

# ULUSAL ELEKTRİK ŞEBEKESİNE BAĞLANAN KOJENERASYON SANTRALLARINDA YÜKSELTİCİ TRANSFORMATÖRLERİN YILDIZ NOKTASI TOPRAKLAMASININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ

Nuran YÖRÜKEREN, Bora ALBOYACI, Serhat DUMAN  
Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü  
Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü  
Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü

[nurcan@kocaeli.edu.tr](mailto:nurcan@kocaeli.edu.tr), [alboyaci@kocaeli.edu.tr](mailto:alboyaci@kocaeli.edu.tr), [serhatduman@duzce.edu.tr](mailto:serhatduman@duzce.edu.tr)

## Özet

Ulusal Elektrik Şebekesinden beslenen yükseltici transformatörün primeri yıldız bağlı ve yıldız noktası topraklanmışsa, meydana gelen faz-toprak kısadevresinde transformatörün topraklama iletkeninden büyük değerlerde toprak kısadevre akımları geçebilir. Bu durum özellikle şebekeye bağlı bir generatorün nötr topraklamasının olmaması generator yükleyen birden ada moduna geçtiğinde bazı problemlere neden olabilir. Bu problem generatorün şebekeye bağlandığı bölümde açma cihazının açması şeklinde ortaya çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Faz-toprak kısa devre, nötr topraklama direnci, kojenerasyon santrali, peterson bobini,

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın gün geçtikçe teknolojik gelişmelere paralel olarak artması, buna karşılık ham enerji kaynaklarının aynı oranda harekete geçirilememesi, enerji kaynaklarından mühendisleri verimli enerji dönüştürme çevrimleri geliştirmeye yöneltmiştir. Yüksek verimlerinden dolayı, elektriksel ve/veya mekanik gücün ve bunun yanında yararlanılabilir ısının, eş zamanlı olarak, termik yanmalı motor ve türbinler aracılığı ile üretilmesi olarak tanımlanabilecek kojenerasyon sistemleri kullanılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada enterkonnekte şebekeye bağlı kojenerasyon sistemleri incelenecektir. Zira kojenerasyon sisteminde bulunan yükseltici transformatörünün primeri yıldız bağlı ve topraklanmış olması durumunda enterkonnekte şebekede oluşabilecek faz-toprak kısa devresinde generatorün ne şekilde etkileneceği bilgisayarla yapılan kısa devre hesapları sonucunda gösterilmeye çalışılmıştır. Farklı sistemler için yapılan hesaplamalarda uluslararası standartlar ( IEC, VDE vb. ) göz önünde tutularak kısa devre hesabı yapan DIGSILENT programı kullanılarak VDE'ye göre,

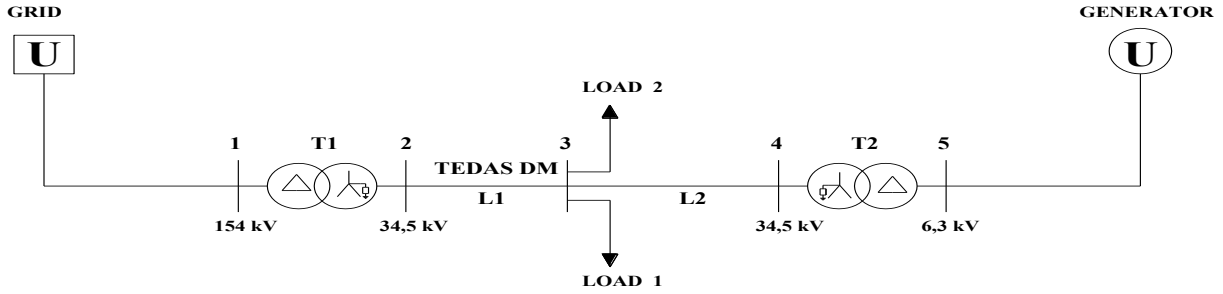
farklı baralarda oluşan kısa devre akım ve gerilim değerlerinin kısa devre süresince hangi değerleri aldığı incelenmiştir.

## 2. ÖRNEK BİR ŞEBEKEDEN FAZ TOPRAK ARIZA AKIMININ SİMÜLASYONU

Güç sistemleri; sistem gerilimi için referans noktası oluşturmak amacıyla topraklanır. Bunun nedeni geçici durumlar için ( aydınlatma, anahtarlama ve toprak hataları ) toprak hatalarını tespit etmek ve geçici durumlarda aşırı gerilimlerin oluşmasını engellemektir.

Topraklanmamış dağıtım sistemleri bir fazda toprak hatası oluştuğu zaman enerji sürekliliğinin sağlanması gereken endüstriyel tesislerde kullanılmaktadır. Bir fazlı toprak arızası sistemden aşırı akımların akmasına sebep olmaz çünkü akım arıza olmayan diğer iki fazın kapasitansı (kapasitif etkisi) tarafından sınırlandırılmaktadır. Bununla birlikte diğer fazların toprağa göre gerilimleri %73 artar ve bu etki kablo ve diğer ekipmanları olumsuz etkiler. Böylece arıza, koruma ekipmanları tarafından hissedilir ve arızaya en yakın kısımdan enerji kesilir.

Ne yazık ki, topraklanmamış sistemde ilk arıza anında gerilimin artma (nominal gerilimin altı katına kadar ) olasılığı vardır. Bu yüksek gerilim sistemin en zayıf noktasında ikinci arızaya sebep olur ve daha zararlı arıza akımı oluşur. Aşırı akım koruma cihazları arızayı temizler. Mafatih faz toprak arasındaki yüzey direnci, büyük dirençli arka neden olur. Büyüklük koruma ekipmanları için yeterli olmayabilir böylece hem telafisi yüksek maliyetli zararlar ortaya çıkabilir hem de arıza onarımları kadar sistem enerjisiz kalabilir. İlk arızanın yerini tespit etmek ve arızayı gidermek çok önemlidir, fakat sürekli bir sistemde bu o kadar kolay değildir. En azından arızanın bulunduğu bölge sistemden izole edilmelidir. Bu çalışmada, Şekil 1 'de gösterilen gerçek bir kojenerasyon sistemine ait tek hat şeması incelenmiştir.



**Şekil 1.** Örnek alınan sistemin tek hat diyagramı

T1 trafosu Ulusal Elektrik Dağıtım Şebekesinden beslenmektedir. T1 ve T2 transformatörlerinin sekonderleri 20 Ohmluk direnç üzerinden topraklanmıştır. Şebeke bağlantı şekilleri şebekede oluşacak maksimum faz toprak kısa devre akımını belirler. Ülkemizdeki en yaygın olan uygulama şekli; YNyn0 bağlantı grubuna sahip 154/34,5 kV'luk güç transformatörünün sekonder yıldız noktalarına 20  $\Omega$ 'luk direnç bağlayarak sekonder şebekede oluşacak faz toprak kısa devre akımını 995 A'e sınırlamaktır. Bunun dışında, petersen bobini üzerinde topraklama da çok yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu makalada, şebekeyle paralel çalışan generatörün yükseltici transformatörünün bağlantı grubuna göre enterkonnekte şebekede oluşabilecek faz-toprak kısa devresinde üretim sistemin ne şekilde etkileneceği incelenmiştir. DIGSILENT simülasyon programı kullanılarak, 6 farklı durum gerçekleştirilerek VDE Standardına göre kısa devre hesapları yapılmış ve generatörün ada modunda çalışması için en uygun çözüm öngörülmüştür. Şekil 1'de Ulusal Elektrik Şebekesinden beslenen T1 yükseltici transformatörü L1 kablosu ile dağıtım merkezine (3 nolu bara) enerji iletmektedir. Dağıtım merkezindeki bir çok çıkıştan birinden L2 kablosu ile müşteriye ait T2 transformatörü beslenmekte ve T2 transformatörünün sekonderine de generator bağlıdır. Ayrıca TEDAŞ Dağıtım Merkezine ait 3 nolu baraya 500 kVA değerinde statik bir yük bağlanmıştır. İncelenen tek hat şemasına ait elemanların hesaplanan pozitif, negatif ve sıfır bileşen kısadevre empedansları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Burada özellikle incelenen faz-toprak kısadevresidir. Bu nedenle trafoların bağlantı şekilleri önem kazanmaktadır. Yapılan bu çalışmada, enterkonnekte şebekeye bağlı generator sistemleri incelenecektir. Zira generator sisteminde bulunan yükseltici transformatörünün primeri yıldız bağlı ve topraklanmış olması durumunda enterkonnekte şebekede oluşabilecek faz-toprak kısa devresinde

generatorun bağlı olduğu sistemin ne şekilde etkileneceği bilgisayarla yapılan kısa devre hesapları sonucunda gösterilmeye çalışılmıştır.

Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü durumda, Trafo 2'nin sekonderine generator bağlı iken, Tr1 ve Tr2'nin farklı bağlantı şekillerine göre arıza VDE'ye göre arıza analizi yapılmıştır. İncelenen durumların sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir. Şekil 1'de verilen bağlantı durumu için arıza analizi yapıldığında TEDAŞ Dağıtım merkezi barasındaki akım değeri (3 nolu barada) 1.949 kA'dır. Generator bağlı değil iken, V. Ve V1. Durumda Trafoların farklı bağlantı şekillerindeki faz toprak arıza akım değerleri Tablo 3'de belirtilmiştir. Generatorun bağlı olmadığı durum için bakıldığında faz-toprak kısa devresi toprak bağlantısından dolayı etkilidir. Dağıtım merkezine bağlı herhangi bir müşteride baş gösterecek faz-toprak kısa devrelerinde, ilgisiz gibi görünen Tr 2 transformatörünün nötr iletkeninden akım geçmektedir, görüldüğü gibi bu akım dirençle sınırlanmaktadır. Generator bağlı iken dağıtım barasındaki simülasyon sonuçları Şekil 2'de, generator bağlı değil iken 3 nolu baraya ait Simülasyon sonuçları ise Şekil 4'de verilmiştir. Ayrıca her iki durumdaki arıza gerilim değerleri de özetlenmiştir.

### 3.SONUÇ

Yapılan hesaplamalardan anlaşılacağı üzere, Ulusal Elektrik Dağıtım Şebekesine bağlı müşterilerden birinde oluşabilecek faz- toprak kısadevresinde, kısadevre kendi dışında olmasına rağmen yükseltici transformatörün nötr iletkeninden büyük değerde toprak kısadevre akımı geçtiği görülmüştür. Şebekelerin doğru boyutlanmış olmamasından dolayı bu arızalara çok sıklıkla rastlanmaktadır. Kuplaj kesicileri açtırmakta ve santral ada modunda çalışmak zorunda kalmaktadır. Bu duruma geçici bir çözüm olarak, bu tür trafoların yıldız noktaları açık olarak çalıştırılmaktadır. Gelişmiş röle koordinasyonu ile

oluşacak faz toprak kısadevresinde arızaya en yakın olan kesiciler açtırılıp arızalı bölge sistemden izole edilmelidir.

### Kaynaklar

- [1] L, Heinhold,” Power Cables and Their Applications”, Published by Siemens , Berlin, 1990.
- [2] G.Yalçinkaya, Math. H. J. Bollen, P.A. Crossley “Characterization of Voltage Sags in Industrial Distribution Systems”, IEE Transactions on Industry Applications, Vol.34.,No.4,July/august 1998.
- [3] G.C.Paap,F.Jansen, “The Influence of Voltage Sags on the Stability of 10 kV Distribution Networks With Large Scale Dispersed Co-Generation and wind Generators”,IEE CIRED 2001,Conference Publication No:482, 18-21 June 2001.
- [4] Post Glover,”Applications Manual Ground Fault Protection on Ungrounded and High Resistane Grounded”,2001.
- [5] Conner, T.,”Neutral Grounding”,2008.
- [6] ZYL,S.V,”High resistance neutral earthing of MV networks with embedded generation”Energize,Jan./Feb.2009,page 28.

**Tablo 1 . Tek Hat Şemasında Verilen Şebeke İçin Pozitif, Negatif ve Sıfır Bileşen Empedans Değerleri**

Eleman	Veriler	Z(1)=Z(2)	Z(0)
Şebeke	U=154 kV, SKQ=2500 MVA RQ=0,1.XQ, XQ=0,995.ZQ	0,052 + j0,52	
Transformatör 1 Tr 1	154/34,5 kV, ST1=50 MVA %uk=11,7 %ur=0,7 RN=20 Ω Dyn	0,166 + j2,785	0,166 + j2,3674
Transformatör 2 Tr 2	34,5/6,3 kV, ST1=6.3 MVA %uk=7,8 Pk=53,9 kW RN=20 Ω Dyn YNd	1,616 + j14,65	1,616 + j14,65
Generator Power Station Unit (PSU)	U=6,3 kV SKQ=25,2 MVA %Xd=22,6 %X(0)=13,3 Cosθ=0,80	0,12 + j1,725 ZPSU=5,2884 =j67,0417	
Yük	500 kVA		
Hat 1	3(1x240/25)mm <sup>2</sup> , YE3SV l=5km X=0,186 Ω/km, R=0,0754 Ω/km	0,377 + j0,93	0,377 + j2,79
Hat 2	3(1x95/16)mm <sup>2</sup> , YE3SVl=0,8 km X=0,2125 Ω/km R=0,193 Ω/km	0,154 + j0,17	0,154 + j0,51

**Tablo 2 .** Generator bağlı iken Transformatörlerin farklı bağlantı şekillerine Göre F-T Kısadevre Akımları

TR1 Bağ.	TR2 Bağ.	Generatör Bağlantı Şekli	Arıza Noktası	Arıza Noktası KD Akımı (kA)	Şebekeden Gelen KD Akımı (kA)	Genetörden Gelen KD Akımı (kA)
<b>I. DURUM</b>						
$\Delta$ -YN	YN- $\Delta$	YN	Term.2	8.271	7.264	1.009
$\Delta$ -YN	YN- $\Delta$	YN	Term3	5.967	4.814	1.153
$\Delta$ -YN	YN- $\Delta$	YN	Term 4	5.715	4.534	1.182
<b>II. DURUM</b>						
$\Delta$ -YN ( LV s ide Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$ ( HV side Re=20 $\Omega$ )	YN	Term2	1.995	1.518	0.478
$\Delta$ -YN ( LV side Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$ ( HV side Re=20 $\Omega$ )	YN	Term3	1.949	1.434	0.516
$\Delta$ -YN ( LV side Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$ ( HV side Re=20 $\Omega$ )	YN	Term4	1.934	1.413	0.522
<b>III. DURUM</b>						
$\Delta$ -YN ( LV side Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$ ( HV side Re=20 $\Omega$ )	YN Re=20 $\Omega$	Term2	1.995	1.518	0.478
$\Delta$ -YN ( LV side Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$ ( HV side Re=20 $\Omega$ )	YN Re=20 $\Omega$	Term3	1.949	1.434	0.516
$\Delta$ -YN ( LV side Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$ ( HV side Re=20 $\Omega$ )	YN Re=20 $\Omega$	Term4	1.934	1.413	0.522
<b>IV. DURUM</b>						
$\Delta$ -YN ( LV side Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$	YN	Term2	3.115	1.959	1.193
$\Delta$ -YN ( LV side Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$	YN	Term3	3.263	1.955	1.34
$\Delta$ -YN ( LV side Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$	YN	Term.4	3.287	1.951	1.37

**Tablo 3 .** Generatör bağlı değil iken Transformatörlerin Farklı Bağlantı Şekillerine Göre F-T Kısadevre Akımlar

TR1 Bağ.	TR2 Bağ.	Arıza Noktası	Arıza Noktası Kısa Devre Akımı (kA)	Şebekeden Gelen Kısa Devre Akımı (kA)	Genetörden Gelen Kısa Devre Akımı (kA)
<b>V. DURUM</b>					
$\Delta$ -YN ( LV s ide Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$ ( HV side Re=20 $\Omega$ )	Term.2	1.981	1.662	0.321
$\Delta$ -YN ( LV side Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$ ( HV side Re=20 $\Omega$ )	Term3	1.913	1.6	0.313
$\Delta$ -YN ( LV side Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$ ( HV side Re=20 $\Omega$ )	Term. 4	1.891	1.581	0.310
<b>VI. DURUM</b>					
$\Delta$ -YN ( LV s ide Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$	Term.2	3.020	2.314	0.929
$\Delta$ -YN ( LV side Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$	Term3	3.078	2.153	0.956
$\Delta$ -YN ( LV side Re=20 $\Omega$	YN- $\Delta$	Term. 4	3.082	2.150	0.961