

Mikro Şebekelerde Ada Durumuna Geçiş Dinamiklerinin İncelenmesi

Analysis of Microgrid Islanding Transition Dynamics

Can Berk Saner, V. M. İstemihan Genç

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
sanerc@itu.edu.tr, gencis@itu.edu.tr

Özet

Mikro şebekeler, yenilenebilir enerji kaynaklı dağıtık üretim birimleri ve yükler içeren, akıllı şebeke yaklaşımıyla tasarlanmış birer alçak gerilim dağıtım sistemidir. Mikro şebekeler, tekil olarak kontrol edilebilir olarak tanımlandığından, şebeke bağlantılı veya şebekeden bağımsız ada durumunda çalışabilmeli, ayrıca bu iki durum arasında sorunsuz geçiş yapabilmelidir. Bu bildiride mikro şebekeler için literatürde önerilen kontrol yapılarının, ada durumuna geçiş sürecindeki dinamik başarımları değerlendirilmiştir. Ele alınan mikro şebeke yapısı PSCAD/EMTDC yazılımında modellenmiş ve çeşitli çalışma durumlarında ada durumuna geçiş koşulunu içeren senaryolar, benzetim çalışmaları ile incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Mikro şebekeler, akıllı şebekeler, dağıtık üretim, yenilenebilir enerji.

Abstract

Microgrids are low voltage distribution systems which include renewable sourced distributed generators, and are designed within the idea of smart grid. Since a microgrid is defined as a single controllable entity, it should operate both in grid-connected and in islanding modes. Moreover, the transition between those two modes should be seamless. In this paper, the dynamic performance of microgrid controllers, which are available in the literature, during the transition between grid-connected and islanding modes are evaluated. The microgrid structure studied has been modelled using PSCAD/EMTDC software where a number of scenarios which include islanding events under different operating conditions have been analyzed by means of simulation studies.

Keywords: Microgrids, smart grids, distributed generation, renewable energy.

1. Giriş

Elektrik enerjisinin ticarileşmesinden bu yana benimsenen merkezi üretim anlayışının günümüz şartlarında ekonomik, çevresel ve teknik anlamlarda

olumsuz bir tablo çizdiği bilinmektedir. Yerleşim yerlerine uzak bölgelere kurulan büyük güçlü elektrik santralleri ile burada üretilen elektrik enerjisini tüketicilere ulaştıran yüzlerce kilometrelik enerji iletim hatları önemli yatırım ve işletme maliyetleri katmaktadır. Geleneksel santrallerde kullanılan doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlar karbon emisyonuna yol açarak çevreye ciddi ve kalıcı zararlar vermektedir. Bunların ötesinde, iletim hatlarında yaşanan kayıplar ve hatların çevresel etkilere açık olması gibi pek çok olumsuz unsur saymak mümkündür.

Yukarıda sayılan bu çekincelerin önüne geçmek için, özellikle yenilenebilir enerji teknolojisinin de gelişmesiyle beraber, dağıtık üretim adı verilen bir yaklaşım benimsenmeye başlanmıştır. Dağıtık üretim santralleri, orta gerilim veya alçak gerilim dağıtım tüketicilerinin yakınlarına kurulan ve enterkonnekte şebekeye paralel çalışan, merkezi santrallere kıyasla küçük güçlü (10 MW'tan az) merkezlerdir. Bu santrallere örnek olarak rüzgâr, güneş, biokütle, jeotermal enerji santralleri veya küçük güçlü hidroelektrik santraller gibi yenilenebilir enerji kaynaklı üretim tesisleri ile dizel jeneratör grupları veya dağıtık enerji depolama sistemleri verilebilir. Bu tip santraller, tüketim birimlerine yakın konumlandırıldıklarından hat kayıpları çok azdır.

Mikro şebeke, bir alçak gerilim dağıtım sistemi mimarisidir ve akıllı şebekelerin yapı taşı olarak görülmektedir. Mikro şebekeler, 2002 yılında Lasseter tarafından yayınlanan bildiri [1] ile kavramsallaştırılmıştır. Söz konusu bildiride mikro şebekeler, yükler ve mikro kaynak adı verilen dağıtık üretim kaynakları içeren ve tekil olarak kontrol edilebilir nitelikteki elektrik ve ısı dağıtım sistemleri olarak tanımlanmıştır. Mikro kaynaklar, genellikle güç elektroniği elemanları kullanılarak mikro şebekeye bağlanır. Mikro şebekeye bağlı kimi yükler esnek yük veya kontrol edilebilen yük olarak adlandırılan, şebeke işletmecisine talep tarafı yönetimi imkanı sunan yüklerdir.

Mikro şebekeyi standart dağıtık üretim birimleri ve yüklerin oluşturduğu bir kümeden ayıran en önemli

özelliği, mikro şebekenin tekil bir birim olarak kontrol edilebilmesidir [2]. Böylelikle mikro şebeke, bağlı olduğu enterkonnekte şebekeye paralel veya şebekeden bağımsız işletilebilmektedir. Şebekeden bağımsız işletme “ada durumunda”, şebekeyle paralel işletme ise “şebeke bağlantılı” olarak adlandırılır.

Mikro şebekelerin ada durumunda ve şebeke bağlantılı durumda sağlıklı şekilde işletilebilmesi için pek çok kontrol yöntemi ortaya atılmıştır. Ancak bu yöntemler genelde sadece belli bir işletme durumu (ada veya şebeke bağlantılı) için tasarlanmıştır. Mikro şebekelerin güvenilir bir şekilde işletilebilmesi için kullanılacak kontrol sisteminin şebeke bağlantılı durumdan ada durumuna geçişi sorunsuz sağlayacak nitelikte olması gerekmektedir [3].

Bu çalışmada, literatürde sıklıkla kullanılan mikro şebeke kontrol mimarilerinin, şebeke bağlantılı durumdan ada durumuna geçiş sürecindeki dinamik performansı analiz edilmiştir. Çeşitli mikro kaynaklarla güç elektroniği elemanları üzerinden beslenen bir mikro şebeke modeli ele alınmış, şebeke bağlantılı durumda farklı çalışma noktalarında işletilen mikro şebekenin ada durumuna geçişi sırasında ve sonrasında sergilediği dinamik performansı gözlenerek analiz edilmiştir.

2. Mikro Şebeke Kontrol Düzenleri

Mikro şebekelerde, merkezi kontrol yerine hiyerarşik bir kontrol anlayışı benimsenmiştir. Hiyerarşik kontrol, üç katmandan oluşur: primer, sekonder ve tersiyer kontrol. Primer kontrolden tersiyer kontrole doğru eylem süresi ve etki alanı artmaktadır [4]. Bu çalışmada, yalnızca primer kontrol katmanı incelenmiştir.

Primer kontrol katmanını, evirici üzerinde gerçekleştirilen kontrol olarak özetlemek mümkündür. Aktif – reaktif güç, gerilim, frekans kontrolü ile yük paylaşımı ve ada durumuna geçiş tespiti gibi eylemler primer kontrolün alanına girmektedir. Kontrol eylemlerinin mikrosaniyeler mertebesinde çok hızlı olarak uygulanması gerektiğinden haberleşmeye dayalı yöntemler tercih edilmez. Bunun yerine, evirici özelinde uygulanan dağıtık ve otonom denetleyiciler yeğlenir. Güç sistemlerinde hız regülatörü ve uyarma sistemi gibi elemanlar primer kontrol katmanına dahildir [5].

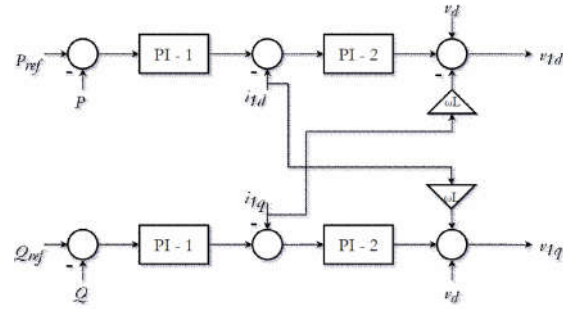
Mikro şebeke primer kontrolü, evirici özelinde gerçekleştiğinden bu konu hakkında yapılan çalışmalar mikro şebeke fikrinin ortaya atılmasından çok önce başlamıştır [6]. Literatürde oldukça yaygın olarak rastlanmakta olan evirici kontrolünün temeli birkaç yaklaşıma dayanmaktadır. Bu yaklaşımları iki başlıkta toplamak mümkündür: (a) PQ kontrol, (b) Vf kontrol [7].

2.1. PQ Kontrol

PQ kontrol kipi veya akım kontrollü kip, şebekeye paralel çalışan yenilenebilir enerji kaynaklı dağıtık üretim birimlerinin kontrolünde sıklıkla kullanılır. Bu kipte gerilim ve frekans işareti şebeke tarafından tayin

edilir. Bunun üzerine, eviriciye uygulanan P_{ref} ve Q_{ref} referans değerlerine göre çıkış aktif ve reaktif güçleri ayar edilir. Gerilim ve frekans bilgisinin belirlenmediği durumlarda PQ kontrolü kullanmak uygun değildir. Bu sebeple PQ kipini kullanan bir evirici, temel olarak bağımlı akım kaynağı olarak modellenebilir.

Emre amade olmayan rüzgar ve PV gibi kaynaklarda kullanılan En İyi Güç Noktası İzleme (Maximum Power Point Tracking – MPPT) algoritmaları, P_{ref} değerini dinamik olarak ayarlayarak sisteme en yüksek aktif güç değerini vermeye çalışır. Bu sırada referans reaktif gücü Q_{ref} genellikle sıfır olarak ayarlanır ve reaktif güç çıkışı istenmez [8]. PQ kontrol blok diyagramı Şekil 1’de verilmiştir.



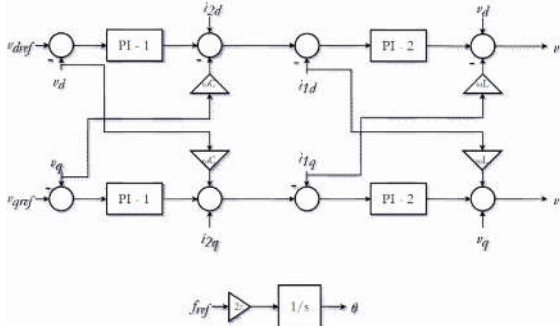
Şekil 1. PQ kontrol blok diyagramı

2.2. Vf Kontrol

Vf kontrol kipi veya gerilim kontrollü kip, ada durumundaki şebekelerde gerilim ve frekansı belirleyecek tek bir evirici olduğu durumlarda kullanılır. Bu kipte V_{ref} ve f_{ref} referans işareti eviriciye uygulanır, bu değerleri sağlayacak aktif ve reaktif güç çıkışı şebekeye bağlı diğer jeneratör ve yüklerin net güç farkını kapatacak büyüklükte şekillenir. Bu anlamda Vf kontrol, güç sistemlerindeki entegral karakteristikli regülatöre benzetilebilir. Vf kipinde bir eviriciyi, bağımlı gerilim kaynağı olarak modellemek mümkündür.

Bir eviriciler kümesinde ancak tek bir Vf kontrole sahip evirici olabilir. Dolayısıyla mikro şebekenin şebeke bağlantılı durumunda Vf kontrol kipini kullanmak olanaklı değildir. Ayrıca tüm yüklenme durumlarında verilen referans gerilim ve frekansı karşılayabilmesi için, bu kipi kullanılacağı kaynaklar emre amade

olmalıdır (örn. enerji depolama sistemleri). Vf kontrol blok diyagramı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Vf kontrol blok diyagramı

3. Mikro Şebeke Modeli

Ele alınan mikro şebeke yapısı, ilgili referanstaki test sisteminden hareketle 480 V 60 Hz anma geriliminde bir alçak gerilim şebekesi olarak modellenmiştir [9]. Modelde üç farklı dağıtık üretim birimi modeli düşünülmüştür.

İlk dağıtım üretim birimi, 0,5 kV açık devre gerilimli 250 Ah kapasiteli jenerik bir batarya üzerinden beslenmektedir. Batarya 250 kVA değerinde iki yönlü buck-boost DC-DC çevirici ve bir DC-AC evirici üzerinden şebekeye bağlanmaktadır.

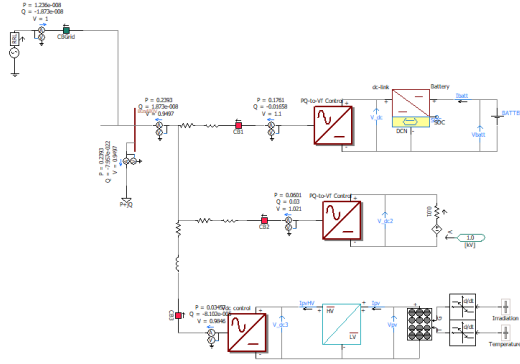
İkinci dağıtık üretim biriminde, DC tarafı sonsuz güçlü bir gerilim kaynağı ile beslenen bir 250 kVA evirici modeli kullanılmıştır. Söz konusu model yaklaşımı, jenerik bir dağıtık üretim kaynağını temsil etmekte ve literatürde sıklıkla kullanılmaktadır [10].

Son dağıtık üretim birimi, 250 kW gücünde bir fotovoltaik güneş panelidir. Bu güneş paneli MPPT sistemiyle donatılmış bir DC-DC çevirici ve DC-AC evirici ile şebekeye bağlanmaktadır.

Radyal bir yapıda kurgulanan mikro şebeke, ortak bağlantı noktasından büyük şebekeye bağlanmaktadır. Mikro şebekede yükleri, toplu olarak, ortak bağlantı noktasından çekilen tekil bir yük olarak gösterilmiştir. Kullanılan yük modeli, anma geriliminin $\pm\%20$ aralığında sabit güç, bu aralığın dışında ise sabit empedans yükü karakteristiğindedir. Alçak gerilim hatları ise eşdeğer direnç ve endüktif reaktans ile modellenmiştir.

Modelleme ve senaryo benzetim çalışmaları PSCAD/EMTDC [11], Elektromanyetik Geçici Hal

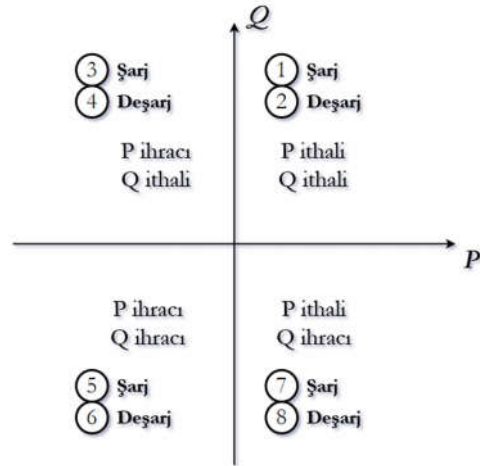
yazılımı, kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kurulan modelin genel görünüşü, Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Mikro şebeke yapısının PSCAD/EMTDC modeli

4. Ada Durumuna Geçiş Senaryoları

Mikro şebeke ada durumuna geçiş dinamiklerini incelemek adına, ortak bağlantı noktasındaki güç akışının 4 olası durumu göz önüne alınmış ve her biri için bataryanın şebeke bağlantılı işletmede şarj veya deşarj durumunda olduğu toplam 8 senaryo için benzetim çalışması yapılmıştır. Senaryolarda ele alınan çalışma durumlarının bir özeti Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Senaryolarda adalanma öncesi ortak bağlantı noktasındaki güç akışı durumları

Söz konusu çalışma durumlarında ada durumuna geçiş öncesi dağıtık üretim birimlerinin yüklenme durumları Tablo 1’de gösterilmiştir.

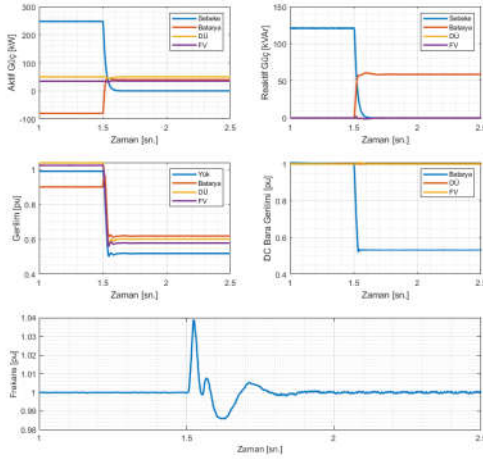
Tüm senaryolarda $t = 1,5$ s. anında ada durumuna geçiş gerçekleşmiştir. Ada durumuna geçiş işaretinin, dağıtık üretim birimlerine zaman gecikmesiz olarak ulaştığı kabul edilmiş ve bu işaret ile beraber batarya eviricisi PQ kontrolünden Vf kontrol moduna geçirilmiştir. Başka herhangi bir kontrol eylemi gerçekleştirilmemiştir.

Tablo 1. Senaryolarda ele alınan yüklenme durumları

Senaryo	1	2	3	4	5	6	7	8
P_{bat} [kW]	-80	90	-20	45	-20	45	-35	15
Q_{bat} [kVAr]	0	0	0	0	0	0	0	0
$P_{DÜ}$ [kW]	50	50	140	140	140	140	60	60
$Q_{DÜ}$ [kVAr]	0	0	0	0	30	30	30	30
P_{FV} [kW]	47	47	180	180	180	180	70	70
Q_{FV} [kVAr]	0	0	0	0	0	0	0	0
$P_{yük}$ [kW]	240	240	240	240	240	240	240	240
$Q_{yük}$ [kVAr]	116	116	116	116	0	0	0	0

4.1. Senaryo 1

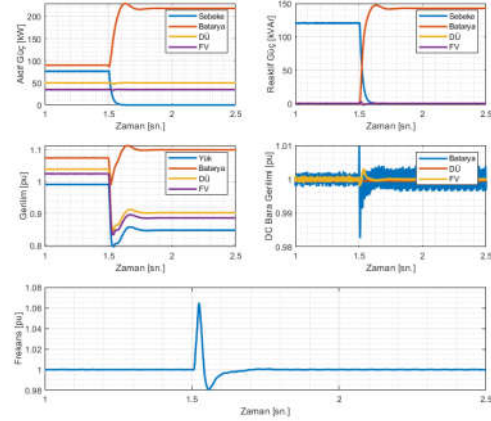
Ortak bağlantı noktasında aktif ve reaktif güç ithali durumunda batarya şarj durumundadır (bkz. Şekil 5). Ada durumuna geçiş gerçekleştiği anda frekans ani olarak 1.04 pu seviyesine çıkmış ancak 0.4 s sonra 1 pu değerine oturmuştur. Batarya şarj durumunda olduğundan şebeke gerilimini uygun seviyeye getirecek aktif gücü sağlayamamış, bu nedenle yük gerilimi 0.5 pu seviyelerine düşmüştür. Bu durumda bataryayı otomatik olarak deşarj durumuna getirecek ve/veya yük atma düzenlerini tetikleyecek bir kontrol sistemine gerek duyulduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Senaryo 1 sonuçları

4.2. Senaryo 2

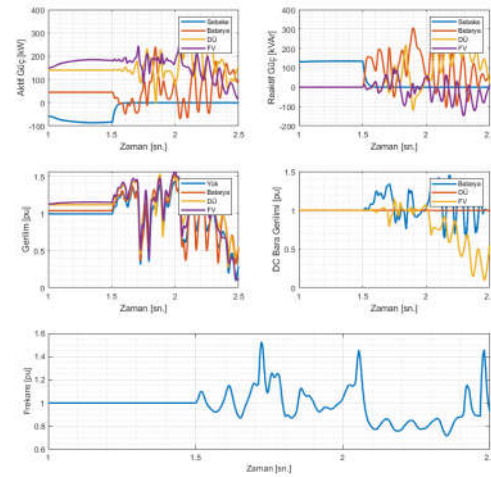
Ortak bağlantı noktasında aktif ve reaktif güç ithali söz konusudur. Ada durumuna geçiş gerçekleştiğinde batarya hali hazırda deşarj durumunda olduğundan şebeke tarafından kesilen güç akışını sağlayabilmiştir (bkz. Şekil 7). Ancak şu halde batarya fazla yüklendiğinden hat üzerindeki gerilim düşümü artmış ve yük barası gerilimi 0.85 pu değerine düşmüştür. Yük geriliminin uygun seviyeye çekilebilmesi için uygun gerilim regülasyonunu sağlayacak bir kontrol yapısının gereksinimi görülmektedir.



Şekil 6. Senaryo 2 sonuçları

4.3. Senaryo 3

Aktif güç ihracı ve reaktif güç ithali durumunda, batarya ise şarj durumundayken ada durumuna geçiş gerçekleştiğinde sistem büyüklüklerinin önemli ölçüde sınımlara maruz kaldığı görülmektedir (bkz. Şekil 7). Batarya şarj durumunda olmasına rağmen mikro şebeke içindeki güç dengesi sağlanamamıştır. Dağıtık üretim birimlerinin şebeke bağlantısını sağlayan güç elektroniği elemanları, küçük bozucu etkilere yönelik tasarlanan doğrusal kontrol sistemleri ile denetlendiğinden adalanma gibi büyük bir bozucu etki karşısında uygun performans gösterememiştir.

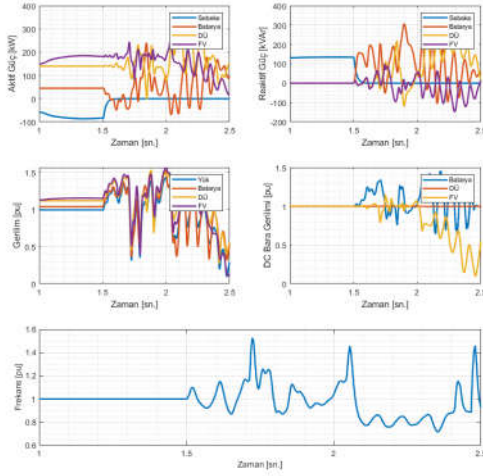


Şekil 7. Senaryo 3 sonuçları

4.4. Senaryo 4

Ortak bağlantı noktasında aktif güç ihracı ve reaktif güç ithali durumunda gerçekleşen adalanma senaryosunda batarya deşarj durumundadır (bkz. Şekil 8). Ada durumuna geçen mikro şebekede aktif güç fazlalığı olmasına karşın batarya deşarj durumunda olduğundan

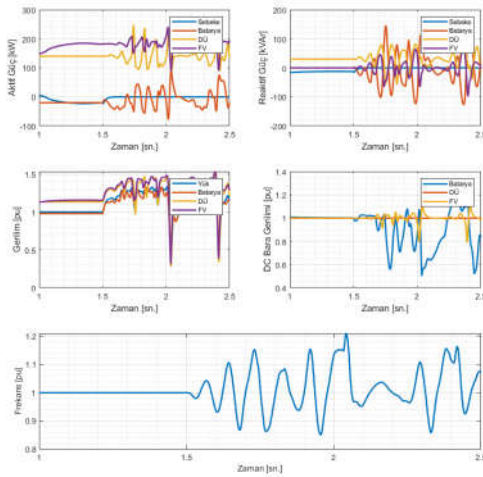
sistemde güç dengesi bozulmuş ve durum değişkenlerinde salınımlı kararsızlıklar ortaya çıkmıştır. Söz konusu durumda batarya enerji yönetim sistemi ve dayanıklı (robust) kontrol yaklaşımlarının eksikliği görülmektedir.



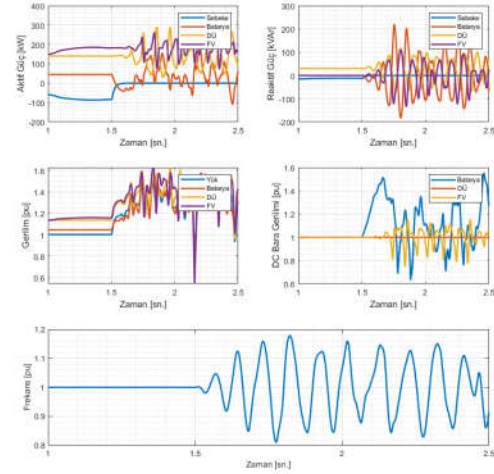
Şekil 8. Senaryo 4 sonuçları

4.5. Senaryo 5 & 6

Aktif ve reaktif güç ihracı durumunda, bataryanın sırasıyla şarj ve deşarj modunda olduğu sırada gerçekleşen adalanma senaryosunda yine 4. Senaryoya benzer salınımlı kararsızlıkların meydana geldiği görülmektedir (bkz. Şekil 9 ve 10). Gerçekleşen bu problemin yine sürekli hal çalışması için tasarlanan doğrusal kontrol yapılarının zayıflığından ötürü olduğu anlaşılmaktadır.



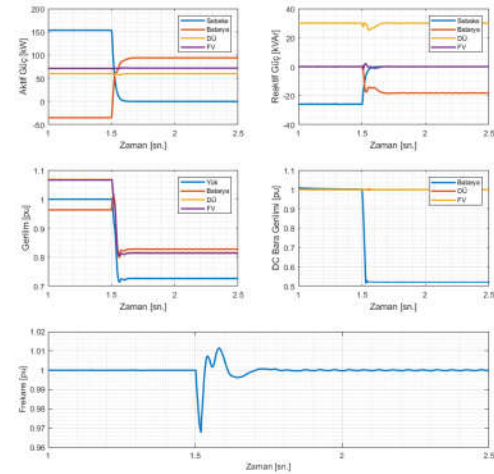
Şekil 9. Senaryo 5 sonuçları



Şekil 10. Senaryo 6 sonuçları

4.6. Senaryo 7

Şebeke bağlantılı durumda aktif güç ithali ve reaktif güç ihracının olduğu bu senaryoda batarya şarj durumundadır (bkz. Şekil 11). Adalanma gerçekleştiğinde bataryada şarj – deşarj geçişini gerçekleştirecek bir kontrol yapısına sahip olmadığından oluşan aktif güç açığı, batarya DC bara gerilimini düşürmüştür. DC bara geriliminin düşmesiyle beraber batarya, AC bara gerilimini uygun seviyede tutamamış ve yük tarafında gerilim 0.71 pu seviyesine gerilemiştir. Bununla beraber, sistem frekansının 1 pu seviyesinde sürekli hale geçtiği ve reaktif güç dengesinin sağlandığı görülmüştür.

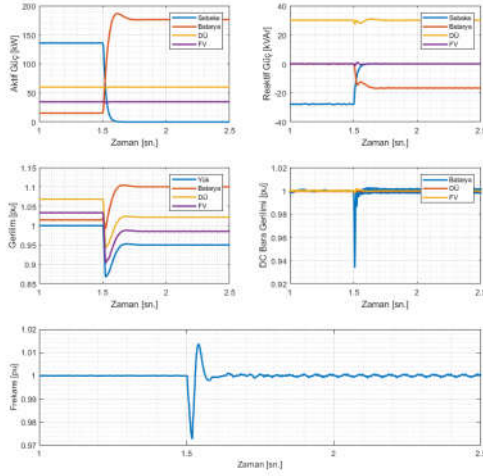


Şekil 11. Senaryo 7 sonuçları

4.7. Senaryo 8

Ele alınan son senaryo çalışmasında ortak bağlantı noktasında aktif güç ithali ve reaktif güç ihracı gerçekleşmekteyken batarya deşarj modundadır (bkz. Şekil 12). Bu durumda batarya aktif ve reaktif güç

dengeğini sağlamış, ancak yüksek güç çıkışından dolayı yük barasında gerilim 0.95 pu değerine düşmüştür. Bu gerilim düşümü kabul edilebilir bir büyüklükte olduğundan sistemin ada durumunda uygun bir sürekli hal çalışma noktasına geldiği söylenebilir.



Şekil 12. Senaryo 8 sonuçları

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, mikro şebekelerde kullanılan dağıtık üretim birimleri için literatürde önerilen kontrol sistemlerinin ada durumuna geçiş sürecindeki dinamik başarımları analiz edilmiştir. Çeşitli çalışma koşulları altında ada durumuna geçiş sürecini inceleyen senaryo çalışmaları sonucunda, şebeke bağlantılı veya ada durumu için tasarlanmış kontrol yapılarının, özellikle ada durumuna geçiş öncesinde şebekeye aktif güç verilen koşullarda uygun performans göstermediği anlaşılmıştır. Buna göre, ada durumuna geçiş sürecinin sorunsuz gerçekleşebilmesi için sürekli hal çalışmasına yönelik doğrusal kontrol sistemleri yerine doğrusal olmayan, dayanıklı ve uyarlamalı kontrol düzenlerine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] R. H. Lasseter, "MicroGrids," *2002 IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet. Conf. Proc. (Cat. No.02CH37309)*, vol. 1, pp. 305–308, 2002.
- [2] P. Piagi and R. H. Lasseter, "Autonomous control of microgrids," *2006 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet.*, p. 8 pp., 2006.
- [3] N. Hatziargyriou, *Microgrids*. 2013.
- [4] D. E. Olivares *et al.*, "Trends in microgrid control," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 4, pp. 1905–1919, 2014.
- [5] F. Katiraei, M. R. Iravani, and P. W. Lehn, "Micro-grid autonomous operation during and subsequent to islanding process," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 20, no. 1, pp. 248–257, 2005.
- [6] J. M. Guerrero, L. G. de Vicuna, J. Matas, M. Castilla, and J. Miret, "A wireless controller to

enhance dynamic performance of parallel inverters in distributed generation systems," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 19, no. 5, pp. 1205–1213, 2004.

- [7] J. Rocabert, A. Luna, F. Blaabjerg, and I. Paper, "Control of Power Converters in AC Microgrids.pdf," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 11, pp. 4734–4749, 2012.
- [8] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. G. De Vicuña, and M. Castilla, "Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids - A general approach toward standardization," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 158–172, 2011.
- [9] C. E. Commission, "Certs microgrid laboratory test bed," *Energy*, vol. 26, no. February, pp. 1–8, 2009.
- [10] N. Pogaku, M. Prodanović, and T. C. Green, "Modeling, analysis and testing of autonomous operation of an inverter-based microgrid," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 2, pp. 613–625, 2007.
- [11] PSCAD, "Power Systems Computer Aided Design USER ' S GUIDE on the use of PSCAD."