

MİKRO AĞLAR: GENELLEŞTİRME VE KORUMA ÜZERİNE ÇALIŞMALAR MICROGRIDS: STUDIES ON GENERALIZATION AND PROTECTION

Bülent Dağ¹, Abdullah Nadar¹, A. Rifat Boynueğri², Yavuz Ateş², Arif Karakaş²

1. Enerji Enstitüsü Ankara Birimi
TÜBİTAK MAM
{bulent.dag, abduallah.nadar}@tubitak.gov.tr

2. Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi
{alirifat, yates, akarakas}@yildiz.edu.tr

ÖZETÇE

Bu çalışmada akıllı ağların en önemli güç katmanı uygulamaları olan dağıtık üretim ve mikro ağlar, uygulama kolaylığı sağlaması amacıyla genelleştirilmeye çalışılmıştır. Öncelikle geliştirilmiş dağıtık üreteç modeli ve kaynakları belirlendikten sonra alçak gerilim yerleşim alanlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın olarak kullanımına olanak sağlayan bir mikro ağ yapısı ve dağıtım otomasyon mimarisi önerilmiştir. Önerilen felsefe yenilenebilir kaynakların mevcut dağıtım şebekelerine asgari maliyetle entegrasyonunu sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmadaki amaç yenilenebilir kaynakların yaygın kullanımıyla birlikte ortaya çıkan durumda akıllı ağlarda yenilenebilir kaynakların entegrasyonu konusunda standart bir uygulama prensibi sağlamaktır.

ABSTRACT

In this study, distributed generation and microgrids which are the most important power stage applications of smart grids are intended to be generalized for the purpose of providing ease of application. Firstly, after identifying distributed generation model and sources, a microgrid structure and distribution automation architecture has been proposed leading to widespread application of renewable energy sources. Proposed philosophy has been designed to integrate renewables sources to the existing distribution networks with minimum cost. The purpose of the study is to provide a standard application principle to the integration of renewable sources into smart grids in the case of widespread application of renewables.

1. GİRİŞ

Akıllı ağ, bilişim ve haberleşme teknolojilerinin kullanılmasıyla elde edilen gözlem ve kontrol yetenekleriyle dağıtım şebekelerinin işlevselliğinin eniyileştirilmesi uygulamalarının tümü olarak tanımlanabilir. Geleneksel şebeke yapısında tüm kontrol ve koruma yapıları neredeyse mekanik sistemlerden oluşmaktadır. Ancak son yıllarda, ilerleyen bilişim teknolojileri sayesinde dağıtım şebekelerinde akıllı uygulamalar artmaya başlamıştır. İstanbul boğaziçi dağıtım bölgesinde uygulanan, hata tespiti ve giderilmesinde önemli iyileştirmeler sağlamış olan TUDOSİS orta gerilim dağıtım otomasyonu uygulaması buna güzel bir örnektir [1].

Diğer yandan dağıtım şebekelerinde artan yenilenebilir kaynak entegrasyonu akıllı gözlem ve kontrol uygulamalarını artık bir zorunluluk haline getirmiştir. Yenilenebilir kaynakların kesikli enerji üretimi yapısı bu kaynakların şebekeye entegrasyonunu sınırlamakta ayrıca dağıtık üretimle ortaya çıkan çift yönlü

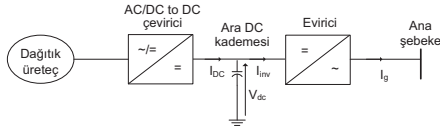
enerji akışları ve limitli kısa devre akımlarına sebep olan güç elektroniği arayüzü uygulamaları bu şebekelerin hata tespiti ve koruma koordinasyonu konularında sıkıntılar yaşanmasına sebep olmaktadır. Son zamanlarda akıllı ağ uygulamalarıyla dağıtık üretim şebekelerinde ortaya çıkan bu olumsuz durumların ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalar artmıştır. Bu kasamda dikkat çeken uygulamalardan birisi mikro ağ kavramıdır. Mikro ağ, elektrik şebekelerinin alçak gerilim seviyesinde gerçekleştirilen, dağıtık enerji kaynaklarından, enerji depolama birimlerinden ve kontrol edilebilir yüklerden oluşan ve en önemli özelliği ise şebekeden bağımsız ada modunda çalışma yeteneğine sahip olan özel bir akıllı ağ uygulamasıdır. Mikro ağların akıllı ağ kapsamındaki diğer bir önemli özelliği ise farklı ve çok sayıda ünitelerden oluşan bu birimin özel kontrol teknikleri sayesinde genel şebeke ağı içerisinde tek bir ünite olarak belirmesi ve bu bakımdan şebekeye kontrol ve koruma esnekliği sağlamasıdır.

Bu çalışmanın II. bölümünde geliştirilmiş bir dağıtık üreteç modeli verilecek ve dağıtık üretimde kullanılan kaynakların genel bir sınıflandırılması yapılacaktır. Daha sonra, bu kaynaklardan oluşan geliştirilmiş bir mikro ağ modeli önerilecektir. Son olarak mikro ağlarda koruma konusu değerlendirilecektir.

2. DAĞITIK ÜRETİM

Dağıtık üretim küçük ölçekli kaynakların dağıtım şebekesi içerisinde kullanıcılara yakın bir şekilde yerleştirildiği alternatif şebeke uygulamasıdır. Dağıtık üretimin geleneksel merkezi şebeke yapısıyla karşılaştırıldığında sağladığı en önemli avantajlar; düşük iletim kayıpları ve yenilenebilir kaynakların yaygın kullanımı sayesinde azalan çevre kirliliğidir. Ayrıca iletim hatlarına oranla düşük bakım-işletim maliyetleri, bir noktaya yığılmış büyük çaplı enerji üretimi olmaması dolayısıyla artan güvenilirlik ve güç elektroniği arayüzü sayesinde artan üretim kalitesi ve kontrol esnekliği dağıtık üretimin diğer avantajları olarak belirmektedir. Belirtilen gibi dağıtık üretimde kullanılan bir çok kaynak şebeke entegrasyonu için güç elektroniği arayüzü gerektirmektedir. Bu kapsamda Şekil 1 de geliştirilmiş bir dağıtık üreteç modeli görülmektedir [2]. Şebeke arayüzü olarak kullanılan dağıtık üreteç evircisi kaynak tarafından bir ara DC kademesi ile ayrılmıştır. Bu ara DC kademesi şebeke ihtiyaçlarına göre bir DC link kapasitörü olabileceği gibi pil gibi enerji depolama elemanı da olabilir.

Dağıtık güç kaynaklarının sınıflandırılması: Dağıtık üretimde kullanılan güç kaynakları doğada bulunma ve kullanım şekillerine göre belirsiz güçlü ve belirli güçlü kaynaklar olarak iki ana sınıfa ayrılabilirler. Belirsiz güçlü



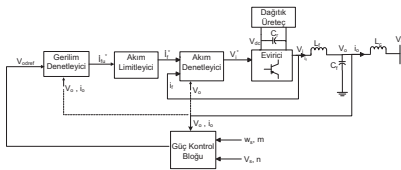
Şekil 1: Genelleştirilmiş dağıtık üreteç modeli.

kaynakların anlık güç kapasitesi çevre koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir ve anlık üretimi belirlemede kullanıcı tarafından herhangi bir denetim mekanizması bulunmamaktadır. Rüzgar ve güneş bu tip kaynaklara tipik örneklerdir. Belirli güçlü kaynakların anlık gücü ise normal şartlar altında kontrol edilebilmektedir ve bu tür kaynaklar üretim tüketim dengesi açısından uzun vadeli planlamaya tabi olabilmektedirler. Yenilenebilir kaynaklardan yakıt hücresi, jeotermal kaynaklar ve küçük çaplı hidro jeneratörler ve yenilenebilir türlerden mikro türbinler, doğalgaz ve dizel jeneratörler bu guruba dahil edilebilirler. Dağıtık üreteç kaynağının yukarıda bahsedilen tiplerine göre genelleştirilmiş dağıtık üreteç modelindeki eviricinin kontrol algoritması çeşitlilik gösterir. Bu kontrol tekniklerinden ilerleyen bölümlerde bahsedilmiştir.

2.1. Dağıtık Üreteç Evirici Kontrol Teknikleri

Dağıtık üretimde kullanılan eviricilerin yapılarına ve değişik şebeke durumlarına göre uygulanan kontrol teknikleriyle ilgili literatürde birtakım çalışmalar bulunmaktadır [3-6]. Bu yöntemlerin detaylı incelenmesi ve değişik durumlara göre sınıflandırılması sonucunda dağıtık üretimde kullanılan eviriciler için şebekenin durumu ve eviricinin bağlı olduğu kaynak tipine göre değişebilen üç temel genel kontrol yaklaşımı geliştirilmiştir.

Gerilim referans kontrolü: Bu modda çalışan eviricinin görevi mikroağa ada modunda gerilim referansı sağlamaktır. Genel olarak tipik bir gerilim kontrol algoritması olan bu kontrol tekniğine birden çok eviricinin paralel çalışmasına olanak sağlaması bakımından Eşitlik (1) ve (2) de verilen düşüm kontrol teknikleri adapte edilmiştir. Şekil 2 de genelleştirilmiş bir gerilim referans denetimi için kontrol blok şeması görülmektedir.



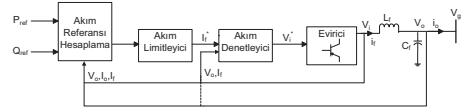
Şekil 2: Düşüm tabanlı gerilim referans kontrolü.

$$w = w_s - mP_0 \quad (1)$$

$$V = V_s - nQ_0 \quad (2)$$

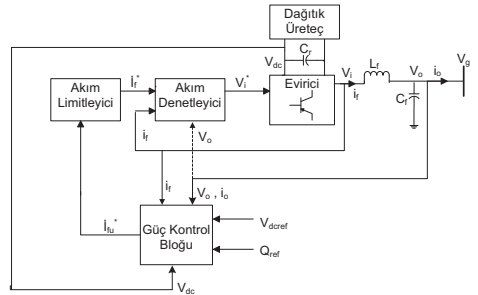
Burada, w evirici frekansını, V evirici çıkış gerilimini, m ve n düşüm katsayılarını ve w_s ve V_s ilgili parametrelerin anma değerlerini ifade etmektedir. P_0 ve Q_0 aktif ve reaktif çıkış güçleridir.

Belirli güçlü akım kontrolü: Belirli güçlü kaynak eviricileri şebeke modunda bu algoritmayla kontrol edilirler. Bu tipik bir P-Q tabanlı akım kontrol algoritmasıdır. Ağ destek modunda çalışan bir evirici P-Q aktif-reaktif güç referanslarıyla denetlenir. Şekil 3 de bu yöntemin kontrol blok şeması görülmektedir. Aktif (P) ve reaktif (Q) güç referansları ağ yöneticisi tarafından merkezi bir algoritma sonucuna göre ilgili eviricilere iletilir.



Şekil 3: Belirli güçlü akım kontrolü.

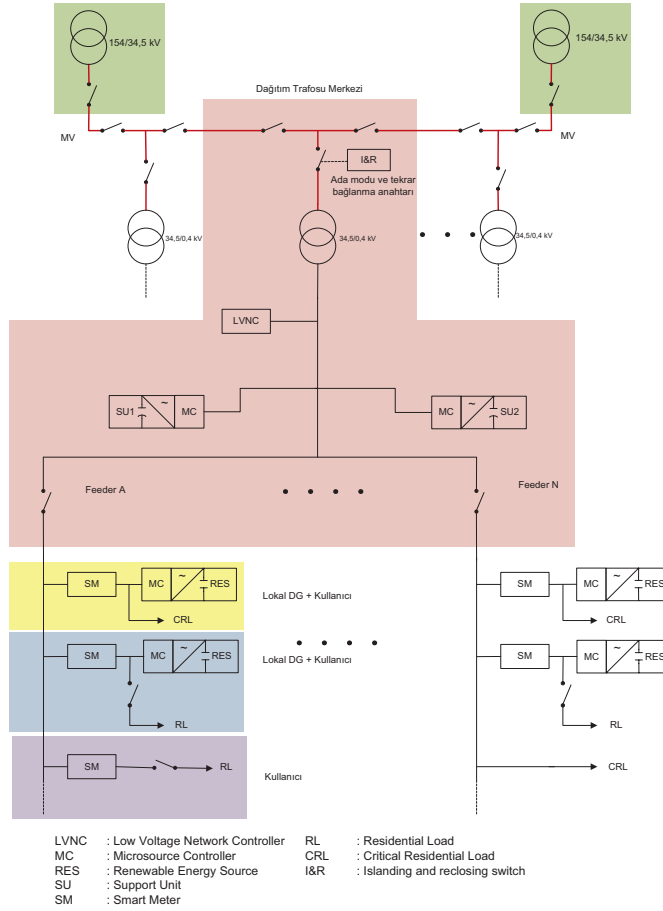
Belirsiz güçlü akım kontrolü: Rüzgar ve güneş gibi belirsiz güçlü yenilenebilir enerji kaynaklarına bağlı eviriciler bu denetim algoritmasıyla kontrol edilirler. Bu modda evirici mevcut aktif gücün tamamını şebekeye aktaracak şekilde kontrol edilirken reaktif güç genelde sıfıra set edilir veya bir gerilim regülasyonu algoritması kapsamında merkezi kontrolcü tarafından belirlenir. Şekil 4 de belirsiz güçlü akım kontrolü blok şeması görülmektedir.



Şekil 4: Belirsiz güçlü akım kontrolü.

3. GENELLEŞTİRİLMİŞ MİKRO AĞ MİMARİSİ ÖNERİSİ

Önceki bölümlerde belirtilen dağıtık üreteç karakteristikleri ve mevcut geleneksel dağıtım şebekesi yapısı dikkate alınarak oluşturulan genelleştirilmiş bir mikro ağ mimarisi önerisi Şekil 5 de görülmektedir. Buradaki amaç mevcut şebeke yapısıyla uyumlu modüler bir mikro ağ mimarisi geliştirerek mikro ağların ve dolayısı ile yenilenebilir kaynakların yaygınlaşmasına imkan sağlamaktır.



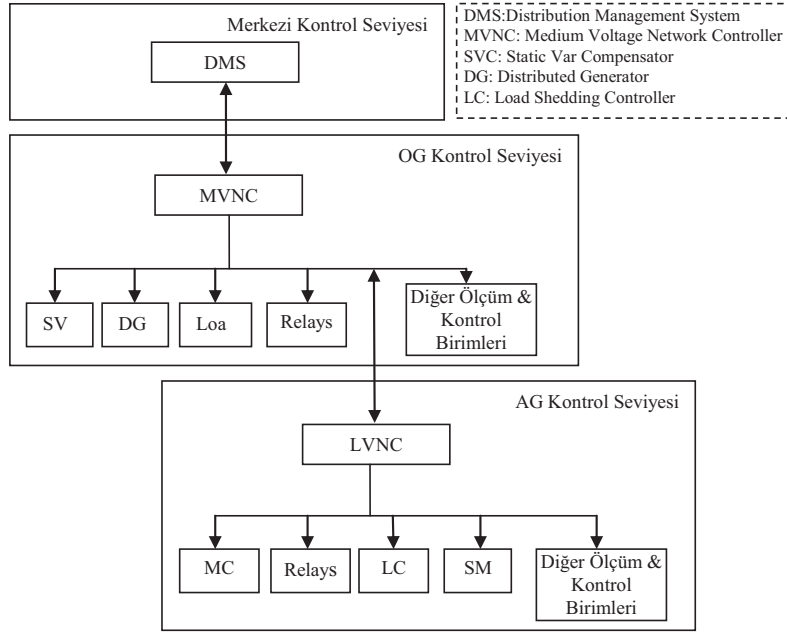
Şekil 5: Genelleştirilmiş hibrid mikro ağ mimarisi.

Elektriksel Mimari: Önerilen genelleştirilmiş mikro ağ modelinde, dağıtım trafo merkezine yakın bir konumda yerleştirilmiş belirli güçlü kaynaklardan oluşan iki adet destek ünitesi bulunmaktadır (SU1, SU2). Destek ünitelerinin amacı ada modunda mikro ağa gerilim referansı sağlamak ve kritik yükleri beslemektir. Bu bakımdan sayıları şebeke güvenilirliği açısından yedeklilik ihtiyacı da göz önünde bulundurularak en az iki adet olmalıdır. Mikro ağ ada modunda iken destek ünite eviricileri Şekil 2 de blok şeması görülen gerilim referans kontrolü algoritmasıyla denetlenmelidirler. Şebeke modunda ise destek üniteleri belirli güçlü akım kontrolü algoritmasıyla denetlenirler (Şekil 3).

Modelde ayrıca yerleşim alanı fiderleri boyunca şebeke kullanıcılarına ait yenilenebilir kaynaklardan oluşan dağıtık üreteçler bulunmaktadır (RES). Bu üreteçler hem ada modunda hem de şebeke modunda Şekil 4 de blok şeması

görülen belirsiz güçlü akım kontrol algoritmasıyla denetlenirler. Güç elektroniği arayüzlü dağıtık üretim şebekelerinde potansiyel enerjinin depolandığı döner küteller bulunmadığından dolayı ani yük değişimlerinde geçici durum ihtiyacını karşılamak için enerji depolama birimlerine ihtiyaç duyulabilmektedir [7]. Bu ihtiyaç destek ünitelerinin ara DC kademesine yerleştirilecek bataryalardan karşılanabileceği gibi alternatif enerji depolama birimleri de (flywheel, fuel cell, v.b.) sisteme ayrıca dahil edilebilirler.

Diğer yandan, mikro ağ içerisinde faaliyeti toplumsal açıdan önemli olan yükler (hastane, askeri üs, v.b.) kritik yük olarak belirlenebilir. Ada modunda üretim tüketim dengesi bozulduğunda kritik olmayan yüklerin yük atma algoritmasıyla devre dışı bırakılması mikro ağ denetim mekanizmalarından birisi olarak ön görülmektedir.



Şekil 6: Akıllı dağıtım otomasyonu mimarisi.

Kontrol ve Otomasyon Mimarisi: Önerilen mikro ağ yapısının kontrol mimarisi içerisinde dağıtım trafo merkezine yerleştirilmiş bir adet mikro ağ merkezi kontrolcü (LVNC) bulunmaktadır (bkz. Şekil 5). Merkezi kontrolcünün ana görevi sistem optimizasyonu olup olası işlemlerinden bazıları aşağıda listelenmiştir [8];

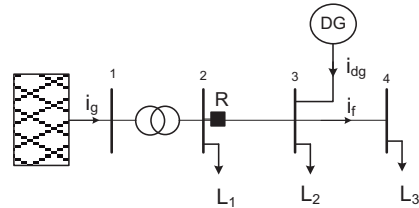
- Yük atma
- Güç dağıtımı
- Koruma ve hata ile ilgili düzenlemeler
- Gerilim düzenlemesi

Mikro ağların düşük gerilim seviyesinde şebekeye entegrasyonu ile beraber, sadece orta gerilim seviyesini kapsayan mevcut geleneksel dağıtım otomasyon mimarisine, alçak gerilim seviyesini de dikkate alan yeni bir kontrol seviyesi de eklemek gerekmektedir [9]. Bu kapsamda önerilen akıllı dağıtım otomasyon mimarisi Şekil 6 da görülmektedir. Dağıtık üreteçlerin kontrolünden sorumlu olan lokal kontrolcüler (MC), akıllı sayaçlar, ada modu kontrolcüsü, yük atma ve koruma anahtarları kontrol ve otomasyon sisteminin diğer elemanlarıdır.

4. GÜÇ ELEKTRONİĞİ ARAYÜZLÜ DAĞITIK ÜRETİM ŞEBEKELERİNDE KORUMA

Geleneksel şebeke yapısı pasif bir işleyiş sergilemektedir. Merkezi olarak üretilen güç orta/alçak gerilim yüklerine tek yönlü olarak iletilir ve dolayısı ile orta/alçak gerilim koruma sistemleri de bu tek yönlü pasif işleyişe göre tasarlanır. Ancak

dağıtım şebekesine dağıtık üreteç entegrasyonu ile birlikte şebeke aktif bir yapıya dönüşür ve pasif sisteme dayalı koruma teknikleri yetersiz kalmaya başlar. Dağıtım şebekesindeki aktif üretimin şebekeye etkileri Şekil 7 deki gibi basit aktif dağıtım şebeke modeli üzerinden incelenebilir.

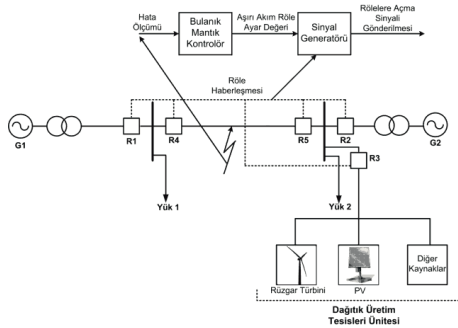


Şekil 7: Örnek bir dağıtık üretim şebekesi

Değişken hata akımı seviyeleri: Şekil 7 deki sistemde 3 ve 4 numaralı baralar arasında bir kısa devre hatası meydana geldiğinde hata akımı şebeke akımı i_g ve dağıtık üreteç akımı i_{dg} nin toplamına eşit olacaktır. Ancak 2 numaralı baraya yerleştirilmiş bir röle sadece şebeke akımını görecektir. Dağıtık üreteç olmasaydı doğru kısa devre akımını ölçebilecek olan röle dağıtık üreteç eklenmesiyle kısa devre akımını doğru ölçememekte ve hata payı dağıtık üreteçlerin sayısına, yerleşimine ve anlık üretim kapasitesine göre değişmektedir. Bu durumdan anlaşılacağı üzere dağıtık üretim şebekelerinde kullanılan röleler şebekenin durumuna göre adaptif bir şekilde röle set değeri güncellemesi gerektirmektedir.

Yetersiz hata akımı seviyeleri: Daha önce de belirttiği gibi dağıtık üreteçlerin birçoğu şebekeye güç elektroniği arayüzüyle bağlanmayı gerektirir. Ancak evirici ünitelerinin anahtarlarını korumak amacıyla uygulanan akım limitleme algoritmaları özellikle ada modunda yetersiz hata akımları oluşmasına ve böylece aşırı akım rölelerinin hatayı tespit edememesine sebep olabilmektedir. Burdan anlaşılacağı üzere dağıtık üretim şebekelerinde mikro ağı şebekeye bağlanma durumuna göre de röle set değerleri güncellenmesi gerekebilmektedir.

Akıllı Şebekelerde Adaptif Koruma ve Röle Koordinasyonu: Yukarıdaki değerlendirmeler ışığında PRO-NET kısaltmalı TÜBİTAK MAM ve Yıldız Teknik Üniversitesi ortaklığıyla yürütülen uluslar arası ERA-NET projesi kapsamında geliştirilen adaptif koruma yapısı Şekil 8 de verilmiştir. Geliştirilecek algoritmaya göre ilgili rölenin bağlı olduğu noktadaki akım, gerilim ve frekans değerlerini ve mikro ağdaki diğer rölelerin durum bilgilerini kullanarak bulanık mantık yöntemine dayalı kontrol algoritmasıyla hata akım seviyesini ve cevap gecikme zamanını adaptif olarak belirlemesi hedeflenmektedir.



Şekil 8: Akıllı şebekelerin korumasında önerilen bulanık mantık kontrol yaklaşımı.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, uygulama kolaylığı sağlama açısından geliştirilmiş dağıtık üreteç ve bu üreteçlerden oluşan bir mikro ağ mimarisi sunulmuştur. Ayrıca mikro ağların korunmasına yönelik bulanık mantık tabanlı bir koruma koordinasyon algoritması önerilmiştir. Bundan sonraki aşamalarda, önerilen algoritma ve modellerin teorik olarak ve laboratuvar uygulamalarıyla doğrulanması ve gerçekleştirilmesi çalışmaları yapılacaktır.

6. KAYNAKÇA

- [1] Müfit Altın, "Fault Detection and Service Restoration in Medium Voltage Distribution System", web: <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12610519/index.pdf>
- [2] Bülent Dağ, M. Timur Aydemir, Abdullah Nadar, "Yerleşim Bölgeleri İçin Evirici Arayüzlü Hibrid Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçeren Bir Mikro Ağ

Felsefesi", II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, ETUK 2011, 24-27 Kasım 2011, İzmir, Türkiye, s. 296-302.

- [3] A. Engler, "Control of Parallel Operating Battery Inverters", web: http://www.iset.uni-kassel.de/abt/FB-A/publication/2000/2000aix-en-provence_engler_pv-hybrid.pdf.
- [4] Alfred Engler, Oleg Osika, Mikes Barnes, Nick Jenkins, A. Arulampalam, "Large Scale Integration of Micro-Generation to Low Voltage Grids", Microgrids Project DB1:Local Microsource Controller Strategies and Algorithms, February 2004.
- [5] A. Mohd, E. Ortjohann, W. Sinsukthavorn, M. Lingemann, N. Hamsic, D. Morton, "Supervisory Control and Energy Management of an Inverter-based Modular Smart Grid", Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE'09. IEEE PES. 15-18 March 2009, pages 1-6, Seattle WA.
- [6] J.A. Peças Lopes, C.L. Moreira, A.G. Madureira, "Defining Control Strategies for Microgrids Islanded Operation", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, No. 2, May 2006.
- [7] Ph. Degobert, S. Kreuawan, X. Guillard, "Micro-grid Powered by Photovoltaic and Micro turbine", International Conference on Renewable Energy and Power Quality, Palma de Mallorca, 5-7 April 2006.
- [8] S. Chowdhury, S.P. Chowdhury, P. Crossley, "Microgrids and Active Distribution Networks", Published by The Institution of Engineering and Technology, 2009, London UK.
- [9] Nuno Jose Gil, J. A. Peças Lopes, "Hierarchical Frequency Control Scheme for Islanded Multi-microgrids Operation", Power Tech, 2007 IEEE Lausanne, pg 473-478.