

Dağıtılmış Üretim Kaynağı İçeren Dağıtım Sistemlerinde Sürekli Durum ve Kısa Devre Analizi

Steady State and Short Circuit Analysis in Distribution Systems with DG

Fatih. M. NUROĞLU¹, Ayşen BASA ARSOY²

^{1,2}Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü

Kocaeli Üniversitesi

fnuroglu@kocaeli.edu.tr, aba@kocaeli.edu.tr

Özet

Elektik dağıtım şebekeleri son yıllarda farklı karakteristikte üretim kaynakları içermektedir. Bu üretim kaynaklarının şebeke üzerindeki olumlu ya da olumsuz etkilerinin iyi anlaşılması gerekir. Bu çalışmada, farklı parametreleri değiştirilen dağıtılmış üretim kaynaklarının dağıtım sistemlerine olan etkisi, sürekli durumdaki bara gerilimleri ve kısa devre akımları bakımından incelenmiştir. Radyal ve ağ şebeke için test sistemleri kullanılmış, çeşitli durum analizleri Powerfactory-DigSilent simülasyon programı ile yapılmıştır. Bu analizlerde dağıtılmış üretim kaynağının dağıtım sistemi üzerindeki yeri, gücü, kontrol modu ve tekil ya da yayılı olması durumları değişken parametreler olarak alınmıştır.

Abstract

Electric distribution systems have been including generating sources with different characteristics in recent years. Positive or negative effects of these sources in the system need to be well understood. This study presents the impact of DG with different parameters on distribution systems, in terms of steady state voltage profile and short circuit currents. Test systems representing radial and network types of distribution systems are simulated using the simulation tool of Powerfactory-DigSilent, while changing the location, size, control mode and penetration level of DG in the system.

[1] Giriş

Elektrik enerjisinin büyük güçlü santraller üzerinden sağlanması, gerek coğrafik, çevresel sınırlamalar, gerek politik gerekse teknik nedenlerden dolayı artık tercih edilmemektedir. Onun yerine küçük güçlü, farklı karakteristikli enerji kaynaklarının yerel olarak kullanılması dünya çapında yaygınlaşmaktadır [1].

Düşük ya da orta gerilim seviyesinde, tüketici merkezlerine yakın, tek başına ya da elektrik dağıtım şebekesine bağlı küçük güçlü üretim birimleri ve enerji depolama elemanları dağıtılmış üretim kaynakları (DÜK) olarak tanımlanabilir [2]. Bu üretim kaynakları bilinen küçük güçlü hidro elektrik ya da doğalgaz santrali olabileceği gibi, fotovoltaiik, rüzgar santralleri, yakıt pili, mikrotürbin kaynakları da olabilir. Bu kaynakların dağıtım sistemine bağlanması, doğal olarak dağıtım sisteminin planlama ve işletmesini yeniden gözden geçirilmesi durumunu ortaya çıkaracaktır. Bu durumda

dağıtım şebekesinin beslenmesi sadece iletim şebekesi tarafından olmayacak, dağıtılmış üretim kaynakları da buna katkıda bulunacak ve gerekli gücü yerel olarak sağlayacaktır [3].

Dağıtılmış üretim, elektrik şebekesinde bir çok üstünlük sağlar. Bu üstünlükler şu şekilde sıralanabilir: 1- İletim şebekesinin az yüklenmesi, 2- İletim ve dağıtım sistemi kayıplarının azalması, 3- Güvenilirlik ve güç kalitesinin artması, 4- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması. Bu üstünlükleri etkileyen faktörlerin bir kısmı ise DÜK'lerin sistemdeki yeri, anma gücü, tipi kontrol modu, ve sistemdeki transformatör bağlantısı, hat empedansı ve sistem yükü olarak sayılabilir. Dağıtılmış üretimin dağıtım sistemlerinde kullanımı arttıkça bu faktörler doğru analiz edilmelidir. Aksi takdirde beklenmeyen sistem davranışı ile karşılaşılabilir.

Bu çalışmanın amacı dağıtılmış üretimin radyal ve ağ şebeke yapısındaki dağıtım sistemleri üzerindeki etkilerini bara gerilimleri ve kısa devre akımları bakımından incelemektir. Bu incelemede dağıtılmış üretim kaynağının yeri, gücü ve kontrol modu değiştirilen parametreler olarak alınmıştır. Dağıtılmış üretim hakkında kısa bir bilgi verildikten sonra, kullanılan test sistemlerinin tanıtımı ve hemen sonrasında Powerfactory-DigSilent[4] simülasyon programında yapılan farklı durum analizleri tablo ve grafik olarak gösterilerek yorumlanmıştır. Bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar son bölümde özetlenmiştir.

[2] Dağıtılmış Üretim Kaynakları

Genellikle DÜK'ları yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beraber anılmaktadır. Bununla beraber DÜK'ları çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Farklı teknolojiler farklı bağlantı modellerini gerektirmektedir. Fotovoltaiik, rüzgar santralleri, yakıt pili gibi hızlı gelişen teknolojiler güç elektroniği devre elemanları üzerinden bağlandığı gibi küçük güçlü hidro elektrik ya da doğalgaz üretim kaynakları (senkron generatör grubu) direk bağlanmaktadır. Senkron generatörler hem aktif ve hem de reaktif güç üretebilmelerine rağmen rüzgar santrallerindeki indüksiyon generatörleri sadece aktif güç üretmektedirler.

1547 nolu IEEE Standardı, dağıtılmış üretim kaynaklarının aktif olarak gerilim regülasyonunda rol almamaları gerektiğini belirtir [5]. Bunun yerine sabit güç katsayılı üretim tercih edilir.

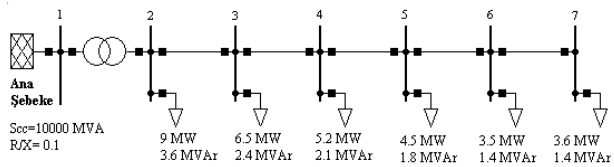
[3] Sürekli Durum ve Kısa Devre Analizleri

Sürekli durum ve kısıadevre analizleri radyal ve ağ şebeke tiplerini temsil eden test sistemleri üzerinde yapılacaktır. Radyal sistem 33kV, ağ yapılı sistem ise 34,5kV gerilim seviyesinde olup ilk sistem verileri [6] dan alınmış, ağ şebeke yapısı [7] den alınmış olup, veriler gerçek sistem verileri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Ana şebekeye bağlantı noktasında bara gerilimleri sabit tutulmuştur. Üretim kaynakları kaynak tarafı üçgen, şebeke tarafı topraklı yıldız bağlantılı transformatör üzerinden şebekeye bağlanmıştır.

Sürekli durum analizinde, bara geriliminin değerleri farklı noktalara yerleştirilmiş, değişen güç değerinde DÜK için belirlenmiş olup, karşılaştırmalar grafiksel olarak verilmiştir. Kısa devre analizlerinde ise farklı tipteki kısa devre durumlarında arıza akımlarının değişimleri karşılaştırılmıştır.

3.1 Radyal Şebeke

Radyal şebeke en temel dağıtım şebekesi tipidir. Şekil 1.'deki 33 kV'luk dağıtım şebekesi simülasyonda kullanılmıştır.



Şekil 1: 33kV Radyal Şebeke

3.1.1. Sürekli Durum Analizi

Bu bölümde aşağıda belirtilen çalışma durumları göz önüne alınmış ve şebekede üretim kaynağı olmadığı durum ile karşılaştırılmıştır.

- 30 MW'lık tek bir üretim kaynağının gerilimin en düşük olduğu baraya (Bara 7) ve ana şebekeye daha yakın baralara bağlanması (sırası ile Bara 6, 5, ve 4)
- 30 MW'lık tek bir kaynak yerine iki adet 15 MW'lık kaynağın radyal sistemin orta barasına (Bara 4) ve ana şebekeden en uzakta bulunan baraya bağlanması (Bara 7)
- 30 MW'lık tek bir kaynak yerine 6 adet 5MW'lık kaynakların radyal sistemdeki bütün baralara bağlanması.

Yük akışı programı yardımı ile her bir durum için bara gerilim değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda verilen değerler üretim kaynakları sabit güç katsayılı çalıştırıldığı durum için alınmıştır.

Tablo 1'den görüldüğü gibi DÜK'nın varlığı bara gerilim değerlerini yukarıya taşımıştır. Aynı büyüklükteki DÜK'nın bağlantı noktasının yeri değişikçe bara gerilim değerleri üzerindeki etkisi değişmektedir. Ana şebekeden uzaklaştıkça istenen gerilim değeri elde edilmektedir.

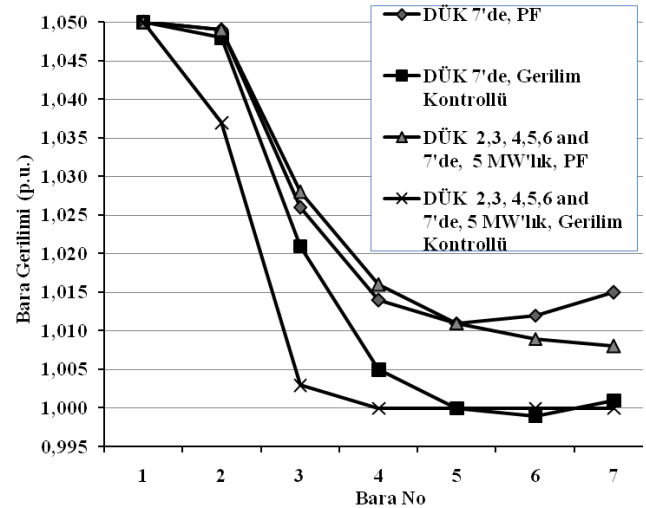
DÜK'nın yayılı olarak her bir baraya bağlanması gerilim açısından en uygun değerleri verdiği tablodan görülmektedir.

DÜK ne kadar çok noktadan bağlanır ve toplam güç miktarı artırılırsa, bara gerilimine etkisi o kadar fazla olmaktadır. Bu durum zayıf sistemlerde olumlu etki yapmasının yanında çok güçlü sistemlerde de gerilim yükselmesine sebebiyet vereceği açıktır.

Tablo 1: Radyal Sistemde Bara Gerilimleri

Bar a No	DÜK yok	DÜK Bara 7'de	DÜK Bara 6'da	DÜK Bara 5'de	DÜK Bara 4'de	15MW DÜK Bara 4 ve 7'de	5MW DÜK Bara 2,3,4,5, 6 ve 7'de
2	1,049	1,049	1,049	1,049	1,049	1,049	1,049
3	1,012	1,026	1,027	1,028	1,029	1,029	1,028
4	0,989	1,014	1,016	1,019	1,020	1,021	1,016
5	0,980	1,011	1,014	1,017	1,010	1,015	1,011
6	0,975	1,012	1,016	1,013	1,006	1,014	1,009
7	0,975	1,015	1,014	1,011	1,004	1,015	1,008

Genel olarak DÜK'nın yapısı, bağlantı teknolojileri ve kullanım amaçları gereği sisteme reaktif güç vermezler. Senkron generatör kullanıldığı durumlarda ise kontrol modu olarak gerilim kontrollü ve güç katsayısı kontrollü kullanılabilir. Bu nedenle, gerilim kontrollü için gerilim 1 p.u. değerinde, güç katsayısı kontrollü için 1 değerinde sabit tutularak, daha önce belirtilen çalışma durumlarının sürekli durum analizleri yapılmıştır. Yük akışı analizi sonucu elde edilen bara gerilimleri Şekil 2.'de görülmektedir.



Şekil 2: Güç katsayısı ve Gerilim Kontrollü Gerilim Profili

Şekil 2'de verilen grafikten, gerilim kontrollü durumlarda bara gerilimlerinin 1pu değerine zorlandığı görülürken, güç katsayılı kontrolde gerilim değerleri daha yüksek değerler almaktadır. IEEE standardı gereği, dağıtılmış üretim kaynakları gerilim regülasyonunda aktif rol almaması gerektiği

belirtildiği için bundan sonraki analizlerde üretim kaynakları sabit güç katsayılı olarak alınmıştır.

3.1.2. Üç tip Kısa Devre Analizi

Radyal sistem pasif sistemdir. Yük akışı tek yönlüdür. Kısa devre arıza durumunda eğer sistemde DÜK var ise arıza noktası sadece şebekeden değil aynı zamanda sisteme bağlı olan DÜK'dan da beslenir.

Radyal şebeke üzerinde hem ana şebekeye yakın hem de DÜK yerleşimlerine yakın baralar olan Bara 4 ve Bara 5 kısa devre noktaları olarak seçilmiştir. Üç tip kısa devre analizleri üç durum için yapılmıştır; DÜK bağlantısının olmadığı, 15 MW'lık DÜK'in 4 ve 7 nolu barada 5 MW'lık DÜK'in 2, 3, 4, 5, 6, ve 7 nolu baralara bağlı olduğu durumlardaki bara arıza akımlarının değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

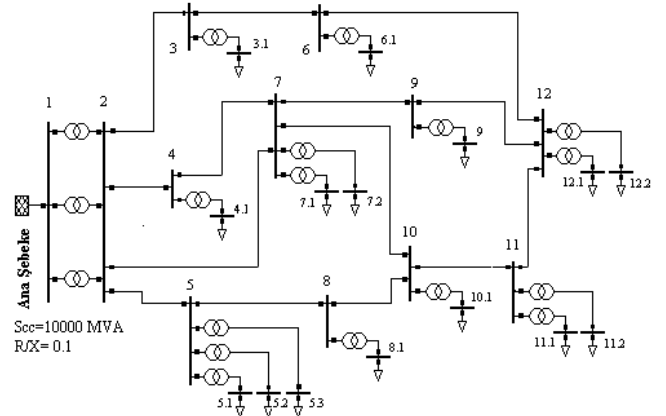
DÜK'nın bağlantı yeri ve teknik değerleri arızaya katkısı belirlemektedir. Tablodan görüldüğü üzere, DÜK arıza akımının miktarını ve yönünü değiştirmiştir. Bu nokta röle koordinasyonu sağlanırken göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 2: Radyal Sistemde Kısa Devre Akımları

Arıza Tipi	DÜK Durumu	Arızalı Bara Akımı (A)	
		4	5
3 Faz Arızası	Yok	4,09	3,19
	Bara 4 ve 7'de, (Her biri 15 MW)	6,40	5,04
	Bara 2,3,4,5,6 ve 7'de (Her biri 5MW)	5,79	4,76
Faz-Faz Arızası	Yok	3,54	2,76
	Bara 4 ve 7'de, (Her biri 15 MW)	5,54	4,37
	Bara 2,3,4,5,6 ve 7'de (Her biri 5MW)	5,01	4,12
Faz-Toprak Arızası	Yok	2,51	1,95
	Bara 4 ve 7'de, (Her biri 15 MW)	2,95	2,29
	Bara 2,3,4,5,6 ve 7'de (Her biri 5MW)	2,85	2,25

3.2. Ağ Şebeke

Ağ şebekede yük akışı farklı yönlerde olabilmektedir. Bu da sistemi daha karmaşık hale getirmektedir. Güvenilirliği daha yüksek ve fakat koruma koordinasyonunun sağlaması daha zordur. Test sistemi olarak Şekil 3'deki 34,5 kV'luk ağ şebeke kullanılmıştır. Yük değerleri ise Tablo 3'te verilmiştir.



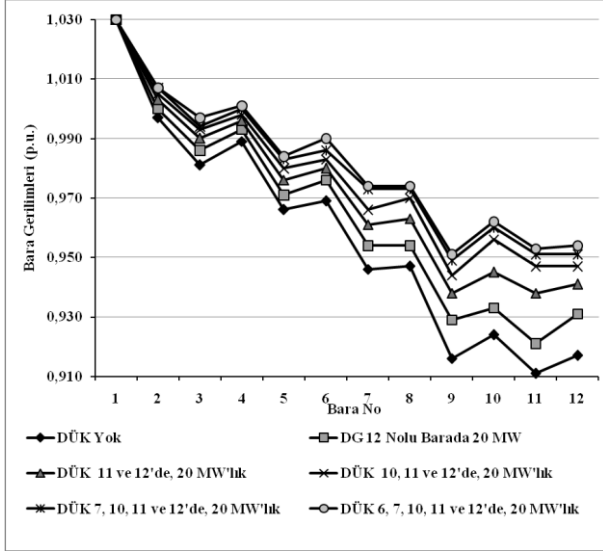
Şekil 3: 34,5kV Ağ Şebeke

Tablo 3: 34,5 kV'luk Ağ Şebekenin Yük Değerleri

Bara No:	P (MW)	Q (MVar)
3.1	19,00	0,40
4.1	19,00	0,70
5.1	15,20	1,80
5.2	14,20	1,66
5.3	16,05	1,80
6.1	24,00	0,40
7.1	18,00	0,20
7.2	18,00	1,50
8.1	0,00	0,00
9.1	20,00	2,00
10.1	19,00	2,10
11.1	18,60	0,30
11.2	7,30	1,70
12.1	13,00	2,70

3.2.1. Sürekli Durum Analizi

Ağ şebeke üzerinde DÜK bağlantısı yok iken yapılan yük akışı analizi sonucu 6, 7, 10, 11 ve 12 nolu baraların gerilimleri düşük çıkmıştır. Bu nedenle bu baralar sistemde DÜK bağlantısının yapılması gereken baralar olarak seçilmiştir. Sisteme adım adım DÜK bağlanarak hem farklı bağlantı noktasının ve hem de her seferinde toplam DÜK değeri artırılmıştır. Bu bağlamda öncelikle 12 nolu baraya 20 MW'lık bir generatör, sonra her adımda sırası ile 11, 10, 7 ve 6 nolu baralara 20 MW'lık generatörler bağlanarak elde edilen bara gerilimleri Şekil 4'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 4: Güç katsayısı Kontrollü Gerilim Profili

Şekilden görüleceği üzere en uygun gerilim profilini DÜK'ların bağlantı noktalarının en fazla ve toplam güç miktarının en yüksek olduğu durumda sağlamıştır.

3.2.2. Kısa Devre Analizi

Ağ şebeke yapısı itibarıyla koruma koordinasyonu karmaşık olan bir yapıdır. Bu sebeple DÜK'nın sisteme bağlı olmasının kısa devre arıza akımının değişimine etkisi önem kazanmaktadır. Farklı durumlardaki 3 faz arıza akımının değerinin değişim oranı bize DÜK'nın etkisini göstermek açısından faydalı olacaktır. Bu bakımdan sadece iki bağlantı durumunda farklı baralarda oluşacak arıza değerleri elde edilmiştir. İlk olarak sistemde herhangi bir DÜK olmaması durumunda 7, 8, 10 ve 12 nolu baralarda oluşabilecek 3 faz kısa devre arıza akımları hesaplanmıştır. Daha sonra sistemdeki 5, 6, 7, 10, 11 ve 12 nolu baralardan 20 MW'lık senkron generatör bağlanması halinde aynı baralarda oluşacak 3 faz kısa devre arıza akımları hesaplanmıştır. İki durumun karşılaştırması Tablo 4'de görülmektedir.

Tablo 4: Ana Şebeke Scc=10.000 MVA İçin Kısa Devre Akımları

Arızalı Bara No	3 Faz Arıza		
	DÜK Yok	DÜK 5, 6, 7, 10, 11 ve 12'de, 20 MW'lık	Artış (%)
7	13,18	16,27	23,4
8	10,2	12,03	17,9
10	9,17	12,32	34,4
12	8,44	10,83	28,3

Tablodan görüleceği üzere DÜK bağlanması durumunda kısa devre arıza akımı artış göstermiştir. Bu artış DÜK'nın bağlandığı nokta, gücü ve arıza yerine göre değişmektedir. Artış miktarı %17,9 ila %34,4 arasında değişmekte ve bu oranlar göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür.

Ana şebeke kısa devre gücü 10000MVA yerine 1000 MVA seçildiğinde DÜK'nın kısa devre arıza akımı artışına etkisi daha fazla olmaktadır. Simülasyon sonuçları Tablo 5'de görülmektedir.

Tablo 5: Ana Şebeke Scc=1000 MVA İçin Kısa Devre Akımları

Arızalı Bara No	3 Faz Arıza		
	DÜK Yok	DÜK 5, 6, 7, 10, 11 ve 12'de, 20 MW'lık	Artış (%)
7	7,73	11,97	54,9
8	6,6	9,55	44,7
10	6,16	10,17	65,1
12	5,82	9,08	56,0

[4] Sonuçlar

Bu çalışmada gücü, sistemdeki yeri, kontrol modu gibi çeşitli parametreleri değiştirilen dağıtılmış üretim kaynağının, bağlandığı dağıtım şebekesi üzerine olan etkileri gerilim profili ve arıza akımları bakımından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Şebeke boyunca yayılı bağlı DÜK'ları, tek bir noktadan bağlanan DÜK'dan daha iyi gerilim profili sağlamaktadır.
- Dağıtılmış üretim kaynaklarının dağıtım şebekesindeki varlığı arıza akımlarını artırıcı yöndedir. Bu durum koruma planlamasında mutlaka dikkate alınmalıdır.
- Bir üretim kaynağını tek bir noktadan şebekeye bağlamak yerine sistem üzerinde paylaştırılarak birkaç noktadan yayılı olarak bağlamak kısa devre akımlarını düşürmektedir.
- Dağıtım şebekesinin bağlı olduğu ana şebekenin kısa devre gücü arıza akımının büyüklüğünü etkileyen bir faktördür.

[5] Teşekkür

Bu çalışma 105E105 nolu Tubitak Projesi tarafından desteklenmiştir.

[6] Kaynaklar

- [1] M. Thomson, D.G. Infield, "Network Power-Flow Analysis for a High Penetration of Distributed

- Generation, *IEEE Trans Power Systems*, vol.22, pp.1157-1162, Aug. 2007.
- [2] T. Ackermann, G. Anderson and L. Söder, "Distributed Generation, A Definition," *Electric Power Systems Research*, vol.57, pp.195-204, 2001
- [3] Working Group on Distributed Generation Integration, "Summary of Distributed Resources Impact on Power Delivery Systems," *IEEE Tran on Power Delivery*, vol.23, pp.1636-1643, July 2008.
- [4] Power Factory Manual, Version 13.2, 2007.
- [5] IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE 1547-2003 Std. July 2003
- [6] W. Freitas, J.C.M.Vieira, A. Morelato, L.C.P. da Silva, V.F. da Costa, F.A.A. Lemos, "Comparative Analysis Between Synchronous and Induction Machines for Distributed Generation Applications," *IEEE Trans Power Systems*, vol.21, pp.301-311, Feb. 2006
- [7] N. Nimpitiwan, G. T. Heydt, R. Ayyanar, S. Suryanarayanan, " Fault Current Contribution from Synchronous Machine and Inverter Based Distributed Generators," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 22, pp.634-641, Jan 2007