



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2012, Volume: 7, Number: 4, Article Number: 1A0333

NWSA-ENGINEERING SCIENCES

Received: July 2012

Accepted: September 2012

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Murat Uyar¹

Resul Çöteli²

Ferhat Uçar²

Siirt University, Siirt-Turkey¹

Firat University, Elazığ-Turkey²

muratuyar1@gmail.com

rcoteli@firat.edu.tr

fucar@firat.edu.tr

GÜÇ SİSTEMLERİNDE MEYDANA GELEN GERİLİM ÇÖKMELERİNİN MATEMATİKSEL YAKLAŞIMLAR İLE MODELLENMESİ

ÖZET

Bu makale, güç sistemlerinde meydana gelen farklı türden gerilim çökmesi olaylarının modellenmesi için matematiksel yaklaşımlar sunar. Makalede güç sistemlerinde sıkça karşılaşılan arıza kaynaklı, transformatör enerjilenmesi ve asenkron motorların kalkışı sırasında meydana gelen çökme olayları matematiksel olarak modellenmiştir. Modele dayalı olarak üretilen farklı türden gerilim çökmesi olaylarına ait dalga şekilleri, gerçek güç sistemi ölçümlerinden elde edilenler ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sunulan modeller yardımıyla, birbirlerine göre çok farklı özelliklere sahip gerilim çökmesi dalga şekilleri, istenilen sayıda ve aralıkta kolay bir şekilde üretilebilir. Ayrıca bu modeller kullanılarak, şebekede gerilim çökmelerine sebep olan kaynakların araştırılması ve gerilim çökmelerinin hassas cihazlar üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkilerin incelenmesi için, geniş ölçekli test veri seti oluşturulabilir.

Anahtar Kelimeler: Güç Kalitesi Problemleri, Gerilim Çökmesi, Asenkron Motor, Transformatör Enerjilenmesi, Matematiksel Modelleme.

MODELLING OF VOLTAGE SAGS IN POWER SYSTEMS BY USING MATHEMATICAL APPROACHES

ABSTRACT

This paper presents the mathematical approaches for modelling the different types of voltage sag events due to faults, transformer energizing and induction motor starting in power systems. For different types of voltage sag events, the waveforms obtained from mathematical approaches are compared with actual power system waveforms. As a result, voltage sag waveforms having different characteristics can be easily generated in any number and range by using the presented models. In order to investigate the factors causing voltage sags in power systems and adverse effects of voltage sag on sensitive devices, large-scale test data set can be also produced by these models.

Keywords: Power Quality Problems, Voltage Sag, Induction Motor, Transformer Energization, Mathematical Modelling

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gerilim çökmesi, şebeke frekansında, 10 ms'den fazla (0.5 periyot) ve 1 dakikadan az olmak kaydıyla, nominal gerilimin etkin değerinin %10-%90 arasında azalma göstermesi olarak tanımlanır. Tüketicilerin en çok karşılaştığı ve etkilendiği güç kalitesi problemlerinden birisi olan gerilim çökmeleri, genellikle güç sisteminde meydana gelen arızalara bağlıdır. Ayrıca üç fazlı transformatörlerin ve büyük güçlü asenkron motorların çalışması esnasında da meydana gelebilmektedir [1]. Kısa devre arızaları sonucu meydana gelen gerilim çökmeleri güç sistemlerinde nominal çalışma koşullarının bir parçası olmayan veya istenmeyen olağan dışı olaylar olarak değerlendirilirken, asenkron motorların çalışması ve transformatörlerin enerjilenmesi sırasında meydana gelen gerilim çökmeleri, güç sistemlerinin nominal çalışma koşullarının bir parçası olarak değerlendirilir.

Gerilim çökmelerine olan ilginin temel sebebi, ayarlanabilir hız sürücüleri, kontrol cihazları ve bilgisayarlar gibi hassas donanımlar üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkilerdir. Bu tip cihazlarda, çalışma geriliminin etkin değeri bir veya iki periyottan daha uzun bir süre boyunca %90'ın altına düşerse, cihazlar zarar görebilir. Gerilim çökmelerinin endüstriye verdiği zarar, gerilim kesintileri kadar olmasa da, gerilim çökmelerinin sayısı kesilmelere göre daha çok olduğundan, toplam zararı daha fazladır ve kesilmelere göre daha geniş çaplı bir problemdir [2].

Sistem parametrelerine bağlı olarak farklılık gösteren, gerilim çökmeleri, öncelikle teşhis edilmeli ve olayların altında yatan sebepler araştırılmalıdır. Bunun sonucunda ise, uygun çözüm önerileri ortaya konulmalıdır. Bu tür olayların teşhisi için, farklı analiz algoritmaları araştırmacılar tarafından önerilmiştir [3-5]. Fakat bu algoritmalar, güç sisteminde meydana gelen bu tür olayların tüm olası ihtimalleri dikkate alınarak kapsamlı bir şekilde test edilmelidir. Bu nedenle, olaylarla ilgili büyük miktarda veri setine ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacı karşılamak için, gerçek ölçüm verileri en sağlıklı ve güvenilir verilerdir. Fakat bu verilerin elde edilmesi zor ve masraflıdır. Bunun yanında, veriler elde edilse bile, uzun dönemli verilere ihtiyaç vardır. Ayrıca izleme cihazının bağlandığı noktada, farklı türden ve yeterli sayıda çökme olaylarına ait dalga şekillerini biriktirmek bazen mümkün olmayabilir. Belirtilen kısıtlamalar, araştırmacıların gerçek ölçüm verileri ile çalışma olanağını azaltmaktadır.

Gerçek verilere alternatif olarak, benzetim çalışmaları sonucunda dalga şekli üretme yaklaşımları literatürde kullanılmıştır [6-7]. Benzetim tabanlı veri üretim yaklaşımı ile istenilen sayıda veri üretilebilmesine rağmen, paket programlarının kapasitesi, paket program içerisindeki bileşenlerin yetersizliği ve kullanıcının modelleme bilgisi eksiklikleri farklı türden olayların üretimini sınırlandırmaktadır [8].

Yukarıda bahsedilen yaklaşımlardan başka, gerilim dalga şekli elde etmek için, matematiksel modele dayalı veri üretim yaklaşımını kullanan ve önerdikleri analiz algoritmalarının doğruluğunu gösteren bazı çalışmalar da mevcuttur [4-5, 9]. Olayın kaynağına bağlı olarak gerilim çökmesi olayları farklı karakteristiklere sahip olmalarına rağmen, literatürde yapılan çalışmalarda, tüm gerilim çökmesi olayları tek bir matematiksel fonksiyon olarak sunulmuştur.

Bu çalışmada, güç sistemlerinde meydana gelen farklı türden gerilim çökmesi olaylarının her biri için bir matematiksel model

sunulmuştur. Sunulan modeller, kısa devre arızaları, transformatör enerjilenmesi ve asenkron motor kalkış sırasında oluşan gerilim çökmeleri olaylarını içermektedir. Matematiksel modele dayalı dalga şekli üretim yaklaşımının geçerliliğini göstermek için, her bir gerilim çökmesi olayı için üretilen dalga şekilleri, gerçek güç sisteminden elde edilenler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar tartışmalı bir şekilde sunulmuştur.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

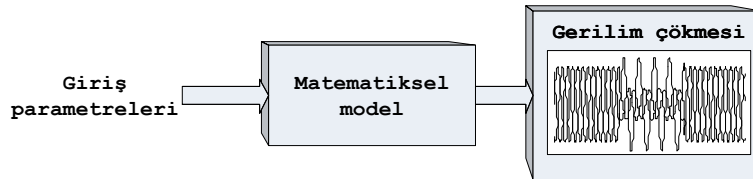
Bu çalışmada farklı türden gerilim çökmesi olayları için matematiksel model yaklaşımları sunulmuştur. Matematiksel model tabanlı yaklaşımlar, benzetimler yardımıyla karmaşık güç sistemi modelleri geliştirmeye veya uzun zamanlı ölçümler sonucunda elde edilen gerçek güç sistemi verilerine ihtiyaç duymaksızın gerilim çökmesi olaylarına ait verilerin üretilebilmesine imkân sağlar.

3. GERİLİM ÇÖKMELERİNİN MATEMATİKSEL MODELLERİ (MATHEMATICAL MODELS OF VOLTAGE SAG)

Bu çalışmada sunulan matematiksel model yaklaşımları Şekil 1'de gösterilen blok diyagram ile özetlenebilir. Şekilde görüldüğü gibi öncelikle gerilim çökmesi olaylarının matematiksel modeli oluşturulur ve uygun parametre değerleri ile bu bozulma olayları elde edilir. Bir gerilim çökmesi olayının modellenmesinde, öncelikle güç sisteminin nominal çalışma şartları altındaki saf sinüs fonksiyonu, gerilim çökmesini oluşturacak bozucu fonksiyonla çarpılmalı ve/veya toplanmalıdır. Bu aşamanın genelleştirilmiş hali denk. (1) ile ifade edilmektedir.

$$V_B = A(t) \sin(t) + \varepsilon(t) \quad (1)$$

Burada $\sin(t)$ nominal şartlar altında bir güç sisteminin gerilim dalga şeklini temsil ederken, $A(t)$ gerilim çökmesi veya sıçraması gibi, saf sinüs fonksiyonu ile çarpılacak bozucu fonksiyonu, $\varepsilon(t)$ ise, gürültü, harmonik, geçici durum gibi ilave edilecek fonksiyonu temsil etmektedir. Güç sistemlerinde sıkça karşılaşılan gerilim çökmelerinin sebepleri, özellikleri ve olaylara ilişkin matematiksel modeller aşağıdaki bölümde ifade edilmiştir.



Şekil 1. Bir gerilim çökmesi olayı üretmek için kullanılan matematiksel modelin blok diyagramı
(Figure 2. The block diagram of the mathematical model used to generate a voltage sag event)

3.1. Kısa Devre Arızalarından Kaynaklanan Gerilim Çökmesi (Voltage Sag Due to Short Circuit Faults)

Arızalar, genellikle kırık veya arızalı izolatörlerden dolayı temassızlık, yıldırım vb. doğal olaylar sonucunda faz iletkenlerin kopmasından dolayı oluşurlar. Bu arızalar simetrik ve asimetric olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Belirtilen kısa devre arızaları güç sistemlerinde meydana gelen gerilim çökmelerinin büyük bir bölümünü oluştururlar [10].

Bir kısa devre arızası sonucu oluşan gerilim çökmesi, genliği bir adım fonksiyonu ile ayarlanan sinüs fonksiyonu ile modellenebilir [9]. Denk. (2)'de, arızaların sebep olduğu gerilim çökmelerine ait matematiksel model verilmiştir.

$$V(t) = [1 - \alpha(u_1 - u_2)] \sin(2\pi ft + \varphi) \quad (2)$$

Burada α çökmenin pu cinsinden genliğini, u_1 ve u_2 sinüs fonksiyonu ile çarpılacak adım fonksiyonunu, f şebeke frekansını, φ faz açısını ve t ise zamanı temsil eder. Gerilim çökmesinin süresi, gerilim çökmesinin başlangıç zamanını t_1 ve bitiş zamanını t_2 'ye bağlı olarak u_1-u_2 adım fonksiyonları ile belirlenmektedir. Modelde kullanılan adım fonksiyonları denk. (3)'de verilmiştir.

$$u_n = \begin{cases} 1, & t - t_n > 0 \\ 0, & t - t_n < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Güç sistemlerinde simetrik olmayan arızalar meydana geldiğinde, arızalı fazda genellikle gerilim çökmesi meydana gelirken, arızasız fazlarda gerilim sıçraması oluşabilir. Bu sıçrama 1.1-1.8 pu arasında değişir. Bu durum dikkate alınarak, gerilim sıçramaları için matematiksel model, denk. (2)'ye benzer şekilde türetilebilir. Denk. (4)'te gerilim sıçramalarına ait matematiksel model verilmiştir.

$$V(t) = [1 + \alpha(u_1 - u_2)] \sin(2\pi ft + \varphi) \quad (4)$$

Denk. (2) ve (4)' de görüldüğü gibi, her faz için faz açısı $\varphi_A=0$, $\varphi_B=-120$ ve $\varphi_C=120$ şeklinde değiştirilebilir ve üç fazlı gerilim dalga şekli elde edilebilir. Ayrıca, faz açıları ve gerilimin genlikleri üzerinde değişiklikler yaparak dengeli ve dengesiz arızalara ait üç fazlı gerilim dalga şekilleri oluşturulabilir. Ayrıca denk. (2) ve (4)' e bir $\varepsilon(t)$; fonksiyonu ilave edilerek gerilim dalga şekli üzerine gürültü bindirilebilir.

3.2. Transformatör Enerjilenmesinden Kaynaklanan Gerilim Çökmesi (Voltage Sag Due to Transformer Energizing)

Sürekli durumda, transformatörün çekirdeği içerisinde belli bir akı değeri mevcuttur. Kesici tarafından transformatöre olan enerji akışı kesilince, çekirdek bir miktar akıyı tutar. Transformatör enerjilendiğinde, çekirdek içerisindeki akının başlangıç değeri, sürekli durum çalışma koşullarından daha düşük bir değere sahiptir. Böylece transformatör, çekirdeğindeki akıyı artırarak, sürekli durum şartlarına uygun değere getirmeye zorlayacak bir geçici durum meydana getirir. Yani, transformatör enerjilendiğinde çekirdek bu kalıcı akı nedeniyle doyuma gider. Genellikle de, bu durum bir periyot için akının ortalama değeri yaklaşık olarak sıfıra düşene kadar devam eder. Transformatör çekirdeğinde geçici olarak meydana gelen bu aşırı akı, şebekeden yüksek mıknatıslanma akımının çekilmesine sebep olur. Bu olay mıknatıslanma akımının ani artışı olarak da bilinir ve kısa süreli gerilim çökmelerine sebep olur [11]. Gerilimdeki bu çökme hem simetrik hem de asimetric olabilir. Ayrıca enerjilenme esnasında çökme nominal gerilimin 0.85-0.9 pu değerlerine kadar düşebilir ve çökme anında ağırlıklı olarak 2. ve 4. harmonikler gibi çift harmonikler gerilim dalga şekli üzerinde görülebilir [12]. Transformatörlerin enerjilenmesi sonucu oluşan gerilim çökmesinin matematiksel modeli denk. (5)'te verilmiştir.

$$V(t) = [1 - \alpha(u_1 e^{-k(t-t_1)})] \sin(2\pi ft + \varphi) + h(t) \quad (5)$$

$$h(t) = \alpha_2(u_1 \sin(4\pi ft + \varphi_2)) + \alpha_4(u_1 \sin(8\pi ft + \varphi_4)) \quad (6)$$

Burada t_1 ; gerilim çökmesi başlangıç zamanını, e ; transformatör enerjilenmesinin sebep olduğu gerilim çökmesini modellemek için eksponansiyel fonksiyonu, α ; çökmenin pu cinsinden genliğini, k ; ise gerilimin çökme seviyesinden nominal değerine geri dönmesi için kullanılan artış katsayısını temsil etmektedir. Denk.(6)'daki $h(t)$ çökme anında gerilim dalga şekli üzerine binen 2. ve 4. harmonikleri modellemek için kullanılan fonksiyonu temsil ederken, α_2 ve α_4 ; 2. ve 4. harmoniklerin genliğini temsil etmektedir. Belirtilen harmonik bileşenlerin yanında modele 3., 5. vb. harmonik bileşenler de benzer şekilde ilave edilebilir.

3.3. Asenkron Motorların Kalkışı Sırasında Meydana Gelen Gerilim Çökmeleri (Voltage Sag Due to Induction Motor Starting)

Büyük güçlü asenkron motorlar, kalkış anında yaklaşık olarak nominal akımın 5-7 katı akımı şebekeden çekerler. Yol alma anında şebeken çekilen bu yüksek akım, gerilim çökmelerine sebep olur. Gerilim çökmesinin genliği, motorun bağlandığı noktada sistemin dayanımına ve motorun gücüne bağlıdır. Ayrıca üç fazda da dengeli bir şekilde meydana gelen çökmenin derinliği nominal gerilimin yaklaşık 0.7-0.9 pu değerlerine kadar düşebilir ve daha sonra motor tarafından çekilen akım nominal değerine dönmeye başladığında gerilimde tekrar nominal değerine dönmeye başlar [13]. Denk. (7)'de, asenkron motorların kalkışı sırasında meydana gelen gerilim çökmelerine ait matematiksel model verilmiştir. Ayrıca denk (8)'deki M_c motor kalkış fonksiyonunu, denk (9) daki M_g gerilimin, çökmeden nominal değerine dönüşünü temsil eden fonksiyonlardır.

$$V(t) = [1 - \alpha(M_c - M_g)] \sin(2\pi ft + \phi) \quad (7)$$

$$M_c = u_1(1 - e^{-\rho t_1}) + u_1(\alpha_r \sin(2\pi f_r t_1)e^{-\gamma t_1}) \quad (8)$$

$$M_g = u_2(1 - e^{-\beta t_1}) \quad (9)$$

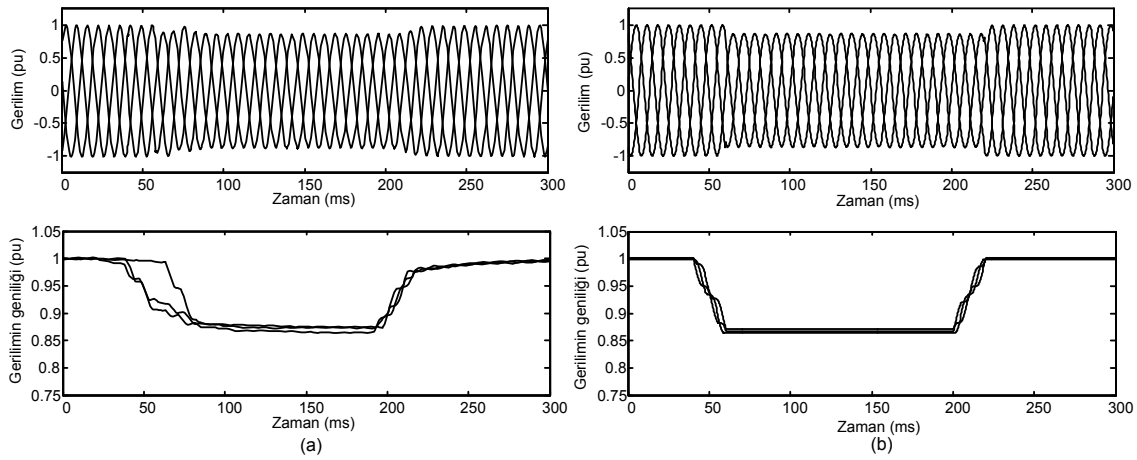
Burada e , motorun kalkışı anında gerilimin azalmasını, gerilimin nominal değere dönüşündeki artışı ve motorun, moment ve hız kazandığı anda meydana gelen dalgalanma (ripple) etkisini modellemek için kullanılan eksponansiyel fonksiyondur. t_1 gerilim çökmesi başlangıç zamanını, t_2 nominal değere geri dönme anını, ρ gerilimin çökme oranını, β nominal gerilim değerine geri dönüş oranını, γ motor nominal hızına ulaşırken dalgalanma yerleşme oranını, α_r dalgalanmanın genliğini, f_r dalgalanmanın frekansını temsil eder.

4. MODELLERİN UYGULAMALARI VE TARTIŞMA (APPLICATIONS OF MODELS AND DISCUSSION)

Yukarıda ifade edilen matematiksel modellerin uygulanabilirliği, üç farklı gerilim çökmesi olayı için ayrı ayrı incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Matematiksel modellerin geçerliliğini göstermek için, gerçek güç sistemi ölçümlerinden elde edilen gerilim dalga şekilleri ile modele dayalı olarak üretilen gerilim dalga şekilleri karşılaştırılmıştır. Gerçek güç sistemi ölçüm verilerinin bir bölümü IEEE güç kalitesi çalışma grubunun web sitesinden [14], diğer bir bölümü de Güç Kalitesi Milli Projesi kapsamında Tübitak Uzay'dan temin edilmiştir [15 ve 16]. Bu veriler 3.2 kHz örnekleme frekansına (64 örnek/periyo) sahiptir. Sunulan grafiklerde gerilim pu cinsinden verilmiştir. Sonuçlar aşağıda karşılaştırmalı bir şekilde incelenmiştir.

Bölüm 2.1'de ifade edildiği gibi kısa devre arızaları simetrik ve asimetrik olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Simetrik arızalar üç

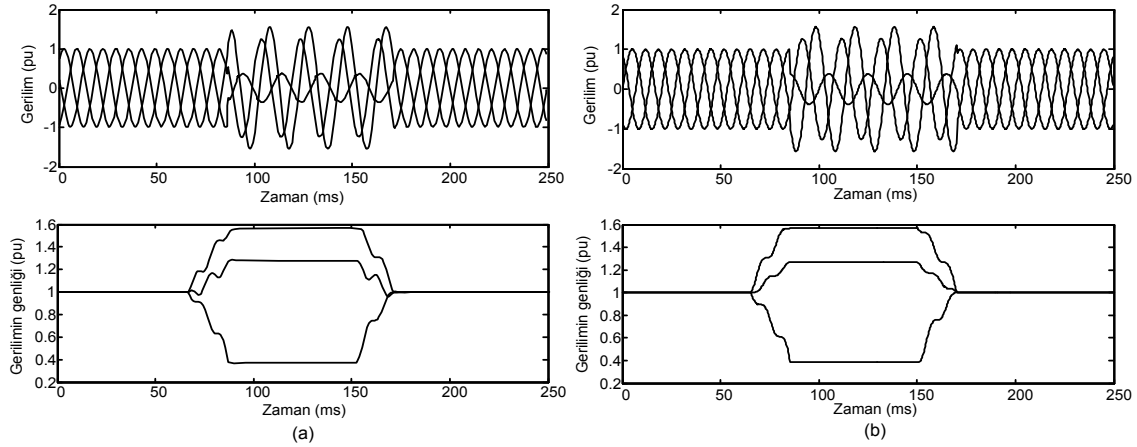
faz veya üç faz-toprak arızalarıdır. Şekil 2 (a)'da, 34.5 kV'luk orta gerilim hattından ölçülmüş, üç faz-toprak arızası sonucu meydana gelen gerilim çökmesi olayı sunulmuştur. Şekil 2 (b) ise matematiksel modele dayalı olarak üretilen üç faz-toprak arızası sonucu meydana gelen tipik gerilim çökmesi olayının dalga şeklini ve onun etkin değerini göstermektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi, üç faz toprak arızalarının tipik özelliği, arıza anında gerilimin genliği bakımından tüm fazların yaklaşık olarak aynı çökme karakteristiğini göstermesidir. Ayrıca gerilim, arıza temizleme işletiminden hemen sonra nominal değerine dönme eğilimi göstermiştir. Her iki şekil incelendiğinde, modele dayalı olarak üretilen dalga şekliyle, üç faz toprak arızasının tipik özellikleri büyük oranda elde edilebildiği görülmektedir.



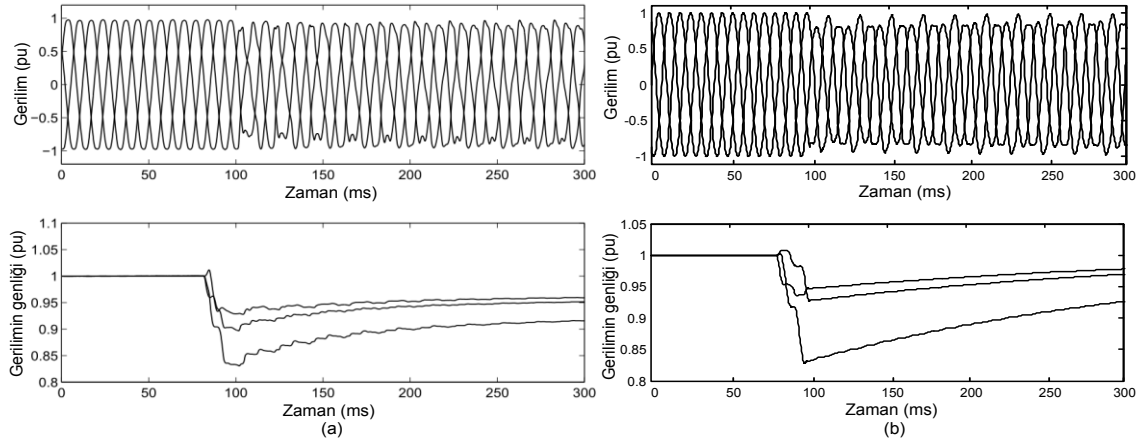
Şekil 2. Üç faz-toprak arızası sonucu meydana gelen gerilim çökmesi ve onun etkin değerinin değişimi, (a) Gerçek güç sistemi dalga şekli, (b) Modele dayalı üretilen dalga şekli

(Figure 2. Voltage sag waveform and changing of its RMS value due to three phase-ground fault, (a) Actual power system waveform, (b) Model-based waveform)

Simetrik arızaların yanı sıra, tek faz-toprak, iki faz-toprak veya iki-faz arızaları gibi asimetric arızalar da güç sistemlerinde yaygın bir şekilde görülmektedir. Burada sadece, bir asimetric arıza tipi olan tek faz-toprak arızası incelenmiştir. Şekil 3 (a) ve (b) sırasıyla, 34.5 kV'luk orta gerilim hattından ölçülmüş ve matematiksel modele dayalı olarak üretilen tek faz-toprak arızası sonucu meydana gelen tipik gerilim çökmesi olayının dalga şeklini ve bu olaya ait gerilimin etkin değerini göstermektedir. Simetrik arızaların tersine, bu arıza tipinde arızalı fazda çökme meydana gelirken, diğer fazlarda gerilimde sıçramalar olarak görülebilir. Bu arıza tipinde de arıza temizleme işletiminden kısa bir süre sonra faz gerilimlerinin nominal değerine döndüğü bilinmektedir. Her iki şekil incelendiğinde, modele dayalı olarak üretilen tek faz toprak arızası, gerçek güç sisteminden elde edilen çökme olayı ile büyük oranda örtüşmektedir.



Şekil 3. Tek faz-toprak arızası sonucu meydana gelen gerilim çökmesi ve onun etkin değerinin değişimi, (a) Gerçek güç sistemi dalga şekli, (b) Modele dayalı üretilen dalga şekli
(Figure 3. Voltage sag waveform and changing of its RMS value due to single phase-ground fault, (a) Actual power system waveform, (b) Model-based waveform)

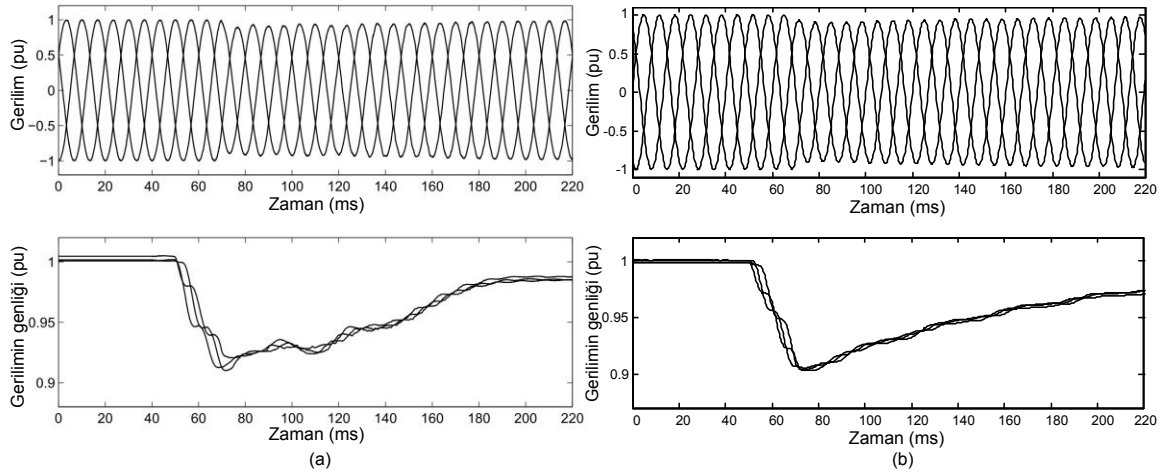


Şekil 4. Transformatör enerjilenmesi sırasında meydana gelen gerilim çökmesi ve onun etkin değerinin değişimi, (a) Gerçek güç sistemi dalga şekli, (b) Modele dayalı üretilen dalga şekli
(Figure 4. Voltage sag waveform and changing of its RMS value due to transformer energizing, (a) Actual power system waveform, (b) Model-based waveform)

Güç sisteminin olağan bir davranışı olarak değerlendirilen transformatörün enerjilenmesi sırasında oluşan gerilim çökmeleri, 11 kV'luk gerçek güç sistemi ölçümlerinden ve modele dayalı olarak elde edilen dalga şekilleri sırasıyla Şekil 4 (a) ve (b)'de sunulmuştur. Şekil 4 (a)'da görüldüğü gibi, transformatör enerjilendiği andan itibaren tüm fazlarda dengeli olmayan bir çökme meydana gelmiştir. Aynı zamanda enerjilenme anında şebekeden çekilen yüksek mıknatıslanma akımının sebep olduğu harmonik bileşenlerin gerilim dalga şekli üzerinde meydana geldiği görülmektedir. Mıknatıslanma akımının azalmasıyla birlikte gerilim kademeli olarak nominal değerine dönmeye başlamıştır. Şekil 4 (b)'de görüldüğü gibi, modele dayalı olarak elde edilen gerilim dalga şekli üzerinde de enerjilenme anında faz

gerilimlerinde dengesiz bir çökme ve harmonik bileşenler meydana getirilmiştir. Ayrıca çökmeden sonra, şebeke geriliminin kademeli olarak nominal değerine ulaşabilmesi kullanılan model sayesinde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, her iki şekil incelendiğinde, modele dayalı olarak üretilen çökme olayında, güç sisteminin bazı doğrusal olmayan davranışları tam olarak görülemez de, transformatör enerjilenmesi olayının tipik özelliklerini taşıyan değişimler büyük oranda görülebilir.

Asenkron motorların kalkışı sırasında meydana gelen gerilim çökmesi olayları, gerilimin çökme derinliği ve çökmenin süresi bakımından transformatörün enerjilenmesi olayına, benzer bir karakteristik sergiler. Fakat bu çökmenin en önemli özelliği kalkış anında gerilimin genliği bakımından tüm fazların yaklaşık olarak aynı çökme karakteristiğini göstermesi ve motor moment kazandığı anda meydana gelen dalgalanma (ripple) etkisinin meydana gelmesidir. Şekil 5 (a) ve (b)'de, 400 V'luk gerçek güç sistemi ölçümlerinden ve modele dayalı olarak elde edilen dalga şekilleri ve genlik değişimleri görülmektedir. Şekil 5 (a)'da görüldüğü gibi, tüm fazlarda gerilimin genliği olay öncesi değerden yaklaşık %10'u kadar bir çökme değerine sahiptir. Ayrıca motor moment ve hız kazandığı anda meydana gelen dalgalanma etkisi de belirgin bir şekilde tüm fazlarda görülmektedir. Daha sonra motorun çektiği akım azaldığı için, gerilim kademeli olarak nominal değer aralığına dönmüştür. Bu durum Şekil 5 (b)'de modele dayalı olarak üretilmiştir. Görüldüğü gibi, motorun doğrusal olmayan davranışlarının büyük bir bölümü gerilim dalga şekli üzerine yansıtılmıştır.



Şekil 5. Asenkron motorun kalkışı sırasında meydana gelen gerilim çökmesi ve onun etkin değerinin değişimi, (a) Gerçek dalga şekli, (b) Modele dayalı üretilen dalga şekli

(Figure 5. Voltage sag waveform and changing of its RMS value due to induction motor starting, (a) Actual power system waveform, (b) Model-based waveform)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, güç sistemlerinde sıkça karşılaşılan gerilim çökmeleri olaylarının modele dayalı dalga şekli üretim yaklaşımı sunulmuştur. Sunulan yaklaşım, gerçek ve benzetimler ile elde edilen veri üretim yaklaşımlarına alternatif bir veri üretim yaklaşımı sunar. Model tabanlı yaklaşım, benzetimler yardımıyla karmaşık güç sistemi modelleri geliştirmeye veya uzun zamanlı ölçümler sonucunda elde

edilen gerçek güç sistemi verilerine ihtiyaç duymaksızın gerilim çökmesi olaylarına ait verilerin üretilebilmesine imkan tanır.

Sunulan matematiksel modelleme teknikleri, gerçek güç sistemi dalga şekilleri ile karşılaştırıldığında, güç sisteminde meydana gelen bütün dinamik davranışları mükemmel bir modelleme yeteneğine sahip olmamasına rağmen, matematiksel modelleme yaklaşımları kullanılarak gerilim çökmesi olaylarının dalga şekillerinin önemli ve temel özelliklerinin elde edilebileceği sonuçlardan görülebilmektedir. Ayrıca model tabanlı yaklaşımın giriş parametreleri değiştirilerek istenilen aralıkta ve sayıda veri üretimi sağlanabilir. Bu şekilde, güç kalitesi analiz cihazları için geliştirilen algoritmaların doğruluğu kapsamlı bir şekilde test edilebilir. Ek olarak, model tabanlı yaklaşım, ticari olarak satılan ve dalga şekli üreten generatörlerin geliştirilmesine katkı sağlamak için kullanılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, gerçek güç sistemi ölçüm verilerinin elde edilmesine yardımcı olan Güç Milli Kalitesi Projesi yürütücüleri ve bu proje kapsamında Tübitak Uzay bünyesinde araştırmacı olarak çalışan görevlilere teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. IEEE Std. 1159, (1995). IEEE Recommend Practice for Monitoring Electric Power Quality.
2. Bollen, M.H.J., (2000). Understanding power quality problems: Voltage sags and interruptions. Piscataway, NJ: IEEE Press.
3. Chilukuri, M.V., and Dash, P.K., (2004). Multiresolution S-transform-based fuzzy recognition system for power quality events. IEEE Transactions on Power Delivery, 19(1), pp: 323-330.
4. Janik, P. and Lobos, T., (2006). Automated classification of power-quality disturbances using SVM and RBF networks. IEEE Transactions on Power Delivery, 21(3), pp: 1663-1669.
5. Uyar, M., Yildirim, S. ve Gencoglu, M.T., (2008). An effective wavelet-based feature extraction method for classification of power quality disturbance signals. Electric Power Systems Research, 78, pp: 1747-1755.
6. Erişti, H. and Demir, Y., (2010). A new algorithm for automatic classification of power quality events based on wavelet transform and SVM. Expert systems with applications, 37-6, 4094-4102.
7. Liao, Y. and Lee, J.-B., (2004). A fuzzy-expert system for classifying power quality disturbances. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 26(3), pp: 199-205.
8. Xu, W., (2001). Component modeling issues for power quality assessment. IEEE Power Engineering Review, pp: 12-17.
9. AbdelGalil, T.K., Kamel, M., Youssef, A.M., El-Saadany, E.F., and Salama, M.M.A., (2004). Power quality disturbance classification using the inductive inference approach. IEEE Transaction Power Delivery, 19(4), pp: 1812-1818.
10. Bollen, M.H.J. and Zhang, L.D., (2003). Different methods for classification of three phase unbalanced voltage dips due to faults. Electric Power Systems Research, 66, pp. 59-69.
11. Styvaktakis, E., Bollen, M.H.J., and Gu, I.Y.H., (2000). Transformer saturation after a voltage dip. IEEE Power Eng. Rev., 20, pp:62-64.



12. Styvaktakis, E. and Bollen, M.H.J., (2003). Signatures of voltage dips: Transformer saturation and multistage dips. IEEE Transactions on Power Delivery, 18(1), pp: 265-270.
13. Guasch, L., Corcoles, F. and Pedra, J., (2004). Effects of symmetrical and unsymmetrical voltage sag on induction machines. IEEE Transactions on Power Delivery, 19(2), pp: 774-782.
14. IEEE PES Power Quality Subcommittee:
<http://grouper.ieee.org/groups/td/pq/>
15. Milli güç kalitesi projesi: <http://www.guckalitesi.gen.tr>.
16. Salor, Ö., Buhan, S., Ünsar, Ö., et.al., (2009). Mobile monitoring system to take nationwide PQ measurements on electricity transmission systems. Measurement, 42, pp:501-515.