

# Güç Kalitesi Bozucusu Jeneratörü: Teorisi ve Simülasyonu

## Power Quality Disturbance Generator: Theory and Simulation

Lütfü Sarıbulut, Serkan Yüzbaşıoğlu, M. Emin Meral, Ahmet Teke, Mehmet Tümay

Çukurova Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 01330, Balcalı, Adana/Türkiye  
E-posta: lsaribulut@cu.edu.tr, seryuz@gmail.com, emeral@cu.edu.tr, ahmetteke@cu.edu.tr, mtumay@cu.edu.tr

### Özet

*Bu çalışmada özel güç aygıtları (CPD) olarak adlandırılan STS, DVR, DSTATCOM gibi cihazların test edilmesinde kullanılan Güç Kalitesi Bozucu Jeneratörün (PQD-G) teorisi ve simülasyon çalışması sunulmuştur. Endüstriyel alanda ve iletim hatlarında çok karşılaşılan gerilim düşümü/yükselimi, gerilim kesilmesi, faz kayması ve gerilim harmoniği gibi güç kalitesi sorunları PQD-G jeneratörü tarafından kolaylıkla üretilebilmektedir. PQD-G jeneratörünün modellenmesi ve durum çalışmaları ile sistemin performansının test edilmesinde PSCAD/EMTDC simülasyon programı kullanılmıştır. Bununla birlikte, programda tasarlanan kullanıcı arayüzü ile istenen zamanda ve özellikle bozucu etkenler kolaylıkla üretilebilmektedir. Durum çalışmalarından alınan sonuçlarda PQD-G'nin iletim hatlarında karşılaşılan güç kalitesi bozucu etkenleri başarılı bir şekilde üretebildiği görülmüştür.*

### Abstract

*In this paper, the theoretical and the simulation study of Power Quality Disturbance Generator (PQD-G) are presented in order to use for testing the Custom Power Devices (CPD) such as STS, DVR, and DSTATCOM etc. Power quality problems mostly faced in the industrial areas such as voltage sag, voltage swell, outage, phase shifting and voltage harmonics are produced easily by PQD-G generator. PSCAD/EMTDC simulation program is used for modeling of PQD-G system and testing the performance of the system with case studies. In addition, the disturbances which are generated by PQD-G is generated easily at any desired amplitude and any time by using the designed friendly-user interface in PSCAD/EMTDC program. The results taken from the case studies showed that PQD-G is successfully generated the power quality problems faced in the transmission lines.*

### 1. Giriş

Günümüzde, endüstriyel alanlarda kullanılan elektronik ekipmanların geçmiş yıllara nazaran daha hassas olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, endüstri yöneticilerin azalan hammadde/üretim süresine ve kar marjı kaybına karşı önlemler almalarına sebep olmaktadır. Genellikle endüstriyel tüketiciler, sistemdeki ekipman hatalarının düşük güç kalitesi ve gerilim kaynağından oluşan bozucu etkenlerden dolayı oluştuğunu düşünmekte iken son tüketiciler kullandıkları cihazları başlıca güç kalitesi problemi olarak görmektedir [1]. Modern güç sistemlerinin denetleme ve kontrol etme

ihtiyaçlarının artması, kullanıcılar tarafından güç sistemlerinin izlenilmesini yaygın hale getirmiştir [2]. Endüstriyel uygulamalarda ve teknolojik şirketlerde kullanılan elektronik/bilgisayar ekipmanların güç kalitesini bozucu etkenleri giderek artmaktadır. Bu bozucu etkenlerden gerilim yükselimi/düşümü, gerilimde dengesizlik, gerilim bozunumu, periyodiksel gerilimde çentik, gerilim dalgalanması ve hat kesilmesi IEEE standartları tarafından tanımlanmıştır [3]. Bu bozucu etkenler içerisinde en önemli olanları gerilim yükselimi/düşümüdür. Bu etkenlerden dolayı güç sistemlerinde hatalar meydana gelmektedir. Bu bozucu etkenler endüstriyel ünitelerde zarar verici sonuçlar meydana getirerek, elektronik ekipmanların hassasiyetlerini yitirmesine sebep olmaktadır. Bir çok sanayi işletmesi, sistemlerini bu tür bozucu etkenlerden korumak, mali kaybı en aza indirmek ve sistem performansının artmasını sağlamak amacıyla bir takım ekipmanlar kurmayı istemektedirler. Kullanıcıların kendi çalışma alanlarında güç kalitesi ile ilgili hedeflerini elde edebilmeleri için birçok standart, zorunluluk ve yönerge bulunmaktadır. Bununla birlikte, ziyaretçilerin ve saha personellerinin güvenliği, ünitenin çalışması ve tasarımı kadar büyük önem taşımaktadır [4].

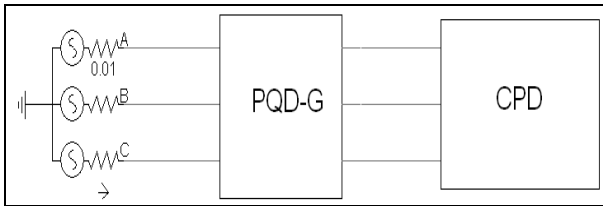
Güç iyileştirme teknolojisi, son kullanıcı yükler tarafından meydana gelen güç kalitesi sorunlarını çözümlenmekte kullanılan aygıtları içermektedir. Özel Güç (CP), kavram olarak güç elektroniğinin orta gerilim dağıtım sistemlere uygulanmasıdır. CP, elektrik tüketicilerin güç kalitesindeki bozunumlara karşı ihtiyaç duydukları kalite ve güvenilirliği sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Özel güç aygıtı (CPD) bu cihazlardan bir tanesidir. CP aygıtları (kontrolörleri) statik anahtarlar, evirgeçler, dönüştürücüler, enjeksiyon transformatörleri, ana kontrol üniteleri, enerji depolama üniteleri gibi birimlerden oluşmaktadır. Bu aygıtlar, dağıtım sisteminde güç kalitesini ve güvenilirliğini artırmak için iletim hattı akımının kesilmesi veya geriliminin düzenlenmesi gibi sistemin dinamiklerini değiştirebilen özelliklerine sahiptir [5]. CP aygıtlarına dinamik gerilim iyileştiricisi (DVR), statik transfer anahtarı (STS) ve dağıtım sistemi statik kompensatörü (DSTATCOM) gibi cihazlar örnek verilebilir. Bu cihazlar güç sistemlerini ve kritik yükleri korumak için geliştirilmiştir. Yüksek güçlü CP aygıtlarının, gerçek sahalarına kurulumlarından önce çeşitli güç kalitesi bozucu etkenlere maruz bırakılarak test edilmeleri gereklidir. Güç elektroniğine dayalı test cihazlarından olan gerilim düşümü, gerilim yükselimi gibi bozucu etkenler üreten üreteçler geliştirilerek, CP aygıtları test edilmektedir [1-6]. Kore Özel Güç Test Merkezi'nin (KCPT) testinde kullanılmak üzere SSFG (Düşüm, yükselim ve kırışma) jeneratörü sunulmuş ve bu

jeneratörün üç farklı kontrol metodundan bahsedilmiştir [1]. Güç kalitesi bozucu jeneratörü, basit yapısı ve kontrol mekanizmasıyla sunulmuştur [2]. Üç-faz gerilim düşüm üretici tanımlanmış ve bu üreteç modeli ile farklı kontrol stratejileri incelenmiştir [6]. Endüstriyel teçhizatları test etmek için dizel güçle çalışan üç-faz gerilim düşüm jeneratörünü, üç-faz senkron jeneratörünün yeniden tasarlanmasından elde edilmiştir [7]. Üç-faz harmonik üretici tanımlanmış ve öğrenme amaçlı olarak harmoniklerle ilgili problemleri araştırmalarda kullanılmak üzere gerçekleştirilmiştir. Test altındaki üreticinin kontrolü ve test sisteminin bilgilerinin alınmasında, veri toplama donanımına sahip 486-tabanlı bilgisayar kullanılmıştır [8-9]. Gerilim düşümü ve yükselimi önlemek için Dağıtım-Birleşik Güç Akış Kontrolcüsü (D-UPFC) kullanılmıştır [10]. Modelin yapısında alternatif akım (AA) devresi, seri transformatör ve anahtarlar kullanılmıştır. Seri transformatörün ikinci ve üçüncü dereceden bölümleri gerilim düşümü/yükselimi kontrol amaçlı olarak birbirlerine anahtarlara bağlanmaktadır.

Bu çalışmada, yeni güç kalitesi bozucusu jeneratörü (PQD-G) önerilmiş ve simülasyon programıyla modellenmiştir. Gerilim düşümü, yükselimi, gerilim harmonikleri, faz kayması ve hat kesilmesi gibi iletim hatlarında ve endüstriyel sahada meydana gelen bozucu etkenler, geliştirilen PQD-G ile kolaylıkla üretilmektedir. Sistem, kontrolsüz üç-faz doğrultmaç, doğru akım (DA) kondansatörü ve 12 darbeleri kontrol edilebilen tam dalga evirgeç bölümlerinden oluşmaktadır. PQD-G sistemini simüle etmek ve simülasyon durum çalışmalarını uygulamak için PSCAD/EMTDC simülasyon programı kullanılmıştır [11]. Bu programda, FORTRAN derleyicisi kullanılarak yeni bileşen oluşturabilmektedir. Bu özellikten yararlanılarak, PQD-G'nin kolaylıkla simülasyon ortamında kullanılması amaçlanarak kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur. PQD-G sistemiyle DVR, STS ve DSTATCOM gibi cihazlarla birlikte diğer yüksek güçlü cihazların gerçek sahalara kurulumlarından önce performanslarını test etmek ve değerlendirmek PQD-G sayesinde mümkün olabilmektedir

## 2. PQD-G'nin Devre Şeması

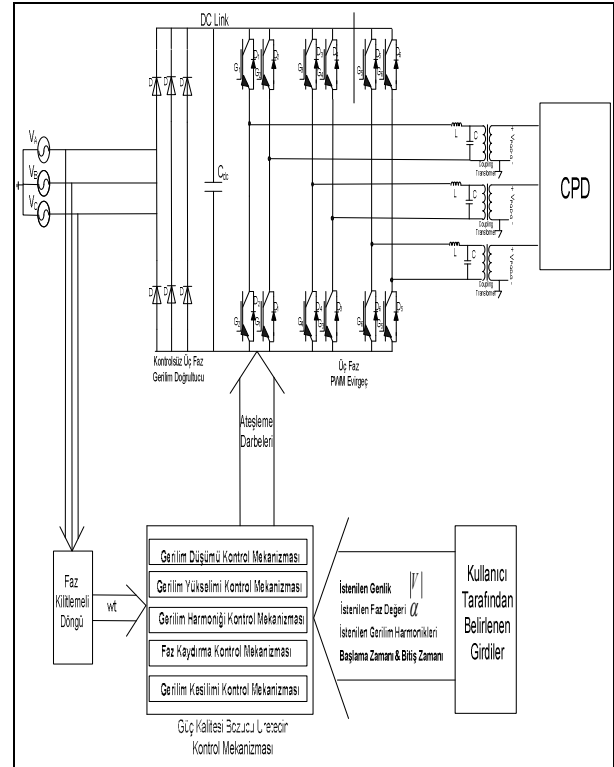
PQD-G jeneratörünün genel yapısı ve CP aygıtlarına bağlantı şekli, PSCAD/EMTDC programından alınan gösterimi ile Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: PQD-G'nin basit şeması

Üreteç yapısal olarak gerilim kaynağına seri olarak bağlanmakta ve iki bölümünden oluşmaktadır. İlk bölümde üç-faz kontrolsüz doğrultmaç ve doğru akım (DA) kondansatörü, ikinci bölümünde IGBT'li (insulated gate bipolar transistor) üç-fazlı darbe-geişlik modülasyon (PWM) evirgeci kullanılmaktadır. Kontrol sistemi gerekli parametrelerin ayarlanabilmesi için kolay ve esnek dizayn edilmiştir. İki bölümün bağlantı noktasında kullanılan DA kapasitörü kontrolsüz doğrultmaç tarafından sürekli şarj edilerek gerilimi

belirli seviyede tutulur. PWM evirgecin yapısından kaynaklanan harmoniklerin kötü etkilerini hafifletmek için pasif filtre kullanılarak iletim hattına kuplaj transformatörleri yardımı ile bağlanmıştır. Kaynak [6]'da kullanılan modelde, iletim hattına tek-faz gerilim düşüm/yükselimi bozucu etkeni uygulandığında, diğer fazlarda etkilenecek gerilim seviyelerinde değişim oluşmuştur. Bu nedenle, PQD-G sistemindeki PWM evirgeci, yapısal olarak 12 darbeleri olarak dizayn edilerek her faz bağımsız olarak kolaylıkla kontrol edilmiştir. PQD-G sisteminin detayları grafiksel olarak Şekil 2'de gösterilmiştir



Şekil 2: PQD-G'nin detaylı konfigürasyonu

## 3. PQD-G'nin Kontrol Birimleri

PQD-G üretici, gerilim düşümü, gerilim yükselimi, gerilim harmoniği, faz kayması ve gerilim kesinti gibi güç kalitesi bozucu etkenleri kolaylıkla üretilmektedir. İletim hattıyla aynı faz açısında bozucu etkenleri üretilmek için faz kilitli döngü (PLL) kullanılarak hattın faz açısı ( $wt$ ) bulunur. Kullanıcı tarafından istenen bozucu değerler (genlik, faz kayması, başlama/bitiş zamanı gibi) belirlenerek, PQD-G'nin kontrol arayüzü kullanılarak kontrol mekanizmasına girilir. Kontrol mekanizması tarafından,  $wt$  bilgisi ile birlikte kullanıcının belirlediği değerler denklem (1) ve denklem (2)'de kullanarak referans güç kalitesi bozucu sinyal elde edilir. PWM tekniğinden yararlanılarak referans sinyal, üçgen dalga yakalama sinyali (frekans= 5000 Hz) ile karşılaştırılarak IGBT'ler için ateşleme sinyalleri üretilir. PQD-G üreticinin çıkış gerilimi, iletim hattına bağlandığı kuplaj transformatörünün sekonder gerilimidir ( $V_{PQD-G}$ ). Şekil 2'de kontrol mekanizması beş aşamalı olarak gösterilmiş, bu aşamaların A fazı için matematiksel denklemleri aşağıdaki bölümlerde bahsedilmiştir.

### 3.1. Gerilim düşümü, gerilim yükselimi ve faz kaymasının matematiksel ifadesi

PLL' den elde edilen  $\omega t$  ve kullanıcının tarafından istenilen yüzdelik genlik ( $|V|$ ), faz kayması ( $\alpha$ ), başlama zamanı, bitiş zamanı gibi parametreler PQD-G' nin kontrol mekanizması tarafından denklem (1)' de kullanılarak gerçekleştirilir.

$$V_{PQD-G} = |V| \sin(\omega t + \alpha) \quad (1)$$

$|V|$ : kullanıcı tarafından belirlenen genlik. Genlik değeri, gerilim düşümü için 0.3 birim değerden (pu.) 0.7' pu. aralığında, gerilim yükselimi için 1.1 pu. değerden 1.5 pu. değer aralığında seçilebilir [12].  $\alpha$  : Kullanıcı tarafından belirlenen faz kayma açısıdır.

### 3.2. Gerilim harmoniğinin matematiksel ifadesi

Tek harmonikler, evirgecin yapısından dolayı doğal olarak oluşmakta ve bu harmoniklerin zararlarının azaltılması için pasif filtreler kullanılmaktadır. Evirgeçten oluşan doğal harmoniklerin matematiksel olarak ifade edilişi denklem (2)' de verilmiştir [13]. Kullanıcı tarafından istenilen 5nci, 7nci, 17nci, vb gibi tek gerilim harmonikleri PQD-G' nin kontrol mekanizması tarafından denklem (2) kullanılarak üretilir.

$$V_{PQD-G} = |V| \left[ \sin(\omega t + \alpha) + \frac{\sin(5\omega t)}{5} + \frac{\sin(7\omega t)}{7} \right] \quad (2)$$

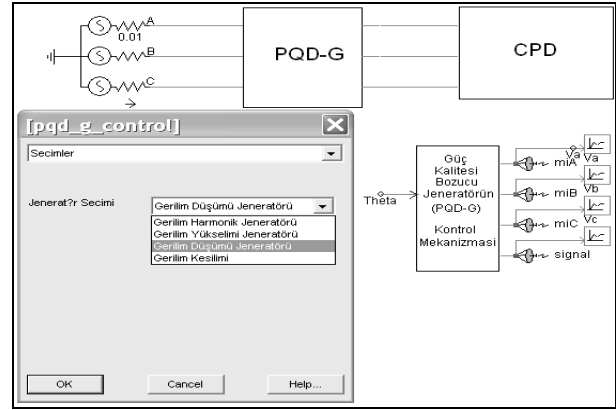
### 3.3. Gerilim kesiminin matematiksel ifadesi

Gerilim düşümü ve gerilim yükselimi farklı olarak, iletim hatlarında oluşan kısa süreli hat gerilim değerinin 0.1 pu. değerinden daha düşük değerlere düşmesi ve süresinin bir dakikayı aşmaması durumlarına gerilim kesimi (outage) olarak ifade edilir [12]. Gerilim kesimi, PQD-G' nin kontrol mekanizması tarafından gerilim düşümü/yükselimi benzer şekilde denklem (2) kullanılarak üretilir.

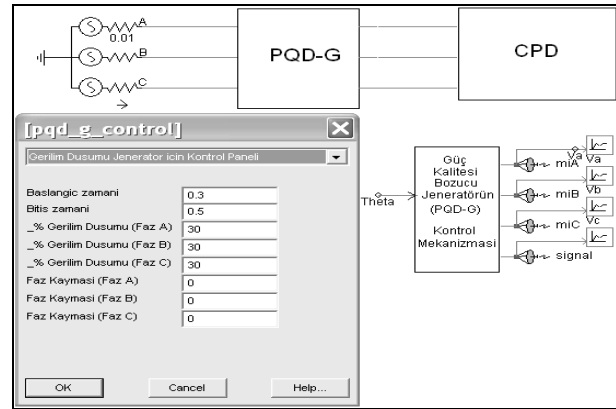
## 4. Kullanıcı Arayüzü

PSCAD/EMTDC simülasyon programı FORTRAN derleyicisi tabanlı çalışan bir programdır. Bu özellikten yararlanılarak PQD-G' nin kullanım kolaylığını sağlamak için FORTRAN derleyicisi kullanılarak "kullanıcı arayüzü" geliştirilmiştir PSCAD/EMTDC programından alınan bu arayüz Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmektedir. İstenilen gerilimin PQD-G tarafından üretilebilmesi için parametre girilmesi gerekmektedir. İstenilen jeneratörün ve parametrelerin girilebilmesi için ilk önce jeneratör türü seçilmelidir. PQD-G jeneratörü 4 çeşit jeneratör özelliği içermektedir. Bu jeneratörlerden istenilenin kullanıcı tarafından seçilmesi Şekil 3'te görülmektedir. Jeneratör seçimi ile jeneratöre ait parametre girişi aktif olmakta ve kullanıcı başlama/bitiş zamanı gibi istenilen değerleri girebilmektedir. Örneğin, gerilim düşüm jeneratörünün çalıştırılmasından önce kullanıcı tarafından parametrelerin girişinin yapılması gerekmektedir. Gerilim düşümü jeneratörü için parametre girişi Şekil 4 'te görülmektedir. Gerilim yükselimi ve gerilim kesilmesi jeneratörlerinin seçimi ve parametre değerlerinin girilmesi

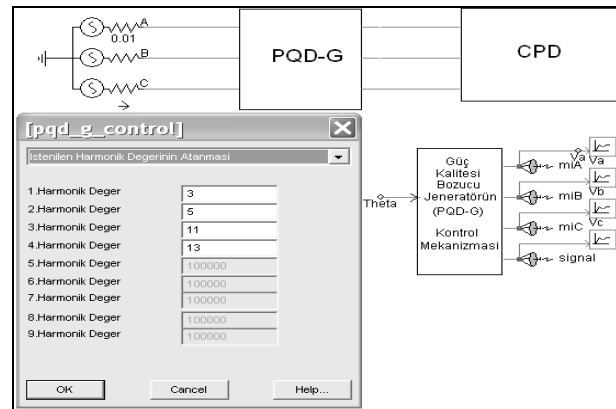
benzer şekilde olmaktadır. Gerilim harmoniği jeneratörünün parametre seçimi diğer jeneratörlerden farklıdır. Kullanıcı tarafından istenilen harmonikler kullanıcı arayüzünde belirlenir (Şekil 5). Belirlenen değerler kontrol mekanizması tarafından kullanılarak harmonikli gerilimin referansı üretilir. Bu referans sinyal, PWM evirgecinde kullanılarak harmonikli gerilim elde edilir.



Şekil 3: Kullanıcı arayüzü ile jeneratör seçimi



Şekil 4: Gerilim düşümü jeneratörü için parametre girişi



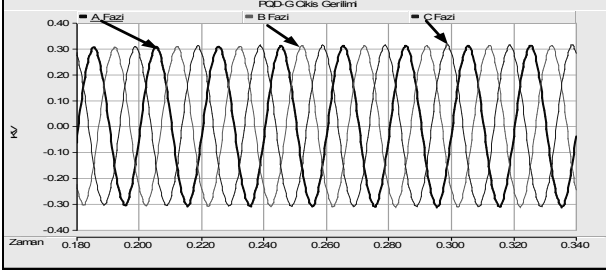
Şekil 5: Gerilim harmoniği jeneratörü için parametre girişi

PQD-G jeneratörünün parametreleri aşağıda verilmiştir:

Gerilim kaynağı parametreleri: 10 kVA, 380 V (L-L), 50 Hz seçilmiştir. PQD-G için  $C_{DC}=200 \mu F$ ,  $L=0.050 \mu H$ ,  $C=10 \mu F$  ve trafoların sarım oranı=0.110/0.110 kV olarak seçilmiştir.

## 5. Durum Çalışmaları

PQD-G jeneratörünün sahip olduğu özellikler ve sistemin performansının gözlenebilmesi için çeşitli durum çalışmaları yapılmıştır. PQD-G jeneratörünün kullanıcı arayüzüne parametre girilmemesi halinde, daha önceden belirlenen değerlere (default) göre çıkış gerilimi elde edilecektir. Bu gerilim çıkışı Şekil 6'da gösterilmiştir.



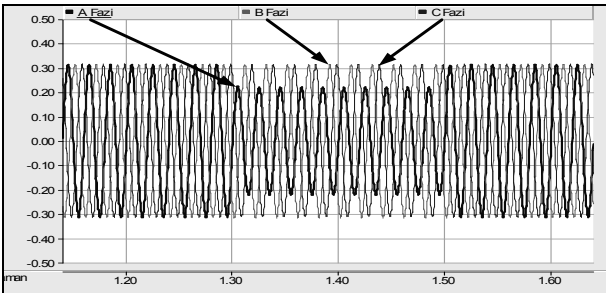
Şekil 6: PQD-G'nin normal (default) çıkış gerilimi

PQD-G jeneratörünün içinde barındırdığı özellikleri 5 alt başlık altında incelenmiş ve çeşitli durum çalışmaları uygulanarak sonuçları simülasyon programından alınan grafiklerle örneklendirilmiştir.

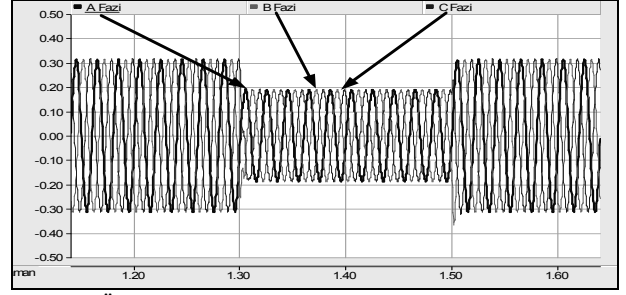
### 5.1. Gerilim Düşümü

Sistemlerin herhangi bir bölümünde bulunan güç dönüşümü santrallerinde veya motorun kalkışında esasında oluşan ve akımın kısa süreli artış göstermesi ile sonuçlanan hatalar gerilim düşümüne sebep olmaktadır. Modern endüstriyel ünitelerde kullanılan teçhizatlar (işlem kontrolörleri, PLC (programlanabilir mantık kontrolörleri), ayarlanabilir hız sürücüler, robotbilim, vs) donanım/ yazılım olarak daha karmaşıklaşmakta ve gerilim düşümlerine daha duyarlı olmaktadır [14]. Gerilim düşümü durumu PQD-G jeneratörü tarafından kolayca üretilebilmekte, CPD veya yüksek güç aygıtları test edilebilmektedir.

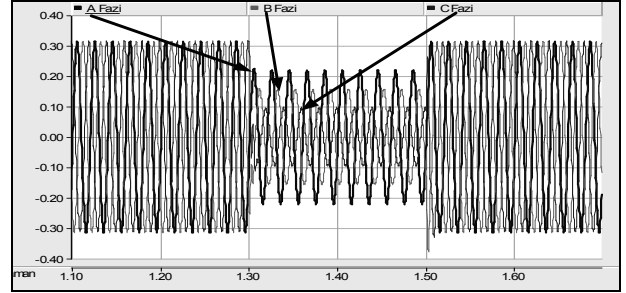
PQD-G'nin gerilim düşümü üretilmesinde performansın incelenmesi için üç durum çalışması uygulanmıştır. İlk durum çalışmasında tek faz (A fazı için %30' luk) gerilim düşümü, ikinci durum çalışmasında üç-faz (üç faz %40' luk) gerilim düşümü ve üçüncü durum çalışmasında üç faz-dengesiz (A fazı için %30, B fazı için %50 ve C fazı için %70) gerilim düşümü uygulanmıştır. Durum çalışmaları 1,3. saniyede başlatılmış ve 1,5. saniyede sonlandırılmıştır. Sonuçlar Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 7: A fazı için %30' luk gerilim düşümü uygulanması



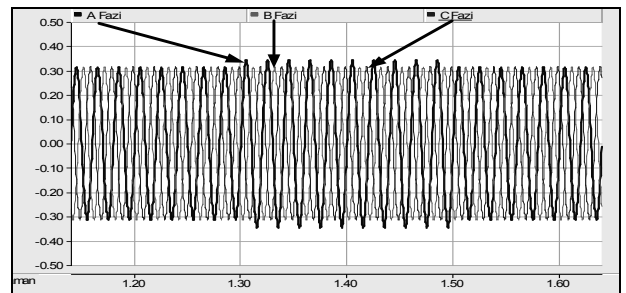
Şekil 8: Üç faz için %40' luk gerilim düşümü uygulanması



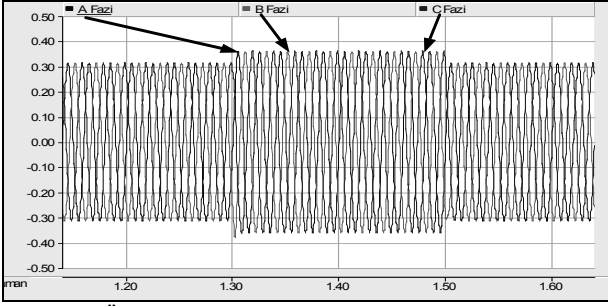
Şekil 9: A fazı için %30, B fazı için %50 ve C fazı için %70' lik gerilim düşümü uygulanması

### 5.2. Gerilim Yükselimi

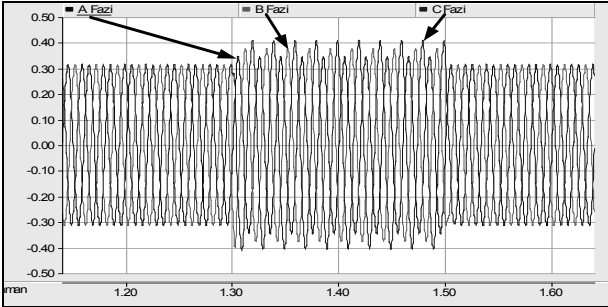
Son yıllarda, fotovoltaik (PV) sistemler gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmış ve gelecekte bir çok avantajlarının yanı sıra bazı zararlı dezavantajlarının olduğu görülmüştür. Bu dezavantajlardan en önemlisi, yerleşim alanlarında kurulan birçok PV sisteminin ters güç akışına sebep olmasından dolayı gerilim yükselmesi oluşmasıdır. Günümüz teknolojisinde bulunan kademe-ayarlı transformatörler gibi yapısında oto transformatör ve hat (line-drop) kompensatörü içeren Adım Gerilim Düzenleyici (SVR), gerilim düşümünü kontrol etmekle birlikte gerilim yükselimi kontrol etmektedir [10]. PQD-G jeneratörü ile birlikte gerilim yükselimi istenilen büyüklükte ve sürede üretilerek CPD test edilebilir. PQD-G'nin gerilim yükselimi üretilmesinde performansın incelenmesi için üç durum çalışması uygulanmıştır. İlk durum çalışmasında tek faz (A fazı için %10' luk) gerilim yükselimi, ikinci durum çalışmasında üç-faz (üç faz %15' luk) gerilim yükselimi ve üçüncü durum çalışmasında üç faz-dengesiz (A fazı için %10, B fazı için %20 ve C fazı için %30) gerilim yükselimi uygulanmıştır. Durum çalışmaları 1,3. saniyede başlatılmış ve 1,5. saniyede sonlandırılmıştır. Sonuçlar Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 10: A fazı için %10' luk gerilim yükselimi uygulanması



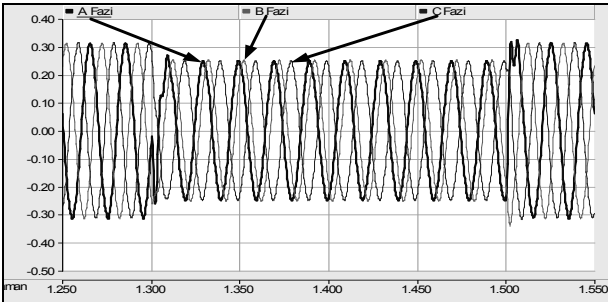
Şekil 11: Üç faz %15' lik gerilim yükselimi uygulanması



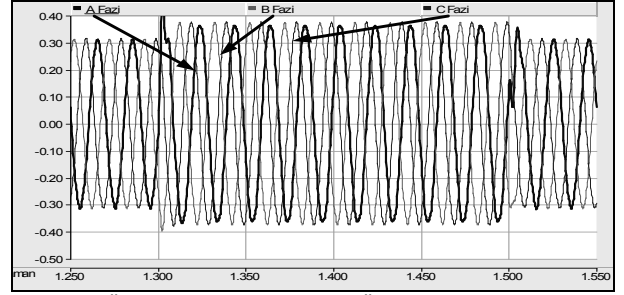
Şekil 12: A fazı için %10, B fazı için %20 ve C fazı için %30' lik gerilim yükselimi uygulanması

### 5.3. Faz Kayması

İletim hatlarında veya yüksek güç sistemlerindeki faz kayması çeşitli nedenlerden dolayı nadir görülen bir bozucu etkidir. CPD ya da yüksek güç cihazları nadir görülen faz kaymasına karşı test edilmeli ve tepkileri incelenmelidir. PQD-G jeneratörü gerilim düşümü ve gerilim yükselimi esnasında fazı kaymış dalga şekilleri üretmektedir. CPD ya da yüksek güç cihazları test edilebilmektedir. PQD-G' nin faz kayması üretilmesinde performansının incelenmesi için iki durum çalışması uygulanmıştır. Durum çalışmaları 1,3. saniyede başlatılmış ve 0,2 saniye sürmüştür. İlk durum çalışmasında A fazı gerilim düşümü esnasında  $70^\circ$  ve ikinci durum çalışmasında gerilim yükselimi esnasında üç faz  $30^\circ$  geciktirilmiştir. Durum çalışmaları sonuçları Şekil 13 ve Şekil 14'te verilmiştir.



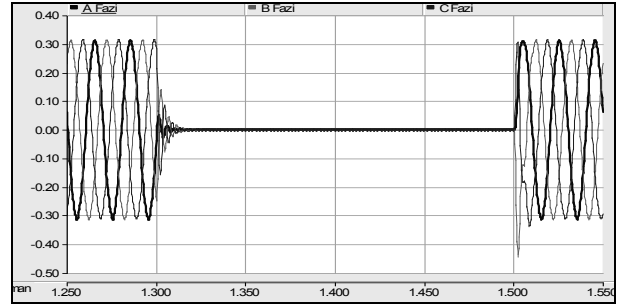
Şekil 13: Üç faz gerilim düşümü (A fazı  $-70^\circ$  geciktirilmiştir)



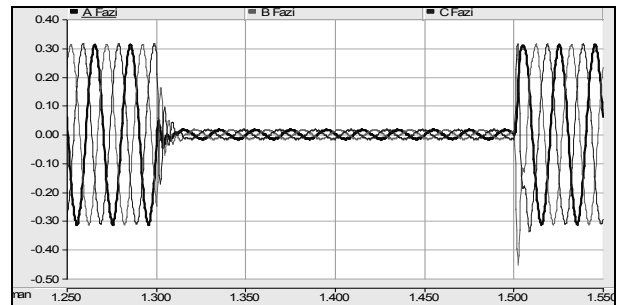
Şekil 14: Üç faz gerilim yükselimi (Üç faz  $-30^\circ$  geciktirilmiştir)

### 5.4. Hat Kesilmesi

Bir dakikadan fazla süren gerilim kesilmelerine uzun vadeli kesilme veya hat kesilmesi denmektedir. Hat kesilmesi gibi bozucu etkilerin kısa süreli olmalarına rağmen sistemlere verdikleri zarar maliyeti büyük miktarda olmaktadır. Örnek olarak, yapılan tahminlere göre beş döngülük bir kesilme (bir saniyenin dörtte birinden daha az bir hat kesilmesi) 200.000 dolara mal olmaktadır [15]. Bu maliyetinin oluşmasını önlemek için koruma cihazlarının hat kesilmelerine karşı test edilmeleri gerekmektedir. PQD-G jeneratörü genliği 0 pu. ile 0.1 pu. arasında olan ve hat kesilmesi olarak nitelendirilen bozucu etkeni kolaylıkla üretebilmekte ve böylelikle yüksek güçlü aygıtlar test edilebilmektedir. Bunun için iki durum çalışması gerçekleştirilmiştir. İlk durum çalışması için hat gerilimi 0.0 pu. değere, ikinci durum çalışmasında ise hat gerilimi 0.5 pu. değere düşürülmüştür. Durum çalışmaları 1,3. saniyede başlatılmış ve 1,5. saniyede bitirilmiştir. Simülasyon sonuçları Şekil 15 ve Şekil 16'da gösterilmiştir.



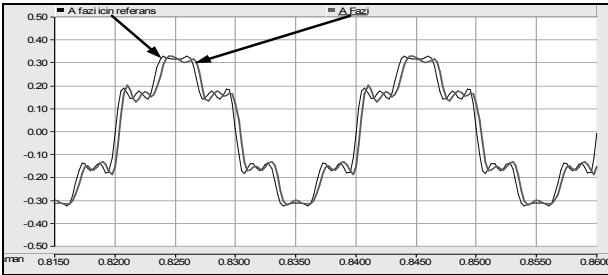
Şekil 15: Üç-faz hat kesimi (0 pu.)



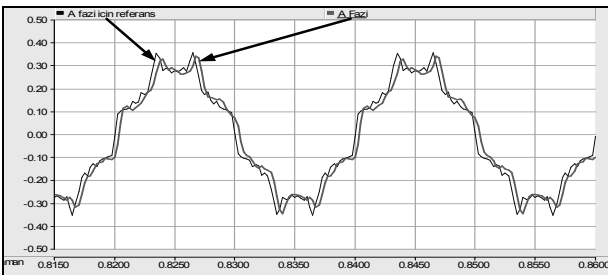
Şekil 16: Üç-faz hat kesimi (0.5 pu.)

## 5.5. Gerilim Harmoniği

Yakın geçmişte anahtarlama kontrollü yarı iletkenlerin kullanıldığı doğrusal olmayan endüstriyel yükler tarafından büyük miktarda gerilim harmonikleri üretilmiştir. Bunun yanı sıra yeni tür yarı iletken mimarisinin kullanıldığı floresan lambaları, klima tertibatları, tv setleri gibi yüklerin kontrolünün kolaylaştırdığı cihazlar önemli harmonik kaynaklardır [16]. Bu cihazların hem yerleşimsel, ticari ve endüstriyel alanlarda verimli enerji kullanımını yükseltmek hem de güç sistemlerinin esnekliğini artırmak amacıyla kullanımı sistem bileşenlerine ve çalışmasına önemli derecede zarar vermektedir [17]. Sistemin, bu zararlara karşı önlem alınabilmesi için önceden gerilim harmoniklerine karşı test edilmelidir. Sisteme zarar veren bu gerilim harmonikleri PQD-G jeneratörü tarafından kolaylıkla üretilmektedir. Gerilim harmoniklerinin PQD-G jeneratörünü tarafından üretilmesi ve performansının incelenmesi için iki durum çalışması uygulanmıştır. İlk durum çalışmasında kullanıcı arayüzünde girilen 5., 7., 11., ve 13., gerilim harmonikleri üretilmiştir. İkinci simülasyon çalışmasında 7., 13., 19., ve 29. harmonikler üretilmiştir. Durum çalışmaları sonuçları grafiksel olarak referans sinyali ve jeneratör sinyalinin karşılaştırılması Şekil 17 ve Şekil 18’de verilmiştir. Donanımsal olarak gerilim harmoniği üretimi sırasında pasif filtrede kullanılan kapasitör 1  $\mu$ F olarak alınmıştır.



Şekil 17: 5'inci, 7'nci, 11'inci ve 13'üncü gerilim harmoniklerinin üretilmesi



Şekil 18: 7'nci, 13'üncü, 19'uncu ve 29'uncu gerilim harmoniklerinin üretilmesi

## 6. Sonuç

Bu çalışmada, CPD veya yüksek güç aygıtlarının devreye alınmadan önce karşılaşılabilecekleri bozucu etkenlere karşı test edilebilmesinde kullanılabilir, yeni kontrol metodu ve kullanıcı arayüzü ile birlikte maliyet bakımından ekonomik güç kalitesi bozucusu jeneratörü PQD-G sunulmuştur. PSCAD/EMTDC simülasyon programı kullanılarak jeneratöre

uygulanan durum çalışmaları ile performansı incelenmiştir. PQD-G jeneratörü gerilim düşümü, gerilim yükselimi, hat kesilmesi, faz kayması ve gerilim harmonikleri gibi beş farklı güç kalitesi bozucusunu üretebilmektedir. DVR, STS ve D-STATCOM gibi özel güç aygıtlarını test amacıyla önerilen sistem tarafından güç kalitesi bozucu etkenler başarıyla üretilmiştir.

Sistem incelendiğinde yapı ve kontrol mekanizması açısından oldukça esnek olduğu görülmektedir. PQD-G yapısı bakımından tek faz veya üç-faz dengeli/dengesiz gerilim dalga şekillerini fazların birbirlerinden etkilenmeden bağımsız olarak üretebilmektedir. Bunun yanı sıra, harmonik üretme özelliğiyle harmonik bozunmalara karşı CPD'lerin test edilebilirliği simülasyon sonuçlarında görülmektedir. PSCAD/EMTDC programında oluşturulan kullanıcı arayüzü, PQD-G'nin kolayca kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Çeşitli durum çalışmalarıyla da bu üretimin bütün özellikleri tek faz ve üç faz olarak gerçekleştirilmiş ve grafiksel olarak sunulmuştur. Simülasyon sonuçlarında, güç kalitesi bozucularının PQD-G tarafından kolayca üretilbildiği ve kullanıcı arayüzünün sistemin kullanımında oldukça kolaylık sağladığı görülmüştür.

## Kaynaklar

- [1] Chung Y. H., Kwon G. H., Park T. B., Kim H. J., Jeon Y. S., "Voltage Sag and Swell Generator with Series Injected Inverter for the KCPP", *Power System Technology, PowerCon International Conference*, Vol. 2, pp. 1589 – 1594, 2004.
- [2] Nho E. C., Kim I.D., Chun T. W., Kim H. G., "Cost-Effective Power Quality Disturbance Generator for the Performance Test of Custom Power Devices", *IEEE Industrial Electronics Society*, Vol. 2, pp. 1606 – 1610, 2004.
- [3] Chung Y. H., Kwon G. H., Park T. B., Lim G. Y., "Voltage Sag and Swell Generator with Thyristor Controlled Reactor", *International Conference on Power System Technology*, Vol. 3, pp. 1933–1937, 2002.
- [4] Sermon R.C., "An Overview of Power Quality Standards and Guidelines from the End-User's Point-of-View", *Rural Electric Power Conference*, pp. B1/1 - B1/5, 2005.
- [5] Sabin D.D., Sannino A., "A Summary of the draft IEEE P1409 Custom Power Application Guide", *IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition*, Vol. 3, pp. 931 – 936, 2003.
- [6] Dokic S. Z., Milanovic J. V., Charalambous K. A., "Computer Simulation of Voltage Sag Generator", *International Conference on Harmonics and Quality of Power*, Vol. 2, pp. 649 – 654, 2002.
- [7] Collins, E.R., Jr., Morgan, R.L., "A three-phase sag generator for testing industrial equipment", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Volume 11, Issue 1, Jan. Page(s):526 – 532 Digital Object Identifier 10.1109/61.484138, 1996.
- [8] Girgis A. A., Makram E. B., T. L. Baldwin, "Computer Based Harmonic Generator Facilities to Study Harmonic Related Problems", *IEEE Power Engineering Review*, Vol. 9, pp. 69 – 69, 1989.
- [9] Makram E. B., Girgis A. A., "A New Method in Teaching Power System Harmonics in the Undergraduate Power

- Curriculum”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 5, pp. 1407 – 1412, 1990.
- [10] Kyungsoo L., Hiroataka K., Kosuke K., “Voltage Sag/Swell Controller by Means of D-UPFC in the Distribution System”, IEEE Photovoltaic Energy Conversion Conference, Vol. 2, pp. 2427 – 2430, 2006.
- [11] Visual Power System Simulation, Web Site Available at: <http://www.pscad.com>.
- [12] Dong Z. Y., Saha T., “Power Quality Equipment Protection”, ELEC,4301, 1-34, 2004.
- [13] Lander C. W., “Power Electronics”, Mc Graw Hill, 2nd. Ed. 1993.
- [14] Bollen M. H. J., “Voltage Recovery after Unbalanced and Balanced Voltage Dips in Three-Phase Systems”, IEEE Transactions on Power, Vol. 18, pp. 1376-1381, 2003.
- [15] Grigsby L. L., “An Overview of Power Quality”, IEEE International Conference on Industrial Technology, pp. 14, 1994.
- [16] Mori H., Itou K., Uematsu H., Tsuzuki S., “An Artificial Neural-Net based Method for Predicting Power System Voltage Harmonics”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, pp. 402 - 409, 1992.
- [17] Zobaa A. F., “Voltage Harmonic Reduction for Randomly Time-Varying Source Characteristics and Voltage Harmonics”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, pp. 816 – 822, 2006.