

# TRİSTÖR KONTROLLÜ SERİ KAPASİTÖRÜN BULANIK MANTIK İLE KONTROLÜNÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Uğur YOLAÇ<sup>1</sup>

Tankut YALÇINÖZ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Elektrik\_Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi  
Niğde Üniversitesi, 51200, Niğde

<sup>1</sup>e-posta: [uyolac@yahoo.com](mailto:uyolac@yahoo.com)

<sup>2</sup>e-posta: [tyalcinoz@ieee.org](mailto:tyalcinoz@ieee.org)

*Anahtar sözcükler: Matlab, Bulanık Mantık, Tristör Kontrollü Seri Kapasitör*

## ÖZET

FACTS (Esnek Alternatif Akım İletim Sistemler) kontrolörlerinin enerji iletim sisteminin konfigürasyonuna ve işletimine verdiği cevabın belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle, FACTS kontrolörlerinin dizaynında önemli kriterler: reaktif güç transferinin miktarı, sistem gerilim profili, enerji sisteminin işletmedeki etkisi, kullanılan elemanların konfigürasyonudur. Bu makalede, enerji sistemine seri bağlanan FACTS cihazlarından olan tristör kontrollü seri kapasitör (TSCS), bulanık mantık ile kontrol edilmiştir. Bu çalışmada tristörlerin ateşleme açısı bulanık mantık ile belirlenmiştir. Matlab Simulink, Güç Sistemleri Blok seti (Power System Blockset) ve Bulanık Mantık Araç kutucuğu (Fuzzy Logic Toolbox) kullanılarak iki baralı bir iletim hattında TCSC ile hat empedansı kompanze edilerek yük akımının kontrolü yapılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Varolan AC iletim sistemlerinde, yük dalgalanması, gerilim kararlılığı ve gerilim çökmeleri en önemli problemdir. Enerji sistemlerinde fiziksel değişiklik yapmadan kapasite arttırımına gitmenin en güzel yolu FACTS cihazlarını kullanmaktır. FACTS cihazlarının geliştirilmesi için uzun yıllardan beri araştırmalar ve çalışmalar devam etmektedir [1,6].

Seri kapasitörlü kompanzasyonun ac sisteme, güç transfer kapasitesini arttırma, geçici kararlılığı geliştirme gibi değişik faydaları vardır. Sisteme Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC) eklenmesiyle birlikte seri kapasitörden dolayı sistem empedansını istediğimiz gibi değiştirebiliriz. Tristör Kontrollü Seri Kapasitör temel olarak Tristör Kontrollü Reaktör (TCR) ve buna paralel bağlı bir kondansatörden oluşur [2,3]. TCSC'nin eşdeğer empedansı TCR'nin tetikleme açısının sürekli değiştirilmesiyle elde edilebilir. Bu değişiklikler yapılarak istemde istenen empedansa ulaşılabilmektedir. TCSC sisteme seri bağlanmasından

dolayı enerji sistemine bağlanırken bir ara elemana ihtiyaç duymaz. Ayrıca TCSC, geçici kararlılığı geliştirir, hatalı akım iniş ve çıkışlarını engeller, geçici senkronize frekansını düşürür [4-9]. Tristörlerin ateşleme kontrolleriyle TCSC, görünür reaktansı hiçbir problem çıkartmadan hızlı bir şekilde ayarlayabilir.

TCSC'nin ateşleme açısının kontrolü için farklı yöntemler kullanılır. Önceki çalışmalarda FACTS cihazları çoğunlukla lineer kontrol yöntemleriyle ve PID ile kontrol edilirler[1-3]. Güç sistemleri lineer olmayan sistemlerdir, lineer kontrol sistemleriyle bu lineer olmayan sistemlerin kontrolleri pek kararlı olmaz. Bu yüzden, son yıllarda bulanık mantık (fuzzy logic) ve yapay sinir ağları (neural network) gibi yapay zeka kontrollü sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, karışık ve iyi tanımlanamamış sistemler için bulanık mantıklı kontrolün en iyi kontrollerden biri olduğu gösterilmiştir [10]. Bu kontrol sistemleri kullanılarak çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

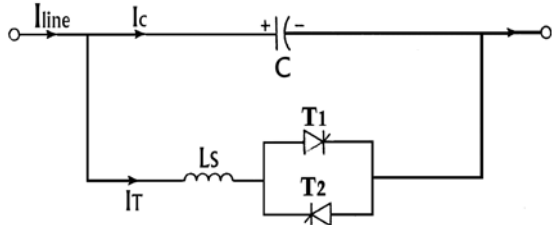
Bu makalede, Matlab ortamında Simulink, Fuzzy Logic Toolbox ve Power System Blockset kullanılarak bulanık mantık ile kontrol edilen bir TCSC tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem Matlab ortamında iki baralı, statik ve dinamik yüklere sahip bir sisteme bağlanarak, bu yapının enerji sistemine etkisi incelenmiştir.

## 2. TCSC MODELİ

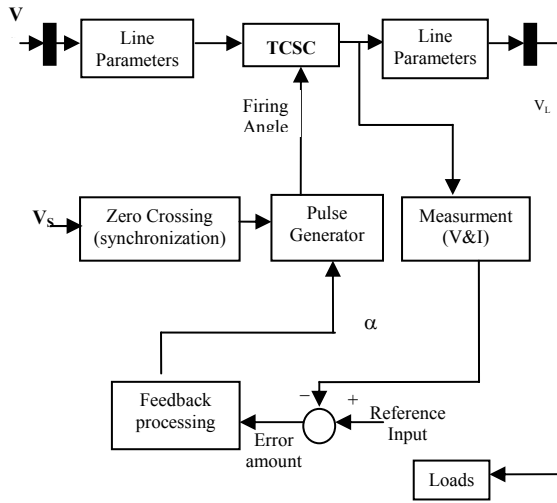
Tristör Kontrollü Seri Kapasitör, modern güç sistemlerinde, uzun iletim hatlarında değişik nedenlerden dolayı uygulama alanı genişleyen bir FACTS cihazıdır. TCSC ana devresi Şekil.1'de gösterildiği gibi, 3 bileşenden oluşur, kapasitör C, indüktör L, ve çift yönlü tristör[5]. TCSC iletim hattına seri bağlanır. Seri kontrollü kompanzasyon kavramı güç kontrolü sistemlerinde geniş uygulama alanlarına sahiptir[6].

Tristör Kontrollü Seri Kapasitör sistem gerilim kararlılığını ve gerilim alt-üst sınırlarını belirlememizi sağlar. Bununla birlikte TCSC, enerji sistemlerini hızlı bir şekilde kontrol etmemizi sağlar. Şekil 2'de iki baralı bir güç sisteminin genel kontrol yapısı görülmektedir.

Genel olarak kontrol işlemi empedans, gerilim ve akım kontrolünden oluşur. Kontrol sistemi, generatörün ölçülen geriliminin sıfır geçiş noktasını algılayarak, TCSC kapasitöre uygun ateşleme açıları üretir.[1,4,6].



Şekil 1 TCSC ana devresi



Şekil 2 TCSC ile kontrol edilen bir iletim hattı

Eşdeğer empedans  $Z_{eq}$  bu LC kombinasyonuna göre aşağıda gösterildiği gibidir.

$$Z_{eq} = -j \frac{1}{\omega C - \frac{1}{\omega L}} \quad (1)$$

TCR'ye paralel olarak bağladığımız kondansatör ile elde ettiğimiz yeni FACTS cihazımız olan TCSC, bağlanan bu seri kapasitör sayesinde hem endüktif hemde kapasitif karakteristiğe sahip olur.

TCSC'nin çalışması, çift yönlü triyotların ateşleme açılarına göre kapasitif veya endüktif moda olmasına göre değişir. Tasarım yapılırken dikkat edilmesi gereken husus, TCSC'nin bağlı olduğu yük veya yüklerin eşdeğeri, endüktif olduğunda TCSC'nin kapasitif moda çalışması gerektiğidir (sık karşılaşılan durum). Bu durumda darbe üretici sistemi, rezonans açısı  $\alpha_{res}$  ve  $180^\circ$  arasında bir açı değeri üretir[3,4,8]. Eğer akım, belirlenen referans değerinden yüksekse, TCSC endüktif moda çalışır

ve darbe üretici, rezonans açısı  $\alpha_{res}$ 'den küçük ve  $90^\circ$ 'den büyük bir açı değeri üretir. Rezonans açısı aşağıda gösterilen formüllerle bulunur.

$$\omega_r = 1/(L.C)^{1/2} \quad (2)$$

$$k = \omega / \omega_r = (\omega.L.\omega.C)^{1/2} \quad (3)$$

$$k = (X_L / X_C)^{1/2} \quad (4)$$

$$\alpha_{res} = \pi - (\pi.\omega) / (2\omega_r) \quad (5)$$

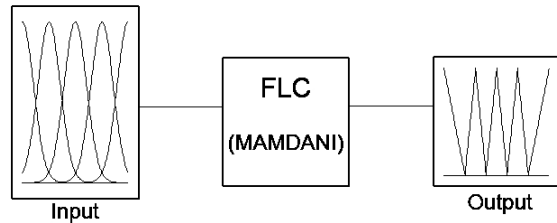
Triyot Kontrollü Seri Kapasitör rezonans değerinde çalışmamalıdır. Eğer rezonans değerinde çalışırsa TCSC aşırı derecede harmonik üretmeye başlar. Bu durumda sistem kararsız olarak çalışır.

### 3. BULANIK MANTIK KONTROLÜ

Gerçek zamanlı uygulamalar için bulanık mantık kontrolü yeni bir kavram olup, çok büyük bir potansiyele sahiptir. Bulanık mantık kontrolü kurallar dizilerine sahip bir sistemdir. Bulanık mantık kontrol sistemi, enerji sistemlerinde, problem tanımları yaparak, bu problemleri düzeltmek için kurallar belirler, geribeslemeli olarak sistemin eğitilerek kontrolünü sağlar.

Bulanık mantık kontrolünde, kendi dil değişkenlerini kullanır. Bu dil diğer evrensel dil değişkenlerinden farklıdır.

Şekil 3'te bulanık mantık kontrolcüsünün yapısı (FIS-fuzzy inference system) Matlab Simulink ortamında gösterilmiştir.

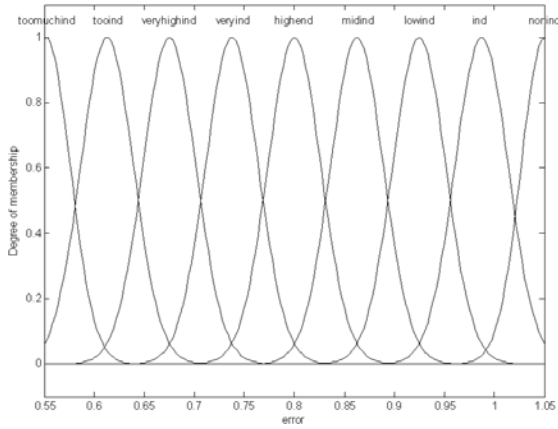


Şekil 3 FIS yapısı

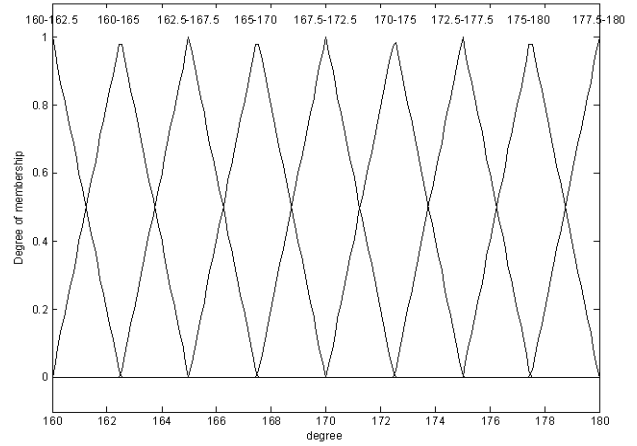
Seçilecek kontrol şekline göre giriş olarak akım, gerilim ve empedans değerlerinden birisi seçilir. Bu 3 değişkenden biri seçildikten sonra sistemin verdiği sonuçla, sistemin normal şartlar altındaki cevabı referans alınarak karşılaştırılır ve bu iki değer arasında ki hata olarak adlandırabileceğimiz fark değeri FIS'in girişine verilir. Bulanık mantık kontrolünün çıkışı, darbe üreticinin sağladığı ateşleme açısını verir. Bulanık mantık kontrolü aşağıdaki gibi karakterize edilebilir[10].

- Girişte dokuz bulanık mantık kuralı kullanılır

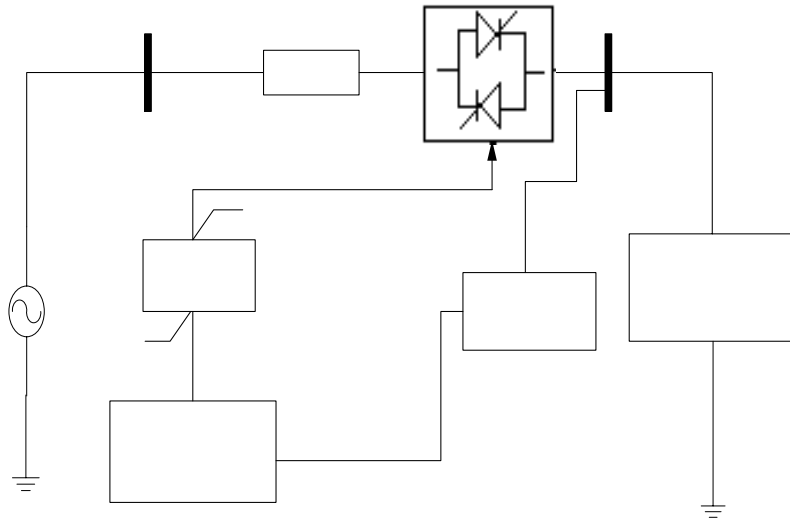
- Çıkışa dokuz bulanık mantık kuralı kullanılır
- İçerisindeki işlemlerde 'min' operatörü kullanılır



Şekil 4 Giriş üyelik fonksiyonu



Şekil 5 Çıkış üyelik fonksiyonu



Şekil 6 Tek faz eşdeğer devresi ve bulanık mantık kontrollü TCSC devresi

- Defuzzy işleminde 'centroid' metodu kullanılır
- Bulanık mantık sonuç verme işleminde 'mamdani' yöntemi kullanılır.

5. Eğer hata highind ise açı 167.5-172.5
6. Eğer hata midind ise açı 165-170
7. Eğer hata lowind ise açı 162.5-167
8. Eğer hata ind ise açı 160-165
9. Eğer hata nonind ise açı 160-162.5

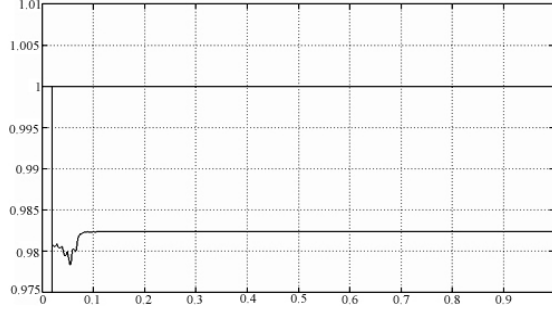
Basitleştirilmiş olarak giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir.

Şekil 6 da iki baralı bir enerji sistemine bağlı bir TCSC devresinin tek faz eşdeğer devresi ve bulanık mantık kontrolü gösterilmiştir. Bu devre için bulanık mantık kontrol kuralları şöyle oluşturulmuştur:

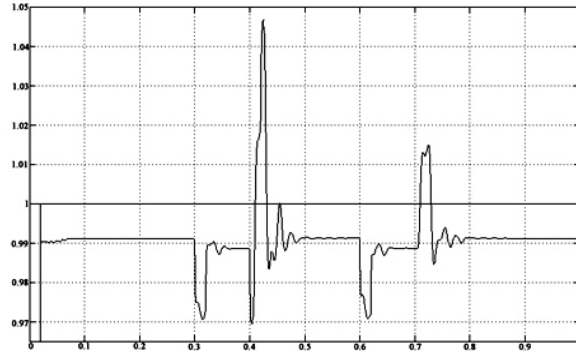
1. Eğer hata toomuchind ise açı 177.5-180
2. Eğer hata toound ise açı 175-180
3. Eğer hata veryhighind ise açı 172.5-177.5
4. Eğer hata veryind ise açı 170-175

#### 4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

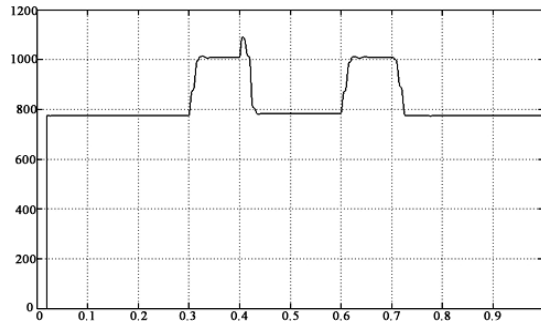
İki baralı basit bir sistem kullanarak, 100 km'lik bir dağınık parametrelili iletim hattının, statik ve dinamik yük altında, TCSC ile verdiği performans gözlenmiştir. Yükler B barasına, jeneratör ise A barasına bağlanmıştır. TCSC A ve B baraları arasında kurulmuştur. Hat rektansı  $X_{th}=21.9\Omega$ , hat direnci  $R_{th}=0.9\Omega$  ve hattın kapasitif değeri ihmal edilmiştir.



Şekil 7 FLC kontrollü TCSC için statik yükte,  $V_L$  ve per unit  $V_S$ 'nin karşılaştırılması



(a)



(b)

Şekil 8 Dinamik yüklü ve FLC kontrollü TCSC için (a)  $V_L$  ve per unit  $V_S$ 'nin karşılaştırılması (b)  $I_{LOAD}$

TCSC için ilk simülasyon sonuçları, Statik yüklü bir sistem davranışı için, bulanık mantıkla kontrol (FLC) ediler elde edilmiştir. Şekil 7'de yük modelinin statik yük seçilmesi durumunda elde edilen gerilim değerleri gösterilmiştir. Burada  $V_L$  ile yük gerilimi ve  $V_S$  ile jeneratör barasının gerilimi sembolize edilmiştir. Şekilde de görüleceği üzere bulanık mantık hızlı cevap vermektedir.

Bu çalışmada B ucuna 5 farklı dinamik yük yerleştirilmiştir. Bu yükler, endüktif olarak seçilmiş olup, farklı değerlerdeki yükler değişik zamanlar olarak açılıp kapanır.

B ucunda bulunan, aktif ve reaktif güçlerin genel değişim hakkındaki bilgiler Tablo 1, zamana göre toplam yük bilgileride Tablo 2'de verilmiştir. Yük barasına uygulanan yük miktarı zamanla değişmektedir.

Tablo 1 Yüklerin değişimi hakkında genel bilgiler

Yük No	1	2	3	4	5
Başlangıç Durumu	Devrede	Devrede	Devre dışı	Devre dışı	Devre dışı
Değişim Zamanı	0.4	0.7	0.3	0.4	0.6
Aktif Yük (MW)	140	60	60	80	60
Reaktif Yük (Mvar)	30	20	20	20	10

Tablo 2 Zamana göre yüklerin durumu

Zaman (s)	0	0.3	0.4	0.6	0.7
Toplam Aktif Yük	200	260	200	260	200
Toplak Reaktif Yük	50	70	60	70	50

Şekil 8 de dinamik yüklü bir sistem için bulanık mantıkla kontrol edilen bir TCSC'nin davranışı verilmiştir. Şekil 8-a'da birim değer olarak (per unit) yük gerilimi ( $V_L$ ) ile jeneratör barasının geriliminin ( $V_S$ ) karşılaştırılması gösterilmiştir. Şekil 8-b'de de yük akımının ( $I_{LOAD}$ ) şekli verilmektedir. Görüleceği üzere zamanla değerlerin hepsi değişmektedir. Burada toplam harmonik bozulma (THD) şekil 9 da görülmektedir. Bu çalışma ile FLC kullanarak elde edilen sonuçların, akım ve voltaj harmoniklerine daha kısa sürede müdahale edildiği ve böylece bu akım ve voltaj harmoniklerinde azalmanın olduğu sonucuna varılmıştır

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, Tristör Kontrollü Seri Kapasitörün statik ve dinamik yüklerle nasıl tepki verdiği gösterilmiştir. TCSC kontrolünde bulanık mantık kullanılmıştır ve Matlab ortamında Simulink, Power System Blockset ve Fuzzy Logic Toolbox kullanarak gerçekleştirilmiştir. TCSC'nin testi, tasarımı ve kontrolü Matlab ortamında yapılmıştır. Elde edilen sonuçların ışığında bulanık mantıklı kontrollün TCSC ye uygulanabilirliği bulunmuştur.

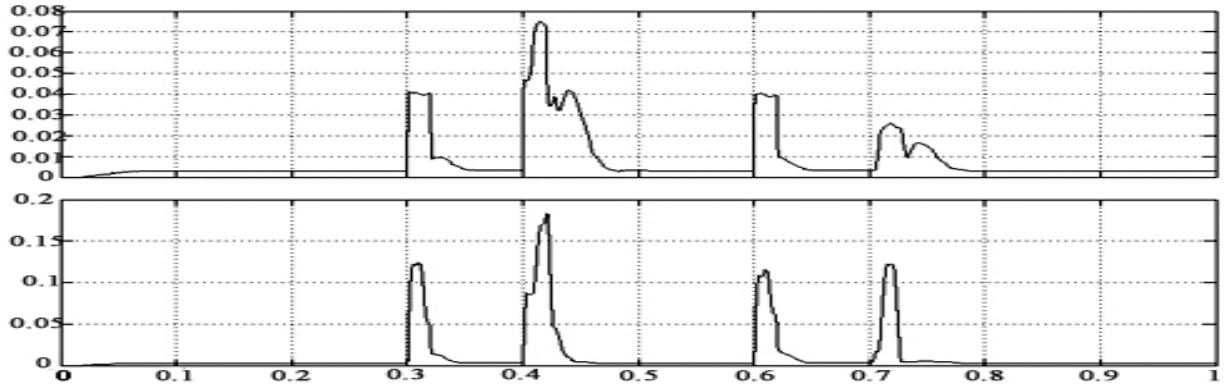
## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Devlet Planlama Teşkilatı DPT 2003K 120880-2, 2003 proje çerçevesinde desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Hingorani N.G., 'Flexible AC Transmission System', IEEE Spectrum, pp. 40 - 45, April 1993.

2. Edris A., 'FACTS Technology Development: An Update', IEEE Power Engineering Review, pp. 4-9, March 2000.
3. IEEE/CIGRE, 'FACTS Overview', IEEE Service Center, IEEE 95-TP-108, 1995.
4. Huang G. M., Yan Ping, 'The Impacts of TCSC and SVC on Power System Load Curtailment', IEEE Winter Conference, 2001.
5. L. S. Pilotto, W Ping, A. R. Carvalho, A. Wey, W. F. Long, F. L. Alvarado, A. Edris, 'Determination of needed FACTS controllers that increase asset utilization of power systems', IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 12, no. 1, pp.364-371, Jan. 1997.
6. Canizares C.A., Faur, Z.T., 'Analysis of SVC and TCSC controllers in voltage collapse', IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 14, pp. 158-165 Feb. 1999
7. Sadikovic R.P., Glavič M., 'Effect of FACTS devices on steady state voltage stability', 1.st Balkan Power Conference, Slovenia, September 2001.
8. Claudio A. Canizares, A. Berizzi, P. Marannino, 'Using FACTS controllers to Maximize Available Transfer Capability', Bulk Power Systems Dynamics and Control IV-Restructuring, Santorini, Greece, 24-28 August 1998
10. Momoh JA, Ma XW, Tomsovic K, 'Overview and literature survey of fuzzy set theory in power systems', IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10, pp. 1676-1690 Aug. 1995.



Şekil 9 Dinamik yüklü ve FLC kontrollü TCSC için I ve V için toplam harmonik bozulma (THD)