



# 154 kV İletim Hatlarındaki Akım Transformatörlerinde Simülasyon Modeli ile Harmonik Bozulmaya Dayalı Doygunluk Algılama Yöntemi

Ozan Akdağ<sup>1\*</sup>, Celaledin Yeroğlu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Merkez, 44100, Malatya

(İlk Geliş Tarihi 23 Ekim 2018 ve Kabul Tarihi 20 Aralık 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.473773)

## Öz

Akım transformatörlerinin doyması ile sekonder akımlarında bozulmalar başlar. Doyma anına kadar, akım transformatörünün primer ve sekonder akımları doğru orantılı olarak değişir. Doyma anından sonra ise bu orantı bozulur. Bu durum koruma rölelerinin doğru çalışmamasına ve diğer arıza durumlarına neden olur. Bu çalışmada Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform- FFT) ile harmonik tabanlı doyum belirleme, yöntemi örnek bir güç sistemi modeli ile birlikte kullanılarak 154 kV Doğu Anadolu güç sisteminin bir kesitinde oluşturulan çeşitli durum senaryoları analiz edilerek yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akım transformatörü, Doyum, Harmonik analiz, FFT.

## Harmonic Distortion Based Saturation Detection Method via Simulation Model in Current Transformers of 154 kV Transmission Lines

### Abstract

Distortions start in the secondary currents when the saturation occurs at the current transformers. The primary and secondary currents of the current transformer change proportionally, until the saturation. After saturation, this proportion is degraded. This causes the protection relays to malfunction and other fault conditions. In this study, the harmonic based saturation detection method with Fast Fourier Transform (FFT) was used in conjunction with an example power system model to analyze various scenarios generated in a section of the 154 kV Eastern Anatolian power system.

**Keywords:** Current Transformers, Saturation, Harmonic analysis, FFT.

### 1. Giriş

Güç sistemlerinde koruma ve ölçü elemanlarının doğru çalışarak, işlevlerini yerine getirebilmesi için akım transformatörleri/trafoları önemli bir teçhizattır. Koruma ve ölçü ekipmanları akım trafolarının büyük akımları, düşük akımlara dönüştürdüğü akım oranlarını baz alarak çalışır [1]. Akım trafoları manyetik nüveleri

üzerinde primer/sekonder olarak bilinen iki sargıya sahiptir. Akım trafolar ölçümünü yapacağı devreye seri bağlanan, primer sargısından geçen yüksek akım ile manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan ise manyetik akıyı oluşturur. Bu akı ile sekonder sargıda gerilim indüklenir. Bu manyetik akının azalmaması ve akım trafosunun korumayı/ölçmeyi doğru yapabilmesi için sekonder tarafı kısa devre yapılır [2]. Akım

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Merkez, 44100, Malatya, ozanakdag@live.com

trafolarının güç sistemlerinde bağlı olduğu noktada herhangi bir arıza olması durumunda, primer tarafından çok yüksek oranda arıza akımı geçer. Sekonder tarafında ise aynı oranda bu arıza akımının geçmesi istenmeyen bir durumdur. Şayet sekonder tarafına bu arıza akımları yansır ise ölçü ve koruma ekipmanları doğru çalışmaz hatta arızalanabilir. Bu yüzden akım trafolarının manyetik nüveleri uygun aralıklarda doyurularak, sekonder akımları sınırlandırılır. Akım trafolarında istenmeyen doygunluk şu durumlarda oluşabilir [3];

- Primer taraftaki yüksek bozulma yapan DC bileşen ile birlikte akım trafosunun çekirdeğindeki akı yoğunluğunun artmasına bağlı olarak oluşan arıza akımı doygunluğu artırır,

- Yüksek arıza akımı oluşması durumunda akım trafoları doyuma gidebilir,

- Primer akımı kesildiğinde çekirdekte kalan artık akı polariteye bağlı olarak akım trafolarında doyuma neden olabilir,

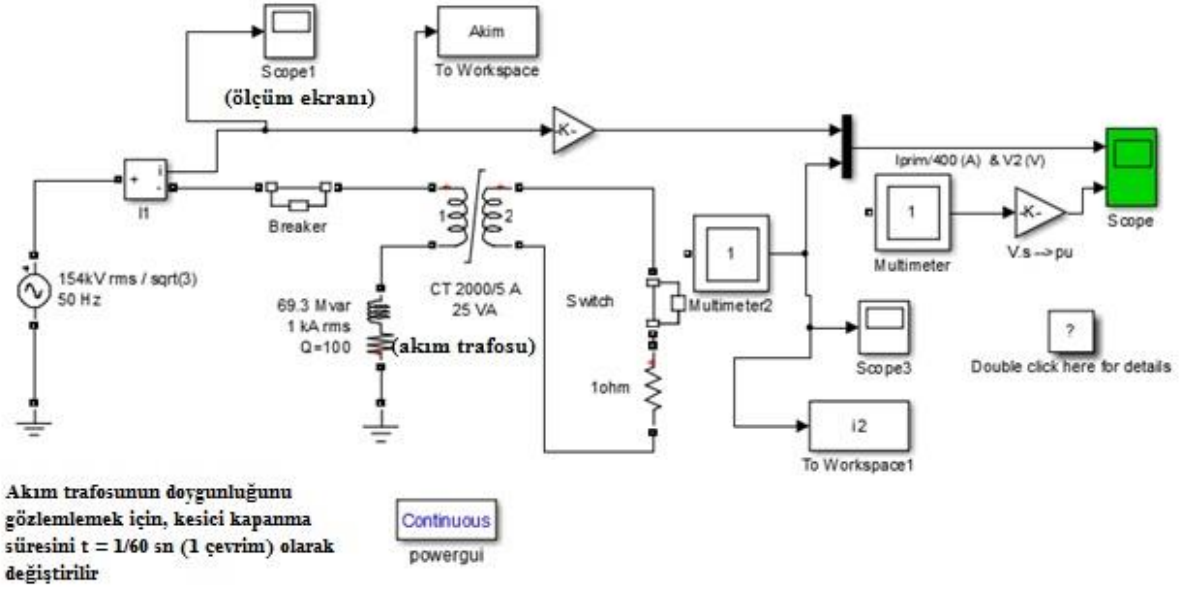
- Akım trafosunun sekonder tarafındaki empedans değişimleri doygunluğunu etkileyerek, akım trafosunu doyuma götürebilir.

Literatürde Akım trafolarının doygunluğunun incelenip/belirlenmesinde akım trafolarındaki bozulmaların ölçü ve koruma ekipmanlarına etkilerinin analiz edildiği birçok çalışma bulunmaktadır. Ajaei ve arkadaşları akım trafolarının doyumunun, dijital röleler üzerine etkilerini analiz etmişlerdir [4]. Pan ve arkadaşları akım trafolarının doygunluğa gitmesi ile hatalı ölçüm yapacakları bir durum üzerine çalışma yapmışlardır [5]. Rebizant ve Bejment akım trafolarının doygunluğunun saptanmasında genetik optimize edilmiş sinir ağları metodunu sunmuşlardır [6]. Dommel ve arkadaşları güç sistemlerinde harmoniklerin akım trafolarına etkilerini analiz etmişlerdir [7]. Pandey ve Patel akım trafolarının doygunluğunu belirlemek için doğrusal öngörülen kodlama yöntemi sunmuşlardır [8]. Akım transformatörlerinin doygunluğu ölçülen akım dalga formunda, koruyucu rölelerin hatalı çalışmasına yol açabilecek şiddetli bozulmaya neden olur. Hajipour ve arkadaşları [9] akım transformatörlerinin doygunluktan korumak için bir güç-elektronik cihazı geliştirmişlerdir. Bu cihaz akım transformatörünün sekonder devresindeki koruma röleleri ile seri olarak devreye sokulur. Cihaz kontrollü bir voltaj kaynağı olarak düşünülmüştür. Bu cihaz arıza akımını, ani akımı ve diğer olası geçici akımları tam olarak karşılayabilmektedir. Önerilen cihaz, dijital olmayan ve dijital rölelere bağlı akım transformatörlerini dengelemede kullanılır. Macieira ve Coelho [10] yaptıkları çalışmada akım transformatörlerinin

doygunluğundan kaynaklanan etkilerin en aza indirilmesi için fiziksel rölelerde ikincil testlerin yapılmasına izin veren bir ortam hazırlamışlardır. Bu sanal ortamı Matlab'da CT modeli kullanarak yapmışlardır. Bu modelde akım transformatörlerinin doygunluğuna aşırı akım rölelerinin performansı analiz ederek yorumlamışlardır. Liu ve arkadaşları [11] akım transformatörlerinde mıknatıslanma akımından kaynaklanan doygunluğu ortadan kaldırmak için, bloklaya teknikleri yerine bir dijital dalga biçimini yeniden dalga formunu yapılandırarak, önermişlerdir. Bu yayında ise, akım trafolarının doymasının sekonder akımına ve koruma/ölçüm ekipmanlarına etkileri Gysbille [12] tarafından geliştirilmiş olan akım trafo modeli modifiye edilip, kullanılarak 154 kV Doğu Anadolu güç sisteminin 5 barlık enerji kesitinde, analiz edilmiştir. Bu çalışmada farklı olarak, gerçek güç sistemlerinde oluşan çeşitli arıza durumlarına akım transformatörlerinin, harmonik bozulmaya dayalı algılama yöntemi kullanılarak, akım transformatörlerinde doymanın belirlenmesidir. Böylece güç sistemlerinde oluşabilecek sorunlar önceden belirlenerek gerekli önlemler alınabilir. Bu şekilde güç sistemlerinde enerjinin sürekliliğine katkı sağlanabilir.

## 2. Akım Trafosunun Simulasyon Modeli

Bu çalışmada güç sistemi teçhizatlarının modellenmesinde kullanılan Matlab ortamında geliştirilmiş SimPowerSystem adlı paket program kullanılmıştır. Bu paket, güç sistemlerinde modelleme, harmonik analiz, yük akışı gibi çeşitli işlemlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Çalışmada akım trafosu modeli olarak, Matlab SimPowerSystem kütüphanesinde bulunan G.Sybille [12] tarafından geliştirilen akım trafo modeli, modifiye edilerek kullanılmıştır. Bu model ile akım trafolarının doygunluğu çeşitli durumlar altında analiz edilebilir. Akım trafosu doyum modeli Şekil 1'de görüldüğü gibidir. Bu modelde şönt bir indikatöre bağlı 154 kV 50 Hz tek hat güç sisteminde, akım trafosunun her iki tarafında bulunan akımlar ölçülmektedir. Akım trafosunun gücü 25 VA iken dönüştürme oranı 2000/5 A'dir. Akım trafosunun sargı dirençleri 0.0001pu olup endüktansı  $L=0.04$  pu'dir. Şekil 1'de yer alan akım trafosunun primer tarafına 69.3 MVAR, 1 kA anma akımına sahip bir şöntindükatör bağlanmıştır. Sekonder tarafına ise 1 ohm'luk bir yük direnci bağlanmıştır. Modelde akım trafosunun primer ve sekonder tarafındaki akım değerlerini ve akım trafosunun manyetik akı verilerini ölçmek için multimetreler bağlanarak sonuçlar görüntülenmiştir.

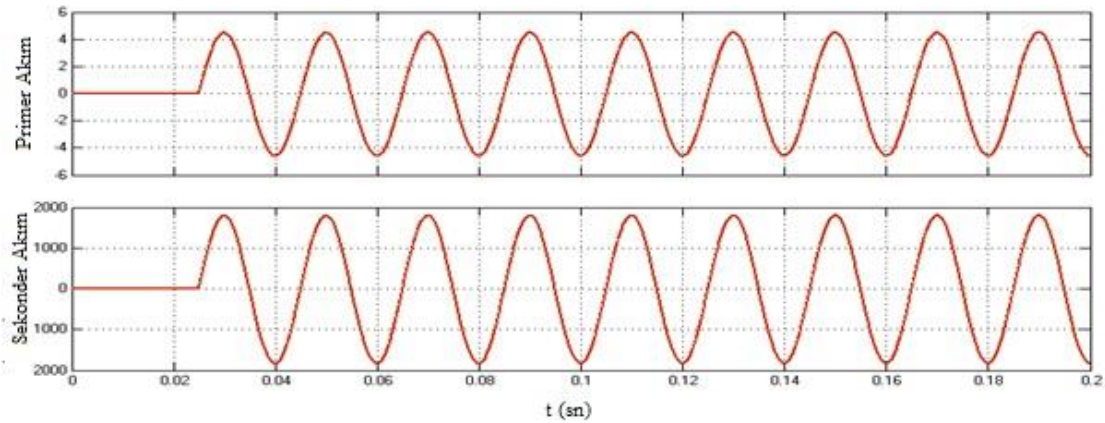


Şekil 1. Akım Trafosu Doyum modeli (Current transformer saturation model)

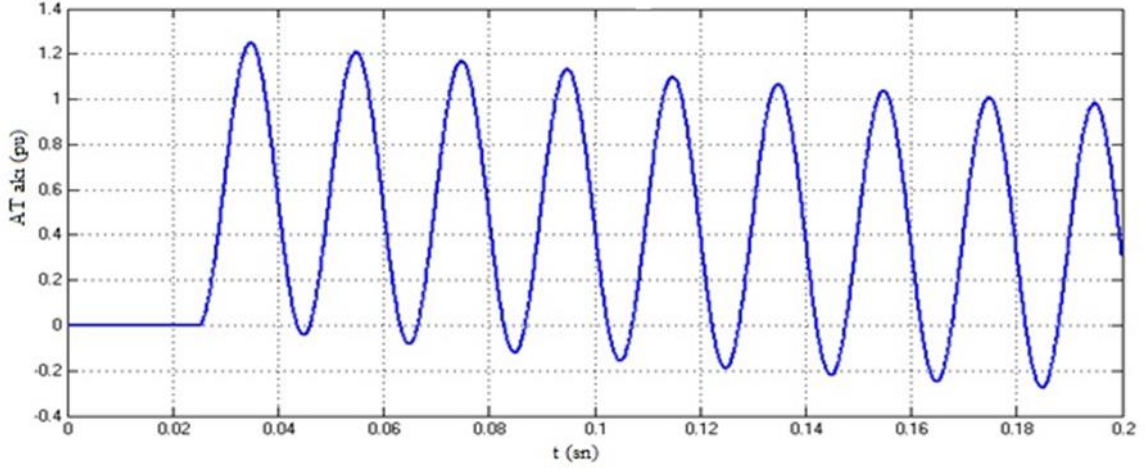
Şekil 1'deki akım trafosu doyum modelinde, ölçüm ekranları (scope) ile her bir değişkene ait sonuçlar dalga formunda görüntülenebilir. Akım trafosuna ait akı multimeter-2'de  $0.0125V * 1.41 / (2 * \pi * 50)$  oranında bölünerek ölçüm ekranında görüntülenmiştir. Ayrıca akım trafosunun primer tarafındaki kesiciye ait anahtarlama süresi periyodik olmayan genliğin büyüklüğünü belirler. Şekil 1'de verilen akım trafosu modelinde farklı test

koşullarında akım trafosunun doyum karakteristiği inceleyecek olursak;

Test 1: Akım trafosunun nominal çalışma şartlarındaki durumu; Bu test durumunda kesici tepe voltajına kapalıdır  $t=1.25$  çevrim (cycle)'dir. Bu durumda akım trafosunun her iki tarafındaki akım Şekil 2'de görüldüğü gibidir. Bu şartlarda akım trafosu doyuma gitmeyecektir. Bu durum Şekil 3'de görülmektedir.



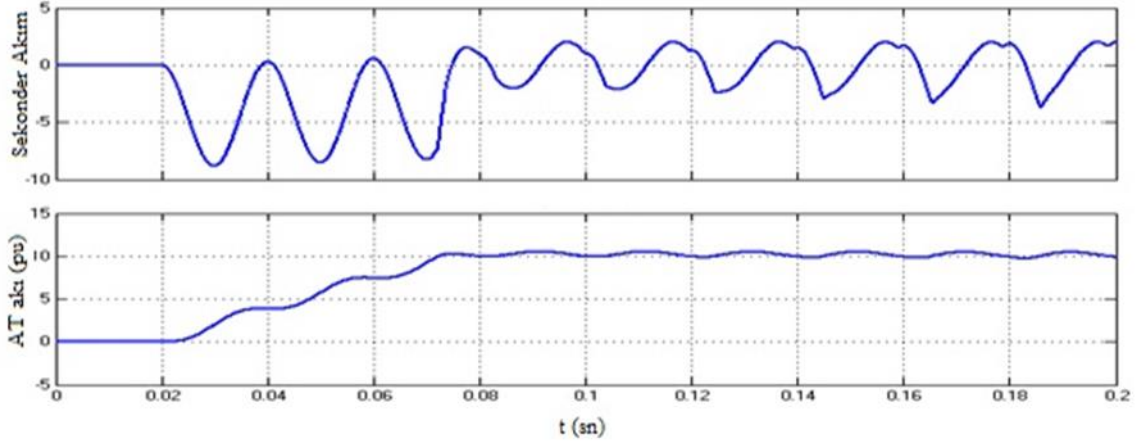
Şekil 2. Akım trafosunun primer ve sekonder tarafındaki akımları (Secondary side current vs Primary side current)



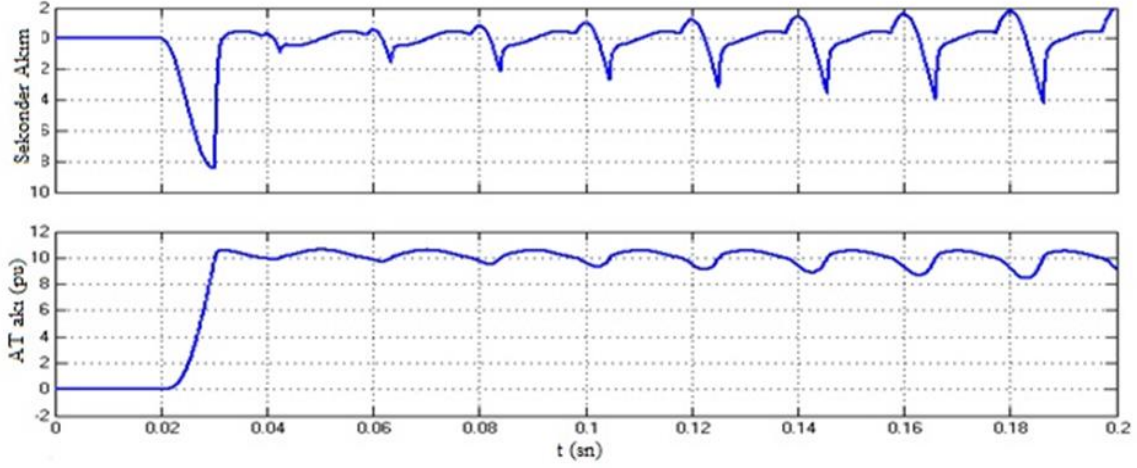
Şekil 3. Akım trafosunda akı (Current Transformer flux)

Test 2: Bu test koşulunda gerilimi sıfır geçiş noktasında kapatmak için kesicinin anahtarlama zamanı 1/60 s yapılır. Bu durumda voltaj kaynağının anlık gerilimi 0 olur ve şönt reaktör anahtarlama ile asimetrik akım üretmeye başlar. Sekonder akımı Şekil 4'de görüldüğü gibi bozulmaya başlar ve aynı zamanda Şekil 4'deki gibi yaklaşık 10 katında doyuma gider.

Test 3: Bu teste ise akım trafosunun sekonder empedansı artırılarak ( $R=0.01$ 'den  $R=4$ 'e çıkarılmıştır), akım trafosu hızlı bir şekilde doyurulmuştur. Bu durumda akım trafosunun akım ve doyma karakteristiğindeki değişimi Şekil 5'de görüldüğü gibi olur.



Şekil 4. Sekonder Akım ve Akım Trafosunun Akısı ( $t=1/60$  sn)(Secondary side current and Current transformer flux  $t=1/60$ )

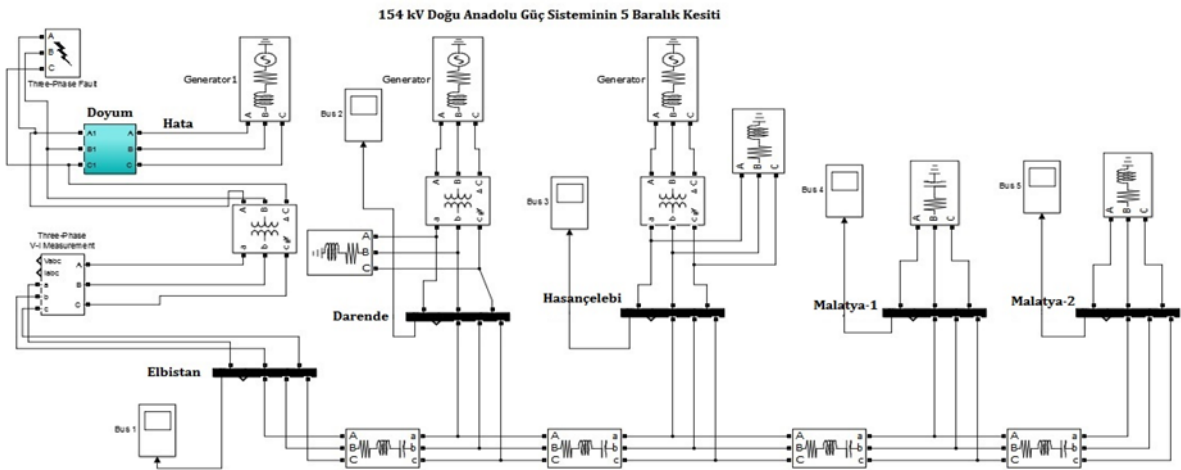


Şekil 5. Akım trafosunun sekonder empedansı 4 ohm olduğu durum (Secondary current with 4 ohm burden)

### 3. Örnek Güç Sistemi Modeli

Bu çalışmada akım trafoları, 154 kV Doğu Anadolu güç sisteminin bir kesitinin modelinde kullanılarak performansı test edilmiştir. Bu iletim sisteminde akım trafosunun güç sisteminde oluşturulan

arıza durumlarına tepkisi analiz edilmiştir. Bir sonraki bölümde ise 154 kV güç sisteminde akım trafolarının doyumunun belirlenmesinde harmonik tabanlı bir metod kullanılmıştır. 154 kV gerçek zamanlı 5 baralılık güç sisteminin kesiti Şekil 6'da verilmiştir. Bu güç sistemine ait gerçek zamanlı hat parametreleri ise Tablo 1'deki gibidir.



Şekil 6. 154 kV Doğu Anadolu güç sisteminin 5 baralılık enerji kesiti (5 bus-bar energy section of 154 kV Eastern Anatolian power system)

Şekil 6'da güç sisteminde 1 nolu baraya bağlı generator ve güç transformatörü arasındaki doyum adlı blok içerisinde yer alan her bir faza akım trafosu eklenerek bu akım trafolarının performansı çeşitli durumlara göre analiz edilmiştir (Elbistan 1 nolu bara, Darende 2, Hasańçelesi 3, Malatya 1 4, Malatya 2 5 nolu baradır).

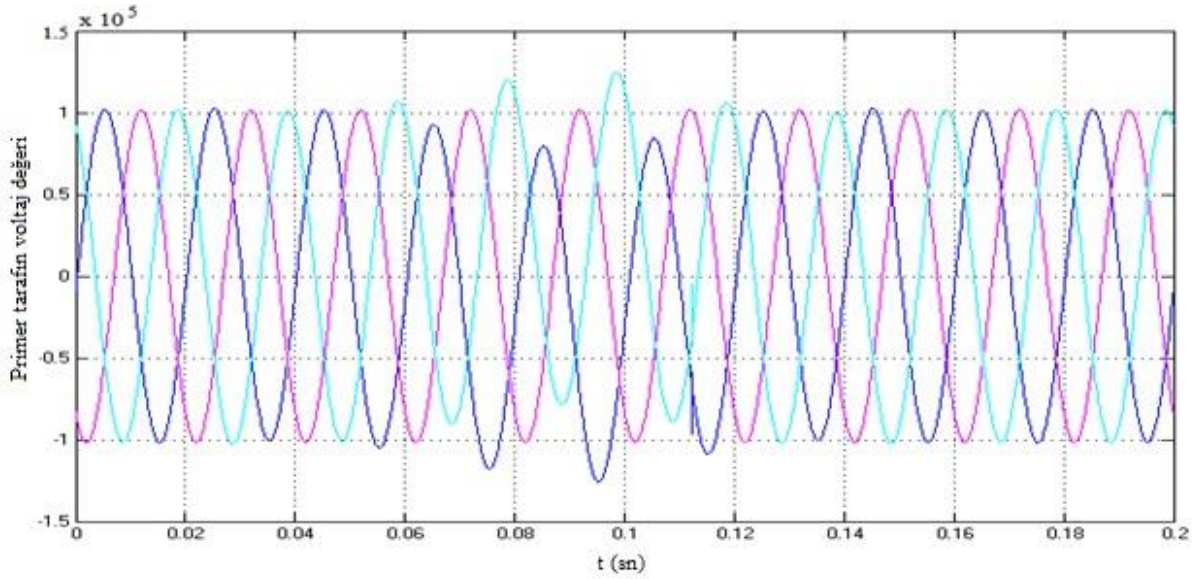


Tablo 1. 154 kV Doğu Anadolu güç sisteminin 5 baralık enerji kesitine ait hat verileri (Line data for 5 bus-bar energy section of 154 kV Eastern Anatolian power system)

nl	nr	R pu	X pu	0.5 B pu
1	2	0.01938	0.05917	0.0528
2	3	0.04699	0.19797	0.0438
3	4	0.06701	0.17103	0.0346
4	5	0.01335	0.04211	0.0128

Örnek güç sistemi modelinde, Şekil 6'da hata yazısı ile belirtilen noktada A faz-toprak arızası 1/60 sn başlatılıp 5/60 sn sonlandırılacak şekilde benzetimi yapılırsa; test sonuçları Şekil 7 ve Şekil 8'deki gibi

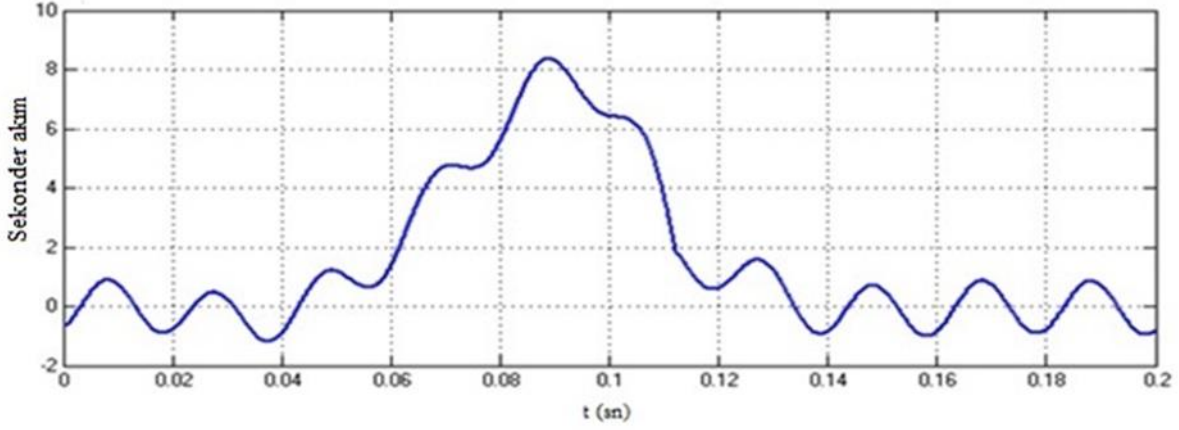
olur. Şekil 8' de A fazına ait akım trafosunun sekonder kısmının arızanın olduğu zaman aralığında, bu faza ait akımın anlık artış gösterip daha sonra normal seyrine döndüğü görülmektedir.



Şekil 7. A-faz toprak arızası durumunda 1. Baraya ait voltaj değerleri (Voltage values of the first bus-bar in case of A-phase earth fault)

Şekil 7 incelendiğinde A faz-toprak arızasının oluştuğu anda (1/60 sn) gerilim bozulmaları

görülmektedir. Daha sonra 5/60 sn arıza bitmesi ile sistem gerilimi normal seyrine dönmüştür.



Şekil 8. Akım Trafosunun Sekonder kısmının A faz-toprak arızasına tepkisi (A-phase-earth fault reaction of the secondary part of the current transformer)

## 4. Akım Trafosunda Doym Belirleme

Güç sistemlerinde akım trafolarında, doyma olayı gerçekleştiğinde primer akıma bağlı olarak sekonder akımda bozulmalar oluşur. Sekonder akımdaki bozulmalar ile güç sisteminde koruma ve ölçü ekipmanları doğru çalışmaz. Bu durumda güç sistemlerinde enerjinin sürekliliğinin sağlanmasında zorluklar çıkar [13]. Bu yüzden akım trafolarında etkili doym ölçüm metodları gerçekleştirilmelidir. Literatürde birçok etkili doym metodu üzerine çalışmalar yapılmıştır [14-16]. Bu yayında ise örnek bir güç sistemi (154 kV Doğu Anadolu Güç Sisteminin 5 baralık kesiti) modelinde bir akım trafosunda harmonik bozulmayı temel alan bir uygulama ile doygunluğu belirleme çalışması yapılmıştır. Çalışmada FFT ile harmonik bozulmayı belirleyen bir yöntem kullanılmıştır.

### 4.1. Harmonik Bozulma (Harmonic Distortion)

Harmonikler güç sistemlerinde enerjinin kalitesini, verimliliğini önemli miktarda etkilemektedir. İdeal bir güç sisteminde gerilim ve akım arasında ideal sinus dalga şekli görülmektedir. Eğer güç sisteminde harmonik bozulmalar başlarsa bu görünüm giderek bozulur [17]. Bu durum güç sisteminde kayıpların artması, verimin düşmesi ve ölçü aletlerinin yanlış ölçüm yapmasına neden olur. Harmonikler güç sistemlerinde aşağıda sıralanan bazı etkilere sahiptirler.

- Güç transformatörlerinin aşırı ısınması
- Güç sistemlerinde yer alan motorların aşırı ısınarak bozulması
- Gerilim düşümünün artması
- Ölçü sayaçlarında yanlış ölçümler

- Koruma ekipmanlarının yanlış çalışması
- Güç faktörünün standartların altına inmesi vb.

### 4.2. Harmonik Tabanlı Doym Belirleme Yöntemi

#### 4.2.1. Hızlı Fourier Dönüşümü

FFT zaman alanı dalgasının frekans biçimine dönüştürmede kullanılır. Ayrık zaman Fourier Dönüşümü (Discrete time Fourier Transform –DFT) ayrık periyodik işaretleri ayrık periyodik spektrumlara dönüştürür [17]. Ayrık frekans dönüşümünün N adet ayrık frekans değişimi için hesaplanması Eş. 1’ de verilmiştir [17].

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-2\pi jnk} \quad (1)$$

N noktalı Fourier dönüşümü  $N^2$  ile orantılı bir hesaplama anlamına gelmektedir. Ayrık Fourier dönüşümünde faz faktörü (twiddle faktörü) şöyle hesaplanır;

$$W_N^{kn} = e^{-2\pi jnk/N} \quad (2)$$

Eş. 2’yi denklem 1 de yerine yazarsak, giriş işareti Eş. 3’teki gibi çift ve tek sayılı örneklemeyle ayrılır.

$$x[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] w_N^{kn} \quad (3)$$

$$= (\text{even } n) \sum_{n=0}^{N-1} x[n] w_N^{kn}$$

$$- (\text{odd } n) \sum_{n=0}^{N-1} x[n] w_N^{kn}$$

$$THD_v = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2} / V_1 \quad (8)$$

$$THD_I = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} / I_1 \quad (9)$$

#### 4.2.2. Güç Sistemlerinde Harmonik Büyüklüklere Ait Temel Kavramlar

Güç sistemlerinde gerilim ve akım, harmonik bileşenlere sahiptir. Gerilim ve akımın ani değerlerinin Fourier dönüşümü ile ifadesi Eş. 4 ve 5’de görüldüğü gibidir.

$$u(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \sqrt{2} U_n \sin(n \omega_1 t + a_n) \quad (4)$$

$$i(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \sqrt{2} I_n \sin(n \omega_1 t + \beta_n) \quad (5)$$

Daha sonra gerilim ve akımın efektif değerleri sırasıyla Eş. 6 ve 7’de gösterildiği gibi hesaplanır;

$$V = \sqrt{(I/T) \int_0^T v^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad (6)$$

$$I = \sqrt{(I/T) \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \quad (7)$$

Harmonik büyükleri belirlemede kullanılan standartlaştırılmış toplam harmonik gerilim ve akım bozunumu sırasıyla Eş. 8 ve 9 ile hesaplanabilir.

#### 4.3. Test Sonuçları

Bu çalışmada güç sistemlerinde akım trafolarında doyunluğu belirleme FFT tabanlı bir çalışma ile yapılmıştır. Akım trafolarında doyunluğu belirlemede Türkiye elektrik şebekeleri yönetmeliğinde [18] belirtilen akım trafolarının kabul edilebilir harmonik limitleri dikkate alınmıştır. 154 kV Doğu Anadolu güç sisteminin ortalama gerilimi baz alınarak, 34.5 kV - 154 kV arasında güç sistemlerinde THD ortalaması %5 alınmıştır. Doygunlukta kalıcı ve geçici durum olmak üzere 2 durum vardır. Kalıcı durumda genelde akım trafosunu direk doyuma götürecek yük orandaki arıza primer akımlarıdır. Kalıcı durum 2. Harmoniğin %15’i geçtiği durumda oluşur [18]. Geçici durum ise akım trafosunda periyodik olmayan çok sayıda bileşen barındırmasından kaynaklanır.

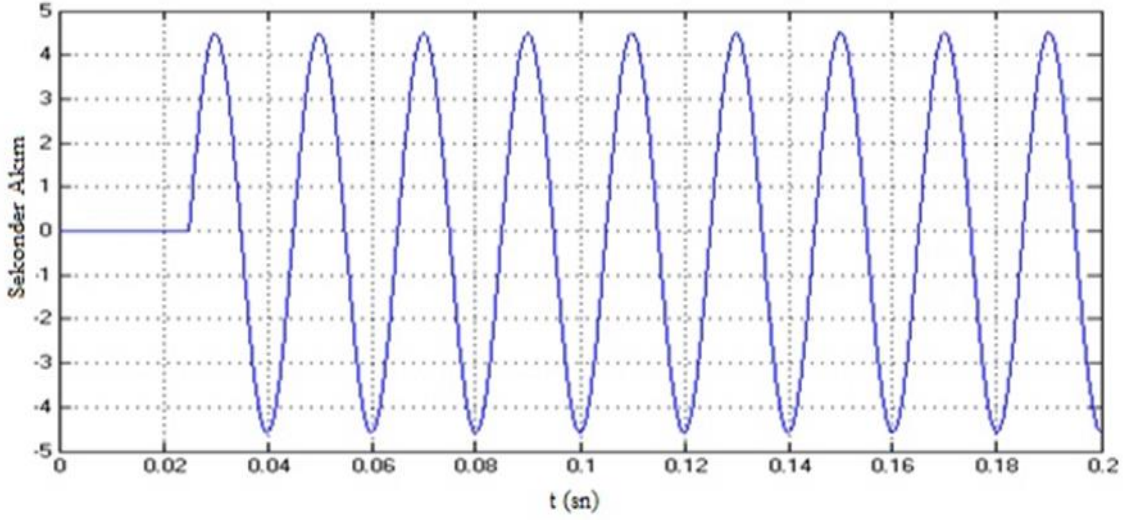
154 kV Doğu Anadolu güç sisteminin kesitinde Şekil 6’da bulunan doyum bloğunda A fazında yer alan akım trafosunun çeşitli durumları analiz edilerek yorumlanmıştır.

Durum1: Güç sisteminin nominal koşullarda çalıştığı durumda, Şekil 6’ da doyum bloğunda bulunan A fazına ait akım trafosunun sekonder akımının dalga formudur. Bu durum Şekil 9’da görüldüğü gibidir.

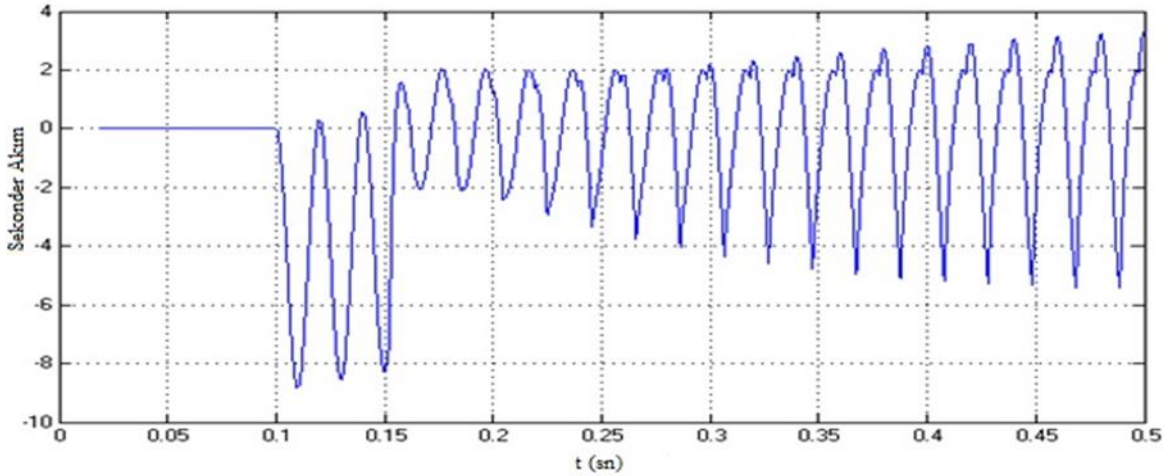
Durum2: Bu durumda Şekil 6’ da doyum bloğunda bulunan A fazına ait Akım trafosunun asimetrik akımlara bağlı olarak, akım trafosunun kalıcı doyurulduğu durum baz alınmıştır. Bu durum ise Şekil 10’da görüldüğü gibidir. t=3/60 sn olduğu andan sonra akım trafosu doyuma gitmiştir.

Durum3: Şekil 6’de güç sisteminde hata yazılı noktada belli süre aralığında devam eden A-faz toprak arızasının (1/60-5/60 sn), A faz akım trafosu üzerindeki etkisi incelenmiştir. A faz akım trafosunun bu arızaya tepkisi Şekil 8’de gösterildiği gibi olmuştur.





Şekil 9. A fazına ait akım trafosunun durum-1 'de belirtilen duruma göre dalga formu (The waveform of the A-phase current transformer, according to the state indicated in case-1)



Şekil 10. A fazına ait akım trafosunun durum-2 'de belirtilen duruma göre dalga formu (The waveform of the A-phase current transformer, according to the state indicated in case-2)

Bu 3 durum, Matlab'da powergui bloğunda FFT aracı seçilerek, analiz edilir. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde Durum 1'de akım trafolarının THD'leri %5'in altında kaldığı görülmektedir. Böylece akım trafosu Durum 1'de düzgün çalışmıştır. Durum 2 incelendiğinde ise akım trafosunun THD'si %23.16 olduğu görülmektedir. Bu durumda akım trafosu doyuma gitmiştir. Bu doyuma gitme olayının kalıcı olup olmadığı ise 2. Harmoniğin %15 'i geçip geçmediği ile anlaşılır [18]. Tablo 2 incelendiğinde 2. harmoniğin %20.53 çıktığı için, bu

doyum durumu kalıcı bir hal almıştır. Durum 3'te ise THD %11.34 çıkmıştır. Akım trafosu ikinci harmoniğinin %15 'in altında olmasından dolayı geçici bir doyumluk durumu yaşamıştır. Bu üç durum ile birlikte bu çalışmadaki yöntemin etkin olduğu görülmektedir. Böylece gerçek zamanlı çalışan güç sistemlerinde oluşan arıza akımlarına, akım trafolarının tepkisi doyuma gitme karakteristiğinde olup olmadığı bu yayındaki gibi çalışmalar yapılarak öngörülebilir.

Tablo 2. Her test durumu için sonuçlar (Results for each test case)

Durum	Durum1	Durum2	Durum3
Başlama Zamanı	1.25/60 sn	3/60 sn	1/60 sn-5/60 sn
THD	0.19%	23.16%	11.34%
0Hz DC	0.12%	57.7%	214.29%
50Hz (FND)	100%	100%	100%
100Hz h2	0.14%	20.53%	2.75%
150Hz h3	0.07%	8.44%	0.98%
200Hz h4	0.05%	4.47%	0.69%
250Hz h5	0.04%	3.63%	0.36%
300Hz h6	0.03%	1.79%	0.31%
350Hz h7	0.03%	1.88%	0.18%
400Hz h8	0.02%	1.28%	0.17%
450Hz h9	0.02%	0.85%	0.11%
500Hz h10	0.02%	1.04%	0.08%
Doyum	yok	var	var

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada akım trafolarında doyma konusu incelenmiştir. Akım trafolarının doyma gitmesi ile sekonder akımda bozulmalar başlar. Bu durum güç sistemlerinde çeşitli teçhizatların arızalanarak, enerjinin sürekliliğinin sağlanamadığı durumların oluşmasına neden olur. Bu durumların önüne geçmek için bu yayında, FFT tabanlı bir algılama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem gerçek bir güç sisteminin modellemesi ile yapılan örnek bir güç sisteminde uygulanmıştır. Güç sistemlerinde akım transformatörlerinin, çeşitli arıza durumlarına veya nominal işletme koşullarının dışına çıkan durumlara tepkisi bu çalışmadaki gibi doyma belirleme metotları uygulanarak yorumlanabilir. Bu metotlar ile güç sisteminde ilgili akım transformatörü hakkında detaylı bilgiler elde edilebilir. Böylece akım transformatöründe kalıcı bir doyma durumu olup olmadığı anlaşılabilir, daha büyük arızalara sebebiyet vermeden önceden önlem alınması sağlanabilir. Bu durumda, koruma ekipmanları akım transformatöründen doğru bilgi alarak, enerjinin sürekliliğine katkı sağlayabilir.

## Kaynaklar

1. Yildirim A., Analysis of nearby phase current effects on current transformer errors in three phase systems, Master's Thesis. Istanbul Teknik University, İstanbul, Turkey, 2011.
2. Cinar H., Operating zone and stability analysis in current transformers based on measurement, Master's Thesis. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Karabük, Turkey, 2016.
3. Guzman, A., Zocholl, Z., Benmouyal, G., Altuve, H. J. A., current-based solution for transformer differential protection. I. Problem statement. IEEE Transactions on power delivery, 16(4), 485-491, 2001.
4. Ajaei, F. B., Sanaye-Pasand, M., Davarpanah, M., Rezaei-Zare, A., Iravani, R., Compensation of the current-transformer saturation effects for digital relays. IEEE Transactions on Power Delivery, 26(4), 2531-2540, 2011.
5. Pan, J., Vu, K., & Hu, Y., An efficient compensation algorithm for current transformer

- saturation effects. IEEE Transactions on Power delivery, 19(4), 1623-1628, 2004
6. Rebizant, W., & Bejmert, D., Current transformer saturation detection with genetically optimized neural networks. In PowerTech, 2005 IEEE Russia (pp. 1-6). IEEE, 2005.
  7. Dommel, H. W., Yan, A., Wei, S., Harmonics from transformer saturation. IEEE transactions on power delivery, 1(2), 209-215, 1986.
  8. Pandey, R. P., Patel, R. N., An efficient Detection Algorithm for CT Saturation using linear predictive coding. International Journal of Engineering Development and Research, 2(2), 1648-1652, 2014.
  9. Hajipour, E., Vakilian, M., & Sanaye-Pasand, M. Current-Transformer Saturation Prevention Using a Controlled Voltage-Source Compensator. IEEE Transactions on Power Delivery, 32(2), 1039-1048, 2017.
  10. Macieira, G. L., Coelho, A. L. M. Evaluation of numerical time overcurrent relay performance for current transformer saturation compensation methods. Electric Power Systems Research, 149, 55-64, 2017.
  11. Liu, P., Huang, C., Jiang, Y., & Yang, Y. A digital scheme to minimize the influence of transformer magnetizing inrush on CT saturation on line protection. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 101, 394-402, 2018.
  12. G. Sybille, Current Transformer Saturation. Mathworks. Hydro-Quebec. Web. 22
  13. Li, X., Mathematical Model for Current Transformer Based On Jiles-Atherton Theory and Saturation Detection Method, Master's Thesis. University of Kentucky, Lexington, Kentucky, 2016.
  14. Yang, L., Dolloff, P. A., Phadke, A. G., A micro processor based bus relay using a current transformer saturation detector. In Power Symposium, Proceedings of the Twenty-Second Annual North American 193-202, IEEE, 1990
  15. Zheng, E., Liu, Z., & Ma, L., Study on harmonic detection method based on FFT and wavelet transform. In Signal Processing Systems (ICSPS), 2010 2nd International Conference on (Vol. 3, pp. V3-413). IEEE, 2010.
  16. Yu, D. C., Cummins, J. C., Wang, Z., Yoon, H. J., Kojovic, L. A., Stone, D., Neural network for current transformer saturation correction. In Transmission and Distribution Conference, 1999 IEEE (Vol. 1, pp. 441-446). IEEE, 1999.
  17. Senyurt Ö., Harmonic Analysis Determined With Fast Fourier Transform On Electric Networks, Analysis of nearby phase current effects on current transformer errors in three phase systems, Master's Thesis. Gazi University, Ankara, Turkey, 2006.
  18. [Elektrik Şebeke Yönetmeliği.](http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/05/2014_0528M1-1.doc)  
[www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/05/2014\\_0528M1-1.doc](http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/05/2014_0528M1-1.doc) Erişim tarihi Ocak 13, 2018.