



REVIEW ARTICLE

Examining Mathematical Models for Power Quality in Generation, Transmission, and Distribution Systems

*  Mehmet Rida TUR, ¹  Mehmet Salih KAYA²

* Batman University, Faculty of Engineering and Architecture, Electrical Engineering Department, Batman, Türkiye
mrida.tur@batman.edu.tr, Orcid. 0000-0001-5688-4624,

² Ministry of National Education Batman Provincial Directorate, Batman, Türkiye
ms-kaya@hotmail.com, Orcid. 0009-0005-5091-3371,

HIGHLIGHTS

- This article provides a general overview of production types and modeling techniques for power flow analysis during planning and operation.
- It highlights various production technologies, presents different models, and discusses some fundamental challenges related to current trends in smart grid networks.

Keywords:

- Mathematical Model
- Power Quality
- Distribution System
- Distributed Generation
- Transmission System

GRAPHICAL ABSTRACT

Power quality issues cause significant problems in production, transmission, and distribution electrical networks. Accurate detection and classification of potential problems are crucial to mitigate power quality issues. There are numerous studies in this field, and the initial research step in these studies is to obtain various distorted signals to test classification systems. In this context, the most common trend is to generate signals from mathematical models. In the literature, there are many models with significant differences among them. However, there is no comprehensive model that considers distortions of all types. This study presents a comprehensive mathematical model based on existing models in the literature. Power quality distortions can be rapidly and automatically generated. It is determined that changes in the direction of power flow in the distribution network are not limited to the distribution network alone, especially when there is high distributed energy penetration; they can also extend to transmission or sub-transmission systems. This article provides a general overview of production types and modeling techniques for power flow analysis during planning and operation. Additionally, it highlights different production technologies, presents various models, and discusses some fundamental challenges related to current trends towards smart grid networks. This study aims to support researchers in the modeling stage, with the goal of contributing to future research efforts.



Figure The name figure or table about given info and results

Article Info:

Received : October 22, 2023

Accepted : December 10, 2023

DOI: 10.53525/jster.1379621

*Correspondence:

Mehmet Rida Tur
mrida.tur@batman.edu.tr
Phone: +90 4882174239

Aim of Article: It presents a research on Mathematical Modeling and solution practices for Power Quality in Generation, Transmission and Distribution Systems.

Theory and Methodology: It provides a mathematical model based on commonly found models. The model also includes new types of combined disorders. Different situations have been taken into account and PQ disorders can be generated quickly and automatically.

Findings and Results: This paper presents a mathematical model that incorporates the largest number of different PQ distortions that we could find in the literature.

Conclusion: Models offered; They are categorized as constant power factor model, constant voltage model and variable reactive power model, and these models were developed for the purpose of integration into three-phase load flow analysis during the planning and operation of the distribution system. Overall, the review has identified fruitful key areas of active research work for the researcher's reference, and finally the challenges to the current trend towards smart grid networks are outlined.



İNCELEME MAKALESİ | REVIEW ARTICLE

Üretim, İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Güç Kalitesi İçin Matematiksel Modellerin İncelenmesi

* Mehmet Rida TUR, ¹ Mehmet Salih KAYA²

* Batman Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Batman, Türkiye
mrida.tur@batman.edu.tr, Orcid. 0000-0001-5688-4624,

² Milli Eğitim Bakanlığı Batman İl Müdürlüğü, Batman, Türkiye
ms-kaya@hotmail.com, Orcid. 0009-0005-5091-3371,

Alıntı / Citation :

Tur, M.R., Kaya, M.S. (2023). *Examining Mathematical Models for Power Quality in Generation, Transmission, and Distribution Systems*, Journal of Science Technology and Engineering Research, 4(2): 130-140. DOI: 10.53525/jster.1379621

ÖNE ÇIKANLAR / HIGHLIGHTS

- Planlama ve işletme sırasında güç akışı analizi için üretim türleri ve modelleme tekniklerine genel bir bakış sunulması.
- Çeşitli üretim teknolojileri, farklı modeller sunulması ve akıllı şebeke ağlarındaki mevcut eğilimlerin temel zorluklarına bakış

Makale Bilgileri / Article Info

Geliş Tarihi : 22 Ekim 2023

Kabul Tarihi : 10 Aralık 2023

DOI: 10.53525/jster.1379621

*Sorumlu Yazar:

Mehmet Rida Tur
mrida.tur@batman.edu.tr
Phone: +90 4882174239

ÖZET / ABSTRACT

Güç kalitesi sorunları, üretim, iletim ve dağıtım elektrik şebekelerinde ciddi sorunlara neden olmaktadır. Güç kalitesi sorunlarını hafifletmek için olası sorunların doğru tespiti ve sınıflandırılması önemlidir. Bu alanda birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda ilk araştırma adımı, sınıflandırma sistemlerini test etmek için çeşitli bozulmuş sinyaller elde etmektir. Bu bağlamda, en yaygın eğilim matematiksel modellerden sinyal üretmektir. Literatürde, aralarında önemli farklar bulunan birçok model bulunmaktadır. Ancak, tüm çeşitlerdeki bozulmaları dikkate alan bütüncül bir model bulunmamaktadır. Bu çalışma, literatürde bulunan modellere dayalı bütüncül bir matematiksel model sunmaktadır. Güç kalitesi bozulmaları hızlı ve otomatik bir şekilde üretilebilir. Dağıtım şebekesinde güç akışının yönündeki değişikliğin, sadece dağıtım ağıyla sınırlı olmadığını, özellikle dağıtık enerji penetrasyonu yüksek olduğunda iletim veya alt iletim sistemlerine de uzanabileceğini belirlenmiştir. Bu makale, planlama ve işletme sırasında güç akışı analizi için üretim türlerini ve modelleme tekniklerine genel bir bakış sunmaktadır. Ayrıca, farklı üretim teknolojileri vurgulanmakta, farklı modelleri sunulmakta ve mevcut akıllı şebeke ağlarına doğru olan mevcut eğilimlerle ilgili bazı temel zorluklar da tartışılmaktadır. Bu çalışma, gelecekteki çalışmalara destek olmayı amaçlayarak araştırmacıları modelleme aşamasında desteklemeyi hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Matematiksel model, Güç kalitesi, Dağıtım sistemi, Dağıtık üretim, İletim Sistemi

I. GİRİŞ [INTRODUCTION]

Fosil yakıt kaynaklarının değiştirilmesi amacıyla yeşil enerji kaynaklarına olan talebin artması, güç sistemlerinde Üretim, İletim ve Dağıtım penetrasyonunun hızla

yükselmesine yol açmıştır. Penetrasyonun, sistem genelindeki işleyiş ve performansa önemli bir etki yapması muhtemeldir [1]. Bu nedenle, güç sistemlerinde Güç Kalitesi (GK) bozulmaları artan bir şekilde yaygındır. Bu durum, endüstriyel ortamlarda kullanılan ayarlanabilir



hız tahrikleri, güç kaynakları ve fotovoltaik inverterler gibi doğrusal olmayan yüklerin yaygın olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır [2-4]. GK, belirli bir zamanda ve konumda güç sistemindeki gerilim ve akımı karakterize eden çeşitli elektromanyetik olayları ifade etmektedir [5]. Bu GK sorunları arasında ani geçişler, salınımlı geçişler, kesintiler, düşmeler, yükselmeler, harmonikler, oluklar, titremeler ve diğerleri bulunmaktadır [6].

GK sorunları, ekonomik kayıplara neden olabilir. Bu kayıplar, şebekede bulunan ekipmanın hasar görmesi veya yanlış çalışması yanı sıra son kullanıcı ekipmanının da yanlış çalışmasına yol açabilmektedir [7]. Bu nedenle, GK sorunları doğru bir şekilde tespit edilmez, sınıflandırılmaz ve azaltılmazsa, sistemle bağlantılı birçok hassas yükün arızalanmasına veya yanlış çalışmasına neden olabilir, bu da oldukça maliyetli sonuçlara yol açabilmektedir. Ayrıca, GK bozulmaları iletim şebekelerini de etkileyebilir. Bu, özellikle fotovoltaik enerji üretimi gibi yenilenebilir kaynakları içeren güç sistemlerinde ciddi bir sorundur, çünkü bu tür sistemler doğrusal olmayan cihazları gerektirmektedir. Bu nedenle, yenilenebilir enerjileri şebekeye entegre etmek veya endüstriyel ağlarda bozulma kaynağını tanımlamak ve azaltma önlemleri almak için öncelikle GK bozukluklarının tespit edilmesi ve sınıflandırılması gerekmektedir [8].

GK bozukluklarını tespit etmeye ve sınıflandırmaya odaklanan çalışmalarda, sistemleri test etmek için bozulmuş sinyaller elde etmek ilk adım olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, mevcut çalışmalarda birkaç eğilim gözlemlenmektedir: matematiksel modellerden dalga üretimi [9-11], gerçek dünya sinyallerini içeren veritabanlarının kullanımı [12] ve gerçek dünya bozulmalarının kaydedilmesi için veri toplama sistemlerinin kullanımı olarak tanımlanmaktadır [13].

İlk eğilimle ilgili olarak, mevcut çalışmalarda çeşitli matematiksel modeller önerilmiştir. Ancak elimizdeki bilgilere göre, tüm bozulma türlerini içeren bütüncül bir model bulunmamaktadır. Bu çalışmada, literatürde bulunan modellere dayalı olarak GK bozukluklarının bütüncül matematiksel modeli önerilmektedir.

Dağıtık Üretim (DÜ) etkisinin artık yalnızca bu birimlerin bağlı olduğu yerel yük veya dağıtım ağı ile sınırlı olmadığı, aynı zamanda tüm iletim sistemi üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir [14]. Yüksek DÜ penetrasyonuna odaklanan çalışmalar genellikle sistem

kontrolü ve kararlılık üzerinedir. Bu nedenle bazı çalışmalarda, DÜ penetrasyon seviyelerinin güç sistemi geçici kararlılığı üzerinde farklı senaryolar için incelenmiş ve DÜ birimlerinin, yani yakıt hücreleri ve mikro türbinlerin, çeşitli penetrasyon seviyeleri için güç sistemi kararlılığı üzerindeki etkisi araştırılmıştır [15, 16].

Diğer yandan, bazı çalışmalar DÜ birimlerinin dağıtım ağı üzerindeki etkisine odaklanmıştır [17-19]. Seçilmiş DÜ birimlerinin, yani rüzgar jeneratörleri ve mikro türbinlerin bulunduğu bir dağıtım ağının kararlılık analizi sunulmuştur [20]. DÜ'lerin matematiksel modelleri üç fazlı yük akış algoritmasına entegre edilmiş ve dağıtım ağlarının özel topolojik özellikleri tam olarak kullanılmaktadır.

GK bozulmalarını üretmek için matematiksel modeller içeren literatürde çeşitli çalışmalar bulunabilir. Genel olarak, bu bozulmalar IEEE önerileri, uluslararası standartlar veya bu alandaki deneyimlere dayalı olarak üretilmektedir. Bu araştırma, elektrik sistemlerinde güç kalitesi sorunlarının kökenlerini ve etkilerini analiz ederek, bu sorunları çözmek veya en aza indirmek için matematiksel modeller geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu modeller, enerji şebekesinin kararlılığını ve güvenilirliğini artırmak, ekipmanlara zarar veren güç kalitesi sorunlarını önlemek veya düzeltmek için kullanılabilir. Bu çalışma aynı zamanda güç kalitesi sorunlarının önemini vurgulamak ve enerji sektöründe iyileştirmeler yapmak için temel bir araştırma ve geliştirme çalışması olarak da görülebilmektedir.

II. ELEKTRİK ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ [ELECTRICAL GENERATION TECHNOLOGIES]

Dağıtılmış enerji kaynakları, elektrik gücü üretimi için kullanılan kaynaklar olup, bu kaynaklar elektrik dağıtım sistemine entegre edilmektedir. Bu kaynaklar genellikle geleneksel ve yenilenebilir enerji olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Geleneksel kaynaklar, yenilenebilir olmayan kaynakları içererek fosil yakıtları kapsamaktadır. Diğer yandan, yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, hidroelektrik gibi çevre dostu ve sürdürülebilir enerji üretim yöntemlerini temsil eder. Ayrıca, enerji depolama teknolojileri de dağıtılmış enerji kaynakları kapsamında yer almaktadır. Bu teknolojiler, enerjiyi depolayabilen ve ihtiyaç duyulduğunda dağıtım sistemine sağlanabilen sistemleri içermektedir. Pil teknolojileri, dönme yataklar ve süperiletken manyetik enerji depolama sistemleri gibi örnekler verilebilmektedir. Bu enerji depolama teknolojileri, elektrik enerjisinin

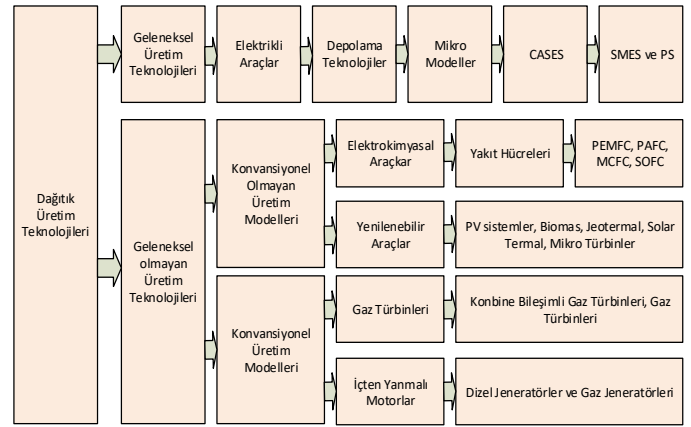
dalgalanmalarını dengelemek, yük taleplerini yönetmek ve enerji verimliliğini artırmak gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Dolayısıyla, dağıtılmış enerji kaynakları, elektrik üretimi ve dağıtımını için çeşitli kaynakları içeren bir kavram olarak tanımlanmaktadır. Bu kaynaklar, geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarını içermekle birlikte, aynı zamanda enerji depolama teknolojilerini de içerebilmektedir. Bu kaynaklar, enerji güvencesini artırmak, çevresel etkileri azaltmak ve enerji verimliliğini artırmak gibi amaçlarla kullanılmaktadır.

A. Dağıtık Üretim Modelleri

Geleneksel DÜ'ler, enerji üretimi için düşük hızlı türbinler, alternatif motorlar ve gaz mikro-türbin gibi yanma motorları kullanarak çalışan jeneratörlerdir. Bu kaynaklar genellikle küçük boyutlara sahip olmalarına rağmen coğrafi olarak geniş bir dağılıma sahiptirler. Diğer yandan, Geleneksel Olmayan DÜ'ler, sıfır emisyon üreten ve çevreye dost olan kaynaklardır. Bu kaynakların çoğu genellikle DC (doğru akım) güç üretir, bu nedenle mevcut bir AC (alternatif akım) dağıtım ağına entegre edilmeden önce AC güce dönüştürülmesi gerekmektedir. Fotovoltaik paneller ve yakıt hücreleri gibi kaynaklar, şebeke arayüzü için güç elektroniği dönüştürücülerini (inverterlerini) kullanır. Geleneksel içten yanmalı motorlar (döner makineler) genellikle senkron jeneratörlerdir ve doğrudan şebekeye bağlanmaktadır. Rüzgar türbinleri de döner makineler olarak kabul edilir ve genellikle endüksiyon tipi jeneratörlerdir, bu nedenle doğrudan şebekeye bağlanabilirler. Bazı rüzgar uygulamalarında ve bazı mikro-türbinler gibi içten yanmalı motorlarda, elektronik arayüzle ilişkilendirilen ek maliyet ve karmaşıklığı haklı çıkardığı için güç dönüştürücü/inverter cihazları şebeke arayüzü için kullanılmaktadır. Bu nedenle, farklı DÜ kaynaklarından üretilen enerji, senkron jeneratörler, statik güç dönüştürücüler veya endüksiyon jeneratörleri aracılığıyla şebekeye enjekte edilir. Bu jeneratörlerin veya dönüştürücülerin çalışma şekli, güç akışı çözümünde kullanılacak DÜ modellerini belirlemektedir.

Dağıtım sistemi seviyesine DÜ ünitelerinin konumlandırılması ve yük merkezine yakın bir konumda bulunması gerektiği yaygın bir bilgi olarak kabul edilmektedir. DÜ ünitesinin güç kayıpları, gerilim profili, kısa devre akımı, harmonik bozulmalar ve güç sistemi güvenilirliği üzerindeki etkileri genellikle dağıtım sistemine entegre edilmeden önce ayrı ayrı test edilir. DÜ ünitelerinden kaynaklanan faydaların elde edilmesi, kuruldukları konuma bağlı olarak ne kadar optimal olduklarına büyük ölçüde bağlıdır. Yapılan çalışmalar, üretilen enerjinin yaklaşık %13'ünün dağıtım seviyesinde

kayıp olarak tüketildiğini göstermiştir [35]. Dağıtım sistemindeki başka bir sorun ise yük artışı nedeniyle dağıtım besleyicileri boyunca kabul edilebilir çalışma sınırlarının altına düşen gerilim profili sorunu olarak bilinmektedir. Bu durum, artan elektrik talebinin bir sonucu olarak ortaya çıkar ve dağıtım sistemi altyapısının güncellenmesini gerektirecektir [36]. Bu nedenle, güç kayıplarını azaltmak ve hem gerilim profili hem de toplam harmonik bozulma gerilimini (THDv) azaltmak amacıyla DÜ'nin güç sistemlerine entegre edilmesi için uygun planlama yapılmalıdır. Bu süreçte dikkate alınması gereken birkaç faktör, kullanılacak teknoloji, ünite sayısı ve kapasitesi, optimal konum ve ağ bağlantı türü gibi unsurlar olarak tanımlanmaktadır [37, 38].



Şekil 1. Dağıtık Üretim Teknolojileri

III. ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE KULLANILAN MATEMATİKSEL MODEL YAKLAŞIMLARI [MATHEMATICAL MODEL APPROACHES USED IN ELECTRICAL NETWORKS]

Güç sistemine ait matematiksel modeller, Tablo 1'de sunulmuştur. Bu modeller, farklı türde bozulmaları içeren hem benzersiz hem de birleşik bozulmaları içermektedir. Her bir bozulma durumu için, olası değerlerinin Tablo 1'de verildiği bir dizi parametre ile karakterize edilmektedir. Salınımlı geçici bir GK sorunu için bozulmanın başlama ve bitiş zamanı, salınımın genliği ve salınımın azalma eğimi tanımlanmalıdır. Her bir bozulmanın belirli bir örneği Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu integral model, Matlab gibi sayısal hesaplama ortamlarında uygulanmıştır. İlgilenen herhangi bir araştırmacı tarafından indirilebilir durumda olan bu yazılım modeli, GK bozulmalarını otomatik olarak üretmek için bir işlev içermektedir. Araştırmacılar, çeşitli parametreleri yapılandırma seçeneğine sahiptirler.

- Her sınıf için üretilmesi gereken örnek sayısı (Ns). Varsayılan olarak her sınıf için 10 örnek.

- Örnekleme frekansı (fs), 200 Hz ile 30 kHz arasında olmalıdır. Bu parametrenin varsayılan değeri 16 kHz.
- Temel frekans (f), 40 Hz ile 100 Hz arasında olmalıdır. Varsayılan değer 50 Hz'dir.
- Her bozulmada temel frekansta bulunması gereken döngü sayısı (N). Olası değerler 3 ile 100 arasında olmalıdır. Varsayılan olarak her sinyal, 10 döngü içermelidir.
- Sinyallerin normal genliği (A), 0.1 V ile 400 kV arasında olmalıdır. Varsayılan olarak işlev GK bozulmalarının genliğini birim başına (p.u.) üretir.

GK sorunlarının parametreleri yazılım tarafından rastgele üretilir (eşit dağılım), Tablo I'de bulunan olası değerler arasından seçilmektedir. Bu şekilde istenilen sayıda eğitim ve doğrulama veri seti üretilebilmektedir [39].

Tablo I.
Güç Sistemlerinde Bozukluklarının Matematiksel Modeli

Tanım	Eşitlik	Referanslar
Saf Sinyal	$v(t) = A \cdot \sin(\omega t - \varphi)$	[8],[10],[11]
Harmonik	$v(t) = A \cdot [\sin(\omega t - \varphi) + \sum_{n=3}^7 \alpha_n \sin(n\omega t - \varphi)]$	[12],[13],[14]
Kesinti	$v(t) = A(1 - \rho(u(t - t_1) - u(t - t_2))) - \sin(\omega t - \varphi)$	[15],[16],[17]
Sarkma	$v(t) = A(1 - \alpha((u(t - t_1) - u(t - t_2))) - \sin(\omega t - \varphi)$	[18],[19],[20]
Fliker	$v(t) = A[1 - \gamma \sin(\omega t - f) \sin(\omega t - \varphi)]$	[21],[22],[23]
Yükselme	$v(t) = A(1 - \beta(u(t - t_1) - u(t - t_2))) - \sin(\omega t - \varphi)$	[24],[25],[26]
Transient	$v(t) = A[\sin(\omega t - \varphi) - \psi(e^{-750(t-t_a)} - e^{344(t-t_a)})(u(t - t_a) - (t - t_b))]$	

A. DÜ Kaynakları ve Dönüşüm Cihazları Modellemesi

Genellikle, bir matematiksel modelleme süreci, sistemin matematiksel bir temsilini içermeli ve bu temsil, gerçek sistem hakkında tüm gerekli davranışı belirli kısıtlamalar içinde yeterince açıklamalıdır. Bir DÜ tipinin etkisini ağı üzerinde değerlendirmek amacıyla yeterince temsil edebilen uygun bir modelin büyük öneme sahip olduğu

kabul edilmektedir. Bu model, DÜ'nin ağıdaki etkisini değerlendirmek için kullanımı kolay bir yaklaşımla temsil edilmelidir. Yük akış analizi için DÜ'lerin modellenmesiyle ilgili birçok model bulunmaktadır. Bu modeller, DÜ'leri sabit güç faktörü modeli, sabit gerilim modeli veya değişken reaktif güç çıkışı modeli olarak tanımlamıştır. Bu modellerde, DÜ bağlantılı noktalar, çıkış gücü düşük olanlar GK (Gerilim-Aktif Güç) düğümleri olarak kabul edilirken, yüksek çıkış gücüne sahip olanlar PV (Gerilim-Reaktif Güç) düğümleri olarak kabul edilir. Genel olarak, DÜ sınıflandırması, teknolojiye dayalı sınıflandırma yanı sıra inşaat, boyut ve çıkış gücü süresi gibi faktörlere dayalı olarak yapılabilmektedir. Modelleme amacıyla DÜ'ler, geleneksel veya geleneksel olmayan olmak üzere dört ana sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflandırmada, DÜ'lerin güç transfer yeteneklerine ve terminal özelliklerine dayalı olarak dört ana grupta toplandığı görülmektedir:

- Yalnızca aktif güç sağlayabilen DÜ'ler, güç dönüştürücüler kullanarak ana ağa entegre edilebilen DÜ türü olarak sınıflandırılır. Bu türün örnekleri arasında yakıt hücreleri, fotovoltaik paneller, mikro türbinler ve rüzgar türbinleri bulunur.
- İkinci sınıf, hem aktif hem de reaktif güç sağlayabilen DÜ ünitelerini içerir. Bu tür DÜ üniteleri, genellikle gaz türbinleri ve kojenerasyon sistemlerinde bulunan senkron makineler temel alınarak tasarlanmıştır.
- Üçüncü sınıf, sadece reaktif güç sağlayabilen DÜ ünitelerini içerir. Bu sınıfa örnek olarak senkron kompanzatorlar verilebilir.
- Bazı DÜ üniteleri, aktif güç sağlayabilirken aynı anda reaktif güç tüketebilirler. Bu türün iyi bilinen örnekleri, endüksiyon jeneratörleri ve çift beslemeli endüksiyon jeneratörü (DFIG) sistemleridir [40]

B. DÜ Sistemlerde Matematiksel Modelleme

DÜ sistemlerinin ağıdaki varlığı, ağa daha fazla aktif güç tedarik edildiği anlamına gelmektedir. Bu DÜ kaynakları, örneğin fotovoltaik paneller, yakıt hücreleri, mikro türbinler ve rüzgar türbinleri gibi kaynaklar, ağa güç elektroniği arayüzleri aracılığıyla entegre edilmektedir, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi. Bu nedenle, yük akışında DÜ ünitelerinin modellenmesi, kullanılan dönüştürücü devresindeki kontrol tekniklerine daima bağlıdır. Dağıtım sistemleri, iletim sistemlerinden farklı özelliklere sahiptir. Bu sistemler genellikle radikal veya zayıf ağlar olup hatlar yüksek R/X oranlarına sahip olabilir ve önemli ölçüde dengesiz olabilmektedir [41]. DÜ'lerden gelen enerji kaynakları, istikrarlı enerji kaynakları (yakıt hücresi, mikro türbin ve içten yanmalı motor gibi) ve istikrarsız

kaynaklar (rüzgar ve güneş gibi) olarak kategorilendirilebilir. Bu kaynakların çıkış özellikleri her zaman kullanılan dönüşüm ünitesine bağlıdır. Örneğin, rüzgar enerjisinin dönüştürülmesi için indüksiyon jeneratörü kullanıldığında çıkış sabit bir gerçek güç ve reaktif güç içermektedir. Ancak, statik dönüştürücüler kullanıldığında çıkış, normal işletme koşullarında sabit bir güç faktörüne sahip olacaktır. Kaynakların çıkış özelliklerine dayalı olarak DÜ modelleri önerildiği gibi sabit güç faktörü modeli, sabit gerilim modeli veya değişken reaktif güç modeli olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalara göre:

- Sabit Güç Faktörü Modellerinde belirli bir gerçek güç ve reaktif güç ile güç faktörü belirtilmiştir. Bu modele uygun olarak temsil edilebilen DÜ'ler arasında senkron jeneratörler ve güç elektroniği tabanlı üniteler yer almaktadır. Bu tür DÜ'lerin reaktif gücü temel alınarak hesaplanabilir.

$$\text{Reaktif Güç} \quad Q(iDÜ) = P_{DÜ} \tan(\cos^{-1} GF_{DÜ}) \quad (1) \quad [42]$$

$$\text{Akım} \quad I(iDÜ) = P_{DÜ}^i(V_{DÜ}) + jP_{DÜ}^r(V_{DÜ}) \quad (2)$$

- Değişken Reaktif Güç Modelinde tipik örnekleri, değişken reaktif güç üretimi olan indüksiyon jeneratörleridir. Gerçek güç çıkışı, rüzgar türbini güç eğrisine dayalı olarak hesaplanan rüzgar hızına bağlıdır, reaktif güç ise gerçek güç çıkışına ve jeneratör empedansına bağlıdır. Parametreler mevcut olsa da, hesaplama genellikle karmaşıktır ve etkili bir şekilde yürütmek zordur. Bu nedenle hesaplama genellikle kararlı duruma dayalıdır ve DÜ'nin gerçek gücü olarak bir işlev olarak temsil edilebilir,

$$\text{Gerçek Güç} \quad Q(iDÜ) = -Q_0 - Q_1 P_{DÜ} - Q_2 P_{DÜ}^2 \quad (3) \quad [43]$$

$$\text{Güç Çıkışı} \quad Q_i^g = Q_i^1 + Q_i^c \quad (4)$$

- Sabit gerilim modeli, büyük ölçekli sistemlerin kontrol edilebilir DÜ'leri için tasarlanmıştır ve bu DÜ modelinin belirtilen parametreleri gerçek güç çıkışı ve hat gerilim büyüklüğüdür. Enjekte edilecek eşdeğer akım, belirtilen değeri korumak için gerekli olan DÜ'nin reaktif güç çıkışını değerlendikten sonra güç akışı analizine entegre edilir. Bu gereken reaktif gücün değerlendirilmesi için geliştirilen iki döngülü algoritma kullanılmaktadır.

$$\text{Reaktif Güç} \quad P_i^{k,m+1} + jQ_i^{k,m+1} = P_i^{k,m+1} + j(Q_i^{k,m} + \Delta jQ_i^{k,m}) \quad (5) \quad [44]$$

C. Gerçek ve reaktif güç kontrolü

İnvertör arayüzlü DÜ sistemlerinin verimli işleyişini sağlama ve şebeke kararlılığını sürdürme açısından kritik bir rol oynamaktadır. DÜ sistemi için bir gerilim kaynağı invertörü (VSI) kullanılmaktadır ki bu, güneş veya rüzgar gibi birçok yenilenebilir enerji kaynağı için yaygın bir konfigürasyondur. Gerçek ve reaktif güç kontrolüne ve integral yaklaşıma ilişkin:

Gerçek Güç Kontrolü:

- Gerçek güç, DÜ sistemi tarafından üretilen veya tüketilen etkin gücü ifade eder ve genellikle watt birimiyle ölçülür.
- VSI tabanlı bir DÜ sisteminde, gerçek güç çıkışı büyük ölçüde çıkış geriliminin büyüklüğü ve faz açısı tarafından belirlenir. Bu nedenle gerçek güç çıkışını düzenlemek için gerilim kontrolü hayati bir öneme sahiptir.
- Genellikle gerçek güç çıkışını düzenlemek için PI (Orantılı-Integral) denetleyici olarak adlandırılan integral bir kontrol yaklaşımı kullanılır. İntegral terim, istenen gerçek gücün sağlanana kadar denetim çıkışını sürekli olarak ayarlayarak sabit durum hatalarını ortadan kaldırmaya yardımcı olur.

Reaktif Güç Kontrolü:

- Reaktif güç, jeneratör ile yük arasında gerçek iş yapmayan gücün dalgalanmasını ifade eder ve genellikle volt-amper reaktif (VAR) birimiyle ölçülür.
- Bir VSI tabanlı DÜ sistemi bağlamında, reaktif güç de çıkış geriliminin büyüklüğü ve faz açısına bağlıdır.
- Reaktif güç kontrolü, gerilim destek, güç faktörü düzeltme ve sistemin gerilim kararlılığını sürdürme açısından önemlidir.
- Gerçek güç kontrolüne benzer şekilde, reaktif güç çıkışını düzenlemek için genellikle bir PI denetleyici kullanılır.

Newton-Raphson Yöntemi'ne dayalı bir parametre tahmini tekniği ve önceden denetim güç akış kontrol tekniği, enerji iletim hattının parametrelerini tahmin etmek ve bu tahminleri kullanarak güç akışını önceden düzenlemek amacıyla kullanılan bir dizi matematiksel ve kontrol

tabanlı tekniktir.

Newton-Raphson Yöntemi, non-lineer denklem sistemlerini çözmek için kullanılan bir iteratif sayısal bir tekniktir. Bu yöntem, başlangıç tahminlerine dayalı olarak bir çözüme yaklaşan ardışık iterasyonları kullanır. Enerji iletim hattının parametreleri, genellikle karmaşık bir elektriksel sistemde çeşitli direnç, reaktans ve diğer parametreleri içerir. Newton-Raphson Yöntemi, bu parametreleri doğru bir şekilde tahmin etmek için kullanılır.

Önceden denetim güç akış kontrol tekniği, enerji iletim hattındaki güç akışını önceden belirlenmiş hedeflere göre kontrol etmeye yönelik bir kontrol stratejisidir. Bu teknik, enerji iletim hattının belirli bir süre boyunca nasıl çalışması gerektiğini önceden belirleyebilir. Bu, enerji akışını düzenleme, şebekeye besleme yapma veya belirli bir güç dengesi sağlama gibi amaçları içerir. Bu iki teknik, enerji iletim hattının güç akışını optimize etmek, stabiliteyi artırmak ve belirlenmiş hedeflere göre kontrol etmek için bir arada kullanılabilir. Newton-Raphson Yöntemi, hattın parametrelerini tahmin etmek için kullanıldığında, bu tahminler önceden denetim güç akış kontrol tekniği tarafından kullanılabilir. Bu entegre yaklaşım, enerji sistemlerinin daha etkili ve güvenilir bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır [45].

Güç kontrol döngüsünün kararlılığı, matematiksel olarak Lyapunov doğrudan yöntemi kullanılarak kanıtlanmıştır. Bu, enerji akışının güvenilir bir şekilde kontrol edildiğini ve dengeye ulaştığını göstermektedir. Makale ayrıca, enerji iletim hattındaki harmonik bozulmalarla başa çıkmak ve hat akımını harmoniksiz hale getirmek için bir harmonik güç kontrol tekniği önermektedir. Bu kontrol yaklaşımı, enerji iletim hattındaki harmoniklerin etkilerini minimize etmek ve güç kalitesini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu modelin üretilen sinyallerinin farklı platformlara aktarılabilir olması ve donanım tabanında uygulanabilir olması, potansiyel uygulama alanlarını genişletmektedir [46].

III. MATERYAL VE METOD [MATERIAL AND METHOD]

Güç Kalitesi Bozuklukları (GKB) analitik modellerinin geliştirilmesi için yayınlanmış çalışmaların eksikliği bulunmaktadır. Bu çalışmalar, hem sabit hem de sabit olmayan senaryolar için tek bir bozukluğu veya aynı anda meydana gelen birkaç bozukluğun kombinasyonunu doğru bir şekilde temsil edebilmelidir. Ayrıca, güç sistemlerinde bulunan geniş bir GKB ve olay yelpazesini temsil edebilen

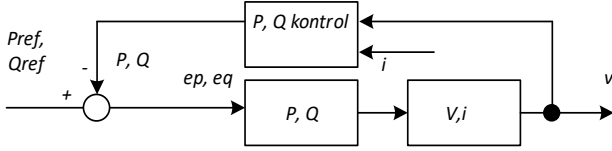
birleşik bir matematiksel modelin olması arzu edilir. Bu soyutlama kullanılarak, GK analizi için doğru dijital GKB dalga formlarının sentezlenmesi mümkündür. Bu çalışmada, güç sistemlerinde GKB'nin modellenmesi için yeni bir metodoloji sunulmaktadır. Bu metodoloji, analiz, sınıflandırma ve GKB sentezi için gerekli matematiksel altyapının geliştirilmesini hedeflemektedir. Önerilen metodoloji, mevcut modellerden daha geniş bir bozukluk yelpazesini temsil etmek için birleşik bir matematiksel temele dayanmaktadır. Ayrıca, bu özel yeteneğin geliştirilmesi, modeli beş ana aşamaya bölmek suretiyle mümkün olduğunu göstermektedir. Bu aşamalar, durağan durumla ilişkili bozuklukları modellemek için birinci aşama, temel frekansın frekans ve faz değişikliklerini ve harmoniklerini modellemek için ikinci aşama, ilişkisiz olayları modellemek için üçüncü aşama, geçici olayları tanımlamak için dördüncü aşama ve Gauss gürültüsü ve renkli gürültü ile birlikte eklemeli gürültü için bir bölüm içermektedir. Önerilen metodolojinin doğrulanması süreci, önerilen matematiksel model ve bu çalışmada geliştirilen metodoloji kullanılarak adım adım bir dalga formunun oluşturulmasıyla gerçekleştirilir. Ayrıca, farklı standart kaydedilmiş dalga formlarıyla doğruluk açısından karşılaştırmalar yapılır. Bu çalışma, geliştirilen modelin bir dalga formu üretici olarak performansını değerlendirmek ve yapılandırılmış matematiksel bir model temelinde eşzamanlı GKB'yi yeniden üretme yönteminin doğruluğunu ve performansını değerlendirmek için kullanılır. Bu metodolojinin potansiyel uygulamaları arasında GK analizinde sinyal işleme algoritmalarının kurulması ve test edilmesi, izleme, sınıflandırma, filtreleme ve hatta senkrofazör algoritmalarının test edilmesi için doğru bir şekilde sentetik dalga formları üretmek yer almaktadır. Önerilen matematiksel aracın, bir GKB türünü temsil etmek için bir matematiksel modeli ayarlamak için uygun olduğu ve gerçek kaydedilmiş örnekleme sinyalinden elde edilen dalga formuyla da uyumlu olduğu gösterilmektedir [47]

Integral yaklaşım, hem gerçek hem de reaktif güçleri düzenlemek için integral kontrolün (PI denetleyici içindeki "I" anlamına gelir) kullanılmasını ifade edilmektedir [46]

$$P = \left(\frac{V_{çıkış}^E}{X} \right) \sin\delta \quad (6)$$
$$Q = \left(\frac{V_{çıkış}^2 - V_{çıkış} E \cos\delta}{X} \right) \quad (7) \quad [44]$$

DÜ biriminin çıkış gerilim kontrolü zaten mevcut olduğu için, güç denetleyicisinin görevi, istenen güç değerlerine dayalı olarak gerilim denetleyicisi için gerilim komutu üretmektir. Bu işlem, Şekil 2'de gösterilen istenen ve

gerçek değerlere dayalı olarak gerçekleştirilir.



Şekil 2. Şebekeye bağlı mod için kontrol yapısı

İstenen DÜ çıkış gerilimi ve güç açısı, yukarıdaki denklemleri kullanılarak, belirli istenen ve gerçek değerler ile sistem parametrelerine dayalı olarak hesaplanabilir. Böylece güç kontrol sorunu çözülmüş olacaktır. Ancak, pratik sistemlerde mevcut teknikler nedeniyle yukarıdaki yaklaşımın uygulanabilir olmadığı üç temel neden vardır:

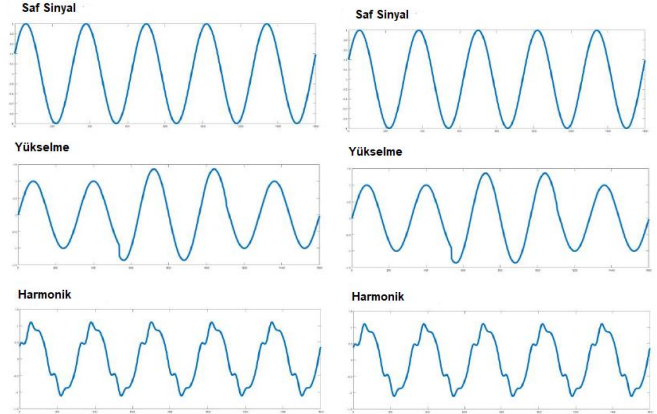
- Bu denklemleri çözmek için gerekli olan güç sistemi parametrelerini ve X'i bilmeyi gerektirir ki bu mevcut yaklaşımlara dayalı olarak zor bir iştir. Pratik olarak, X'in değeri güç sisteminin işleyişi nedeniyle değişebilir.
- Hem θ hem de V, paydalarda görüldüğünden ve özellikle θ küçük olduğunda θ varyasyonlarına duyarlıdır. Güç sistemi kapasitesi ile DÜ'nin güç derecesi arasındaki fark ne kadar büyükse, X değeri o kadar küçülür.
- Her iki denklem de gerçek zamanlı olarak çözülmesi zor olan nonlinear denklemlerdir, bu da bu fikrin pratikte uygulanmasını engeller.

Bu nedenle, X bilgisini gerektiren güç kontrol çözümleri pratik olarak kullanılmamış ve insanlar alternatif çözümler aramaya yönelmiştir.

Bu makalede önerilen integral matematiksel model, GK olaylarının otomatik tespiti ve sınıflandırılmasının alanında faydalı olabilir. Bu alandaki araştırmacılar, algılama ve sınıflandırma algoritmalarını test etmek için eğitim ve doğrulama veri setleri oluşturmak için bu modeli kullanabilirler. Bu, önerilerinin uygulanabilirliğini hızla kontrol etmelerine olanak tanır ki bu önemli bir avantajı temsil eder. Özellikle bir araştırmacının erken aşamalarında, elde edilebilecek zaman tasarrufu göz önüne alındığında bu oldukça ilgi çekicidir. Ayrıca, yazılı model farklı parametrelerin ayarlanmasına izin verdiği için, farklı koşullarda (örneğin örnekleme frekansı, yakalanan döngüler, temel genlik vb.) sinyaller kolayca üretilebilir.

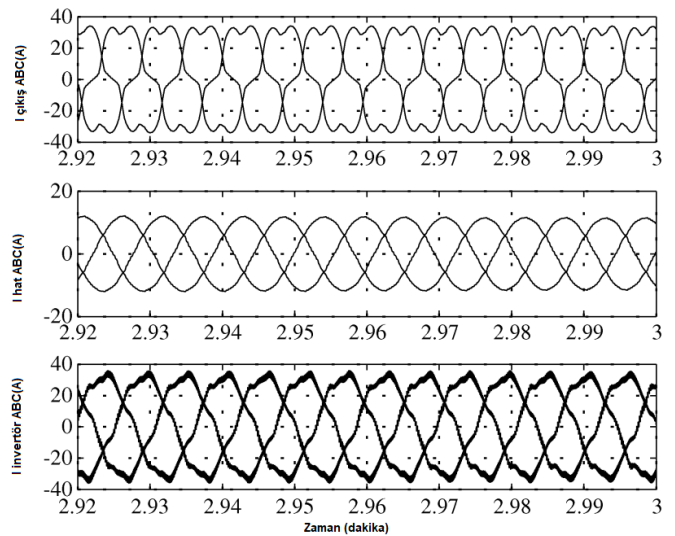
Bu tür bozulmalar, sınıflandırma sistemlerini farklı çalışma koşulları altında test etmek için kullanılabilir. Ayrıca, herhangi bir araştırmacı, kodun GNU GPL lisansı

altında dağıtıldığı için modelleri kendi ihtiyaçlarına göre uyarlayabilir. Ayrıca, bu modelde düşünülmeyen not temelli bozulmalar gibi başka birleşik bozulmanın kolayca uygulanabilmesi de mümkün olabilir. Dahası, Şekil 3'te farklı gürültü seviyeleri kolayca gösterilmektedir.



Şekil 3. Harmonik Dönüşümleri

Linear olmayan yerel yükler bulunduğu, önerilen kontrolün hat akımı üzerinde etkili olmaması beklenir. Şekil 4'te, sistemdeki üç farklı konumda, hat akımı, ünite çıkış akımı ve inverter akımı dahil olmak üzere akım dalga formlarını sergilemektedir. Dalga formları, tüm akım harmoniklerinin DÜ birimi tarafından alındığını ve sistem hattı akımının temiz olduğunu göstermektedir. Bu, gerilim kontrol döngüsünün DÜ çıkışında gerilim harmoniklerini ortadan kaldırarak ve harmonik akımın enerji şebekesine veya şebekeden akmasını önleyerek gerçekleşir [46].



Şekil 4. Doğrusal olmayan yerel yük altında DÜ ünitesi çıkış akımı i , sistem hat akımı i ve invertör akımı i 'nin mevcut dalga biçimleri.



IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME [CONCLUSION]

Bu makale, enerji iletim hattına bağlı bir yerel yük ile birleştirilmiş tek bir dağıtılmış üretim ünitesi için güç akışını kontrol etme yöntemini sunmaktadır. Önerilen kontrol tekniği, sağlam bir voltaj denetleyici ve bir sürekli akım denetleyici üzerinde çalışan üç fazlı üç hattalı bir inverter yapısına dayanmaktadır. Bu kontrol yaklaşımı, enerji akışını düzenlemek ve şebekeye besleme yapmak amacıyla kullanılmaktadır.

Enerji iletim hattı parametrelerini elde etmek ve bu bilgiyi güç akışını önceden düzenlemek için kullanmak için, Newton-Raphson Yöntemi'ne dayalı bir parametre tahmini tekniği ve önceden denetim güç akış kontrol tekniği geliştirilmiştir. Bu, enerji iletim hattının karakteristiklerini doğru bir şekilde hesaplamak ve enerji akışını planlama ve düzenleme açısından önemlidir. Ayrıca, güç kontrol döngüsünün kararlılığı, Lyapunov doğrudan yöntem kullanılarak matematiksel olarak kanıtlanmıştır. Bu, enerji akışının güvenilir bir şekilde kontrol edildiğini ve dengeye ulaştığını gösterir. Makale aynı zamanda, enerji iletim hattındaki harmonik bozulmalarla başa çıkmak ve hat akımını harmoniksiz hale getirmek için bir harmonik güç kontrol tekniği önermektedir. Bu, enerji iletim hattındaki harmoniklerin etkilerini minimize etmek ve güç kalitesini artırmak amacıyla kullanılır.

Bu model tarafından üretilen sinyallerin Matlab dışındaki platformlara aktarılabilir olması önemlidir. Başka bir potansiyel uygulama ise integral modelin donanım tabanında uygulanması olabilir, bu sayede belirli bir yaklaşımın gerçek dünya performansını test etmek mümkün hale gelir. Bu, şu anda canlı bir araştırma hattı olan bir uygulamadır. Ayrıca, mevcut ekipman veya donanım uygulamalarının doğruluğunu test etmek için kullanılabilir. Özetle, bu makale, literatürde bulunan Gerilim-Kontrollü (GK) bozulmalarının farklı tiplerini içeren bir integral matematiksel model sunmaktadır. Bildiğimiz kadarıyla, bu modelin yazılı temsili, herhangi bir ilgili araştırmacı tarafından indirilebilecek ve değiştirilebilecek şekilde serbestçe sunulan ilk modeldir. Bu, GK olaylarının otomatik tespiti ve sınıflandırıcılarının hızlı bir şekilde geliştirilmesi için son derece faydalı olabilir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın hem simülasyonlarla hem de gerçek dünya deneyleriyle desteklenmiş sonuçları, önerilen kontrol yaklaşımının enerji akışı düzenleme ve hat akımı düzenleme konularında etkili olduğunu göstermektedir. Bu tür bir kontrol yaklaşımı, dağıtılmış enerji üretimi ve enerji iletim sistemleri için daha verimli ve güvenilir çalışma imkanı sunmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI [CONFLICTS OF INTEREST]

Yazarlar arasında ve ilgili kurumları arasında herhangi çıkar çatışması olmadığını bildirmişlerdir.

ETİK KURALLARA UYGUNLUK [COMPLIANCE WITH ETHICAL RULES]

Yazarlar bu makalenin etik kurul onayı veya herhangi bir özel izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR [REFERENCES]

- [1] A. Narang, "Impact of large scale distributed generation penetration on power system stability," *Natural Resources Canada, CETC*, March 9, 2006.
- [2] N. Patel, K. Gandhi, D. Mahida, P. Chudasama, "A review on power quality issues and standards", *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 4, pp. 247-250, 2017.
- [3] M.I. Muhamad, N. Mariun, M.A.M Radzi, "The effects of power quality to the industries", in *Proc. 5th Student Conf. Research and Development*, pp. 1-4, 2007.
- [4] R. Igual et al., "Herramienta libre para el aprendizaje del efecto de los armónicos en los sistemas de potencia", in *Proc. XXIV Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación*, Valencia, pp. 43, 2017.
- [5] IEEE. (2009). Recommended practice for monitoring electric power quality. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5154067/>
- [6] Cenelec. (2011) EN 50160. Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems.
- [7] O.P. Mahela, A.G. Shaik, N. Gupta, "A critical review of detection and classification of power quality events", *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 41, pp. 495-505, 2015.
- [8] S.A. Deokar, L.M. Waghmare, "Integrated DWT-FFT approach for detection and classification of power quality disturbances", *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 61, pp. 594-605, 2014.
- [9] Hossain, E., Tür, M. R., Padmanaban, S., Ay, S., & Khan, I. (2018). Analysis and mitigation of power quality issues in distributed generation systems using custom power devices. *Ieee Access*, 6, 16816-16833.
- [10] S. Naderian, A. Salemnia, "An implementation of type-2 fuzzy kernel based support vector machine algorithm for power quality events classification", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 27(5), 2016.
- [11] A.E. Lazzaretti, V.H., Ferreira, H. Vieira, "New trends in power quality event analysis: novelty detection and unsupervised classification", *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, vol. 27(6), pp. 718-727, 2016.
- [12] H. Eristi, Ö. Yıldırım, B. Eristi, Y. Demir, "Optimal feature selection for classification of the power quality events



- using wavelet transform and least squares support vector machines”, *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 49, pp. 95–103, 2013.
- [13] Tür, M. R., Mohammed, W., SHOBOLE, A. A., & Gündüz, H. (2021). Integration problems of photovoltaic systems-wind power, solutions and effects on power quality. *European Journal of Technique (EJT)*, 10(2), 340-353.
- [14] [4] J.G. Sootweg, S. de Haan, H. Polinder, W. Kling, Modeling new generation and storage technologies in power system dynamics simulations, in: *Proceedings IEEE Summer Meeting*, Chicago, July 2002.
- [15] A. M. Azmy and I. Erlich, “Impact of distributed generation on the stability of electrical power system,” in *Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting*, vol. 2, pp. 1056–1063, June 2005.
- [16] Syafii, K.M. Nor, M. Abdel-Akher, “Analysis of three phase distribution networks with distributed generation” *IEEE 2nd International on Power and Energy Conference (PEC)*, pp.1563 – 1568, 2008.
- [17] Liu Qingzhen, Cai Jinding, “A Integrated Power Flow Algorithm for Radial Distribution System with DGs Based on Voltage Regulating” *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)* pp.1-4, 2010
- [18] M.Z. Kamh, R. Irvani, "A Unified Three-Phase Power-Flow Analysis Model For Electronically Coupled Distributed Energy Resources" , *IEEE Trans. on Power Delivery* vol. 26, no. 2 , pp. 899 – 909, 2011
- [19] S. Elsaiah, M. Benidris, J.Mitra, “Power flow analysis of distribution systems with embedded induction generators” *North American Power Symposium (NAPS)*, pp.1 – 6, 2012
- [20] S. Khushalani, N. Schulz, “Unbalanced Distribution Power Flow with Distributed Generation” *IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition*, 2005/2006 PP. 301 – 306, 2006
- [21] S.A. Deokar, L.M. Waghmare, “Integrated DWT–FFT approach for detection and classification of power quality disturbances”, *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 61, pp. 594–605, 2014.
- [22] J.G.M.S. Decanini, M.S. Tonelli-Neto, F.C.V. Malange, C.R. Minussi, “Detection and classification of voltage disturbances using a fuzzy- ARTMAP-wavelet network”, *Electric Power Systems Research*, vol. 81, pp. 2057– 2065, Dec. 2011.
- [23] K. Manimala, K. Selvi, R. Ahila, “Optimization techniques for improving power quality data mining using wavelet packet based support vector machine”, *Neurocomputing*, vol. 77, pp. 36–47, 2012.
- [24] S. Naderian, A. Salemnia, “An implementation of type-2 fuzzy kernel based support vector machine algorithm for power quality events classification”, *International Transactions on Electrical Energy Sys.*, vol. 27(5), 2016.
- [25] J. Li, Z. Teng, Q. Tang, J. Song, “Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using Double Resolution S-Transform and DAGSVMs”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 65(10), October 2016.
- [26] N. Huang, D. Xu, X. Liu, L. Lin, “Power quality disturbances classification based on S-transform and probabilistic neural network”, *Neurocomputing*, vol. 98, pp. 12–23, 2012.
- [27] Z. Moravej, M. Pazoki, A.A. Abdoos, “Wavelet transform and multiclass relevance vector machines based recognition and classification of power quality disturbances”, *Euro. Trans. Electr. Power*, vol. 21, pp. 212–222, 2011.
- [28] S. Khokhar, A.A.M. Zin, A.S. Mokhtar, N. Ismail, "MATLAB/Simulink based modeling and simulation of power quality disturbances," in *Proc. IEEE Conf. on Energy Conversion (CENCON)*, Johor Bahru, pp. 445-450, 2014.
- [29] Tur, M. R., & Bayindir, R. (2020, July). “Comparison of Power Quality Distortion Types and Methods Used in Classification”. In *2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE)* (pp. 1-7). IEEE.
- [30] A. Milchevski, D. Kostadinov, D. Taskovski, “Classification of power quality disturbances using wavelets and support vector machine”, *Elektronika ir Elektrotehnika*, vol. 19(2), pp.25-30, 2013.
- [31] M. Lopez-Ramirez, L. Ledesma-Carrillo, E. Cabal-Yepey, C. Rodriguez-Donate, H. Miranda-Vidales, A. Garcia-Perez, “EMDbased feature extraction for power quality disturbance classification using moments”, *Energies*, vol. 9(7), 565, 2016.
- [32] X.S. Liu, B. Liu, D.G. Xu, “Recognition and Classification of Power Quality Disturbances on the basis of Pattern Linguistic Values”, *J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 11(2), pp. 309-319, 2016.
- [33] C.Y. Lee, Y.X. Shen, “Optimal Feature Selection for Power-Quality Disturbances Classification”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 26(4), October 2011.
- [34] R. Kumar, B. Singh, D.T. Shahani, “Symmetrical components-based modified technique for power-quality disturbances detection and classification”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 52(4), pp. 3443 – 3450, July/August 2016.
- [35] O. Amanifar, M.E. Hamedani Golshan, \Optimal distributed generation placement and sizing for loss and THD reduction and voltage pro le improvement in distribution system using particle swarm optimization and sensitivity analysis", *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, Vol. 3, pp. 47{53, 2011.
- [36] A. Eajal, M.E. El-Hawary, \Optimal capacitor placement and sizing in unbalanced distribution system with harmonic consideration using particle swarm optimization", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 25, pp. 1734{1741, 2010.
- [37] V. Miranda, \Wind power, distributed generation: new challengers, new solutions", *Turkish Journal of Electrical Engineering*, Vol. 14, pp. 455{473, 2006.
- [38] Tur, M. R., & Yaprakdal, F. (2020). “Investigation of power quality in a system based on renewable energy



- sources.” Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji, 8(3), 572-587.
- [39] R. Igual, C. Medrano, F. J. Arcega and G. Mantescu, "Integral mathematical model of power quality disturbances," 2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Ljubljana, Slovenia, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICHQP.2018.8378902
- [40] Talha B.D, Mubashir S.M.K, Muhammad A, "Distributed energy systems: A review of classification, technologies, applications, and policies" Energy Strategy Reviews, Volume 48, 2023, 101096, ISSN 2211-467X
- [41] Y. Zhu, K. Tomsovic, "Adaptive power flow method for distribution systems with dispersed generation", IEEE Trans. Power Deliv. 17 (3) (2002) 822–827.
- [42] Chen Th, Chen Ms, Inoue T. 'Three-phase cogenerator and transformer models for distribution system analysis', IEEE Trans. Power Deliv., 1991, 6, (4), pp. 1671–1681
- [43] Feijoo Ae, Cidras J 'Modeling of wind farms in the load flow analysis', IEEE Trans. Power Syst., 2000, 15, (1), pp. 110–115
- [44] Teng Jh: 'A direct approach for distribution system load flow solutions', IEEE Trans. Power Deliv., 2003, 18, (3), pp. 882–887
- [45] Şener, B. (2017). Çift gözlü kapların parçalı bastırıcı ile derin çekilmesinde en iyileme amaçlı bir algoritma geliştirilmesi (Doctoral dissertation).
- [46] Marco A. Et. Al. (2017), A novel methodology for modeling waveforms for power quality disturbance analysis, Electric Power Systems Research, Volume 143, 2017, 14-24, ISSN 0378-7796,
- [47] Kitiş, U. (2020). Değişken yol şartlarında elektrikli araçların anlık moment ihtiyaçlarının Lyapunov tipi bir gözlemleyici ile tespiti ve kontrolü.
- [48] M. Dai, M. N. Marwali, J. . -W. Jung and A. Keyhani, "Power flow control of a single distributed generation unit with nonlinear local load," IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, 2004., New York, NY, USA, 2004, pp. 398-403 vol.1, doi: 10.1109/PSCE.2004.139764