

# ŞEBEKE GERİLİM DEĞİŞİMLERİNİ SEZME AMAÇLI KONTROL METODLARININ İNCELENMESİ VE PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

<sup>1</sup>Mustafa İnci, <sup>2</sup>Tahsin Koroğlu, <sup>3</sup>K. Çağatay Bayındır, <sup>4</sup>Mehmet Tümay

<sup>1,3,4</sup>Çukurova Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
<sup>2</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

<sup>1</sup>minci@cu.edu.tr, <sup>2</sup>tkoroglu@osmaniye.edu.tr, <sup>3</sup>cbayindir@cu.edu.tr

## ÖZET

Bu çalışmada şebeke geriliminde yaşanan kesintiler, gerilim düşmesi ve gerilim yükselmesi gibi bozuklukların hızlı ve güvenilir bir şekilde tespit edilmesi için literatürde yer alan Geliştirilmiş Faz Kilitlemeli Döngü (EPLL), Senkron Referans Düzlem (SRF), Anlık Güç Teoremi (p-q-r) metodları ile daha önce literatürde incelenmeyen İkinci Dereceden Genelleştirilmiş Integrator Tabanlı Faz Kilitlemeli Döngü (SOGI-PLL) gibi dört farklı kontrol metodu incelenmiş ve performansları değerlendirilmiştir. Bu kapsamda 11 kV gerilim seviyesinde Dinamik Gerilim İyileştirici tasarlanmış, şebeke geriliminde faz atlamalı dengesiz gerilim düşmesi oluşturulmuş ve dört farklı kontrol metodunun gerilim düşmesini sezme performansları PSCAD/EMTDC programı yardımıyla simülasyon ortamında karşılaştırılmıştır. Bu kontrol metodları gerilim değişimlerini hızlı ve doğru tespit etmek için şebeke geriliminin genlik ve faz bilgilerini anlık olarak çıkarabilmekte ve bu bilgiler yardımıyla Dinamik Gerilim İyileştirici (DGİ) tarafından şebeke bağlantı noktasına enjekte edilmesi gereken gerilim elde edilebilmektedir. Benzetim çalışmasında bu dört farklı kontrol metodu kullanılarak DGİ tarafından üretilen ve sisteme enjekte edilen gerilimler de sunulmuştur.

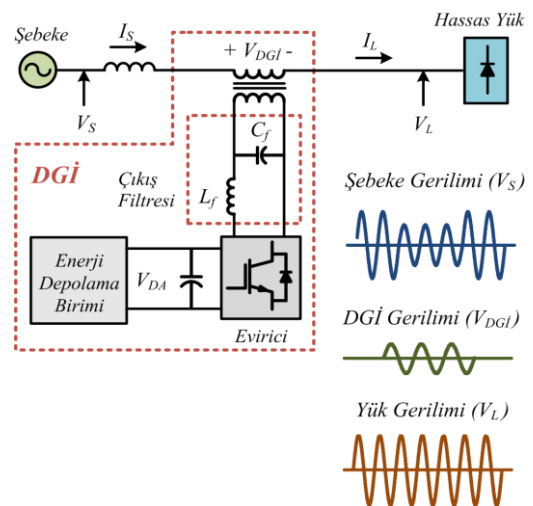
**Anahtar Kelimeler:** Güç kalitesi, Gerilim Düşümünü Sezme Metodları, EPLL, SRF, p-q-r, SOGI-PLL

## 1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde, elektrik enerjisine olan talebin hızla artması ve gelişen teknoloji ile birlikte elektrik güç sistemlerine bağlı yük karakteristiklerindeki değişim elektrik güç kalitesi konusunun önem kazanmasına sebep olmaktadır. Elektrik dağıtım sistemlerinde en sık karşılaşılan elektrik güç kalitesi problemlerinin başında ise gerilim düşmesi ve gerilim yükselmesi gelmektedir [1]. Elektrik dağıtım sistemlerinde ve son kullanıcı yüklerinde gerilim düşmesi ve gerilim yükselmesi problemlerini çözmek için güç elektroniği tabanlı kompanzasyon cihazları geliştirilmiştir. Bunlar; Kesintisiz Güç Kaynağı (KKGK), statik transfer

anahtarı (STA) ve Dinamik Gerilim İyileştirici (DGİ)'dir. Gerilim düşmesi ve gerilim yükselmesinin kompanzasyonu için geliştirilen en etkin sistem Dinamik Gerilim İyileştiricidir (DGİ).

Gerilim düşmesinin veya gerilim yükselmesinin kompanzasyonu için performans ve maliyet açısından en uygun sistem olan DGİ'nin tek hat şeması ve temel kompanzasyon stratejisi şekil 1'de sunulmuştur [2]. DGİ, şekil 1'den de görüldüğü üzere elektrik güç sistemine bir transformator ile seri bağlıdır ve güç devresi temel olarak gerilim kaynaklı evirici (GKE) ve doğru akım (DA) enerji kaynağından oluşmaktadır [3]. Güç sisteminde bir gerilim düşmesi veya yükselmesi olduğunda, DGİ öncelikli olarak bu problemi tespit eder ve yük gerilimini sabit tutmak için gerekli olan referans gerilimi kontrolcü yardımıyla oluşturur. Oluşturulan referans gerilimi daha sonra darbe genişlik modülasyonunda (SPWM) değerlendirilerek GKE için tetik sinyalleri üretilir ve DA enerji kaynağı da kullanılarak sisteme enjekte edilecek gerilim elde edilir. Elde edilen gerilim son olarak seri enjeksiyon transformator ile elektrik güç sistemine aktararak yük gerilimi sabit tutulmaya sağlanır. Bu sayede yük, gerilim düşmesi veya yükselmesi problemlerinden etkilenmemiş olur.



Şekil 1 - Dinamik Gerilim İyileştiricisi Tek Hat Şeması

Dinamik Gerilim İyileştiricilerde, gerilim düşmesi ve yükselmesi olduğu durumlarda gerilimi sabit

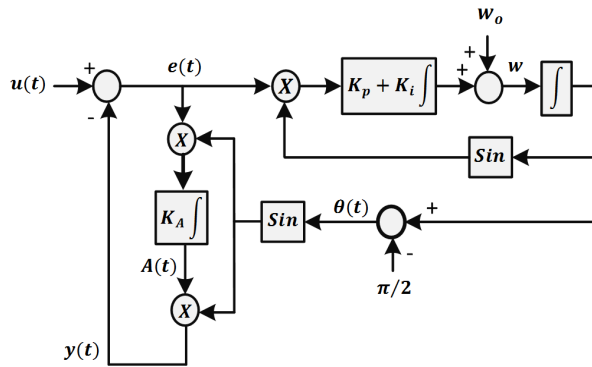
tutmak amacı ile gerilim genlik ve faz bilgisinin en doğru ve en hızlı şekilde tespiti gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı ise dengeli veya dengesiz tek faz, iki faz ve üç faz hata durumlarında oluşan şebeke gerilimindeki değişimin tespiti için kullanılan farklı metotların simülasyon ortamında incelenmesi ve performans kriterlerine göre en iyi metodun belirlenmesidir.

## 2. Gerilim Değişimini Sezme Metotları

Şebekedeki gerilim değişimi durumunda gerilim genliğini ve fazını anlık olarak elde ederek gerilim değişimini tespit eden birbirinden farklı metotlar yer almaktadır. Bu çalışmada ise aşağıda belirtilen metotlar analiz edilmiştir.

### A. Geliştirilmiş Faz Kilitlemeli Döngü (EPLL)

Geliştirilmiş Faz Kilitlemeli Döngü (EPLL) yapısı itibarıyla lineer olmayan adaptif bir filtre olup, giriş sinyalindeki genlik, faz açısı ve frekans bilgilerindeki değişimleri anlık takip edebilmektedir. Güç kalitesi problemleri (harmonik, gerilim düşümü ve gerilim yükselmesi) içeren giriş sinyaline ait temel bileşeni doğru olarak tahmin edebilmektedir [4]. Aynı zamanda basit yapısı EPLL’i gerçek zamanlı gömülü uygulamalarda uygulanabilir kılmaktadır. EPLL, tek faz ve 3-faz sistemlere uygulanabilmekte olup, gürültü ve diğer bozukluklardan etkilenmez. EPLL’in blok diyagramı Şekil 2’de görülmektedir. EPLL, klasik faz kilitlemeli döngü (PLL)’lerdeki gibi Faz Algılama (PD), Alçak Geçiren Filtre (LPF) ve gerilim kontrollü osilatör (VCO) olmak üzere üç kısımdan oluşur.



Şekil 2. EPLL yapısı

EPLL,  $u(t)$  giriş sinyalini alır ve eş zamanlı olarak aşağıdaki sinyalleri elde edebilmektedir [4]:

- Senkronize olmuş temel bileşen,  $y(t)$ ;
- Temel bileşene ait genlik bilgisi,  $A(t)$ ;
- Temel bileşene ait faz açısı,  $\theta(t)$ ;
- Giriş sinyali ve senkronize olmuş temel bileşen farkı (hata sinyali),  $e(t)$ ;
- Frekans sapması,  $\Delta w(t)$ ;

EPLL, matematiksel olarak zaman domeninde üç ana diferansiyel denklemlerle ifade edilebilir [5]:

$$A(t) = \int e(t) \cdot \sin \theta(t) \cdot K_A \cdot dt \quad (1)$$

$$\Delta w = \int e(t) \cdot \sin(\theta + \pi/2)(t) \cdot K_i \cdot dt \quad (2)$$

$$\theta(t) = -\pi/2 + \int [e(t) \cdot \cos \theta(t) \cdot K_p + \Delta w + w_0] dt \quad (3)$$

Hata sinyali giriş sinyalinde meydana gelen toplam bozulma olup, sürekli zaman ifadesi;

$$e(t) = u(t) - \sin \theta(t) \int e(t) \cdot \sin \theta(t) \cdot K_A \cdot dt \quad (4)$$

$K_A$ ,  $K_i$ ,  $K_p$  kazançlar ve integral zaman sabitleri olup, döngünün kilitlenme zamanını, genlik tahmin zamanını ve giriş sinyalinin faz doğruluğunu etkilemektedir. Ayrıca EPLL’in tepki hızını ayarlayan parametrelerdir [6].

### B. Senkron Referans Düzlem (SRF)

Senkron Referans Düzlem (SRF) ya da diğer bilinen ismiyle  $abc/dq$  dönüşüm metodu 3 faz gerilim veya akım bileşenlerini eş zamanlı olarak sürekli iki bileşene dönüştüren sistemdir [7]. Amaçlanan referans çıkarma yönteminde üç faz gerilim sinyalleri sırası ile  $d$  ve  $q$  bileşenlerine dönüştürülür:

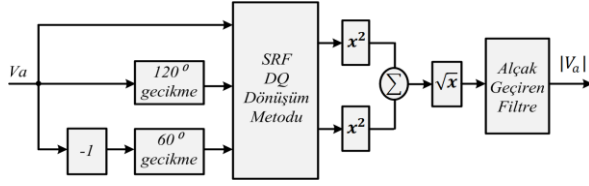
$$\begin{pmatrix} V_d^{(p)} \\ V_q^{(p)} \end{pmatrix} = \frac{2}{3} R(\omega t) C \begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$R(\omega t) = \begin{pmatrix} \cos(\omega t) & -\sin(\omega t) \\ \sin(\omega t) & \cos(\omega t) \end{pmatrix} \quad (7)$$

$R(\omega t)$ ,  $\omega t$  faz açısı ile dönen bir matristir.  $(p)$  üst simgesi SRF’de pozitif bileşenleri ifade etmek için,  $d$  ve  $q$  alt simgeleri ise sırasıyla  $d$ -ekseni ve  $q$ -eksenini göstermek için kullanılmıştır. Denklem (8)’de görülen  $p$  ve  $n$  alt simgeleri  $t=0$  anında pozitif ve negatif bileşen değerlerini belirtmektedir. Stasyonery referans yapısında pozitif bileşen açısı saat yönünde, negatif bileşen açısı ise saat yönünün tersine dönmektedir. Simetrik dengeli hatalarda, pozitif ve negatif SRF bileşenlerinin ayrı ayrı çıkarılmasına gerek yoktur. Simetrik dengeli bileşenlerde  $d$ - bileşeni sabit bir DC değer olup, sadece  $d$ - bileşeninin kullanılması yeterli olup  $q$ - bileşeni sıfırdır. Ancak dengesiz hatalar sistemde negatif bileşen oluşmasına sebep olup,  $dq$  dönüşüm metodu kullanılarak pozitif ve negatif bileşenlerin ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir [8].

$$\begin{pmatrix} V_d^{(p)} \\ V_q^{(p)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{dp} \\ V_{qp} \end{pmatrix} + R(-2\omega t) \begin{pmatrix} V_{dn} \\ V_{qn} \end{pmatrix} \quad (8)$$



Şekil 3. SRF (DQ Dönüşüm) Metodu

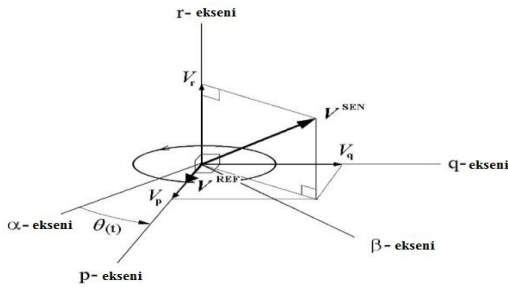
Bu çalışmada ise  $dq$  dönüşüm metodu her faz için ayrı ayrı uygulanıp, pozitif ve negatif bileşenlerin çıkarılmasına gerek kalmamıştır. Her faz için ayrı ayrı alınan genlik bilgileri ile presag metodu kullanılarak gerilim düşmesi kompanzasyonu yapılmıştır. Kontrol metodunda Şekil 3'deki gibi her faz  $120^\circ$  ve  $240^\circ$  zaman gecikmesi verilerek her fazın  $dq$  bileşeni ayrı ayrı hesaplanmış ve bu sayede dengesiz gerilim düşümü durumlarında her fazdaki gerilim düşmesi ayrı ayrı incelenmiştir [7]. Gerilimlerin tepe büyüklükleri;

$$V_p = \sqrt{V_d^2 + V_q^2} \quad (9)$$

formülü ile hesaplanır.

### C. Anlık Güç Teoremi (PQR)

PQR Anlık Güç Teoreminde, algılanan üç-faz gerilimler p-q-r koordinatlarında referans gerilimlerine dönüştürülür [9]. P-q-r koordinatlarındaki kontrolcü basit, kararlı, dinamik performansına göre zaman gecikmesi olmadan gerilim düşümlerini tarayabilmektedir. P-q-r koordinatlarına dönüştürülen değerler daha sonra zaman gecikmesi olmadan ters dönüşüm uygulayarak orijinal abc koordinatlarına çevrilir ve kontrol sinyalleri üretilir [9]. Üç-faz terminal gerilimleri öncelikle  $abc-\alpha\beta$  dönüşüm kullanılarak  $\alpha\beta$  koordinasyonlarına dönüştürülür [10]. Üç faz gerilimleri iki faza dönüştürüldükten sonra elde edilen  $V_\alpha$  ve  $V_\beta$  gerilimleri arasında  $90^\circ$  faz farkı bulunmaktadır. PQR dönüşümünün fiziksel anlamı Şekil 4'de açıklanmaktadır.  $V^{\text{REF}}$   $\alpha\beta$  ekseninde rotasyon yapan referans gerilimi gösterirken,  $V^{\text{SEN}}$  gerilimi ise p, q ve r bileşenlerinden oluşan hissedilen gerilim vektörünü göstermektedir.



Şekil 4. PQR dönüşümünün fiziksel anlamı

PQR kontrol metodu hem dengeli hem de dengesiz gerilim değişimlerinde uygulanabilen bir yöntemdir.

Dengeli durumlarda  $q$  ve  $r$  bileşenleri oluşmaz, sadece  $p$  değerli dc bir sinyal şeklinde oluşur. Bu sebeple dengesiz durumlarındaki gerilim düşmesi ve yükselmesi durumlarında  $p$ - değeri kullanılarak referans gerilimleri üretilebilir. Dengesiz durumlarda  $p$ ,  $q$  ve  $r$  değerleri oluşur.  $P$  ve  $q$  değerlerinin dc bileşenleri ise dc ve ac sinyallerden oluşur.  $Vp$ - ve  $Vq$ - 'nun dc bileşenleri ölçülen gerilimin pozitif bileşenini, ac bileşenler ise negatif bileşenini temsil etmektedir. Dengesiz durumlarda ise  $Vr$  değeri üç-faz gerilimin sıfır bileşen değerini vermektedir [9].

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} V_p \\ V_q \\ V_r \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (11)$$

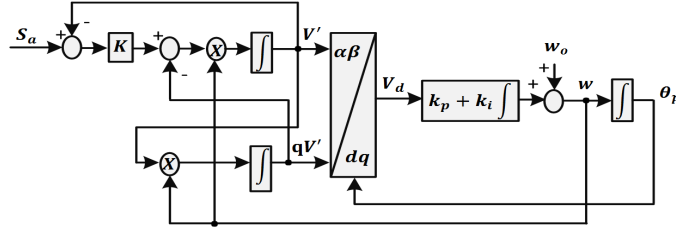
$$[C] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 0 & \frac{V_{\alpha\text{REF}}}{V_{\alpha\beta\text{REF}}} & \frac{V_{\beta\text{REF}}}{V_{\alpha\beta\text{REF}}} \\ 0 & -\frac{V_{\beta\text{REF}}}{V_{\alpha\beta\text{REF}}} & \frac{V_{\alpha\text{REF}}}{V_{\alpha\beta\text{REF}}} \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$V_{\alpha\beta\text{REF}} = \sqrt{V_{\alpha\text{REF}}^2 + V_{\beta\text{REF}}^2} \quad (13)$$

PQR metodunda  $p$ -,  $q$ - ve  $r$ - bileşenlerini kullanarak doğrudan referans gerilimi üretmemize rağmen, bu gerilim çıkışta hata anı (in-phase) kompanzasyon stratejisine göre üretilir. Amaçlanan PQR metodunda ise  $dq$  dönüşüm metodunda olduğu gibi her faz için ayrı ayrı uygulanıp, ters dönüşüm uygulanmadan pozitif ve negatif bileşenlerin çıkarılmasına gerek kalmamıştır. Her faz için ayrı ayrı alınan genlik bilgileri ile hata öncesi (presag) kompanzasyon stratejisi kullanılarak gerilim düşmesi kompanzasyonu yapılmıştır.

### D. İkinci Dereceden Genelleştirilmiş Integrator Tabanlı Faz Kilitlemeli Döngü (SOGI-PLL)

Elektriksel şebeke sinyalleri genellikle gürültü ve harmonik ile bozulmaktadır. Bu parazitleri ortadan kaldırmanın en iyi yolu filtre uygulamaktır. Bu tür sorunların üstesinden gelmek için en iyi yol ise adaptif veya sabit filtre kullanmaktır. Ancak sabit filtrelerin özellikle 3-faz dengesiz durumlarda elde edilmesi zor olan hem sinyal hem de gürültü bilgisine ihtiyaç duyması gerekmektedir. Bunun yanında adaptif filtreler anlık tepkilerini otomatik olarak ayarlayabilmeleri ve gürültü karakteristiğine daha az



Şekil 5. Sogi-PLL yapısı

ihtiyaç duyması, adaptif filtreleri çoğu uygulamada kullanılabilir hale getirmektedir [11].

Adaptif filtre kullanarak gerçekleştirilen SOGI-PLL'in yapısı Şekil 5'de görülmektedir. SOGI-PLL kullanılarak hem genlik bilgisi hemde faz bilgisi alınması onu birçok uygulamada kullanılabilir kılmaktadır. SOGI-PLL'in karakteristik fonksiyonu aşağıdaki şekilde türetilir [11].

$$SOGI(s) = \frac{V'}{Ke}(s) = \frac{w's}{s^2 + w} \quad (14)$$

$$D_{SOGI}(s) = \frac{V'}{V}(s) = \frac{Kw's}{s^2 + Kw's + w^2} \quad (15)$$

$$Q_{SOGI}(s) = \frac{V'}{V}(s) = \frac{Kw's}{s^2 + Kw's + w^2} \quad (16)$$

$$\angle D_{SOGI} = \tan^{-1} \left( \frac{w^2 - w^2}{Kw'w} \right) \quad (17)$$

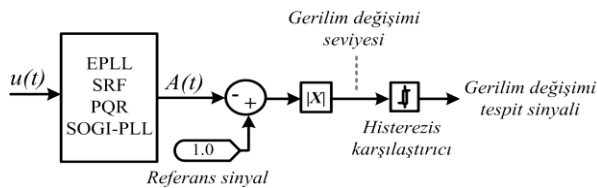
$$\angle Q_{SOGI} = \tan^{-1} \left( \frac{-Kw'w}{w^2 - w^2} \right) \quad (18)$$

$$\angle Q_{SOGI} = \angle D_{SOGI} - \pi/2 \quad (19)$$

SOGI-PLL'in sinyallerini incelediğimizde, çıkışta 90° faz farkı olan iki sinyal üretmektedir:  $V'$  ve  $qV'$ . SOGI-PLL frekans değişimlerine adaptif olup, EPLL ile karşılaştırıldığında osilasyon miktarının azaldığı görülmektedir [12].

### 3. Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada EPLL, SRF, PQR ve SOGI-PLL metodlarının hata öncesi (presag) kompanzasyon stratejisine uygun olarak şebeke geriliminin değişiminin tespit ve gerilim enjekte etme performansları değerlendirilmiştir. Metodların her biriyle elde edilen gerilimin anlık genlik ve faz bilgileri kullanılmış ve Şekil 6'da ifade edildiği gibi gerilim değişimi tespit edilmiştir.



Şekil 6. Gerilim değişiminin tespiti

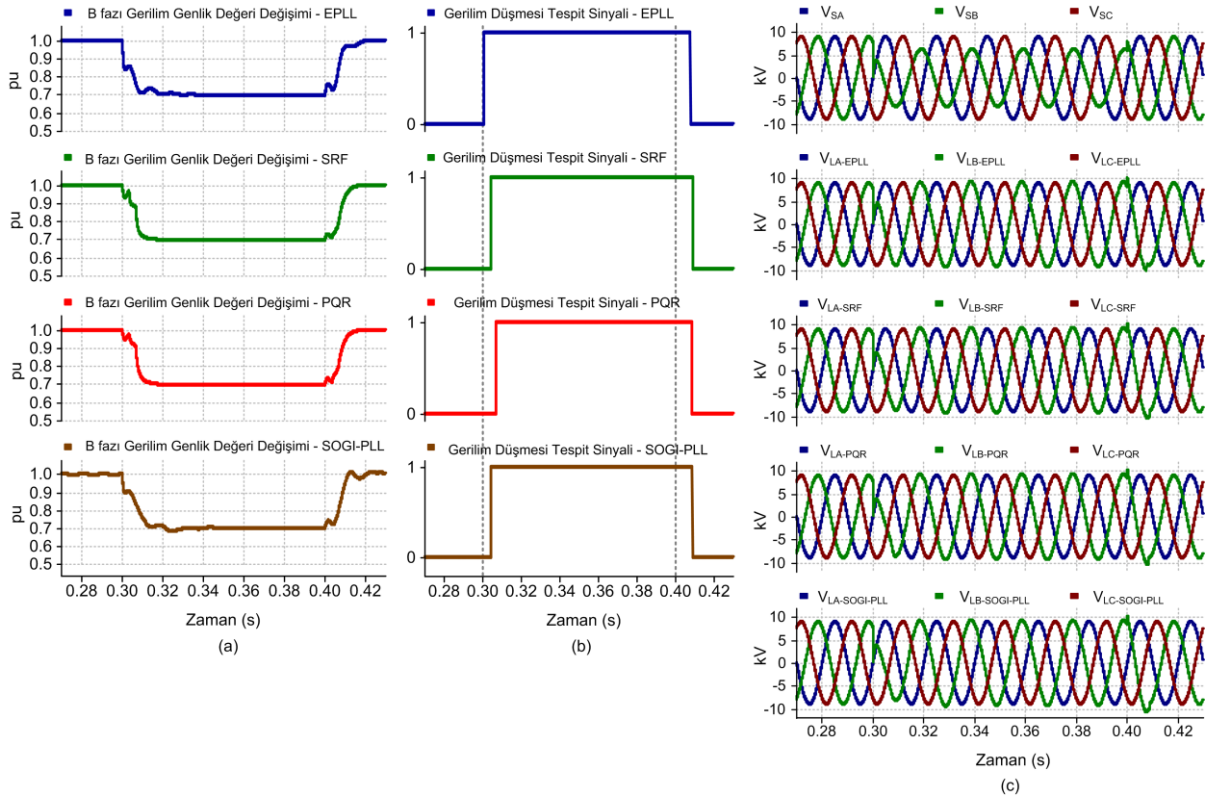
PSCAD/EMTDC benzetim programı kullanılarak 6 darbeli doğrultuculu  $RL$  yük ve 11 kV, 50 Hz şebeke ile enjeksiyon trafosuyla sisteme seri bağlı DĞİ modellenmiştir. Sistem geriliminde  $0.3 \text{ s} < t < 0.5 \text{ s}$  zaman aralığında hata direnci yardımıyla B fazında 12° faz atlamalı dengesiz tek faz hata oluşturulmuş ve bu durum için metodların gerilim düşümünü sezme, referans gerilim üretme ve gerilim düşümünü kompanzasyon performansları incelenmiştir.

Sistemde metodların her birine ait şebeke gerilim düşümü tespit zamanı ve genlik değerlerinin anlık değişimini gösteren sonuçlar Şekil 7.a ve Şekil 7.b'de sunulmuştur. Şekil 7.c'de ise sistemde oluşturulan tek faz dengesiz gerilim düşmesi ve buna bağlı olarak EPLL, SRF, PQR ve Sogi-PLL metodları kullanılarak kompanze edilen yük gerilimleri gösterilmektedir.

Benzetim çalışması ile gerilim değişimi tespit metodlarının performansları incelendiğinde, EPLL ve Sogi-PLL kontrol metodlarının diğer kontrol metodlarına göre üstün olduğu ve gerilim değişimini daha hızlı tespit edebildiği görülmektedir. Ancak, Sogi-PLL'in adaptif filtre kullanmasından dolayı gerilim değişimi tamamlandıktan sonra gecikme meydana gelecektir. SRF ve PQR metodu ise ilk 120°'lik süreçte oluşan negatif bileşenleri elimine etmek için alçak geçiren filtre kullanmasından dolayı gerilim düşümü tespitinde zaman gecikmesi oluşacaktır. EPLL'in sinyal büyüklüğünün yanında faz bilgisini adaptif olarak anlık biçimde kendisi üretmesi, frekans bilgilerindeki değişimleri takip edebilmesi ile sistemde oluşabilecek gürültü ve diğer bozuklardan etkilenmemesi onu diğer kontrol metodlarından üstün kılmaktadır.

### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, DĞİ'lerde gerilim değişimlerini hızlı tespit etmek ve doğru kompanze edebilmek amacı ile farklı kontrol metodlarının performansları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda dört farklı metod olan EPLL, SRF, PQR ve Sogi-PLL ele alınmıştır. Bu metodlar presag kompanzasyon stratejisine uygun olarak 11 kV gerilim seviyesinde tasarlanan DĞİ özel güç cihazına uygulanmış ve oluşturulan durum çalışmasında simule edilmiştir. Simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde, Sogi-PLL ve EPLL metodlarının SRF ve PQR metodlarına göre daha fazla osilasyona sahip olmasına rağmen gerilim düşmesi tespitinde hızlı oldukları görülmektedir. EPLL yapısı gerilimlerin sinyal büyüklüğünün yanında faz açısı ve referans gerilimi üretmesi ile ön plana çıkmaktadır



Şekil 7. (a) Kontrol metotları gerilim şiddetleri tespiti  
 (b) Sag zaman tespiti  
 (c) Sistemdeki dengesiz gerilim düşümü ve yük gerilimleri dalga formu

## 5. Referanslar

- [1] S. S. Choi, J. D. Li, and D. Mahinda Vilathgamuwa, "A Generalized Voltage Compensation Strategy for Mitigating the Impacts of Voltage Sags/Swells," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, no. 3, July 2004, Page(s): 2289-2297.
- [2] R. Anil Kumar, G. Siva Kumar, B. Kalyan Kumar, Mahesh K. Mishra, "Compensation of Voltage Sags with Phase-Jumps through DVR with minimum VA rating Using PSO", IEEE Region 10 Conference TENCON, 2009.
- [3] V.K. Ramachandaramurthy, A. Arulampalam, C. Fitzer, C. Zhan, M. Barnes and N. Jenkins, "Supervisory Control of Dynamic Voltage Restorers," IEE Proc.-Gener. Transm. & Distrib., vol. 151, no.4, July 2004.
- [4] Masoud Karimi-Ghartemani, Hossein Mokhtari, M. Reza Iravani, and Mohammad Sedighy "A Signal Processing System for Extraction of Harmonics and Reactive Current of Single-Phase Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol.19, no.3, July 2004, Page(s): 979-986.
- [5] M. Karimi-Ghartemani, M.R. Iravani and F. Katiraei,"Extraction of signals for harmonics, reactive current and network-unbalance compensation", IEE Proc.-Gener. Transm. & Distrib., vol.152, no.1, January 2005, Page(s): 137-143.
- [6] Masoud Karimi-Ghartemani and M. Reza Iravani, "A Nonlinear Adaptive Filter for Online Signal Analysis in Power Systems: Applications", IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 17, No. 2, April 2002, Page(s): 617-622
- [7] Wang Jianwei, Hu Xiaoguang, Chen Songsong "Research on Detection Algorithm of Voltage Sag Characteristics," 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2012.
- [8] A. Teke, K. Bayindir, M. Tümay, "Fast sag/swell detection method for fuzzy logic controlled dynamic voltage restorer", IET Gener. Transm. & Distrib., 2010, vol. 4, issue 1, pp. 1–12.
- [9] Sang-Joon Lee, Hyosung Kim, Seung-Ki Sul and Frede Blaabjerg "A Novel Control Algorithm for Static Series Compensators by Use of PQR Instantaneous Power Theory," IEEE Transactions on Power Electronics, vol.19, no.3, 2004.
- [10]Hyosung Kim, Frede Blaabjerg, Birgitte Bak-Jensen, and Jaeho Choi, "Instantaneous Power Compensation in Three-Phase Systems by Using p-q-r Theory", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 17, No. 5, September 2002, Page(s): 701-710.
- [11]Siyu Gao, Mike Barnes "Phase-Locked Loop For Ac Systems: Analyses And Comparisons"
- [12]R. J. Ferreira, R. E. Araújo, and J.A. Peças Lopes, "A Comparative Analysis and Implementation of Various PLL Techniques Applied to Single-phase Grids" 3rd International Youth Conference on Energetics (IYCE), IEEE 2011.