

Gerilim Çentik Tesbiti İçin Yeni Bir Algoritma Tasarımı

Design Of A New Algorithm To Detect Voltage Notch

Koray Erhan, Ömer Usta, Kahraman Yumak, Akim Borbuev

Elektrik Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi

korayerhan@itu.edu.tr, ustao@itu.edu.tr, yumakk@itu.edu.tr, borbuev@itu.edu.tr

Özet

Güç kalitesi kavramının önemi her geçen gün artmaktadır. Özellikle birçok uygulamada yarı iletken elemanların kullanılmasının şebekeye olan bozucu etkisi yadsınmaz. Güç kalitesini bozan etkilerin başında harmonikler olmasına rağmen, sistem geriliminde görülen çentik türü olayların da göz önüne alınması gerekmektedir. Literatürde çentik analizinde genel olarak dalgacık dönüşümü kullanılmaktadır. Ancak yapılan bu çalışmalarda standarttaki sınır değerlere göre bir karşılaştırma bulunmamaktadır [1,6,8]. Bu çalışmada IEEE Std 519-1992 ve IEEE Std 1159-2009 standartları referans alınarak şebeke geriliminde görülen gerilim çentiklerini algılama algoritması tasarlanmıştır. Süperpozisyon ilkesine göre tasarlanan bu algoritmada, çentikli gerilim dalgasından temel bileşenin çıkarılması ile çentik algılaması yapılmaktadır. Tasarlanan algoritmanın performans analizinin yapılması için bilgisayar simülasyonu ve test çalışmaları yapılmıştır. Konu ile ilgili standartlar [2,3] göz önüne alındığında, algoritmanın gerilim çentiklerini algıladığı ve diğer güç kalitesini bozan olaylara cevap vermediği görülmüştür.

Abstract

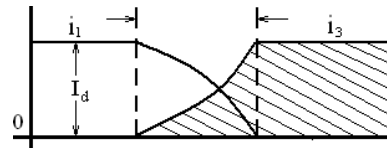
Power quality is becoming increasingly important subject in electrical power systems. Especially the harmful effects of semiconductor components are highly recognised by the end users. Despite the fact that, harmonics are the main reason of the power quality problems, notch type events in the voltage signal should also be taken into account. In the literature [1,6,8], wavelet analysis is commonly used for notch detection but these studies are carried out without evaluating the notch effect with respect to the criteria in the standards. In this study, regarding to IEEE Std. 519-1992 and IEEE Std.1159-2009, a notch detection algorithm is designed. According to the superposition principle, notch detection is accomplished by subtracting sinus waveform from the notch waveform. Computer simulations and test studies are carried out for the performance analysis of the algorithm. In reference to the standards [2,3], the algorithm detects notch events and does not respond to other power quality problems.

1. Giriş

Günümüzde şebeke gerilimini bozan ve güç kalitesine olumsuz etkisi olan bir çok olay vardır. Bunları; geçici olaylar,

kısa süreli ve uzun süreli rms değişimleri, gerilim dengesizlikleri, sinüsoidal formdaki bozulmalar, gerilim dalgalanmaları ve frekans değişimleri olarak sıralayabiliriz. Geçici olayları darbe (impuls) ve osilasyon yapan olaylar, kısa süreli rms değişimlerini birkaç periyotluk kesintiler, gerilim çökmeleri ve yükselmeleri (sag, swell), uzun süreli rms değişimlerini uzun süreli gerilim yükselmeleri ve çökmeleri (under, over voltage), sinüsoidal formdaki bozulmaları DC offset, harmonikler, kırışma (flicker), çentik ve gürültü olarak sıralayabiliriz [2]. Bu olaylar tespit edilip düzeltici yönde önlemler alınmazsa daha büyük problemler çıkartmaktadır. Örneğin, şebekeye bağlı cihazların ısınması, gürültülü çalışması, ömrünün kısalması, hatalı hareketler yapması, elektronik devrelerin yanlış komutlar vermesi, daha büyük kesitli hatların kullanılması zorunluluğunun ortaya çıkması, enerji kayıpları gibi zaman kaybına ve maddi kayıplara neden olan sonuçlar doğurmaktadır.

Çentik; günümüzde sıklıkla kullanılan 3 fazlı kontrollü veya kontrolsüz doğrultucuların sebep olduğu gerilimdeki bir bozulmadır. Bu bozulmanın asıl nedeni farklı fazlar üzerindeki diyotların veya tristörlerin faz geçişleri sırasında bir kısmının iletme geçmesi diğer kısmının da kesime girmesi neticesinde oluşan komütasyon olayıdır. Komütasyon olayı sırasında yarıiletken elemanlar bir anda kesime ve iletme geçemedikleri için anlık bir kısa devreden bahsetmek mümkündür. Bunun sonucunda faz gerilimlerinde kısa süreli bir çökme oluşmaktadır [1-3].



Şekil 1: Komütasyon olayı [3].

Çentik olayının tesbiti için farklı yöntemler uygulanabilmektedir. Bu yöntemlerden sıklıkla kullanılan zaman domeninde frekans bileşenleri hakkında bilgi vermesinden ötürü dalgacık dönüşümü yöntemidir. Bu yöntemde çentik etkili dalga alınarak belirli frekans bileşenlerine ayrılır. Ortaya çıkan detay kısımlarında çentik genliği ve zamanı saptanır. Algılama işlemi bu detay kısımları kullanılarak yapılır. Ancak bu sırada normalde şebekede bulunmayan, dalgacık dönüşümü uygulamasından ötürü ortaya çıkan bazı frekanslar da oluşabilmektedir. Bu yöntemin yaygın

olarak kullanılmasının nedenlerinden biri Matlab dalgacık dönüştürme aracının bulunmasıdır [1,4-8].

2. Çentik Algılama Açısından Şebekelerin Sınıflandırılması ve Standartlara Göre Çentik Tanımı

Standarta [1] göre çentik hesabı yapılırken Çizelge 1'deki parametrelerin hesaplanması gerekmektedir. Burada bozucu etkinin maksimum değerleri üç temel sistem baz alınarak oluşturulmuştur. Bu sistemler özel uygulamalar (laboratuvar, hastane, vb.), genel sistem ve ayırık sistem (inverter üzerinden beslenen yükler, vb.) olarak sınıflandırılmıştır [2,3].

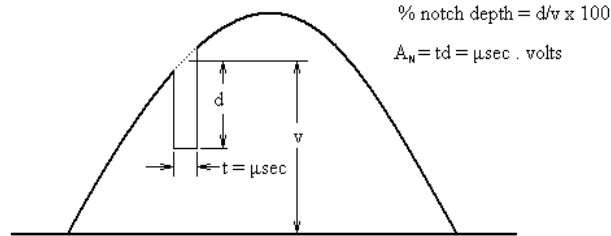
Çentik üç farklı değere bağlı olarak tanımlanmıştır. Bunlar; çentik derinliği, THD değeri ve çentik alanının büyüklüğüdür. Şebeke gerilimindeki çentik bu üç sınır değer içerisinde ise oluşan çentiğin kabul edilebilir olduğu ifade edilmiştir. Sınır değerler çizelgedeki gibidir.

Çizelge 1: Farklı sistemler için sınır değerler [3]

	Özel Uygulamalar	Genel Sistem	Ayrık Sistem
Çentik Derinliği	10%	20%	50%
THD (Gerilim)	3%	5%	10%
Çentik Alanı (A_N)	16400	22800	36500

NOT: Gerilim değeri 480 volttan farklı sistemler için çizelgedeki A_N değerleri $V/480$ ile çarpılmalıdır.

Standartta çentik tanımlanırken ve değerler hesaplanırken Şekil 2 referans alınmıştır.



Şekil 2: Çentik derinliği ve alanı tanımı [1].

Şekilde gösterilen "d" yüksekliği çentiğin başlama ve bitiş noktalarının ortası ile çentiğin bittiği yer arasındaki mesafenin volt cinsinden büyüklüğüdür. "v" ise çentiğin başlama ve bitiş noktalarının ortası ile sıfır potansiyel arasındaki gerilim değeridir. Bu büyüklüklerin yüzde olarak birbirine oranı ise çentik derinliğini "% d/v" vermektedir.

"t" çentiğin başlangıcı ve bitiş arasında geçen sürenin mikrosaniye olarak değeridir. A_N ise t.d yani mikrosaniye.volt olarak çentiğin alanını ifade etmektedir. Ancak burada verilen örnekte alan hesabı kare şeklindeki bir çentiğin alanıdır. Halbuki uygulamalarda çoğu zaman bu şekilde bir alan karşımıza çıkmamaktadır. Aksine kapasitif veya endüktif etkilerden ötürü karşımıza üçgen veya yamuk şeklinde bir çentik çıkmaktadır. Bununla birlikte dalgaının çentik anında

osilasyona girmesinden ötürü gerilim değerinde önce azalma sonra artma olabilmektedir. Bu da alan hesaplamalarını zorlaştırmakta ve diğer bozucu etkilerle karıştırılmasına neden olabilmektedir. Alan hesabına ilaveten THD değerinin de hesaplanması gerekmektedir. Bu ise standartta [3],

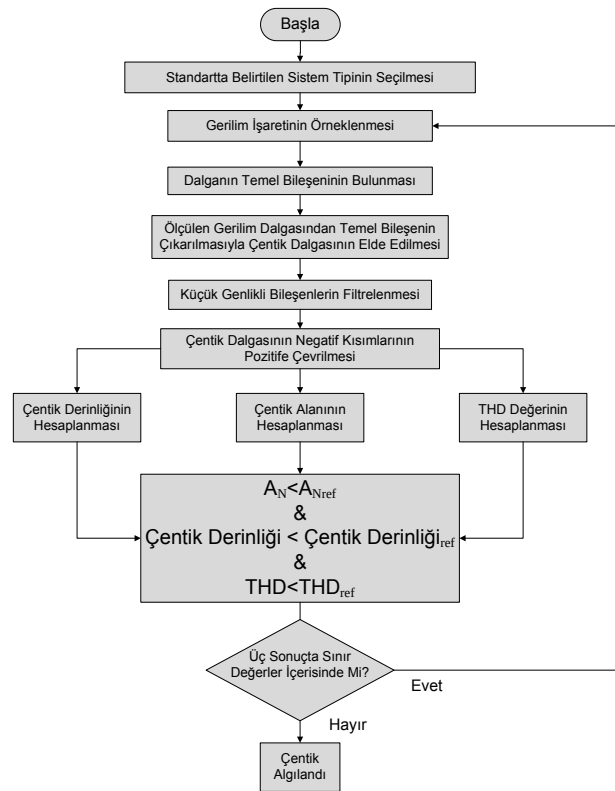
$$THD_{maks} = 0.074 \frac{\overline{A_N}}{\rho} \% \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada "ρ" toplam endüktansın ortak sistem endüktansına oranı olarak ifade edilmektedir.

3. Yeni Bir Çentik Algılama Algoritması Tasarımı

Öncelikle standartta belirtilen üç adet işletme tipinden biri seçilir. Çünkü bu sistem seçimi sınır değerleri belirlemektedir. Daha sonra sistemden gerilim işareti alınır ve bu dalgaya süperpozisyon işlemi uygulanır. Alınan bu gerilim dalgasının temel bileşeni bulunur. Temel bileşen bulunduktan sonra çentikli gerilim dalgasından temel bileşenin çıkartılmasıyla çentik dalgası elde edilmiş olur (çentik = çentikli dalga – temel bileşen). Bu işlemleri yapmaktaki amaç sadece bozucu etkilerin bulunduğu dalgayı elde etmektir.

Bozucu etkileri içeren bu dalga elde edildikten sonra hesaplamalarda kayda değer bir sonuç vermeyecek olan küçük bileşenler filtrelendir. Bu filtreleme işlemi hem hesaplamaları kolaylaştırmakta hem de çok küçük bileşenleri ihmal ederek sonucu kolay okunabilir hale getirmektedir.



Şekil 3: Akış diyagramı.

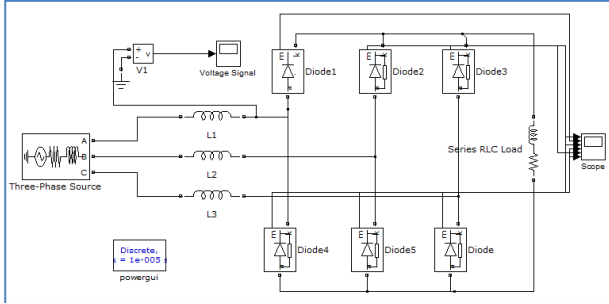
Filtreleme işleminin ardından bozucu etkileri içeren dalganın negatif kısımları pozitif çevrilir. Bu işlemin sebebi alan hesaplamalarında kolaylık sağlamaktır. Bu aşamalardan sonra çentik derinliği, THD ve çentik alanı hesabına başlanır. Eğer bu üç değerden herhangi birinde sonuç sınır değerden fazla ise sistemde çentik var demektir. Bir sonraki aşamada gereğinin yapılması için algoritma uyarı verir. Eğer sonuç bu üç sınır değerinde içerisindiyse sistemde çentik etkisi yok veya kabul edilebilir değerler içerisindedir. Bu durumda ise algoritma başa dönerek yukarıda sayılan işlem basamaklarını bir sonraki periyot için tekrarlar. Akış diyagramı Şekil 3'deki gibidir.

4. Çentik Algılama Algoritması Performans Analizi

Öncelikle çentikli bir dalga oluşturulmuştur. Daha sonra ise tasarlanan algoritma test edilmiştir.

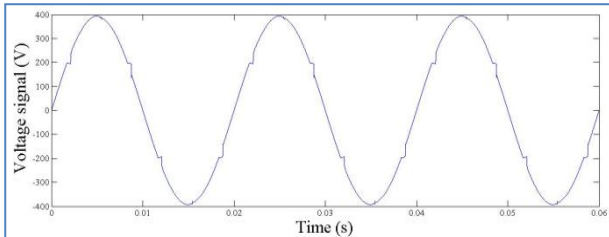
4.1. Çentikli Gerilim Dalgası Oluşturma

Çentikli dalga standartta [3] belirtildiği gibi Şekil 4'deki üç fazlı kontrolsüz doğrultucu kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 4: Çentik oluşturmak için kullanılan 3 fazlı kontrolsüz doğrultucu.

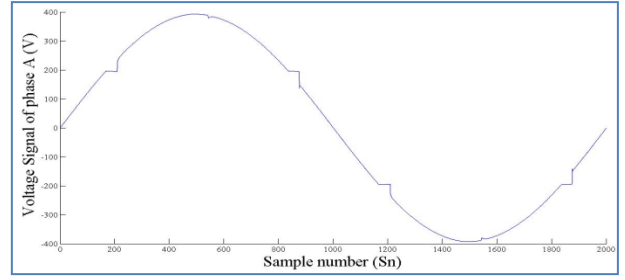
Oluşturduğumuz üç fazlı doğrultucunun faz-faz geriliminin tepe değeri 400 voltur. Doğrultucu girişinden alınan işaret Şekil 5'deki gibidir. Elde edilen çentikli sinüs dalgası yeni algoritmanın testinde kullanılmıştır.



Şekil 5: Doğrultucu girişinden alınan çentikli dalga örneği.

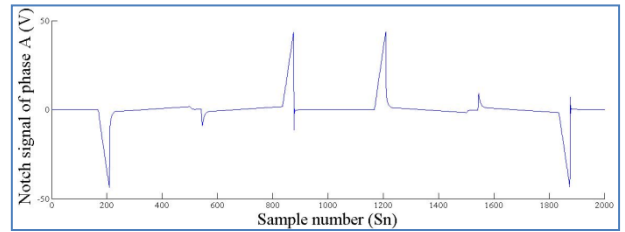
4.2. Performans Analizi

Şekil 5'de görülen dalganın bir periyotluk kısmı alınıp işlemler bu şekilde yapılmıştır.



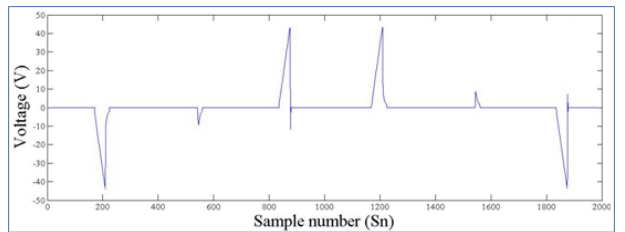
Şekil 6: Bir periyotluk çentikli örnek dalga.

Aynı zamanda işlemlerde kolaylık olması açısından Şekil 5'de saniye olarak verilen zaman eksenini Şekil 6'da örnek sayısı cinsinden verilmiştir. Bir sonraki adımda Şekil 6'daki çentikli dalganın temel bileşeni hesaplanıp ilk dalgadan çıkarılmıştır. Böylelikle sadece çentik barındıran bir dalga elde edilmiş olur.



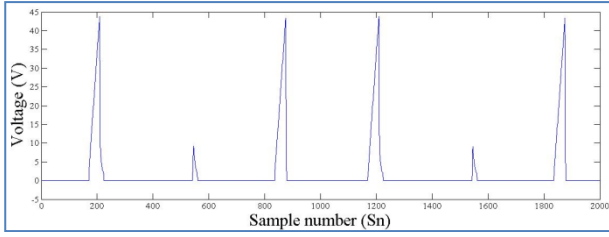
Şekil 7: Çentikli dalga şekli.

Şekil 7'de çentik dalgasının şekli açık bir şekilde görülmektedir. Bir sonraki aşamada gerek alan hesaplamalarında gerekse çentik derinliği hesaplamalarında kolaylık olması ve gerçek zamanlı uygulamalarda işlemciye fazladan yük getirmemesi bakımından belirli değerden küçük genlikli işaretler filtrelenmiştir. Elde edilen dalga Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8: Filtreleme işleminin ardından çentikli dalga şekli.

Filtreleme değerlerinin belirlenmesi sırasında standartta [3] belirtilen tanımlardan ve büyüklüklerden yola çıkılmıştır. Standarta göre zaman ekseninde çentik etkisi maksimum bir yarı periyot olarak belirtilmiştir. Bu ifadeden yola çıkarak alan hesaplamalarında minimum değer olan $A_N = 16400$ 'ü geçmeyecek şekilde maksimum çentik zamanı için (bir yarı periyot) minimum genlik değeri saptanmıştır. Bulunan bu genlik değeri filtre değeri olarak belirlenmiştir. Bu basamağın ardından yine işlemlerde kolaylık sağlanması bakımından negatif genlikli değerler pozitif kısma geçirilmiştir.



Şekil 9: Çentiklerin pozitif genlikli hale getirilmesi.

Çentik etkilerinin tamamının pozitif kısma geçirilmesinin ardından Matlab kullanılarak dalga'nın tepe "d" noktaları saptanmıştır. Bu işlem çentik derinliği hesaplamalarında kullanılacak olan verileri bulmayı sağlar. Ardından bu "d" noktalarına karşılık gelen konumlar "k" bulunmuştur. Konum bilgisine, çentik oluştuğu andaki sinüsün anlık değerinin "v" bulunması için ihtiyaç duyulur. Buradan çentik derinliği "% d/v" hesaplanmıştır. Bu işlemlerin ardından çentik alanının hesaplanması için dalga şeklinin başlangıç ve bitiş noktalarına ihtiyaç duyulmuştur. Başlangıç noktası, bitiş noktası ve çentik tepe noktası "d" kullanılarak alan hesabı " A_N " yapılmıştır. Son olarak (1) eşitliğinde ifade edilen $\%THD_{maks}$ değeri hesaplanmıştır.

4.3. Bulunan Sonuçların Standarttaki Sınır Değerlerle Karşılaştırılması

Yapılan çalışma sonucunda ölçülen çentik dalgasının belirleyici noktaları Çizelge 2'de verilmiştir. Bu değerlere bağlı olarak hesaplanan çentik alanı, çentik derinliği ve THD_{maks} değerleri Çizelge 3'de görülmektedir.

Çizelge 2: Çentik dalgasının belirleyici noktaları

Çentik Numarası	1	2	3	4	5	6
d=tepe	43,77	9,20	43,41	43,78	9,02	43,41
k=konum	209	545	875	1209	1545	1875
v	239,2	388,0	150,0	239,2	388,0	150,0
başlangıç noktası	170	542	835	1169	1542	1835
bitiş noktası	224	560	880	1224	1560	1879

Çizelge 3: Standartta belirtilen üç kriterin değerleri

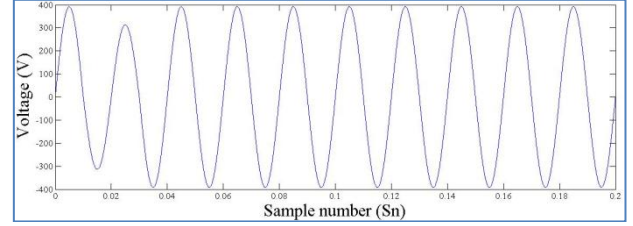
Çentik Numarası	1	2	3	4	5	6
% d/v	18,3	2,4	28,9	18,3	2,3	28,9
A_N	10011	815	9570	9960	768	9529
$\%THD_{maks}$	2,8	0,8	2,7	2,8	0,8	2,7

Sonuçlar Çizelge 1'deki genel sistem sınır değerlerine göre karşılaştırılmıştır. A_N ve THD_{maks} değerleri kabul edilebilir

sınırlar içerisinde kalmıştır. Ancak çentik derinliği 3. ve 6. çentikler için sınır değerin üzerinde çıkmıştır. Sonuç olarak geliştirilen algoritma çentik tespit etmiştir.

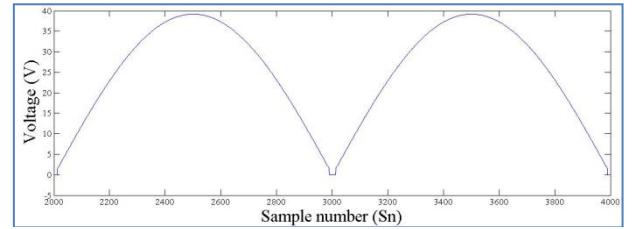
4.4. Yeni Algoritmanın Güç Kalitesini Bozan Diğer Olaylara Cevabı

Tasarlanan algoritmanın sadece çentik etkisini tesbit etmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle algoritma farklı bozucu etkilerle test edilmiştir. Beklenen sonuç algoritmanın diğer bozucu olayları çentik olarak görmemesidir. Test işleminde gerilim çökmesi olan ve darbe etkisi taşıyan dalgalar kullanılmıştır. İlk testte kullanılan gerilim çökmeli işaret Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10: Gerilim çökmesi bulunan gerilim dalgası.

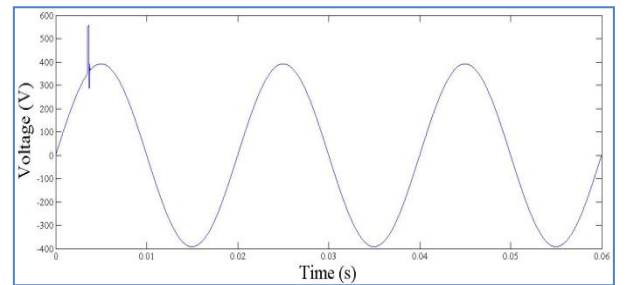
Gerilim dalgasından temel bileşen çıkarılmıştır. Daha sonra belirli aralıktaki değerler filtrelenecek dalga'nın mutlak değeri alınmıştır. Oluşan dalga Şekil 11'deki gibidir.



Şekil 11: Süperpozisyon sonrası filtreleme uygulanan ve mutlak değeri alınan dalga.

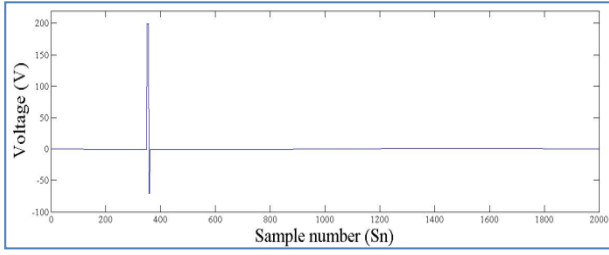
Standartta [2] çentik etkisinin maksimum bir yarı periyot sürebileceği belirtilmiştir. Çökme olayı bir yarı periyottan fazla sürdüğü için algoritma tarafından çentik etkisi olarak algılanmamıştır.

İkinci test darbe etkisi olan bir dalga ile yapılmıştır. İşaret Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 12: Darbe etkisi bulunan gerilim dalgası.

Şekil 12'deki dalganın bir periyotluk kısmı alınmış ve süperpozisyon uygulanıp Şekil 13'deki dalga elde edilmiştir.



Şekil 13: Darbe dalgası

Yine standartta [2] çentik etkisinin periyodik bir olay olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla algoritma bir bozucu etkinin kendini diğer periyotlarda tekrar edip etmediğine bakar. Darbe olayı periyodik olmadığı için algoritma tarafından çentik olarak algılanmaz.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, standartta [2,3] belirtilen bozucu etkilerden biri olan çentik olayının tespiti için genel olarak kullanılan yöntem olan dalgacık dönüşümü yerine alternatif bir algoritma tasarlanmıştır. Bu algoritma oluşturulurken gerçek zamanlı ölçüm sırasında işlemciye çok fazla yük getirmeyecek şekilde en kısa yoldan sonuca ulaşmaya çalışılmıştır. Aynı zamanda dalgacık dönüşümü yönteminde uygulanan gerilim dalgasının bileşenlerine ayrılması sebebiyle fazladan ortaya çıkan işlem yükünden de tasarruf edilmiştir.

Ayrıca algoritma güç kalitesini bozan diğer olaylara karşı test edilmiştir. Sonuç olarak algoritma çentik olayını diğer olaylarla karıştırmayıp, doğru bir şekilde çalışmış olup, birbirine çok yakın genlik ve alanlara sahip çentiklerde bile hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Chen-Wen Lu ve Shyh-Jier Huang, "An Application of B-Spline Wavelet Transform for Notch Detection Enhancement", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 19, No. 3, July 2004.
- [2] IEEE Std 1159-2009, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. IEEE, New York, USA.
- [3] IEEE Std 519-1992, IEEE recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. IEEE, New York, USA.
- [4] Bayhan, S. ve Yılmaz, D., "Güç Sistemlerindeki Dalga Şekli Bozukluklarının Tespiti".
- [5] Lachman, T., Memon, A. P., Mohamad T. R., Memon, Z. A., "Detection of Power Quality Disturbances using Wavelet Transform Technique", International Journal For The Advancement Of Science Arts, Vol. 1, No. 1, 2010.
- [6] Ghaemi, A. H., Askarian Abyaneh H., Mazlumi, K., Sadeghi, S. H. H., "Voltage Notch Indices Determination Using Wavelet Transform" Power Tech, 2007 IEEE Lausanne, July 2007.

- [7] Tarasiuk T., Szveda M., "A Few Remarks About Notching Analysis-Case Study", IMEKO-TC4-2004-088, 2004.
- [8] Barros, J., Apraiz, M., Diego, R. I., "Voltage Notch Detection and Analysis Using Wavelets", VECIMS 2008 – IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces, and Measurement Systems, 2008.