

MİKRO ŞEBEKELERDE PLANLI ADA MODU ÇALIŞMASININ MATLAB İLE ANALİZİ

GÜLŞAH ÇOLAK

**BOSCH HOME COMFORT
OSB/ MANİSA**

HACER ŞEKERCI ÖZTURA

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
BORNOVA**



Sunum İçeriđi

Özet

Mikro Şebeke

Giriş

AC/DC Mikro Şebekelerin Yapısı ve Modellenmesi

Mikro Şebeke Kontrol Stratejileri

Simulink Analizleri

Sonuçlar

Kaynaklar

Özet

Mikro şebekeler ana şebekeyle **birlikte** veya ana şebekeden **bağımsız** olarak çalışmak üzere iki farklı çalışma modunda sağlıklı olarak çalışabilmek üzere tasarlanırlar.

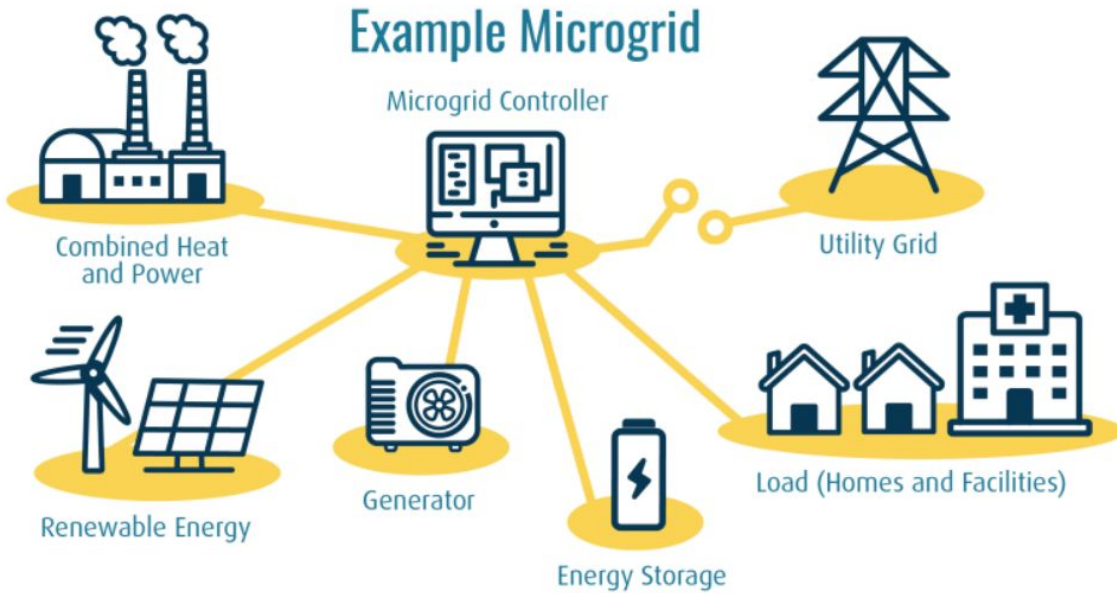
Ana şebeke ile paralel çalışırken ada moduna geçişte veya ada modunda sistemden bağımsız olarak çalışırken ulusal şebekeye bağlanma anlarında geçişlerin sorunsuz olarak gerçekleşmesi beklenir.

Bu çalışmada, fotovoltaik sistem, yükler ve bataryadan oluşan küçük bir mikro şebekenin ada moduna geçiş ve ada modundan çıkış süreçlerini Matlab kullanılarak analiz edilmiş ve simülasyon sonuçları paylaşılmıştır.

Mikro Şebeke

Mikro şebeke, tüketim noktalarının ve üretim santrallerinin (dağıtılmış enerji kaynakları, DEK) belirli sınırlar içinde birbirine bağlanması durumudur. Bu sınırlar içinde kalan şebeke, genel şebekeye bağlı veya bağımsız bir ada şeklinde olabilir.

Özetle mikro şebeke **bölgesel** bir enerji sistemidir, elektrik enerjisinin **üretildiği** yerde **tüketildiği** bir sistem modelidir.



Mikro şebekelerin bileşenleri;

Dağıtılmış enerji kaynakları: (Yenilenebilir enerji kaynakları, küçük ölçüde hidroelektrik, jeotermal ve biokütle / biyogaz, hidrojen enerji santralleri)

Enerji depolama: (Lityum-iyon ve Lityum Demir Fosfat, jel akü benzeri kurşun asit depolama teknolojileri)

Yükler

Giriş

AC, DC ve hibrit (AC-DC) olmak üzere farklı tasarımları olan mikro şebekeler aslında dağıtık üretimin (Distributed Generation -DG-) bir parçasıdır.

DC mikro şebekenin gelişimi özellikle elektriği doğru akım ile üreten yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması ve sürekliliği olmayan bu enerji kaynaklarından istikrarlı bir sistem oluşturabilmek ve enerji güvenliğini sağlayabilmek adına DC depolamanın da artık gündeme gelmesi ile çok daha hızlı olmuştur.

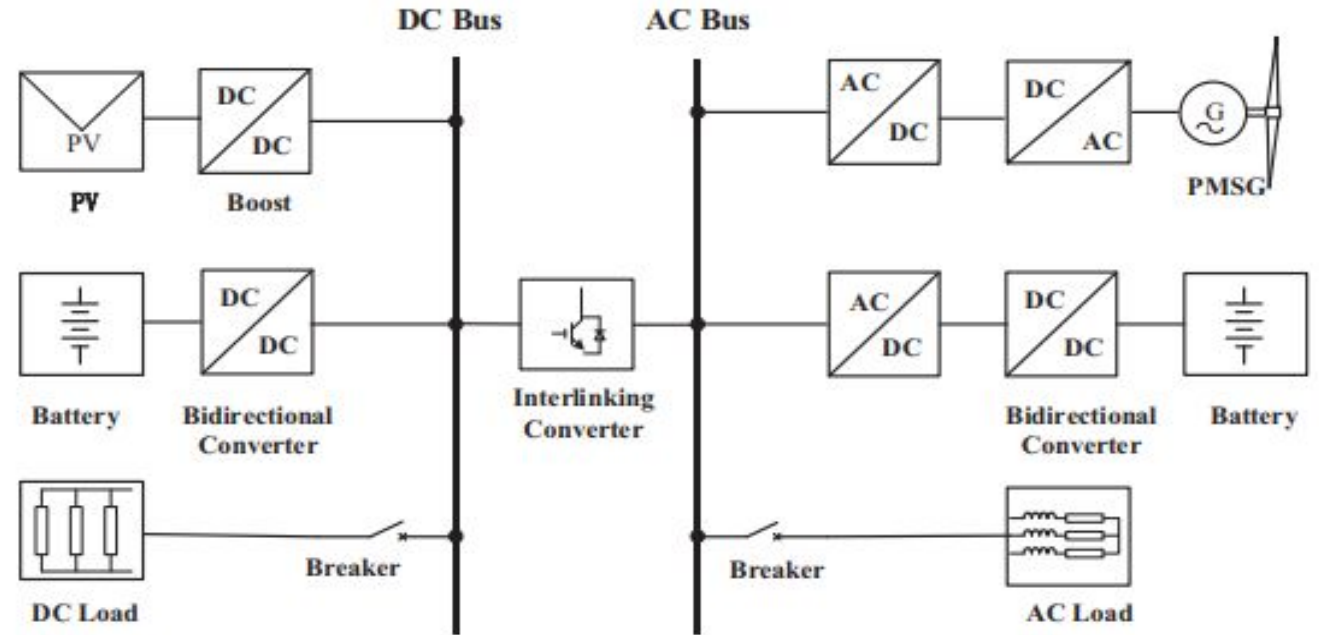
Ayrıca ulusal sistemdeki herhangi bir arıza durumunda direk ada modunda çalışmaya geçiş yapabiliyor olunması ayrı bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Mikro şebekelerin ulusal şebekeye güvenli bağlantısını ve kullanımını sağlamak için çeşitli teknolojiler geliştirilmektedir.

Ayrıca ana şebekede yaşanacak herhangi bir kesinti anında büyük avantaj sağlayan ada modunda çalışabilen mikro şebekelerin geliştirilmesinin önünü açmıştır.

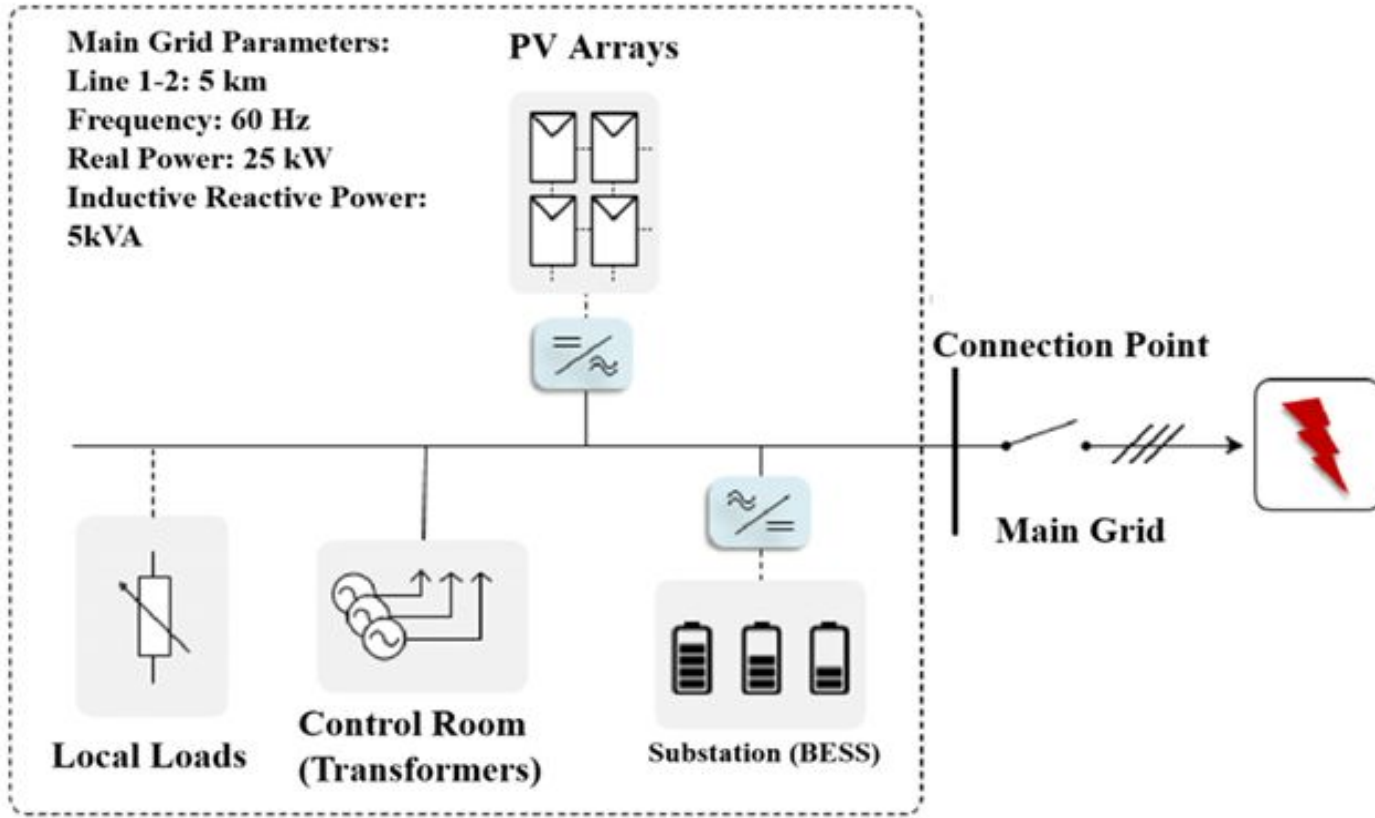
Güneş panelleri gibi direkt DC üreten veya AC kaynakların DC kaynaklara çevrildiği, aynı zamanda depolayan veya DC yük ile elektriği kullanan kısımlar **DC mikro şebeke** olarak tanımlanırken, AC yenilenebilir kaynaklardan elektrik üreten ve AC yüklerin bulunduğu ihtiyaç durumunda depolama kısmı da eklenebilen mikro şebekeler ise **AC mikro şebeke** olarak tanımlanmaktadır.

- Güç akışı ve enerji yönetimi, mikro şebekenin temel kontrol mekanizması çok önemlidir.
- Bu yüksek verimlilik, güvenilirlik ve enerji kullanımının optimize edilmesini amaçlar.
- Enerji üretimi ve tüketimi arasında sürekli bir denge korunmalıdır.
- Bu dengeyi sağlamak için yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektriğin depolanması ve kullanılması önemlidir.
- Kontrol sistemleri, elektrik akımını izler ve enerji talebini tahmin eder. Ayrıca, enerji yönetimi stratejilerine uygun olarak güç akışını optimize eder.
- Mikro şebekeler, özellikle yük noktalarına yakın yenilenebilir kaynaklardan enerji üretebiliyorsa, yük talebini karşılama, verimliliği artırma ve güç kalitesini iyileştirmeye katkıda bulunur.
- Mikro şebekeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke içindeki payını artırmada da yardımcı olabilir.



Bu çalışmada aşağıda modeli ve değerleri verilen fotovoltaik sistem ve batarya sisteminden oluşan bir mikro şebeke incelenmiştir.

Şekilden de görüleceği üzere güneş panellerinin ürettiği elektrik AC'ye çevrilerek 11.1 kV'luk ana baraya bağlanırken, depolama işlemi için bu seferde AC'den DC'ye dönüşüm söz konusu olacaktır.



Bir mikro şebeke kontrolcüsü, mikro şebeke içindeki enerji kaynaklarını yönetir, güç akışını kontrol eder ve mikro şebeke ile ana dağıtım şebekesi arasındaki etkileşimi düzenler.

Herhangi bir mikro şebeke topolojisi, yapılandırması veya yasal durumu gözetmeksizin, bu standart ek bileşen işlevlerini içermekte ve MEMS'in (Microgrid Energy Management System) düzgün çalışabilmesini sağlamaktadır.

AC/DC Mikro Şebekelerin Yapısı ve Modellenmesi

Kontrol stratejileri açısından, enerji yönetimi ve güç akışı kontrolü özellikle AC ve hibrit mikro şebekeler için oldukça önemlidir.

Kontrol sistemlerinin kullanılması ile enerji akımını izleyerek, enerji talebini tahmin ederek ve güç akışını optimize ederek yüksek verimlilik, güvenilirlik ve enerji kullanımının optimizasyonu sağlanmaktadır.

Mikro şebeke, fotovoltaik sistemin ürettiği DC elektriği inverter aracılığıyla AC'ye dönüştürebilir veya direk bataryalarda enerji depolar.

Sistemde bataryalar olduğunda kısaca BESS olarak adlandırılan (Battery Energy Storage System) bataryanın enerji depolama sürecini kontrol eden bir devre söz konusudur.

Bu kontrol devresi bataryanın şarj durumunu izler, enerji akışını kontrol eder ve sistemin kararlılığını sağlar.

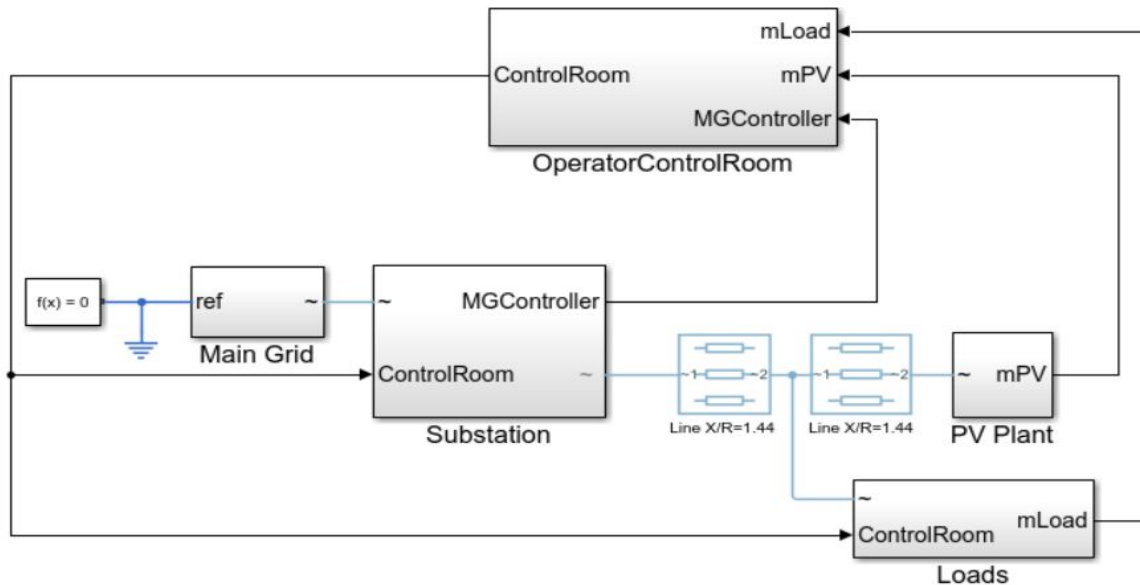
Bu çalışmada analiz edilen ve aşağıda görülen mikro şebeke için iki farklı çalışma modu Matlab ile incelenmiştir.

Bağlantı noktasındaki anahtar kapalı iken bu mikro şebeke ulusal sistem ile birlikte çalışır.

Anahtarın açık olması durumunda ise ada modu olarak adlandırılan sistemden bağımsız çalışma ayrı ayrı analiz edilecektir.

Bu analizler için 25kW aktif ve 5 kVAr indüktif reaktif güç çeken üçgen bağlı bir yük kullanılmıştır.

Bu modelde trafo merkezi (Substation) olarak adlandırın kısım ulusal şebeke ile mikro şebekenin arasındaki bağlantıyı sağlarken, mikro şebekeye ait denetleyiciyi ve BESS'i de kapsar.

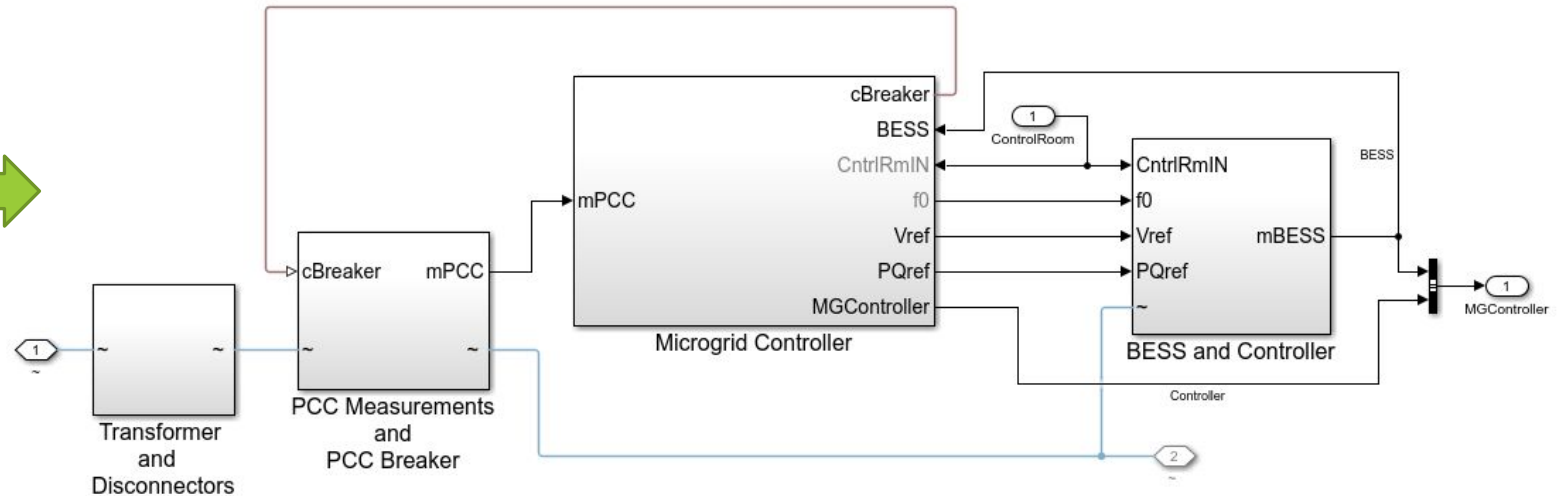


Mikro şebeke denetleyicisi kendi içindeki elektrik üretim kaynakları ve yüklerle ait anlık verileri düzenli takip eder ve trafo merkezinin kontrol odasındaki set edilmiş değerlerle her an karşılaştırma yaparak ada moduna geçip geçmemeye karar verir.

Mikro şebeke denetleyicisinin altı farklı fonksiyonu vardır. Bunlar;

- Faz kilitlemeli çevrim (Phase Lock Loop -PLL-) ulusal ve mikro şebeke taraflarından düzenli ölçüm alır,
- Mikro şebeke için referans frekans üretilir,
- Mikro şebeke için referans voltaj üretilir,
- Planlı ada modunu gerçekleştirmek için ortak bağlantı noktasında (Point of Common Coupling -PCC-) sıfır güç akışı tespit edilir,
- Gerekli olduğu anda ana kesici aktive edilir, ve
- Ada moduna geçen mikro şebeke ile iletişime geçilir.

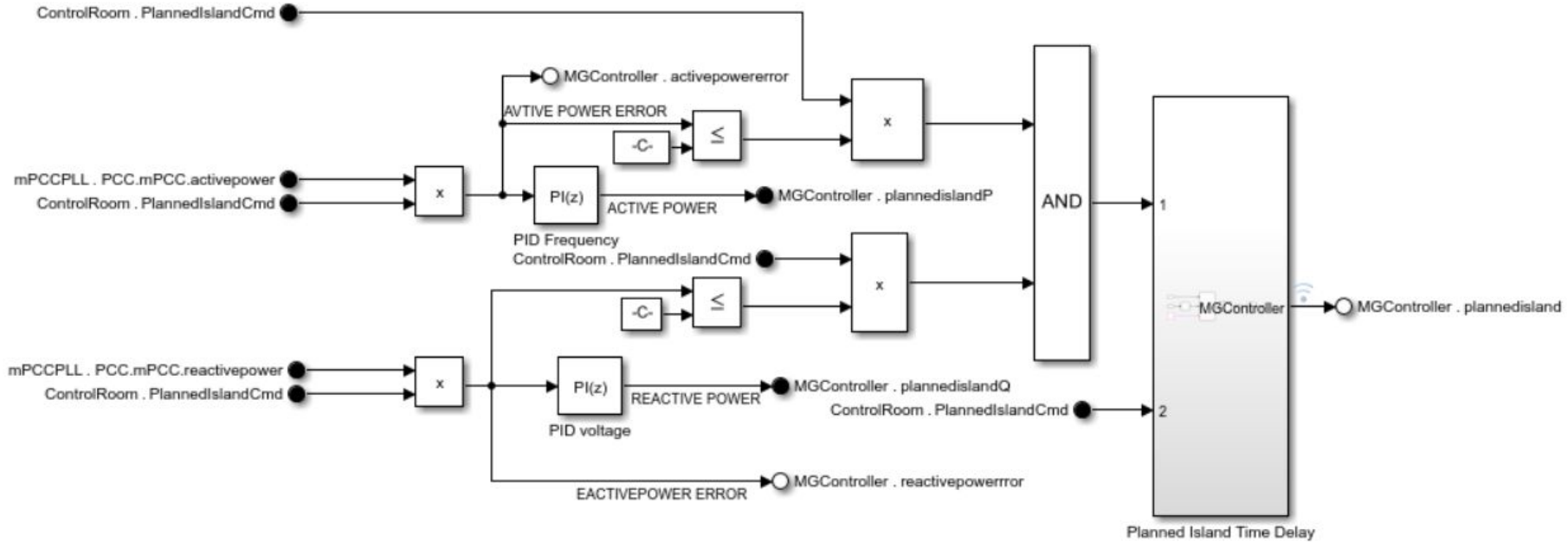
Mikro şebeke kontrol devresinin detaylı açılımı



Planlı ada modu için PCC'de sıfır güç akışını tespit ederken mikro şebeke denetleyicisi düzenli olarak BESS için aktif ve reaktif güç referansını hesaplar.

Aşağıda sıfır güç akışını belirlemek ve dolayısı ile planlı ada moduna geçiş yapabilmek için kullanılan Simulink devresi görülmektedir.

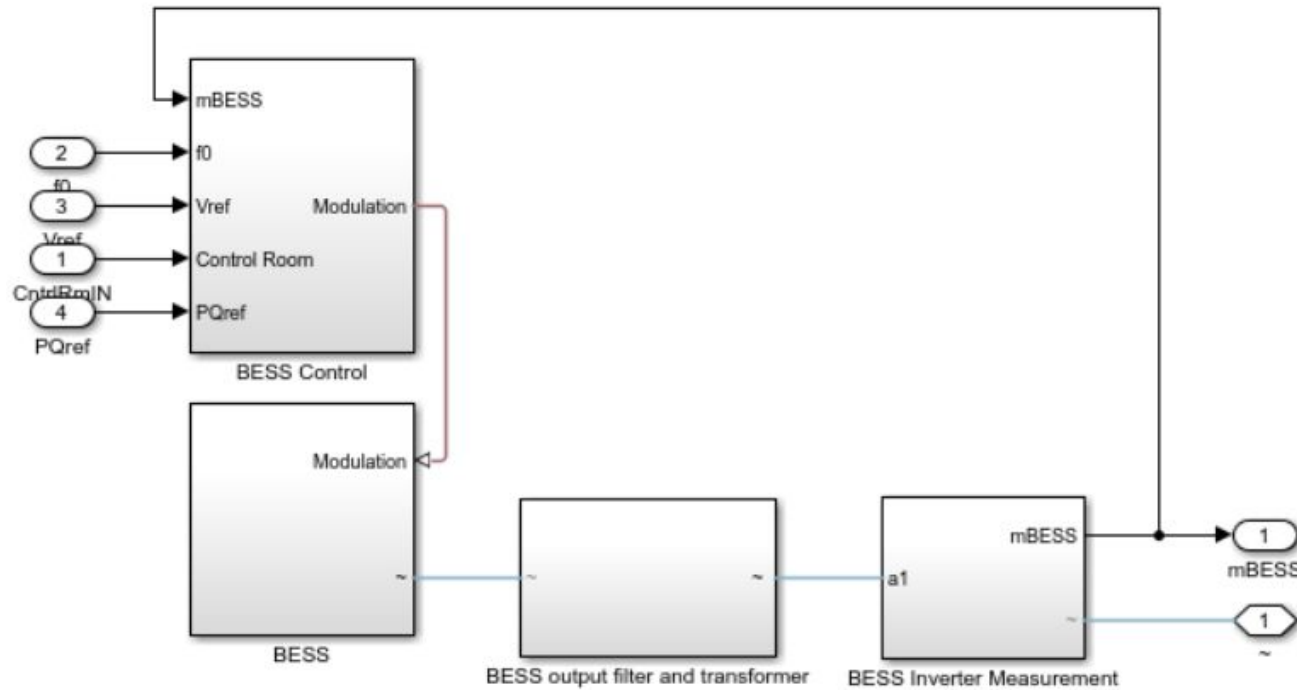
Bu karar mekanizmasında anlık olarak ölçülen aktif ve reaktif güç bilgileri ile önceden set edilmiş kontrol değerleri karşılaştırılarak farkları bir ve kapısına sokularak ada moduna geçiş yapılıp yapılmayacağını kararı verilir.



BESS'e ait olan denetleyici de sıfır güç akışının belirlenmesi sırasında sürekli olarak BESS'in değerlerini kontrol eder.

Planlı ada moduna geçildiğinde, ana sistemdeki kontrol devresi BESS'in set edilen güç değerlerini sağlaması için gerekli komutları gönderir.

BESS denetleyişinin iç yapısı aşağıdaki şekilde görülmektedir.



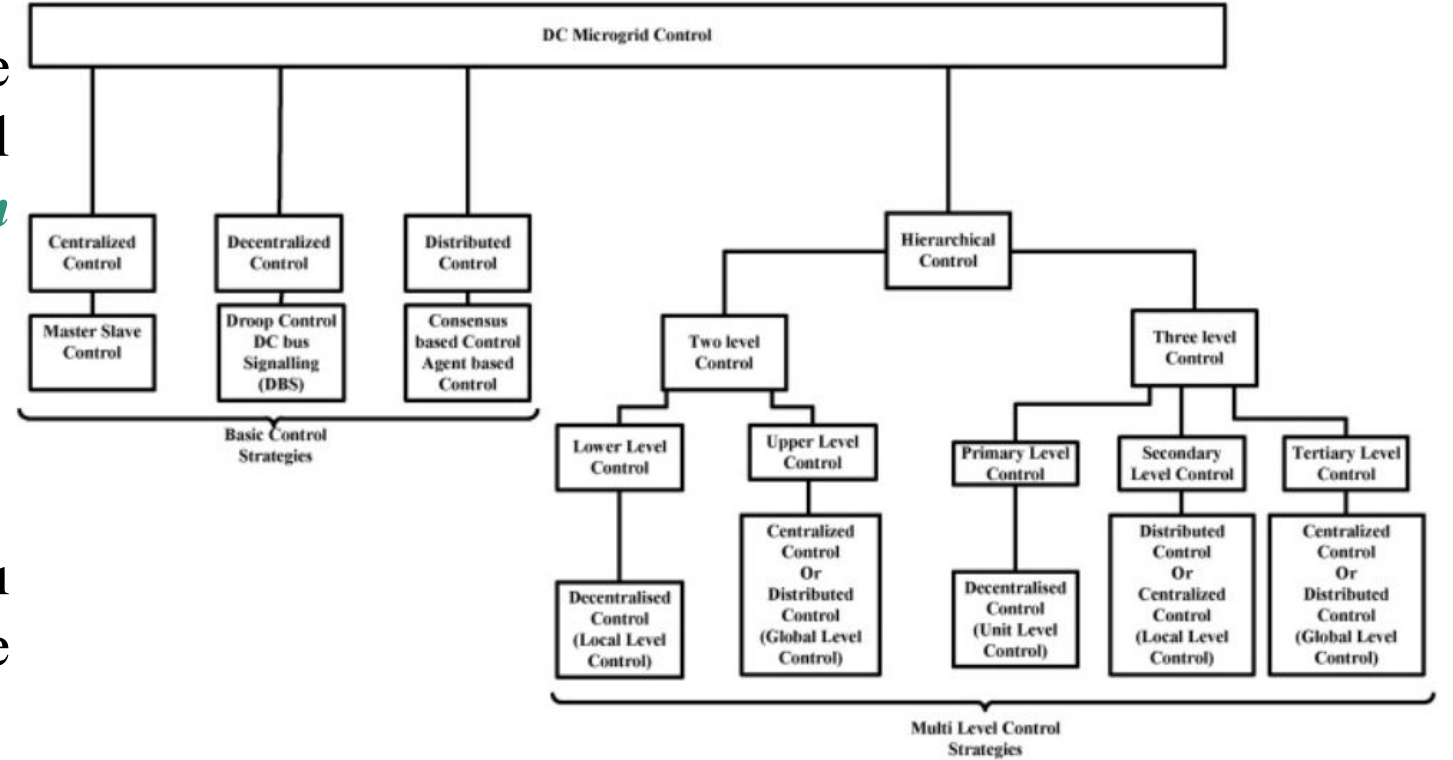
Mikro Şebeke Kontrol Stratejileri

Enerji yönetimi, enerji depolama sisteminin boyut ve kapasitesini optimize etmek ve maksimum kullanımını sağlamak açısından önemli bir rol oynadığından farklı koşullar için geliştirilmiş farklı enerji yönetimi stratejileri vardır.

Batarya ve süper kapasitör içeren HESS'in enerji yönetimi de kontrol stratejileri için güncel araştırma konularından biridir.

Mikro şebekelerin güvenli bir şekilde çalışabilmesi için kullanılan bazı temel stratejileri (*sabit frekans kontrolü, akım paylaşımı, gerilim regülasyonu, frekans kararlılığı, enerji depolama sistemlerinin entegrasyonu* gibi) mevcuttur.

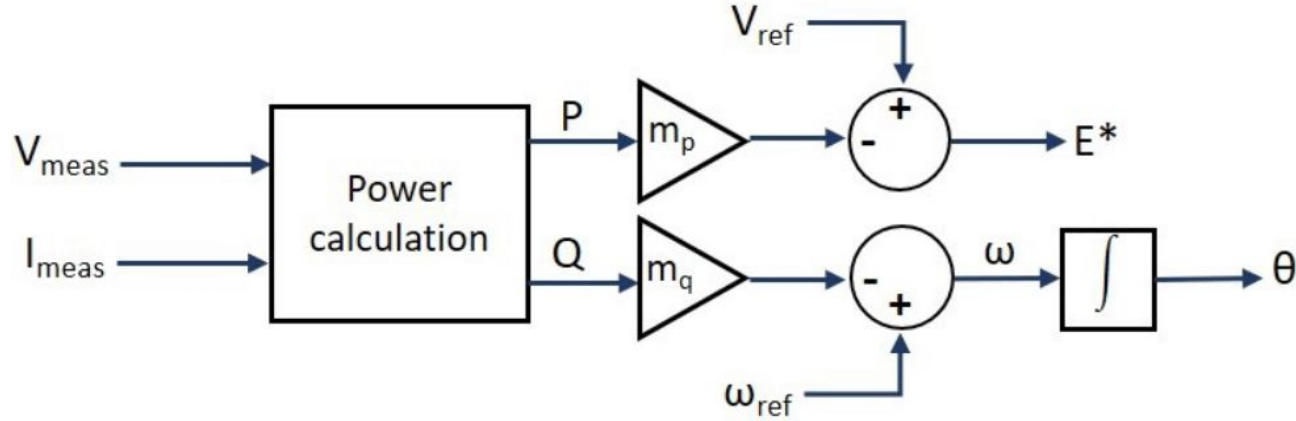
Bu kontrol stratejilerinin ortak noktası sistem kararlılığını, güç kalitesini ve enerji verimliliğini arttırmaktır.



Bu çalışmada faz kilitlemeli çevrim (PLL) ve düşme (droop) kontrol metotları (Drop kontrol blok diyagramı aşağıda görülmektedir) incelenmiştir.

PLL, elektriksel sinyallerdeki faz farkını ölçmek ve kontrol etmek için kullanılan bir geri besleme kontrol sistemi teknolojisidir.

Faz açısını elde ederken PLL mantığı, referans sinyali ile geri besleme sinyali arasındaki faz farkını algılayarak, çıkış sinyalinin frekansını ve fazını referans sinyale kilitleyerek çalışır.



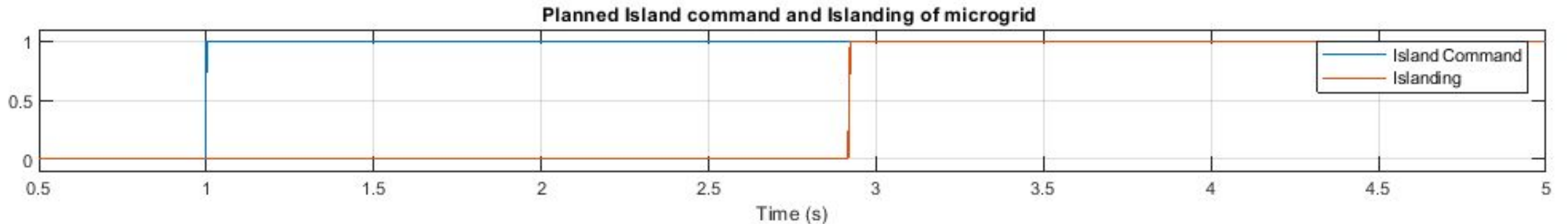
Frekans kontrolünde kullanılan yöntemlerden biri olan düşme metodu, depolama cihazlarının tepkisi ve yük atma yoluyla, frekans kontrol stratejisi, aktif güçlerini ayarlamak için mikro kaynakların sınırları ve yeterlilikleri ile uyumlu bir şekilde kullanılmalıdır.

Simulink Analizleri

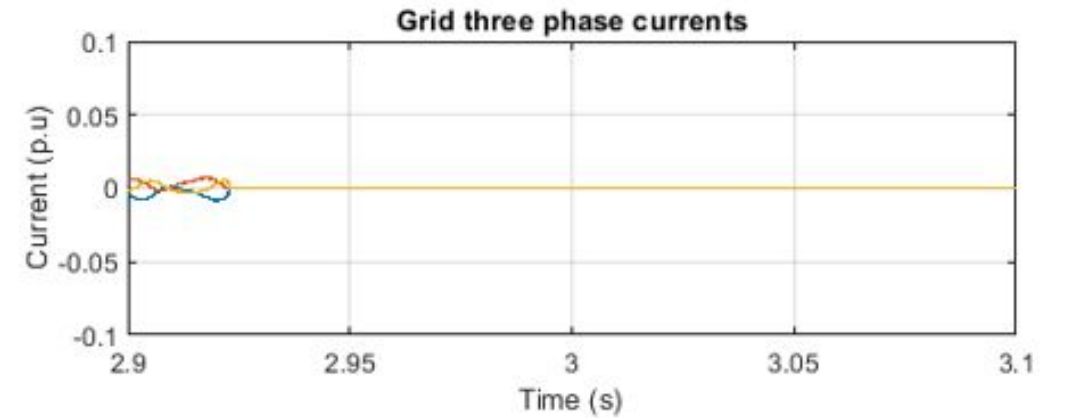
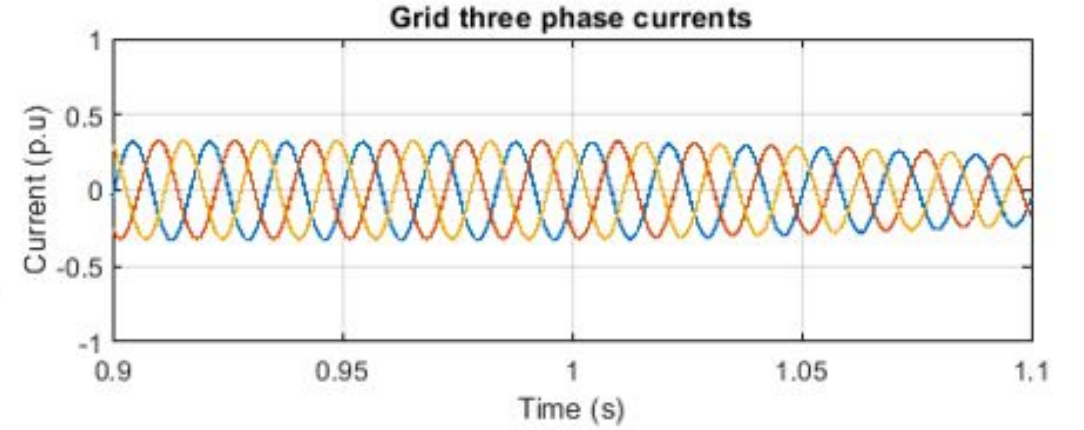
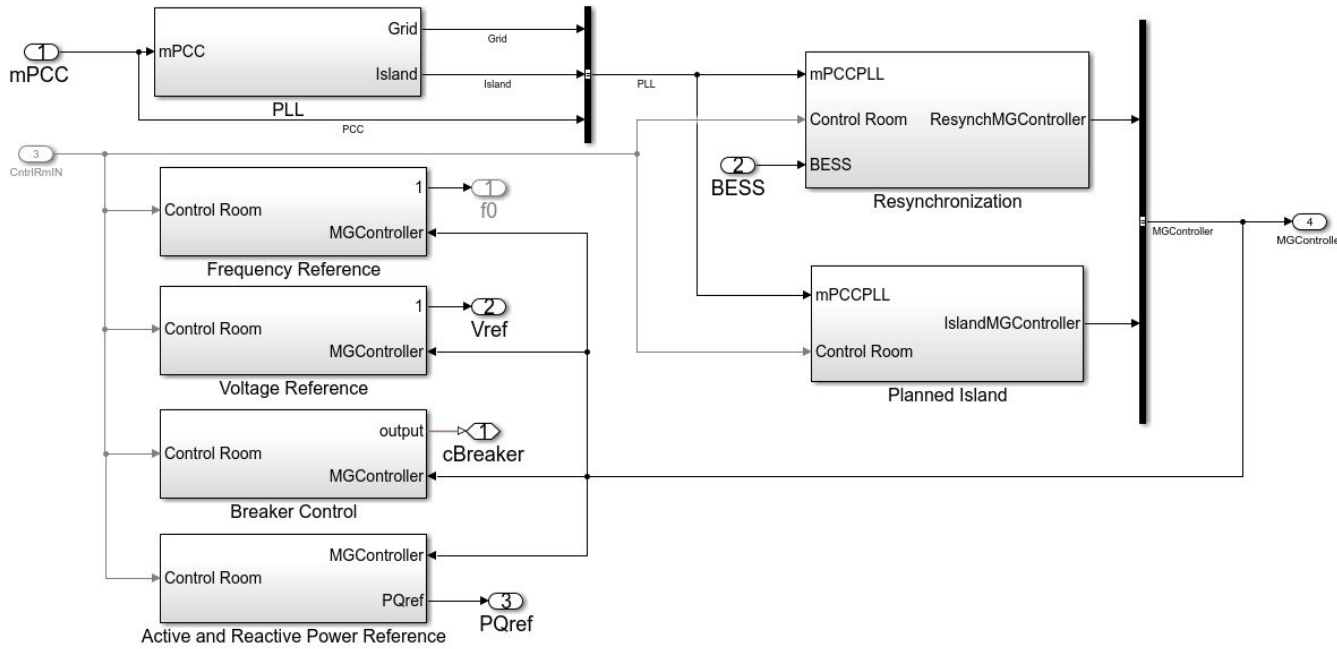
Ada çalışması planlı veya plansız olarak gerçekleşebilir, planlı geçiş zamanı ve adada kalmanın süresi önceden planlanmış olan bakım ve bakım gereği enerji kesintilerinden ve dolayısıyla enerji kalitesi problemlerinden tesisi korumak amaçlı yapılmaktadır.

Planlı ada moduna geçişin arkasından dağıtılmış üretim kaynaklarının beslenen yükün karakteristiğine uygun biçimde ve yeterli miktarda *aktif ve reaktif güç sağlayabilmesi* çok önemlidir. Ayrıca, ada sistemi *gerilimi ve frekansı kabul edilebilir aralıklarda tutacak* kontrol mekanizmasına da sahip olunması ve üretim- tüketimi dengesini sağlayabilmek için yük takibi, gerektiğinde yük atma yöntemler kullanılması beklenir.

Benzetim çalışmaları, kararlı halde ve senkron olarak çalışan mikro şebeke ve ulusal şebeke için 1nci saniye de ada moduna geçiş komutunun, 2,9ncu saniyede kesicinin kapanması ve 4ncü saniyede ise yük miktarının artması durumları incelemektedir.



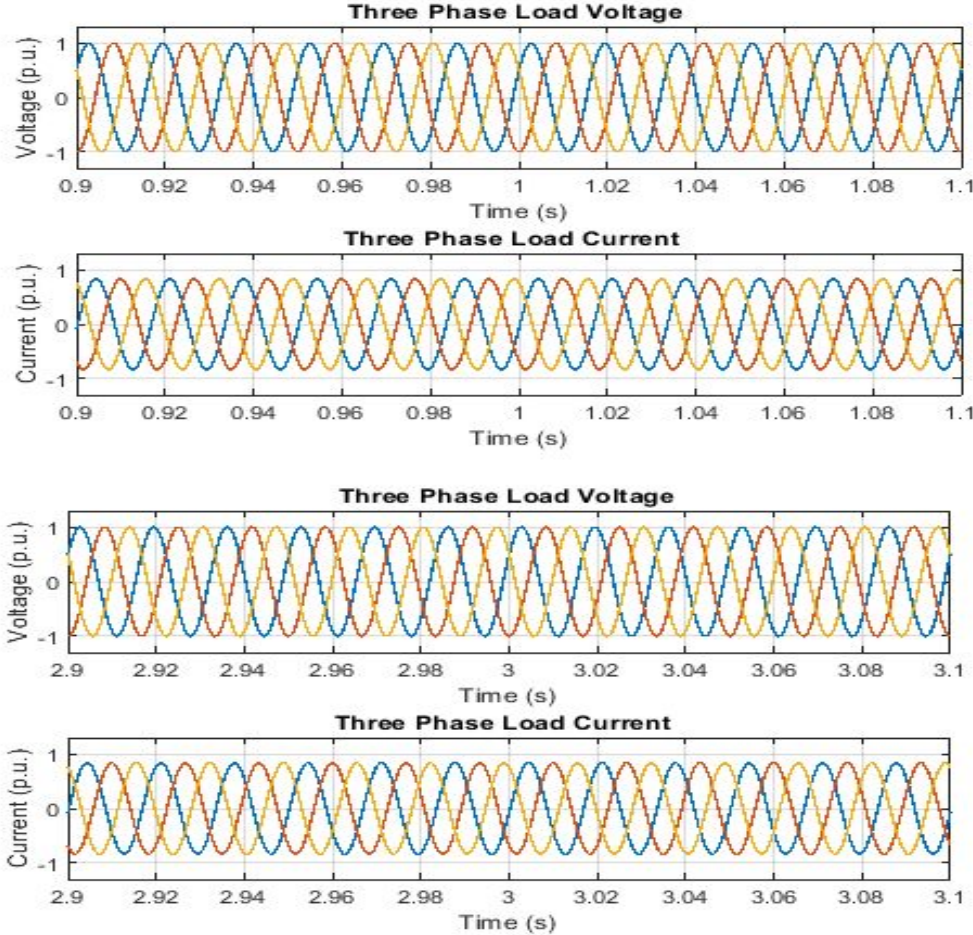
Planlı ada modunda kullanılan Simulink devresi ve bu devrenin analizinden elde edilen ulusal şebeke akım sonuçları aşağıda verilmiştir.



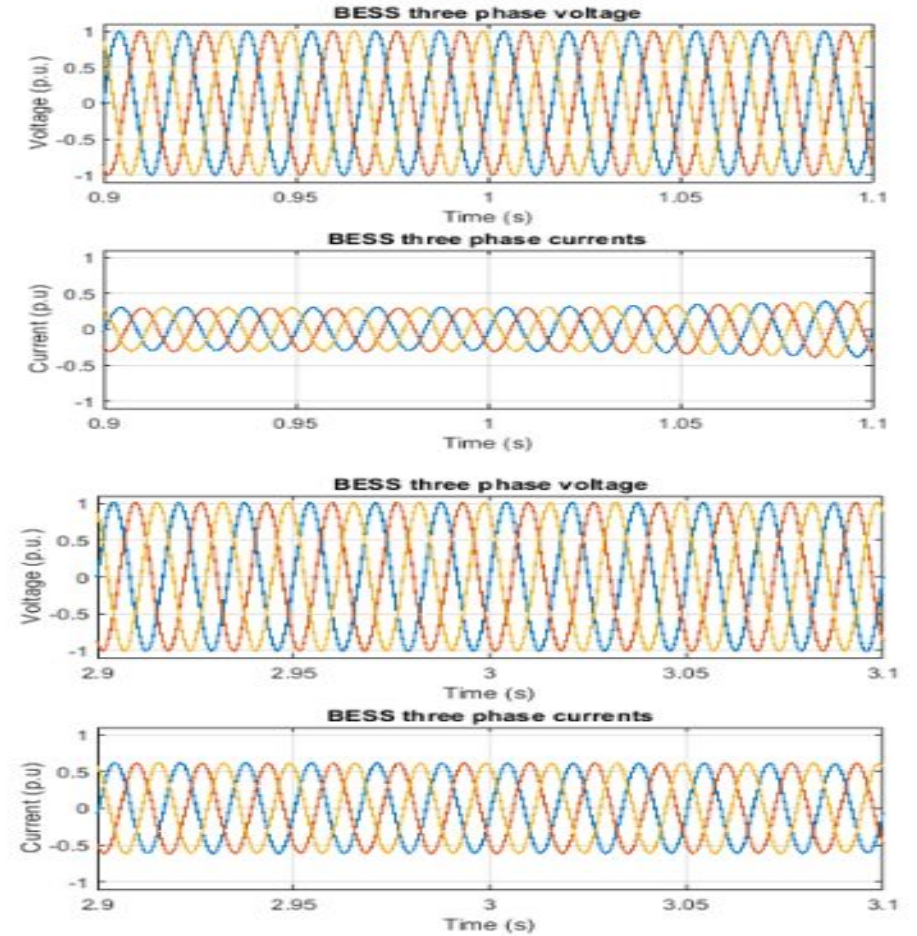
Yük üzerindeki akım gerilimlerin ada modu komutu ve kesicinin kapanmasından etkilenmediği görülürken, BESS tarafında akım ve gerilimde farklı süreçler yaşanır.

Kararlı sabit bir voltaj ile komut alındıktan sonra yavaşça artan ve kesici açtıktan sonra kararlı hale gelerek başlangıç durumuna göre yaklaşık iki katına çıkan bir BESS akımını iyi planlanmış bir ada modunu başarı ile gerçekleştirdiğini göstermektedir.

Yük Akım ve Gerilimi



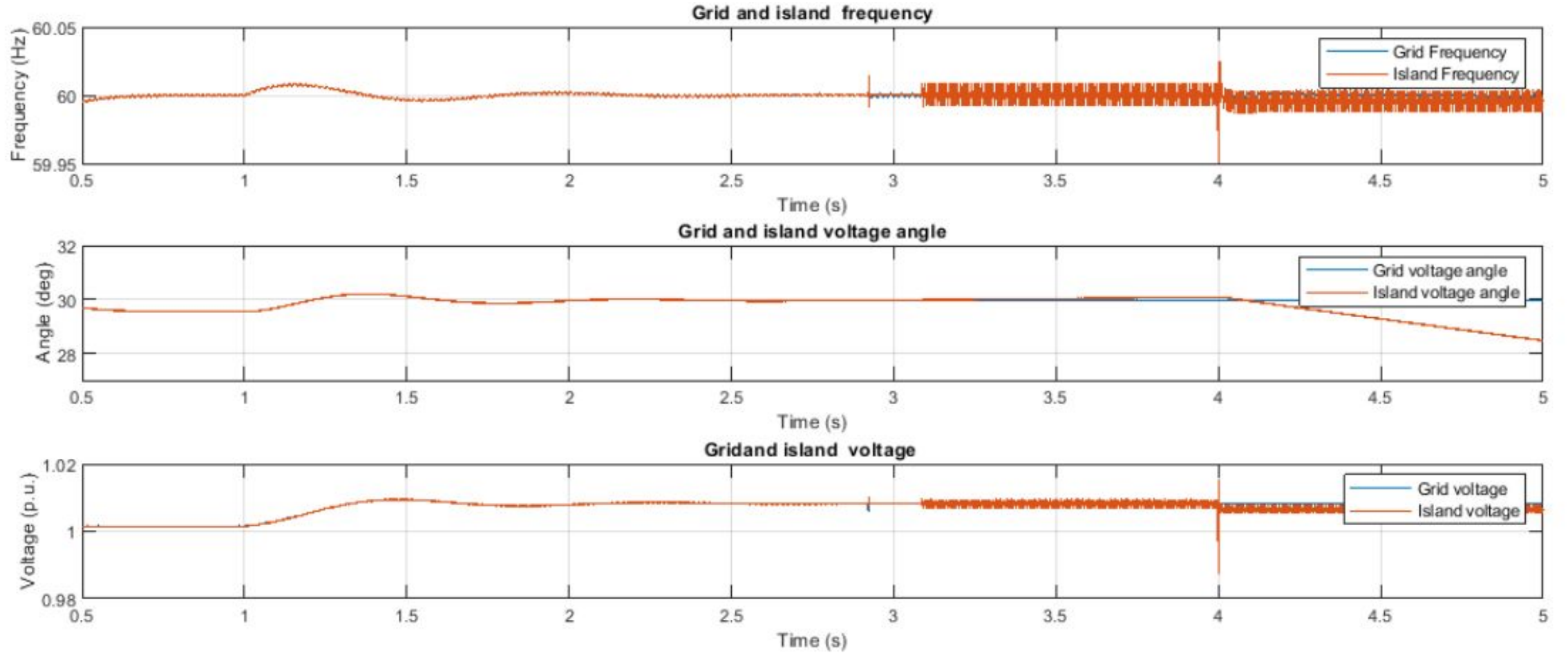
BESS Akım ve Gerilimi



Bu analiz sırasında ulusal şebeke kısmında voltaj 11,1 kV ve kaynak iç direnci 2Ω olarak alınırken, trafo gücü 600 kVA, voltajı 11,1-2,3 kV ve eşdeğer devre direnç ve reaktansın her ikisi de primer için 0,03 per unit ve sekonder için 0,04 per unit olarak alınmıştır.

Bu analizde süreç şu şekilde ilerlemektedir:

- Mikro şebekedeki kontrol odasının üretilen çıkış sinyali sıfır güç akışı için kontrol bloğuna yönlendirilir. Kontrol bloğu, mikro şebeke kontroller devresinin önceden belirlenmiş parametreleri içerir.
- Mikro şebeke kontroller çıkışı, PCC ölçümleri ile birleştirilerek ada modunda mikro şebeke kontroller devresi geri beslenir.
- Bu geri besleme döngüsü sayesinde, kontroller istenen güç akışını sağlamak için gerekli düzenlemeleri yapar.
- Planlı ada modu sayesinde, ana şebeke ile kesinti yaşanması durumunda mikro şebeke operasyonuna sağlıklı bir şekilde devam eder.



Ada Modu ve Ulusal Şebeke Çalışma Modlarında Ait Frekans, Voltaj Genliği ve Faz açısının Zamana Göre Değişimi

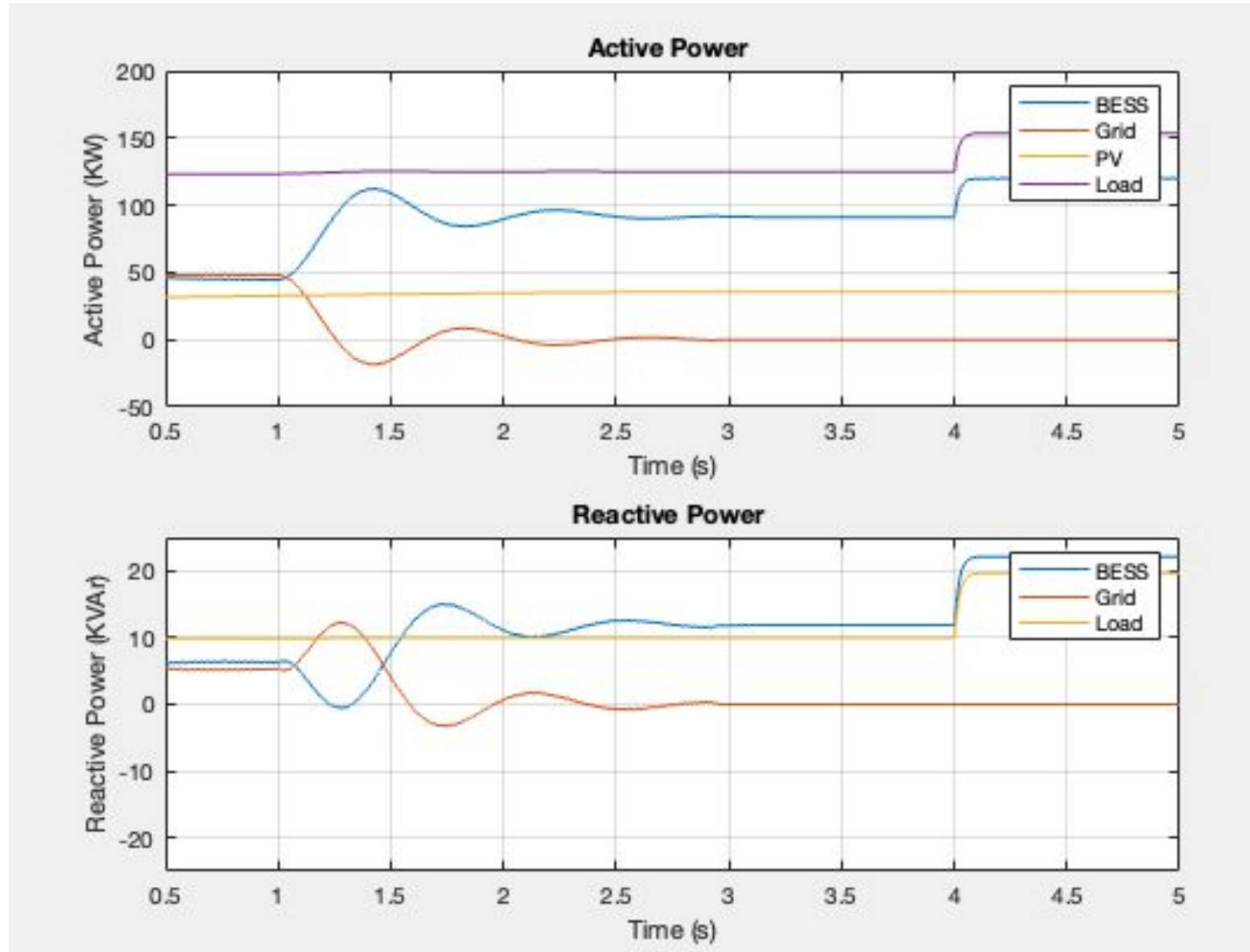
Bu analizler yapılırken dikkat edilmesi gereken bir başka çok önemli konu ise adaya geçişte frekans voltaj ve voltajın faz açısının kararlılığının ne olacağıdır.

Bir önceki (slayt 19) görülen şekilde ada modunda çalışan mikro şebeke ve ulusal sistemin frekansı, voltajın genliği ve voltajın faz açısı grafikleri görülebilir. Bu grafiklerden de anlaşılacağı üzere 1nci saniyede komut geldiği anda hem frekans hem de voltajın genlik ve faz açısında artışlar olmakla birlikte bu artış miktarları kabul edilebilir sınırlarda olup, kesicinin açmasından sonra yaşanan değişimlerin salınımı dikkati çekmektedir.

Hem frekans hem de voltaj genliğinin kararlılığının sadece mikro şebeke boyutunda incelendiğinde, ulusal şebekeye göre çok daha düşük olduğu görülmektedir.

Ayrıca yük miktarı artıp ada modunda olduğundan bunu destekleyecek yeni bir kaynak mikro şebekede bulunmadığından frekans, voltajın genliği ve açısında düşüşler belirgin olarak gözlenmektedir.

Aşağıdaki (slayt 21) dört farklı noktadaki aktif ve reaktif gücün zamana göre değişimi görülmektedir. 1nci saniyede komut gelmesi ile BESS'in aktif ve reaktif gücü salınımlı olarak artarken, ulusal şebekenin aktif ve reaktif gücü salınımla yaklaşık 2,9ncü saniyede sıfırlanmaktadır. 4ncü saniyede gerçekleşen yük artışının BESS'deki yansımaları belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır.



PV, Ana Şebeke, Yük ve BESS Üzerindeki Aktif ve Reaktif Güç Grafiği

Tüm bu grafikler, sistemin performansını ve planlanan ada modu işlevinin etkilerini göstermektedir. Maksimum ve minimum minimum voltaj ile frekans değişim değerleri IEEE 2030.7 standartlarına uygun olarak planlanmıştır.

Yeniden ulusal şebekeye senkronizasyon prosedürü ise, voltaj ve frekans değişimlerinin gene standartlarda tanımlanan kabul edilebilir sınırlar içinde tutularak gerçekleştirilir.

Planlı ada modunda çalışan bir mikro şebeke, aktif güç, reaktif güç, batarya enerji depolama sistemi, şebeke ve yükler arasında önemli bir etkileşim sağlar.

Aktif güç, mikro şebekenin ürettiği veya tükettiği gerçek gücü temsil eder. Batarya enerji depolama sistemi, güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan gelen enerjiyi depolayarak mikro şebekenin aktif gücünü artırabilir.

Reaktif güç ise mikro şebekenin endüktif veya kapasitif yüklerle olan ilişkisini ifade eder. Bu güç faktörünü ve enerji verimliliğini etkileyen önemli bir faktördür.

Sonuçlar

Bu çalışmada planlı ada modunda çalışan bir mikro şebeke bir Simulink modeli referans alınarak detaylı olarak analiz edilmiştir.

Simülasyon sonuçları ve matematiksel modellemeler, planlı ada modunda çalışan bir mikro şebeke, gerilim kararlılığını sağlayarak güç sistemine bağlı yüklerin düzgün çalışmasını sağlayabileceğini göstermektedir.

Ayrıca, iç kontrol ve yönetimi sayesinde enerji üretimini, depolamayı ve tüketimi dengeleyerek güç dengesini korur.

Bu sistem, verimli enerji kullanımını teşvik eder ve enerji kaynaklarının optimal şekilde kullanılmasını sağlar.

Aynı zamanda, bağımsız çalışabilme özelliği sayesinde kesinti durumlarında yedekleme gücü sağlar ve güvenilir bir enerji kaynağı olarak hizmet verir.

Tüm bunlar, mikro şebekenin voltaj, akım ve güç düzeylerini istikrarlı ve optimize bir şekilde tutarak enerji verimliliğini artırır.

Kaynaklar

- [1] Yoldaş, Yeliz & Onen, Ahmet & Muyeen, S M & Vasilakos, Athanasios & Alan, Irfan. (2017). “Enhancing smart grid with Microgrids: Challenges and opportunities”, Renewable and Sustainable Energy Reviews. DOI: 10.1016/j.rser.2017.01.064
- [2] Jaynendra Kumar, Anshul Agarwal, Nitin Singh, “Design, operation and control of a vast DC microgrid for integration of renewable energy sources”, Renewable Energy Focus, Vol.34, September 2020, pp:17-36, [DOI:10.1016/j.ref.2020.05.001](https://doi.org/10.1016/j.ref.2020.05.001)
- [3] Kai Li, Jike Zhang, Jianwei Zhang, “Research on the Control Strategy of AC/DC Interlinking Converters in Islanded Hybrid Microgrid”, pp:479-483, [2021 IEEE 4th International Conference on Electronics Technology \(ICET\)](https://doi.org/10.1016/j.iet.2021.04.001)
- [4] Ayşe Aybike Şeker, Tuba Gözel, Mehmet Hakan Hocaoglu, “An Analytic Approach to Determine Maximum Penetration Level of Distributed Generation Considering Power Loss”, 2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), pp:956-961 Cairo University, Egypt.
- [5] “IEEE Standard for the Specification of Microgrid Controllers, IEEE 2030.7-2017.” IEEE, 2017.
- [6] Pavitra Sharma, Hitesh Dutt Mathur, Puneet Mishra, Ramesh C. Bansal, “A critical and comparative review of energy management strategies for microgrids”, Applied Energy, [Volume 327](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120028), 1 December 2022, 120028, [DOI:10.1016/j.apenergy.2022.120028](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120028)
- [7] Haoyang Zheng, Zeng Liu, Ronghui An, Jinjun Liu, “An Islanding Detection Method for Microgrids Using Synchronized Small-AC-Signal Injection”, pp:3008-3013, [2020 IEEE 9th International Power Electronics and Motion Control Conference \(IPEMC2020-ECCE Asia\)](https://doi.org/10.1016/j.ipelec.2020.09.001)
- [8] D. Prasad, N. Kumar, and R. Sharma, “Modeling and Simulation of Microgrid Solar Photovoltaic System with Energy Storage”, 2018 2nd IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES), Delhi, India, 2018, pp. 623-629, DOI: 10.1109/ICPEICES.2018.8897355.
- [9] Sahar Zafar, Husnain Sadiq, Beenish Javaid, Hassan Abdullah Khalid, “On PQ Control of BESS in Grid-Connected Mode and Frequency Control in Islanded-Mode for MicroGrid Application”, [2018 International Conference on Computing, Electronic and Electrical Engineering \(ICE Cube\)](https://doi.org/10.1016/j.ice.2018.12.001)
- [10] M.Vijayaragavan, N.Madhanakkumar, Monika.G, Amathullah. A.S, “Micro Grid Connected Solar PV Employment Using for Battery Energy Storage System”, [2021 International Conference on System, Computation, Automation and Networking \(ICSCAN\)](https://doi.org/10.1109/ICSCAN.2021.9526396) DOI: [10.1109/ICSCAN.2021.9526396](https://doi.org/10.1109/ICSCAN.2021.9526396)
- [11] MathWorks, 2021, “Microgrid: Planned Island from Main Grid”, [Son erişim: 02 Mayıs 2023]. <https://nl.mathworks.com/help/sps/ug/microgrid-planned-island.html>
- [12] J. Kumar, A. Agarwal, and V. Agarwal, “A review on overall control of DC microgrids”, Journal of Energy Storage, vol. 21, pp. 113-138, 2019. DOI: 10.1016/j.est.2018.11.013
- [13] El-Fallah, F. R. Salama, A. Mohamed, ve E. Shaheen, “Design and Operation of a Phase-Locked Loop with Kalman Estimator-Based Filter for Single-Phase Applications” IEEE Industrial Electronics, IECON 2006 - 32nd Annual Conference Aralık 2006 DOI: 10.1109/IECON.2006.348099
- [14] Hidehito Matayoshi, Mitsunaga Kinjob, Shriram S. Rangarajanc, Girish Ganesan Ramanathana, Ashraf M. Hemeidad, & Tomonobu Senjyu, “Islanding operation scheme for DC microgrid utilizing pseudo Droop control of photovoltaic system”, Journal of Energy for Sustainable Development, [Volume 55](https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.01.004), April 2020, pp. 95-104, DOI:10.1016/j.esd.2020.01.004
- [15] Borazjani, Pouya & Abdul Wahab, Noor Izzri & Hizam, Hashim & che soh, Azura. (2014). “A review on Microgrid control techniques.” 2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia, ISGT ASIA 2014. 749-753. 10.1109/ISGT Asia.2014.6873886.

Dinlediğiniz İçin Teşekkürler

