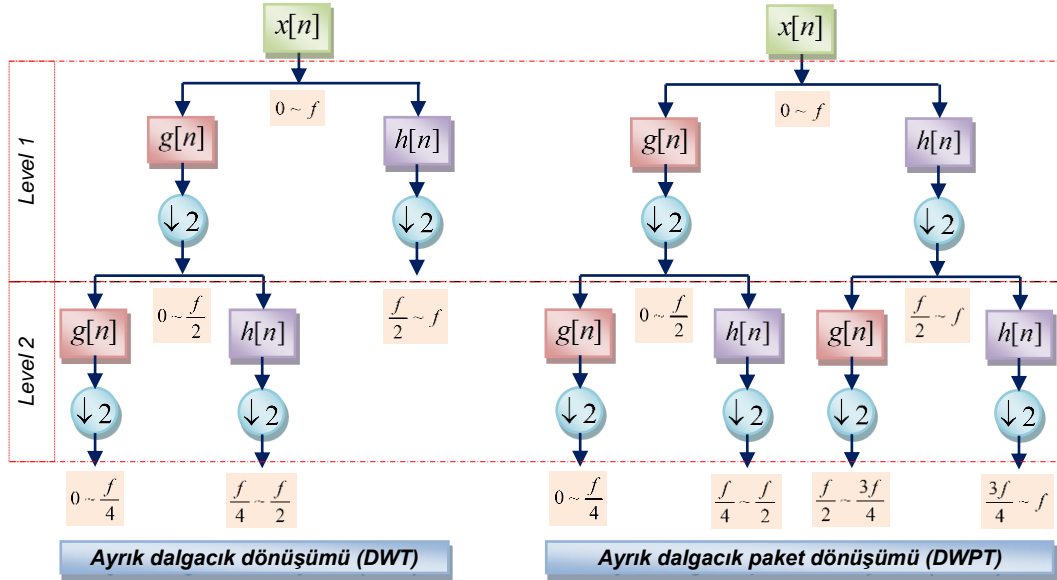
dalgacık türüne bağımlı dalgacık sabitini belirtmektedir. $j, k \in Z$ uygun seçilerek ayrık dalgacık dönüşümü (DWT) de

$$a = \frac{1}{2^j}, \quad b = \frac{k}{2^j} \Rightarrow w_{j,k} = W_{\psi} x \left(\frac{k}{2^j}, \frac{1}{2^j} \right) = \sqrt{2^j} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi \left(\frac{t - k/2^j}{1/2^j} \right) \quad (2)$$

eşitliğiyle verilmektedir (Goswami and Chan, 1999; Debnath, 2002). Ayrık dalgacık paket dönüşümünde (DWPT) ise $g[n]$ ve $h[n]$; $2N$ uzunluğunda, sırasıyla alçak ile yüksek geçiren ve dalgacığa uygun filtreler olmak üzere

$$\left. \begin{aligned} W_{2n}(t) &= \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2N-1} g[k] W_n(2t - k) \\ W_{2n+1}(t) &= \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2N-1} h[k] W_n(2t - k) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

iterasyon eşitlikleri mevcuttur. Eşitlik 3'te $n=0$ durumunda $W_0(t) = \varphi(t)$ ölçekleme fonksiyonu ve $W_1(t) = \psi(t)$ de dalgacık fonksiyonudur (Wickerhauser, 1994; Goswami and Chan, 1999; Debnath, 2002; Mathworks, 2019). Şekil 2'de ayrık $x[n]$ işaretine/fonksiyonuna ait 2 seviyeli DWT ve DWPT ayrışım ağaçları ve bu ayrışımalar sonucu oluşan frekans bantları karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



Şekil 2:
2 seviyeli DWT ile DWPT ve frekans bantları

$N = 2^L$ örnekten oluşan $x[n]$ ayrık işareti; s . seviyeye kadar dalgacık paket ayrışımına tabi tutulursa 2^s tane düğüm/paket veya frekans bandı oluşmakta ve her bir seviyedeki bantta da 2^{L-s} veya $N/2^s$ tane dalgacık paket katsayısı mevcuttur. 2 ile veri azaltmadan dolayı j . seviyedeki

dalgacık katsayılarının sayısı, $(j-1)$. seviyedeki dalgacık katsayılarının sayısının yarısıdır. $s = 0, 1, \dots, L$ için s . seviye, $m = 0, 1, \dots, 2^{s-1} - 1$ için $2m$. düğüm ve k . noktadaki dalgacık paket katsayıları $p_s^{2m}[k]$ ile gösterilirse bunlardan $x(t)$ işaretini sentezlemek için

$$\begin{aligned} x(t) &= \sum_{m=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{k=1}^{N/2^s} p_s^{2m}[k] \psi_{s,k}^{2m}(t) + \sum_{m=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{k=1}^{N/2^s} p_s^{2m+1}[k] \psi_{s,k}^{2m+1}(t) \\ &= \sum_{k=1}^{N/2^s} p_s^0[k] \varphi_{s,k}(t) + \sum_{m=1}^{2^{s-1}-1} \sum_{k=1}^{N/2^s} p_s^m[k] \psi_{s,k}^m(t) \end{aligned} \quad (4)$$

eşitliği kullanılmaktadır. Bu eşitlikte $p_s^m[k]$, $x[n]$ nin dalgacık paket katsayıları ve $p_s^0[k]$ da ölçekleme fonksiyonu katsayıları veya 0. düğümdeki dalgacık paket katsayılarıdır (Wickerhauser, 1994; Hamid, Mardiana and Kawasaki, 2002).

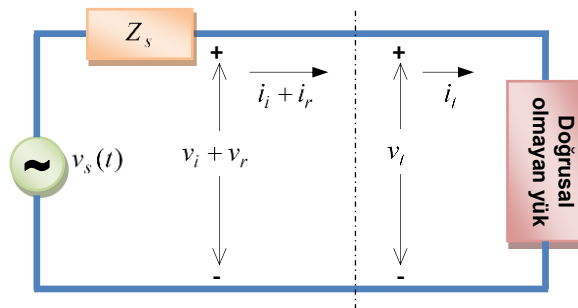
3. GÜÇ ANALİZİ

Şekil 3'teki gibi sinüsoidal gerilim tarafından beslenen doğrusal olmayan yük için (Lu, Lin and Huang, 2000)'de yeni güç tanımlamaları önerilmiş ve bunların hesaplamaları hızlı Fourier dönüşümüyle gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'deki yük uçları gerilimi veya iletilen gerilim $v_i(t)$, iki bileşene ayrılmaktadır. Bunlar $v_i(t)$ gelen gerilim ve $v_r(t)$ yansıyan gerilim olup

$$\left. \begin{aligned} v_i(t) &= \sqrt{2} V_1 \sin(\omega_0 t + \alpha_1) \\ v_r(t) &= \sqrt{2} \sum_{k=2}^{\infty} V_k \sin(k\omega_0 t + \alpha_k) \end{aligned} \right\} \Rightarrow v_i(t) = v_i(t) + v_r(t) \quad (5)$$

şeklinde ifade edilmektedirler. Aynı şekilde yük akımı veya iletilen akım $i_i(t)$ de iki bileşene ayrılmaktadır: $i_i(t)$ gelen akım ve $i_r(t)$ yansıyan akım.

$$\left. \begin{aligned} i_i(t) &= \sqrt{2} I_1 \sin(\omega_0 t + \beta_1) \\ i_r(t) &= \sqrt{2} \sum_{k=2}^{\infty} I_k \sin(k\omega_0 t + \beta_k) \end{aligned} \right\} \Rightarrow i_i(t) = i_i(t) + i_r(t) \quad (6)$$



Şekil 3:
Doğrusal olmayan yükü besleyen sinüsoidal kaynaklı devre

Şekil 3'deki devreye ilişkin (Lu, Lin and Huang, 2000)'de tanımlanan güç bileşenleri, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

i. Aktif güç: Doğrusal olmayan yüke iletilen aktif güç P_t

$$P_t = \sum_{k=1}^{\infty} V_k I_k \cos(\phi_k) = \underbrace{V_1 I_1 \cos(\alpha_1 - \beta_1)}_{P_i} + \underbrace{\sum_{k=2}^{\infty} V_k I_k \cos(\alpha_k - \beta_k)}_{P_r} \quad (7)$$

ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikte gelen aktif güç P_i , pozitif işaretli ve doğrusal olmayan yük uçlarındaki aktif gücü; yansıyan aktif güç P_r ise negatif işaretli olup geriye doğru sisteme yansıyan aktif gücü belirtmektedir. DWPT kullanılarak her bir harmoniğin etkin değeri ve aktif gücünün hesaplanması (Hamid, Mardiana and Kawasaki, 2002)'de yer almaktadır. Bunlar önerilen aktif güç bileşenlerine uyarlanırsa

$$P_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N/2^s} p_s^{0,v}[k] p_s^{0,i}[k] \quad (8)$$

$$P_r = \sum_{m=1}^{2^s-1} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N/2^s} p_s^{m,v}[k] p_s^{m,i}[k] \right\} \quad (9)$$

eşitlikleri elde edilmektedir.

ii. Reaktif güç: Doğrusal olmayan yüke iletilen reaktif güç Q_t as

$$Q_t = \sum_{k=1}^{\infty} V_k I_k \sin(\phi_k) = \underbrace{V_1 I_1 \sin(\alpha_1 - \beta_1)}_{Q_i} + \underbrace{\sum_{k=2}^{\infty} V_k I_k \sin(\alpha_k - \beta_k)}_{Q_r} \quad (10)$$

Bu eşitlikte gelen reaktif güç Q_i , pozitif işaretli ve doğrusal olmayan yükün uçlarındaki reaktif gücü; yansıyan reaktif güç Q_r ise negatif işaretli olup dağıtım sistemine geri yansıtılan harmonik reaktif gücü belirtmektedir. DWPT ve Hilbert dönüşümü kullanılarak reaktif gücün hesaplanması (Vatansever and Ozdemir, 2009)'de yer almaktadır. Bunlar, önerilen reaktif güç bileşenlerine uyarlanırsa

$$Q_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N/2^s} p_s^{0,v}[k] p_s^{0,\mathcal{H}\{i\}}[k] \quad (11)$$

$$Q_r = \sum_{m=1}^{2^s-1} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N/2^s} p_s^{m,v}[k] p_s^{m,\mathcal{H}\{i\}}[k] \right\} \quad (12)$$

eşitlikleri elde edilmektedir.

iii. Distorsiyon güç: Distorsiyon güç, farklı frekanslardaki gerilim ve akım işaretleri sonucu meydana gelmektedir. Diğer güç bileşenlerinde olduğu gibi gelen (D_i), yansıyan (D_r) ve gönderilen distorsiyon güç (D_t) olarak ayrılmakta ve aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmaktadır.

$$D_i = \sqrt{V_i^2 I_r^2 + V_r^2 I_i^2} = \sqrt{V_1^2 \sum_{k=2}^{\infty} I_k^2 + I_1^2 \sum_{k=2}^{\infty} V_k^2} \quad (13)$$

$$D_r = \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} \sum_{\ell=2, k \neq \ell}^{\infty} V_k^2 I_{\ell}^2} \quad (14)$$

$$D_i = \sqrt{D_i^2 + D_r^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \sum_{\ell=1, k \neq \ell}^{\infty} V_k^2 I_{\ell}^2} \quad (15)$$

DWPT kullanılarak harmoniklerin etkin değerlerinin farklı yollardan elde edilmesi (Hamid, Mardiana and Kawasaki, 2002; Vatansever and Ozdemir, 2008; Vatansever ve diğ., 2009)'de yer almaktadır. Bunlardan faydalanılarak önerilen distorsiyon güç bileşenleri, dalgacık tabanlı hesaplanabilmektedir.

iv. *Yansıyan güç kayıp faktörü:* Yansıyan kayıp güç faktörü

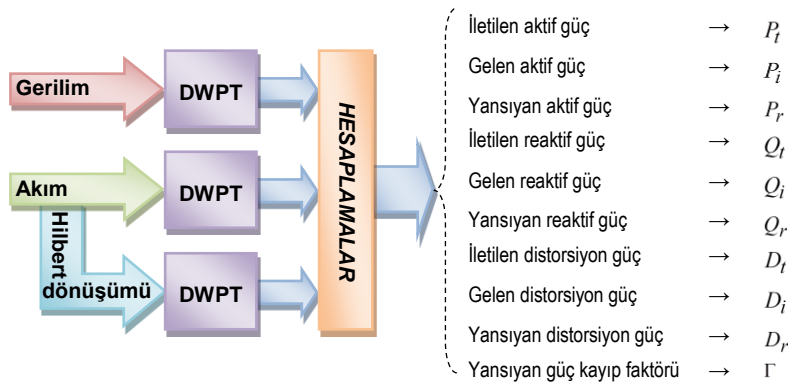
$$\Gamma = \frac{P_r}{P_i} \quad (16)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Bu eşitlik dalgacık paket katsayıları cinsinden düzenlenirse

$$\Gamma = \frac{P_r}{P_i} = \frac{\sum_{m=1}^{2^s-1} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N/2^s} p_s^{m,v}[k] p_s^{m,i}[k] \right\}}{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N/2^s} p_s^{0,v}[k] p_s^{0,i}[k]} \quad (17)$$

elde edilmektedir.

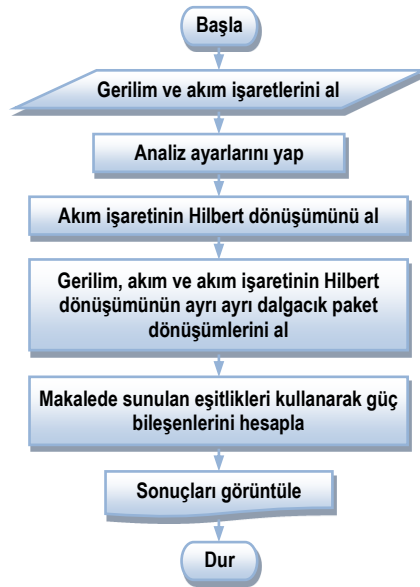
(Lu, Lin and Huang, 2000)'de tanımlanan güç bileşenleri ve bunların Fourier tabanlı olarak gerçekleştirilen hesaplamalarının yerine alternatif olarak bu çalışmada önerilen dalgacık paket dönüşümü tabanlı işlem aşamaları, Şekil 4'te özetlenmektedir.



Şekil 4:
Önerilen hesaplama yönteminin blok diyagramı

4. BENZETİMLER

Bu çalışmada önerilen dalgacık paket dönüşümü tabanlı güç bileşenleri hesaplamalarını gerçekleştirmek için MATLAB (MathWorks, 2019) ve WaveLab (Donoho, 1999) kullanılarak etkileşimli grafiksel arayüz programı tasarlanmıştır. Kullanıcı dostu arayüze sahip ve bu türde güç analizlerinin hem gerçekleştirilmesinde hem de eğitiminde kullanılacak programın akış diyagramı Şekil 5'te verilmektedir. Programın çalıştırılmasıyla oluşan ana ekran ve açıklamaları, Şekil 6'da görülmektedir. Programa gerilim ve akım verileri dışarıdan (çevre birimlerden) aktarılabilirdiği gibi kendi içindeki örnek veriler (gerilim ve akım dalgaları/değerleri) de kullanılabilir. İşaretlerin seçilmesi veya yüklenmesi esnasında da eş zamanlı olarak grafikleri çizdirilmektedir. Analizle ilgili ayarlar (ayrı pencerede açılan ve filtre seçimi, ayrışım seviyesi belirleme gibi ayarların otomatik veya elle yapılabilirdiği) tamamlanıp analizin gerçekleştirilmesiyle sonuçlar görüntülenmektedir. Menü seçenekleriyle bu sonuçlar hem sayısal (gerilim ve akım işaret değerleri, analiz sonuçları) hem de grafiksel (ekran görüntüsü) olarak kaydedilebilmekte ve yazdırılabilmektedir. Ayrıca araç çubuklarıyla grafikler üzerinde büyütme, küçültme, taşıma, döndürme ve değer okuma işlemleri yapılabilmektedir. Bunun yanında "Yardım" menüsünde yer alan 'Konu anlatımı' seçeneğiyle de ilgili güç tanımlamaları ve hesaplama yöntemleriyle ilgili açıklamalara ulaşılabilir.

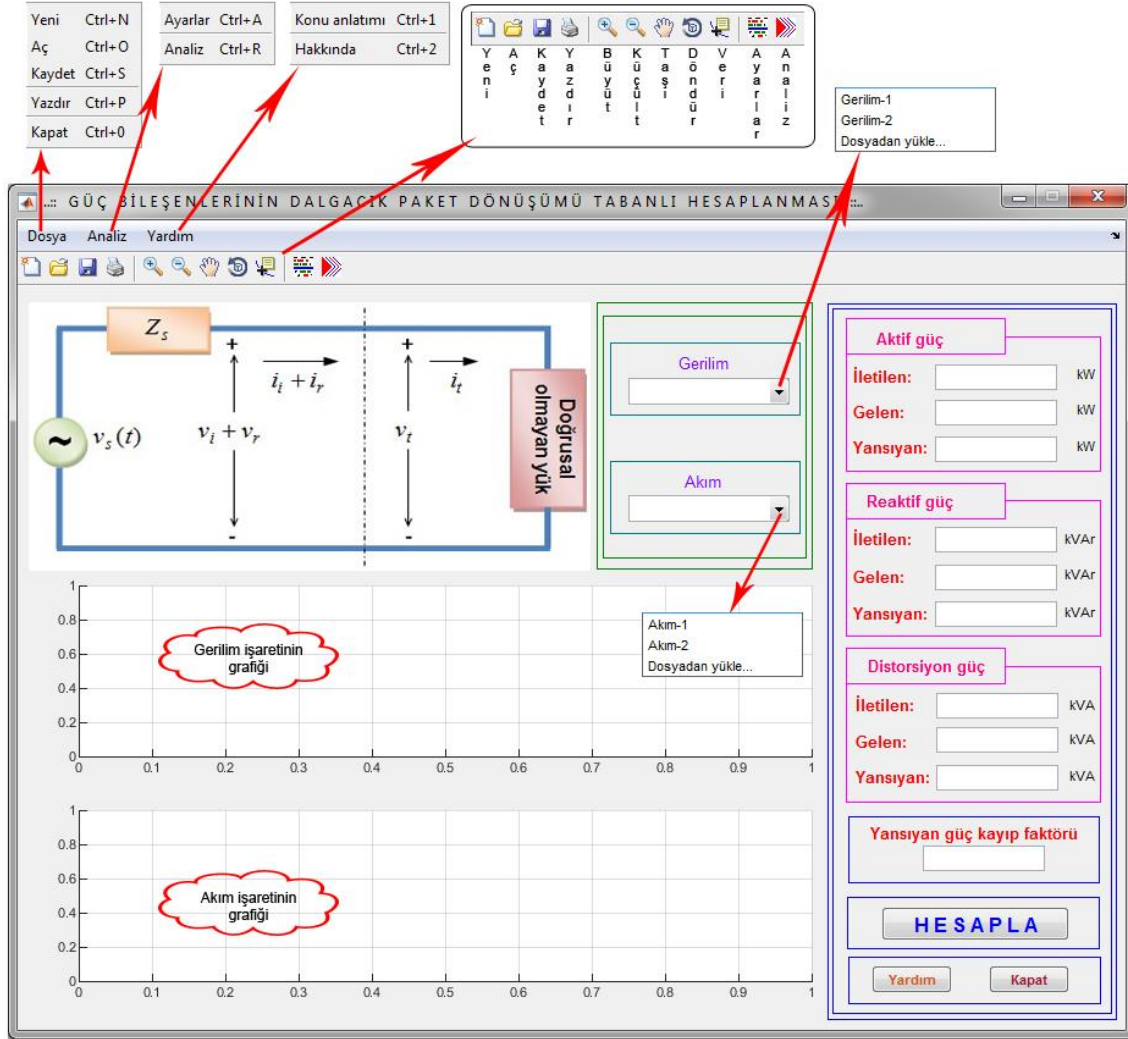


Şekil 5:
Tasarlanan programın akış diyagramı

Birinci benzetim, $\omega = 2\pi 50$ olmak üzere

$$\left. \begin{aligned} v(t) &= \sqrt{2} \{ 220 \sin(\omega t) + 50 \sin(3\omega t + 171^\circ) + 20 \sin(5\omega t + 111^\circ) \} \\ i(t) &= \sqrt{2} \{ 44 \sin(\omega t - 15^\circ) + 10 \sin(3\omega t + 125^\circ) + 4 \sin(5\omega t + 157^\circ) \} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

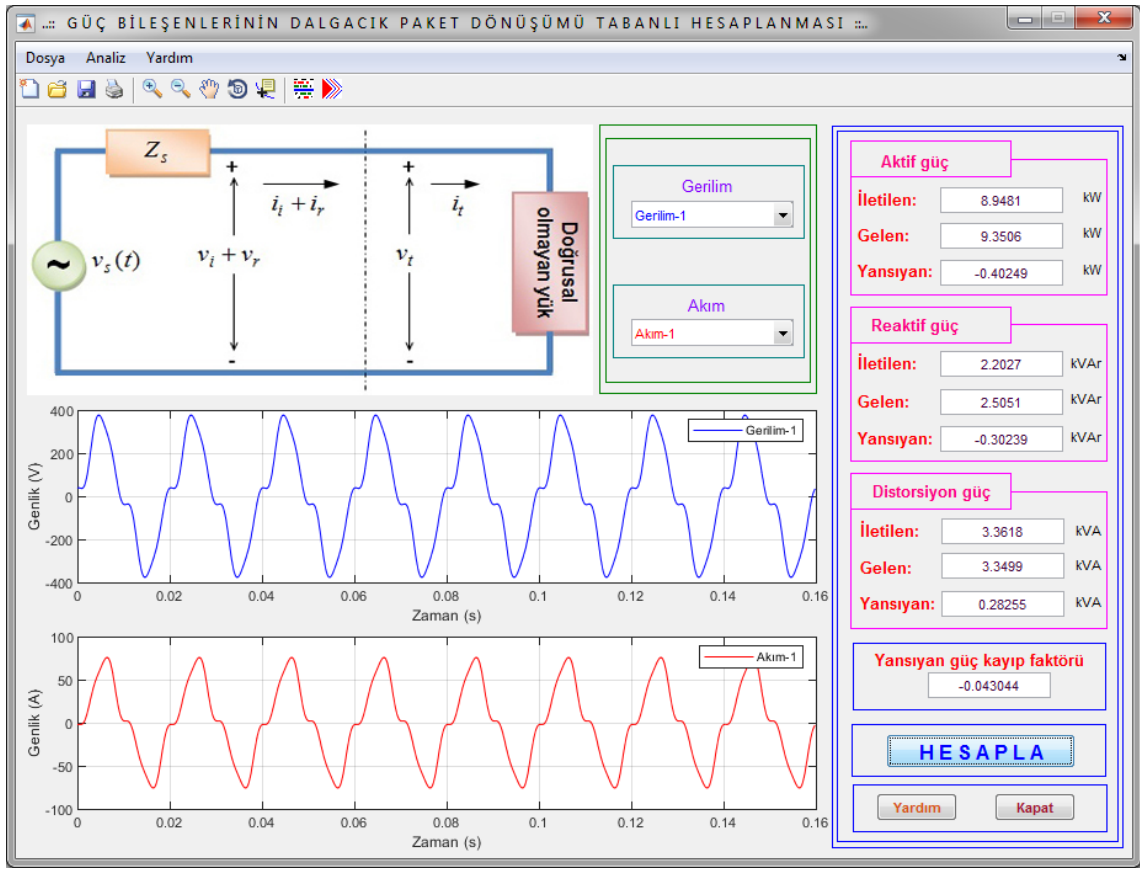
gerilim ve akım işaretleri 6400 Hz ile örneklenerek 1024 değer alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. Alınan örnek değerler, 5. seviyeye kadar Vaidyanathan dördül aynalama filtreleri (QMF) (Wickerhauser, 1994; Donoho, 1999) ile ayrışımına tabi tutulmuştur (Şekil 7). Elde edilen karşılaştırmalı sonuçlar ve bağıl hataları Tablo 1 ile Şekil 8'de verilmektedir.



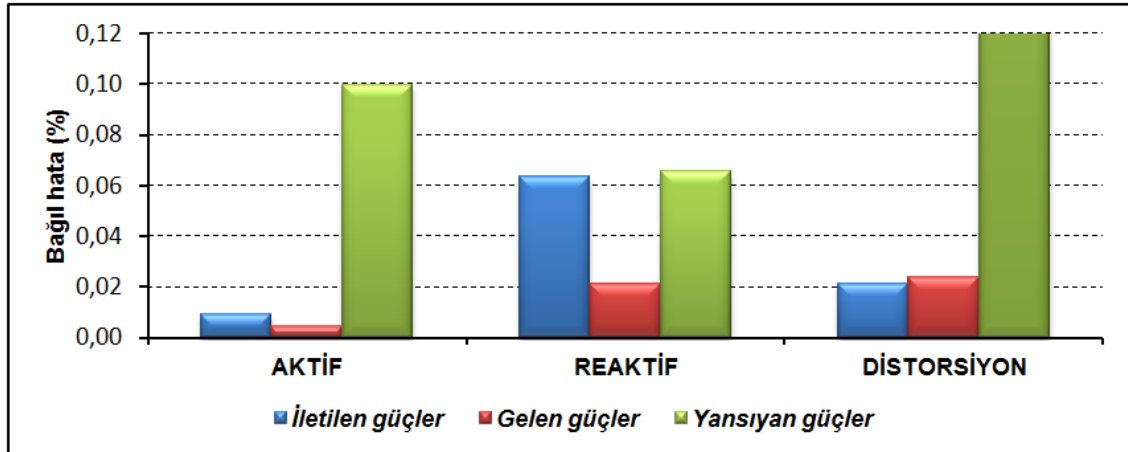
Şekil 6:
Tasarlanan programın ana ekranı ve açıklamaları

Tablo 1. Birinci benzetimin hesaplama sonuçları ve bağıl hataları

Güç		DWPT	Gerçek	Bağıl hata (%)
Aktif (W)	P_t	8948.0831865215495782	8947.2601436119621212	0.0091988261923409194581
	P_i	9350.5735199259124784	9350.1619984781809762	0.0044012226504576154942
	P_r	-402.49033340436290018	-402.90185486621840028	0.10213938131214207738
Reaktif (VAr)	Q_t	2202.7151946918893373	2203.2456404501672296	0.024075652235014139563
	Q_i	2505.103133711573264	2505.3683565924006871	0.010586183070826270941
	Q_r	-302.38793901968369937	-302.12271614223351435	0.08778647327045849269
Distorsiyon (VA)	D_t	3361.8335408131183613	3362.8559291173924066	0.030402381958194061445
	D_i	3349.9386833072435365	3350.9401665801196941	0.029886635484101906068
	D_r	282.55189650363422516	282.84271247461900976	0.10281897258034941589



Şekil 7:
Birinci benzetimin ekran görüntüsü

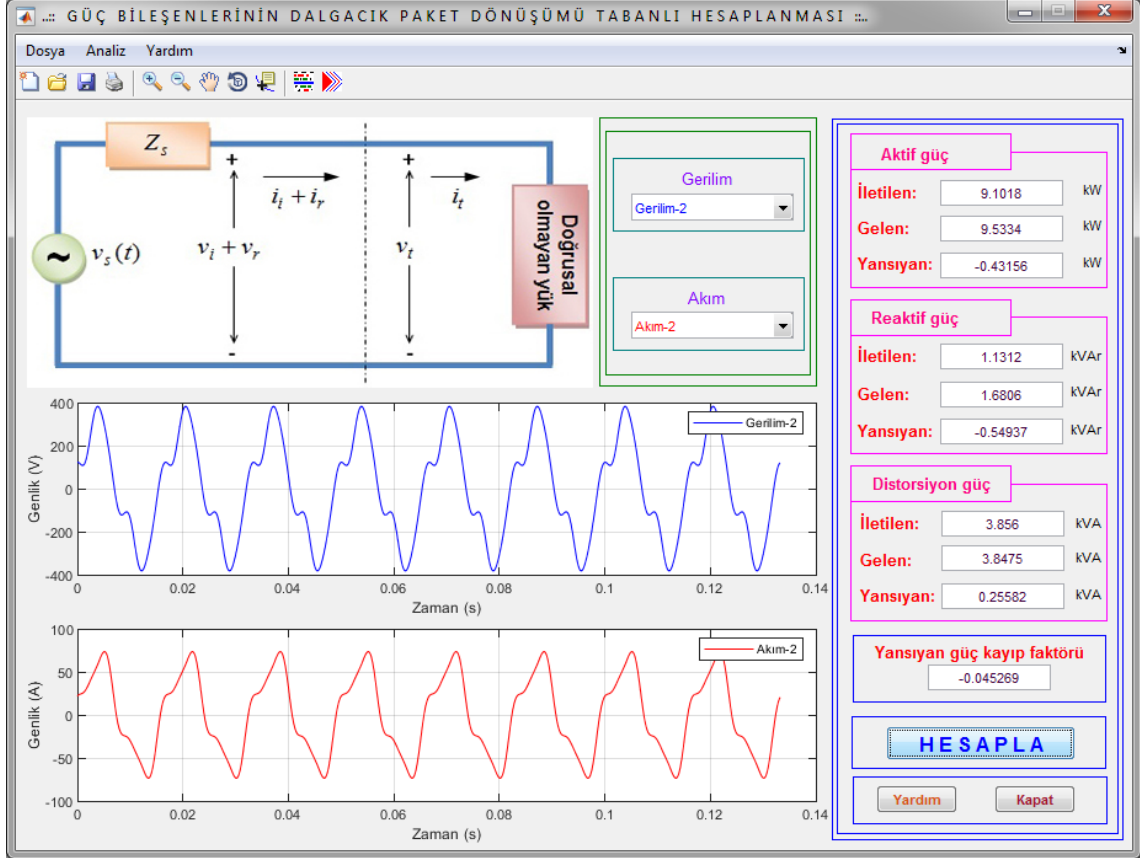


Şekil 8:
Birinci benzetimdeki bağıl hata grafikleri

İkinci benzetim, $\omega = 2\pi 60$ olmak üzere

$$\left. \begin{aligned} v(t) &= \sqrt{2} \left\{ 220 \sin(\omega t + 15^\circ) + 60 \sin(3\omega t + 165^\circ) + 15 \sin(5\omega t + 110^\circ) \right\} \\ i(t) &= \sqrt{2} \left\{ 44 \sin(\omega t + 5^\circ) + 12 \sin(3\omega t + 110^\circ) + 3 \sin(5\omega t + 175^\circ) \right\} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

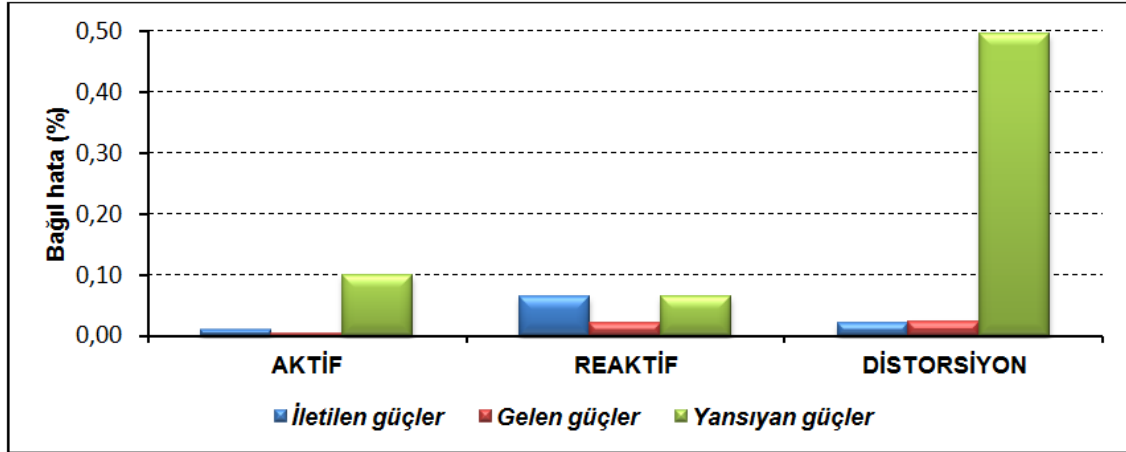
gerilim ve akım işaretleri 7680 Hz ile örneklenerek 1024 örnek değer alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. Alınan örnekler, 5. seviyeye kadar Vaidyanathan QMF ile ayrışımına tabi tutulmuştur (Şekil 9). Elde edilen karşılaştırmalı sonuçlar ve bağıl hatalar Tablo 2 ile Şekil 10'da verilmektedir. Tablo 1-2'de "Gerçek" olarak isimlendirilen sütundaki değerler, Eşitlik 18-19'daki gerilim ve akımlar kullanılarak doğrudan hesaplanmıştır.



Şekil 9:
İkinci benzetimin ekran görüntüsü

Tablo 2. İkinci benzetimin hesaplama sonuçları ve bağıl hataları

Güç		DWPT	Gerçek	Bağıl hata (%)
Aktif (W)	P_t	9101.8071080985264416	9100.9461932070898911	0.0094596196171243592671
	P_i	9533.3695065966912807	9532.9390491581743845	0.0045154745697750858432
	P_r	-431.56239849816563492	-431.99285595108466396	0.099644576753780980671
Reaktif (VAR)	Q_t	1131.1880882184721031	1131.908738344460744	0.06366680471454524981
	Q_i	1680.5540347522082811	1680.9143598158855184	0.021436253523154178563
	Q_r	-549.36594653373617803	-549.00562147142488811	0.065632308344231476971
Distorsiyon (VA)	D_t	3856.0121909261438304	3856.8380831971671796	0.021413713855955210374
	D_i	3847.5168524539390091	3848.4282505978981135	0.023682347301590151584
	D_r	255.8204187588891898	254.55844122715710878	0.49575159466267182395



Şekil 10:
İkinci benzetimdeki bağıl hata grafikleri

Tablo 1-2 ve Şekil 8 ile Şekil 10'daki bağıl hata oranlarından da görüldüğü gibi, Fourier tabanlı yaklaşımlara alternatif olarak DWPT kullanılarak da hesaplamalar çok yüksek doğruluklarla gerçekleştirilebilmektedir. Her iki benzetimdeki hata oranlarının çok düşük olduğu (%0.5'ten küçük) gözlenmektedir. Gerçek değerlerle dalgacık tabanlı sonuçlar arasındaki küçük farklar, kullanılan filtrelerin doğrusal olmayan karakteristiklerinden kaynaklanmaktadır. Daha uygun filtreler tasarlanarak, özellikle harmoniklerin etkin değerlerinin hesaplanmasındaki hatalar büyük oranlarda azaltılabilecektir.

5. SONUÇLAR

Enerji sistemlerindeki güçler ve bunların yüksek doğruluklarla hesaplanması ve ölçülmesi son derece önemlidir. Güç analizindeki geleneksel yöntemler genellikle Fourier dönüşümlerine dayanmaktadır. Ancak sürekli ve geçici rejimlerde yapılan eş zamanlı analizlerde Fourier dönüşümlerinde problemler oluşabilmektedir. Bu nedenlerle alternatif analizler araştırılmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada gelen-yansıyan-iletilen aktif-reaktif-distorsiyon güç olarak tanımlanan bileşenlerin, dalgacık paket dönüşümü kullanılarak hesaplanması önerilmiştir. Hem analiz hem de eğitim amaçlı kullanılabilir ve kullanıcı dostu arayüze sahip tasarlanan program ile yapılan benzetimlerle/uygulamalarla dalgacık paket dönüşümü tabanlı yöntem sonuçlarının, gerçek sonuçlarla örtüştüğü (çok düşük oranlarda hatalar içerdiği) gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Arseneau, R., Baghzouz, Y., Belanger, J., Bowes, K., Braun, A., Chiaravallo, A., Cox, M., Crampton, S., Emanuel, A., Filipski, P., Gunther, E., Girgis, A., Hartmann, D., He, S. D., Hensley, G., Iwanusiw, D., Kortebein, W., McComb, T., Mceachern, A., Nelson, T., Oldham, N., Piehl, D., Srinivasan, K., Stevens, R., Unruh, T., Williams, D. (1996) Practical definitions for powers in systems with nonsinusoidal waveforms and unbalanced loads: a discussion, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11 (1), 79-101. doi: <https://doi.org/10.1109/61.484004>
2. Budeanu, C.I. (1927) *Puissances Reactives at Fictives*, Institut Romain de l'Énergie, Bucharest, Romania.
3. Czarnecki, L.S. (1985) Considerations on the reactive power in nonsinusoidal situations, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 34 (3), 399-404. doi: <https://doi.org/10.1109/TIM.1985.4315358>

4. Çankaya, İ., Vatansever, F. (2002) Fourier ve dalgacık dönüşümünün karşılaştırılması, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (3), 14-24.
5. Debnath, L. (2002) *Wavelet Transforms & Their Applications*, Birkhäuser, Boston.
6. Donoho, D.L. (1999) Software package ‘WaveLab v.802’ of MATLAB program.
7. Emanuel, A.E. (1990) Power in non-sinusoidal situations a review of definitions and physical meaning, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 5 (3), 1377-1389. doi: <https://doi.org/10.1109/61.57980>
8. Filipiski, P.S., Baghzouz, Y., Cox, M.D. (1994) Discussion of power definitions contained in the IEEE dictionary, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 9 (3), 1237-1244. doi: <https://doi.org/10.1109/61.311149>
9. Fryze, S. (1931) Active, reactive and apparent power in non-sinusoidal systems, *Przegled Elektrotek*, 7, 193-203.
10. Goswami, J.C., Chan, A.K. (1999) *Fundamentals of Wavelets*, John Wiley&Sons, USA.
11. Hamid, E.Y., Mardiana, R., Kawasaki, Z.I. (2002) Method for RMS and power measurements based on the wavelet packet transform, *IEE Proceedings - Science, Measurement and Technology*, 149 (2), 60-66. doi: <https://doi.org/10.1049/ip-smt:20020156>
12. IEEE (1988) *IEEE Standart Dictionary of Electrical and Electronics Terms ANSI/EKE std 100-1988*, IEEE, New York.
13. Kusters, N.L., Moore, W.J.M. (1980) On the definition of reactive power under nonsinusoidal conditions, *IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems*, PAS-99 (5), 1845-1854. doi: <https://doi.org/10.1109/TPAS.1980.319833>
14. Lu, S.L., Lin, C.E., Huang, C.L. (2000) Suggested power definition and measurement due to harmonic load, *Electric Power Systems Research*, 53 (2), 73-81. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(98\)00171-0](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(98)00171-0)
15. Mathworks (2019), MATLAB, www.mathworks.com
16. Sankaran, C. (2002) *Power Quality*, CRC Press.
17. Sharon, D. (1973) Reactive power definition and power factor improvement in non-linear systems, *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 120 (6), 704-706. doi: <https://doi.org/10.1049/piee.1973.0155>
18. Shepherd, W., Zakikhani, P. (1972) Suggested definition of reactive power for nonsinusoidal systems, *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 119 (9),1361-1362. doi: <https://doi.org/10.1049/piee.1972.0268>
19. Slonim, M.A., Van der Wyk, J.D. (1988) Power components in a system with sinusoidal and non-sinusoidal voltages and/or currents, *IEE Proceedings B - Electric Power Applications*, 135 (2), 76-84. doi: <https://doi.org/10.1049/ip-b.1988.0010>
20. Vatansever, F., Ozdemir, A. (2008) A new approach for measuring RMS value and phase angle of fundamental harmonic based on wavelet packet transform, *Electric Power Systems Research*, 78(1), 74-79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2006.12.009>
21. Vatansever, F., Ozdemir, A. (2009) Power parameters calculations based on wavelet packet transform, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 31, 596-603. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2009.04.001>

22. Vatansever, F., Uyaroğlu, Y., Özdemir, A. (2009) Dalgacık paket tabanlı harmonik analizi, *5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09)*, Karabük/Turkey, 13-15 May. 432-437.
23. Vatansever, F., Ozdemir, A. (2010) An alternative approach for calculating/measuring fundamental powers based on wavelet packet transform and its frequency sensitivity analysis, *Electrical Engineering*, 91, 417-424. doi: <https://doi.org/10.1007/s00202-010-0150-x>
24. Wickerhauser, M.V. (1994) *Adapted Wavelet Analysis from Theory to Software*, AK Peters, Wellesley.
25. Yoon, W.K., Devaney, M.J. (1998) Power measurement using the wavelet transform, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 47 (5), 1205-1210. doi: <https://doi.org/10.1109/19.746584>
26. Yoon, W.K., Devaney, M.J. (2000) Reactive power measurement using the wavelet transform, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 49 (2), 246-252. doi: <https://doi.org/10.1109/19.843057>

