

Dağıtık Fotovoltaik Üretim için Akıllı Şebeke Kontrolcüsü

A Smart Grid Controller for Distributed PV Generation

Özgür Kahraman¹, Armağan Temiz¹, Abdullah Nadar¹, Eda Bülbül Sönmez¹

¹TÜBİTAK MAM – Enerji Enstitüsü

kahraman.ozgur@tubitak.gov.tr, armagan.temiz@tubitak.gov.tr, abdullah.nadar@tubitak.gov.tr, eda.bulbul@tubitak.gov.tr

Özet

Artan enerji talebi ve gelişen fotovoltaik (FV) teknolojisi, yakın gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının (özellikle güneş enerjisi) elektrik dağıtım sistemlerine entegrasyonunu önemli hale getirmektedir. Güç kalitesi, sürdürülebilirlik ve güvenilirlik göz önünde tutulduğunda; dağıtım sistemleri güvenilir, genişletilebilir, iyi tasarlanmış kontrol ve haberleşme sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu bildiride alçak gerilim (AG) dağıtım sisteminde FV üretimini kontrol ve izleme için geliştirilmiş özgün bir haberleşme ve kontrol sistemi anlatılmaktadır. IEC61850 ve MODBUS TCP/IP haberleşme protokolleri sahadan kontrol merkezine veri toplamak ve gerektiğinde kontrol merkezinden sahadaki sistemleri kontrol etmek için kullanılmıştır. Kontrol ve haberleşme sisteminin genel yapısı, fonksiyonları ve performansı farklı alt başlıklarda tartışılmıştır.

Abstract

Increasing energy demand and advancing photovoltaic (PV) cell technology bring importance to integrate Renewable Energy Sources (RES) (particularly solar generation) in Electricity Distribution Systems in the near future. Considering power quality, sustainability, and reliability as the main goals, a well-designed control and communication system with reliable and expendable infrastructure is needed. In this paper, a Communication and Control system which has been developed to control and monitor PV Generation in a low voltage (LV) Distribution Network is presented. IEC61850 and MODBUS TCP/IP protocols are used to gather data from field to control center and to control field equipment from center when necessary. The functional aspects, performance and topology of the control and communication system are discussed.

1. Giriş

Artan enerji talebi ve kısıtlı enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme dâhil edilmesi ihtiyacını doğurmuştur [1]. Yenilenebilir kaynakların şebekeye çoğunlukla dağıtım seviyesinden bağlanması, bu kaynakların çok iyi şekilde takibini ve kontrolünü gerektirmektedir. Bu gereksinim, çok iyi tasarlanmış bir haberleşme ve kontrol altyapısı ihtiyacı doğurmaktadır [2]. Gelişmiş FV teknolojisi ve güneş enerjisinin elektrik üretim potansiyeli, FV elektrik üretimine yatırım yapılmasını sağlayacak iki önemli faktördür [3].

Uzun güneşlenme süresi ve FV hücre/panel üretme ve geliştirme kapasitesi, Suudi Arabistan'ı yakın gelecekte önemli derecede FV üreten ülkelerden biri haline gelmesini mümkün kılmaktadır [4]. Bu doğrultuda, TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü ile Suudi Arabistan KACST (King Abdulaziz City for Science and Technology) Enstitüsü arasında “FV üretim uygulaması için kontrol ve haberleşme altyapısı geliştirilmesi” konulu bir proje tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

“FV Üretim Tesisleri için Akıllı Şebeke Kontrolcüsü” isimli projenin temel amacı; FV sistemleri için güvenilir, genişletilebilir ve AG dağıtım sistemlerinde uygulanabilir bir kontrol ve haberleşme altyapısı tasarlamaktır. Tasarlanan sistem, trafo merkezi ve endüstriyel otomasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılan modern haberleşme protokollerini ve alternatif iletim ortamları ile genişletilmiş yıldız bağlantı yapısını içermektedir. Merkezi ve yerel kontrol işlemlerinin sorunsuz olarak gerçekleştirilmesi için, tasarlanan kontrolcüler fizibilitesi ve testleri yapılan özel noktalara yerleştirilmiştir. Sistemin ana kontrol merkezinde ise tüm ekipmanların durumunu izleyen ve kontrol edebilen bir ana kontrolcü bulunmaktadır.

Bu bildiride, geliştirilen sistemin yapısı “Sistem Topolojisi” başlığı altında açıklanmıştır. “FV Sistemi ve Üretimi” başlığı altında FV kurulumundan önce gerçekleştirilen benzetim çalışmaları, güç sistem analizi ve bu analizlerin sonuçları verilmiştir. Projede önerilen ve geliştirilen haberleşme mimarisi ile sistemin izleme, kontrol ve performansı da sırasıyla “Haberleşme Çözümü ve Mimarisi” ve “İzleme ve Kontrol” başlıkları altında sunulmuştur.

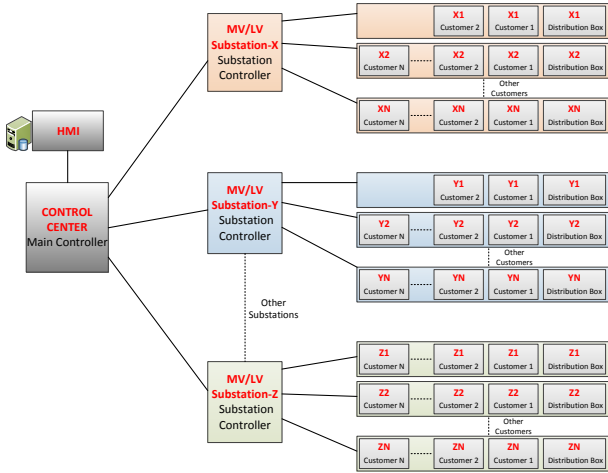
2. Sistem Topolojisi

“FV Üretim Tesisleri için Akıllı Şebeke Kontrolcüsü” projenin çıktısı olan kontrolcü sistemi, güneş enerji üretim potansiyeli yüksek Suudi Arabistan'da uygulanmak üzere tasarlanmıştır. Bölgesel faktörler (FV kurulumu, haberleşme altyapısı, hava koşulları vb.) ve KACST gereksinimleri belirlendikten sonra, kolay kurulum, kolay kullanım ve geniş alana uygulama ölçütleri hedeflenerek akıllı şebeke kontrolcü sistemi geliştirilmiştir.

Şekil 1'de tasarlanan sistemin kontrol ve haberleşme altyapısı gösterilmektedir. Sistem, genişletilmiş yıldız topolojisi temel alınarak tasarlanmıştır [5]. Müşteri kontrolcüsü ve dağıtım panoları FV panel ve eviriciye sahip evlere, okullara, hastanelere vb. yerleştirilmek üzere tasarlanmıştır. Bu

müşteriler daha az sayıda olan alt kontrolcülerle (trafo merkezi kontrolcüsü) bağlanmış ve bu kontrolcüler OG/AG trafo binalarına yerleştirilmiştir. Ayrıca, tüm alt kontrolcülerin bağlandığı bir merkezi kontrol istasyonu bulunmaktadır.

Müşteri kontrolcülerini ve dağıtım panolarını, saha cihazlarını ve elektrik elemanlarını (akıllı sayaçlar, haberleşme altyapıları, röleler, anahtarlar vb.) içerirler. Bu kontrolcü ve panolar, FV sistemlerin şebekeye entegre olmasından ve evirici verilerinin toplanması ile merkezden gelecek kontrollerin uygulanmasından sorumludurlar. Tasarlanan mimaride, bir veya birden fazla pano içeren her müşteri için özgün bir adlandırma kullanılmıştır. Örneğin, Şekil 1’de görüldüğü üzere, X1 bir müşteriyi temsil etmektedir ve bu müşteri bir adet dağıtım panosu ile iki adet müşteri kontrolcü panosuna sahiptir.



Şekil 1. Geliştirilen kontrolcü sistem yapısı

Alt kontrolcü panoları, aynı OG/AG trafosuna bağlı müşterilerden veri toplamaktan ve merkezden gelecek kontrollerin uygulanmasından sorumludur. Bu panolar aynı zamanda yaygın olarak kullanılan indirici merkez otomasyon protokollerini kullanarak trafo merkezindeki cihazlar ile haberleşme yeteneğine sahiptir. Alt kontrolcülerin adlandırılması ise OG/AG trafoların adlarına göre yapılmıştır.

Sistemin ana kontrolcüsü tüm sistemin merkezinde konumlandırılmıştır. Bu kontrolcü, temel olarak bir kontrolcü/ağ geçidi ile HMI (İnsan Makine Arayüzü) izleme ve kontrol yazılımının yüklü olduğu iş istasyonunu içeren bir ana ünedir. Veri arşivleme, gerçek zamanlı veri izleme ve sistemin kontrolü bu merkezden yapılmaktadır.

Yukarıda anlatılan üç ortam (ana kontrolcü, alt kontrolcü ve müşteri) iki yönlü bir haberleşme altyapısına sahiptir. Ortamlar arasında kullanılan haberleşmenin çeşidi, saha faktörlerine göre farklılık gösterebilir. Böylece en uygun haberleşme türü bu faktörler göz önüne alınarak seçilir. Haberleşme çeşitlerine ve altyapılarına dair daha detaylı bilgi "Haberleşme Çözümü ve Mimarisi" başlığı altında açıklanacaktır.

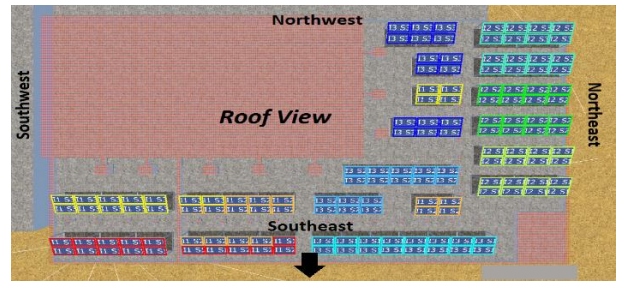
3. FV Sistemi ve Üretimi

Bu bölümdeki temel amaç, FV panel kurulumunun mevcut elektrik şebekesine etkisini görmek ve sonrasında belirli bir

bölgede FV sistemini uygulamaktır. Bu bağlamda, 36 kW kapasiteye sahip iki adet prototip sistem "FV Üretim Tesisleri için Akıllı Şebeke Kontrolcüsü" projesi kapsamında tasarlanmıştır. Prototip sistem Suudi Arabistan'da iki ayrı okulda kurulmuş, test edilmiş ve uygulanmıştır.

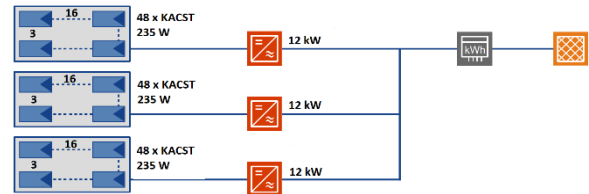
3.1. FV Sistemi Kurulumu

FV kurulum analizi (panel sayısı, panellerin konumu ve bağlantısı), okulların fiziksel durumları göz önüne alınarak PVSOL simülasyon programı ile gerçekleştirilmiştir. Program yardımıyla olası FV panel konumları ve binaların yönü dikkatli bir şekilde analiz edilip en uygun sonuç göz önünde bulundurularak kurulum aşamasına geçilmiştir. Sonuçlar, optimum açıyı belirlemenin en iyi yolunun yıllık aydınlanma miktarına göre elde edildiğini göstermiştir ve prototip sistem için optimum açı 20° olarak belirlenmiştir. Şekil 2’de FV panellerin bina üzerinde yerleşimi ve bağlantıları gösterilmektedir.



Şekil 2. Fotovoltaik Panellerin Konumlandırılması

Şekil 2’de görüldüğü üzere, KACST tarafından üretilen 144 adet FV panel okul çatısına yerleştirilmiştir. 60 seri polikristal hücreden oluşan bir FV panel, 235W güce sahiptir. 16 adet seri bağlı FV panelden oluşan 3 dizi, doğru akımı alternatif akıma çeviren bir adet 12 kW evirici üzerinden şebekeye bağlanmıştır. Bağlantı detayları Şekil 3’te gösterilmiştir. Bu şekle göre 3 evirici, toplam üretim ölçümlerini okuyabilecek ve haberleşme yeteneğine sahip bir enerji analizörü aracılığı ile şebekeye bağlanmıştır.



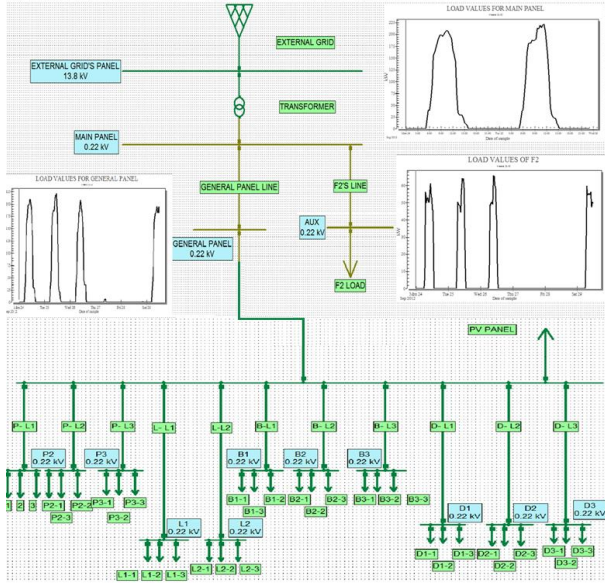
Şekil 3. Fotovoltaik Panellerin Elektriksel Bağlantısı

3.2. FV Sistemin Entegre Edildiği Şebekenin Güç Sistemi Analizi

FV sistemlerinin saha kurulum aşamasından önce, FV üretiminin AG dağıtım sistemine etkisinin araştırılması gerekmektedir. FV sisteminin yük akışı analizinde ana problem yük ve üretim profillerinin değişen yapısıdır [6]. Bu yapının yol açtığı olumsuzlukların üstesinden gelebilmek için, zaman bağımsız ve dengesiz yük akışı analizi yapma olanağı sağlayan ticari bir program olan Neplan kullanılmıştır ve sonuçlar irdelenmiştir.

Tek bir okul için tek hat şeması Şekil 4’te gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere okulun elektrik yükü 13.8/0.22 kV

1000kVA trafo ile beslenmektedir. Her biri bir dağıtım panosunu besleyen iki alçak gerilim fideri bir ana kesiciye bağlanmıştır. 13 Ekim-17 Kasım tarihleri arasındaki okulların yükleri için elektrik güç ölçüm sonuçları verilmiştir. Kış mevsimine ait yüklenme eğrileri, asgari yüklenme profillerini göstermekte ve yaz mevsiminde günlük tüketimin klima kullanımına bağlı olarak artacağı öngörülmektedir. Haftalık yük grafiğinden açıkça görüldüğü üzere okulun tepe güç değeri 225kW seviyesindedir. Tüketimin tepe değeri güneş ışınımının tepe değeri ile benzer zamanda, öğle saatlerinde yaşanmaktadır. Bu durum, okul yükünün FV sistem kurulumu için oldukça uygun olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Okula Ait Tek Hat Şeması ve Yük Karakteristiği

Tek hat şeması modellenip gerekli parametreler girildikten sonra, saha ölçümleri ile simülasyon sonucunu doğrulamak üzere FV panelleri bağlanmaksızın bir yük akışı analizi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarının deneysel sonuçlar ile tutarlı olduğu görüldükten sonra sisteme FV paneller eklenerek simülasyon gerçekleştirilmiştir. Simülasyon tamamlandığında, AG hatlarda aşırı yüklenme olmadığı görülmüştür. Ayrıca gerilim düşümlerinin de azaldığı ve şebekeden gelen akımda belirli miktarda düşüş meydana geldiği gözlenmiştir.

4. Haberleşme Çözümü ve Mimarisi

Proje gereksinimleri doğrultusunda akıllı şebeke kavramına uygun ve özgün bir haberleşme mimarisi tasarlanmıştır. Şekil 5'te verilen bu mimaride, haberleşme protokolleri ve iletişim ortamları sistemin genişletilebilirliği, müşterek çalışması ve güvenilirliği göz önüne alınarak seçilmiştir. Örneğin, alt kontrolcü haberleşme protokolü olarak kolay kurulum, müşterek çalışma, mesaj/sinyal önceliği ve üreticiden bağımsız çalışabilme avantajından dolayı IEC 61850 protokolü seçilmiştir [7]. Bu protokol sayesinde tasarlanan sistemin var olan otomasyon veya SCADA sistemlerine entegre olması mümkün kılınmıştır.

Kısım 2'de belirtildiği üzere sistemin yapısı üç ana ortam (ana kontrolcü, ara kontrolcü ve müşteri) içermektedir. Bu üç ana

ortam arası haberleşme çift yönlüdür. Haberleşme sistemindeki temel amaç sahadaki cihazlardan veri almak ve bu verileri işleyerek ana kontrolcüye ulaştırmaktır. Ana kontrolcüye ulaşan veriler ise ana izleme ve kontrol merkezi olan HMI – iş istasyonu sunucu bilgisayarına aktarılır. Ayrıca, haberleşme mimarisinin yapısı genişletilmiş yıldız ağ yapısı tipinde tasarlandığı için bu üç ana ortam ve HMI yalnızca bir alt ve bir üst ortam ile haberleşebilmektedir. Bu da özetle sistemdeki veri trafiğinin çift yönlü olarak; müşteri kontrolcüsü – alt kontrolcü – ana kontrolcü – HMI şeklinde olduğunu açıklamaktadır.

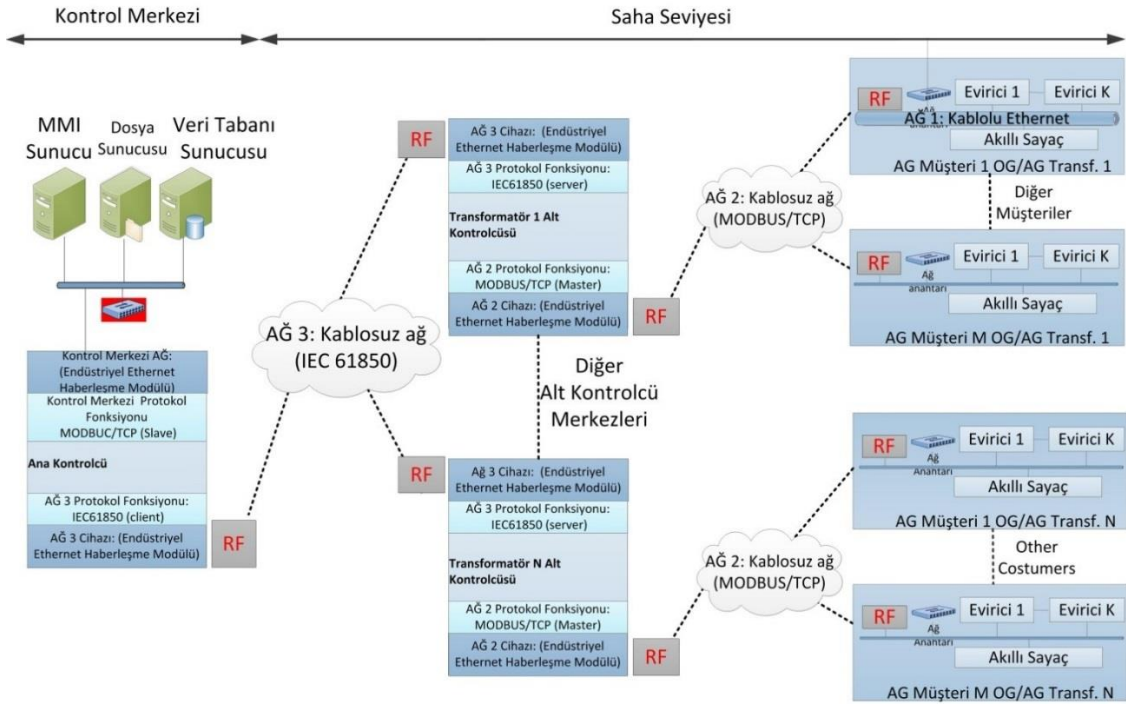
Müşteri tarafı, FV sistemi ve saha cihazlarını içermektedir. Bu nedenle; müşteri kontrolcü panosu, eviricilerin haberleşmesi için haberleşme ekipmanlarını, ortam sıcaklığı bilgisini toplamak için I/O cihazlarını ve hata verilerini toplamak ve şebeke durumunu görüntülemek için koruma rölesini içermektedir. Müşteri tarafında kullanılan cihazların tamamı sahada yaygın olarak kullanılan MODBUS/TCP endüstriyel haberleşme protokolünü desteklemektedir [8]. Müşteri tarafında, saha cihazlarından MODBUS/TCP protokolünde gelen veriler alt kontrolcüye iletilmektedir ve haberleşme ortamı olarak kablo kullanılmıştır.

Trafo binasına yerleştirilen alt kontrolcü kısmı aynı trafoya bağlı tüm müşteri ekipmanları ile haberleşecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, alt kontrolcü ve müşteri kontrolcüsü arasında iki haberleşme ortamı kurulmuş ve yedekli bir altyapı oluşturulmuştur. Bu iki haberleşme ortamı; Wi-Fi ve güç kablosu üzerinden haberleşme sistemidir (PLC). Her iki haberleşme ortamı prototip sistemde test edilmiş ve her ikisinin de istenilen bant genişliğindeki sinyalleri iletme yeteneğine sahip olduğu doğrulanmıştır.

Alt kontrolcü, ana kontrolcü ile IEC 61850 protokolü ile haberleşmektedir. IEC 61850, trafo merkezi ve endüstriyel otomasyon sistemlerinde modern ve yaygın olarak kullanılan haberleşme protokolü olduğundan [9], alt kontrolcüler bu protokolü destekleyecek ve mevcut otomasyon altyapısına entegrasyona hazır olacak şekilde tasarlanmıştır.

Ana kontrolcü ve alt kontrolcü arasındaki haberleşme için ADSL, 4G/GPRS ve Wi-Fi (çevre koşulları hazır olduğunda) olmak üzere üç haberleşme ortam seçeneği mevcuttur. Her haberleşme ortamının diğerlerine göre avantaj ve dezavantajı bulunmaktadır. Örneğin, şehir merkezlerinde telefon üzerinden genişbant internet teknolojisi daha fazla veri akışına imkân tanıdığı için ADSL daha uygun bir seçenek iken ADSL'in bulunmadığı kırsal bölgelerde 4G/GPRS daha uygun bir çözümdür. Sonuç olarak maliyet, bant genişliği ve teknolojinin bölgede kullanılabilirliği en iyi haberleşme ortamını seçmede belirleyici olacaktır.

Haberleşmenin son aşaması ise ana kontrolcü ile HMI – iş istasyonu bilgisayarı arasındaki haberleşmedir. Alt kontrolcünden ana kontrolcüye IEC 61850 protokolü ile gelen veri, ana kontrolcüdeki insan makine arayüzü programına gönderilmeden önce yeniden MODBUS/TCP formatına dönüştürülür. Yeniden MODBUS/TCP dönüşümünün sebebi, insan makine arayüzü yazılımının uzun süreli kullanımı düşünüldüğünde, PC yükü ve depolamanın azaltılması gereksinimidir ve bu gereksinimi karşılayan MODBUS/TCP protokolü seçilmiştir [11].



Şekil 5. Haberleşme Mimarisi [10]

Haberleşme mimarisi; kullanılan protokoller, kullanıldığı yerler, güvenlik önlemleri ve haberleşme ortamlarını özetleyecek şekilde Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Haberleşme Mimarisinin Özeti

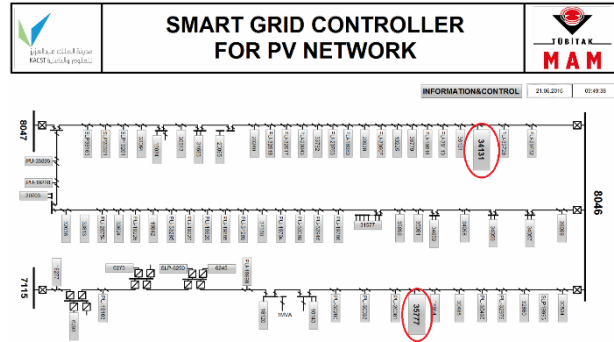
Haberleşmenin Kullanıldığı Yer	Protokol	Var Olan İletim Ortamları	Tercih Edilen Ortam	Güvenlik Önlemi
Saha Cihazları & Müş. tarafı	Modbus TCP	Ethernet Kablosu	Kablo	Yönetilebilir Ağ geçidi
Müşteri tarafı & Alt kontrolcü	Modbus TCP	Wi-Fi, PLC Ethernet	Kablo	WPA2-PSK, PLC şifrelemesi, Yönetilebilir Ağ geçidi
Alt kontrolcü & Ana Kontrolcü	IEC 61850	Wi-Fi, ADSL	ADSL	WPA2-PSK, SSL encrypted VPN
Ana Kontrolcü & HMI	Modbus TCP	Ethernet Kablosu	Kablo	Yönetilebilir Ağ geçidi, Sıkıştırılmış Sunucu - HMI

5. İzleme ve Kontrol

5.1. İzleme (İnsan Makine Arayüzü-HMI)

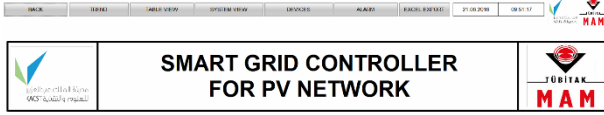
İzleme fonksiyonu, kontrol merkezindeki iş istasyonunda çalışan üçüncü parti insan makine arayüzü programı tarafından gerçekleştirilmektedir. İnsan makine arayüzü programı sadece izleme fonksiyonunu gerçekleştirmek için değil, aynı zamanda saha verilerini gelecekte kullanmak üzere arşivlemek, istenmeyen durumlarda alarm vermek, belirli bir zaman aralığındaki arşiv verisine erişimi mümkün kılmak ve saha verisini tablo veya grafik şeklinde göstermek için de tasarlanmıştır. [12].

Şekil 6’da insan makine arayüzü ana ekranı gösterilmektedir. Dağıtım şebekesi tek hat şeması ve proje alanındaki trafo isimleri bu ana ekran oluşturulurken referans olarak alınmıştır. Her OG/AG trafosu, üzerinde isimleri olan küçük düğmeler ile gösterilmektedir. İki adet FV sistemi kurulu olduğundan dolayı, sadece iki düğme aktif durumdadır. Aktif olan düğmeler açıldığında, trafo odasındaki alt kontrolcüye ait bilgi ekranı gösterilmektedir.



Şekil 6. HMI Ana Ekranı

Alt kontrolcü ekranı üzerinden seçilen müşteri gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Şekil 7’de beş saha cihazı içeren bir müşteri bilgi ekranı gösterilmektedir. Müşteriye ait tüm cihazlar gerçek zamanlı izlenebilmekte ve (eğer mümkün ise - kullanılan cihazlar destekliyorsa) ekranın üst kısmındaki menü aracı ile ekran üzerinden kontrol edilebilmektedir.



Şekil 7. Müşteri Bilgi Ekranı

Bir zaman aralığındaki arşiv veriye ulaşma, veriyi bir tablo veya eğilim şeklinde gösterme, sistem genel değerlendirme bu menü aracılığı ile gerçekleştirilebilen bazı fonksiyonlardır.

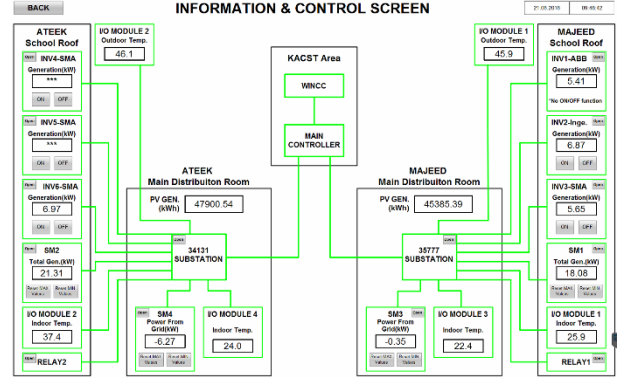
5.2. Kontrol

Proje başlangıcında, FV üretimin enerji ihtiyacından fazla olduğu anlar için dağıtım trafosundan şebekeye tersine güç akışına izin verilmemekte idi. Bundan dolayı, trafonun önündeki enerji analizörü verilerinden tersine güç akışını belirleyen ve eviricilerin açılması veya kapatılması gereken durumlarda komut gönderen bir kontrol algoritması geliştirilmiştir. Algoritma tersine gücü tespit etmekte ve eviricileri üretim miktarlarını göz önüne alarak ihtiyaç durumunda kapatmaktadır. Algoritma aynı zamanda tersine güç akışı oluşturmayacak şekilde kapalı olan eviricileri tekrar çalışır konuma getirmek üzere tasarlanmıştır.

Bununla birlikte, eviriciler, Şekil 8'de gösterilen kontrol ekranı kullanılarak manuel olarak kontrol edilebilmektedir. Bu ekran prototip sistem hakkında genel bilgileri içermektedir. Saha ekipmanlarının haberleşme bilgileri (yeşil renk sistemin düzenli çalıştığını, kırmızı renk haberleşme hatasını ve gri renk ise haberleşme hatasının etkilediği haberleşme hatlarını göstermektedir), toplam üretim ve tüketim değerleri, sıcaklık değerleri bu ekran üzerinden gerçek zamanlı izlenebilmektedir.

Tasarlanan sistemde frekans ve gerilim kontrolü lokal olarak yapılmaktadır. Her eviricinin kendine ait gerilim ve frekans kontrolü ve bununla ilgili ayarlanabilir parametreleri vardır. Ayrıca, tüm eviriciler gerilim ve frekansta meydana gelen bozulmaları tespit edecek bir koruma rölesine bağlıdır. Bu röle herhangi bir bozulmada (frekans ve gerilim değerlerinin kabul edilebilir sınırların dışına çıkması) eviricileri şebekeden ayırmaktadır.

Tasarlanan bu prototip sistem ile FV eviriciler, saha tarafında kullanılan cihazlar, kontrolcü vb. cihazların tüm parametreleri okunabilmekte ve işlenebilmektedir. Bu sayede mümkün olan tüm kontrol edilebilir parametrelere erişim sağlanmaktadır. İşlenebilen tüm bu veriler farklı kontrol algoritmalarında (enerji talep yönetimi, hata yönetimi, merkezi gerilim ve frekans kontrolü vb. akıllı şebeke gereksinimleri) talep üzerine gelecekte kullanılabilir.



Şekil 8. İzleme ve Kontrol Ekranı

5.3. Performans

Sistemin performansı göz önüne alındığında saha cihazlarından ölçümü yapılan tüm veriler kesintisiz bir şekilde Ana Kontrolcüye – HMI'a ulaşmaktadır. Ayrıca, ortamlar arasında kullanılan haberleşme protokol çevrimleri, güvenlik önlemleri ve iletim ortamları sahada kullanılan cihazların kendi verilerini güncelleme periyodu olan 2 saniyeyi aşan bir gecikmeye sebep vermemektedir. Bu sayede sistemin haberleşmesi ve performansı kesintisiz ve gecikmesiz devam etmektedir. Olası bir elektrik kesintisinde haberleşme ve kontrol sistemi bileşenlerinin çalışmaya devam etmesi için güç kaynakları kullanılmıştır. Olası uzun süreli elektrik kesintilerinde ya da sistem bileşenlerinin devre dışı kalma durumunda, üretilen enerji miktarı, hatanın kaynağı ve süresi gibi önemli bilgiler saklanmaktadır. Olası haberleşme ağı kesilme ve merkezi kontrolün devre dışı kalması durumunda ise dağıtık kontrol ile eviriciler önceden belirlenmiş istenilen değerlerde üretim yapmaya devam edebilmektedir.

6. Sonuçlar

Dağıtık enerji kaynaklarının şebekeye yüksek nitelikli bir şekilde; gerçek zamanlı izleme, veri yönetimi, veri arşivlemesi vb. fonksiyonları da destekleyerek bağlanabilmesi için iyi tasarlanmış haberleşme ve kontrol sistemi önemli bir gereksinimdir. Bu bildiriye, özgün bir haberleşme ve kontrol yapısı önerilmiştir ve şebeke ile FV sistemi entegrasyonu tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin genel sistem topolojisi, FV yerleşimi, güç sistemleri analizi, haberleşme altyapısı ve protokolleri, izleme, kontrol ve performans alt başlıklarda detaylı şekilde açıklanmıştır. Nihai olarak; TÜBİTAK MAM ve KACST arasındaki müşterek projenin çıktısı olarak bir prototip "FV Üretim Tesisleri için Akıllı Şebeke Kontrolcüsü" sistemi Suudi Arabistan'da test edilmek ve uygulanmak üzere tasarlanmış, üretilmiş ve saha kurulumu yapılarak devreye alınmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma, King Abdulaziz City for Science and Technology (KACST), Suudi Arabistan ve TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü müşterek projesi (No: 5122803) - "FV Üretim Tesisleri için Akıllı Şebeke Kontrolcüsü" kapsamında ortaya çıkmıştır.

7. Kaynaklar

- [1] IEC, “Grid integration of large-capacity Renewable Energy sources and use of large-capacity Electrical Energy Storage”, White paper, October 2012.
- [2] Farhangi, Hassan “The path of the Smart Grid”, IEEE Power and Energy Magazine, January-February 2010.
- [3] Yuan, C., Liu, S., Yang, Y., Chen, D., Fang, Z., Shui, L., 2014. An analysis on investment policy effect of China’s photovoltaic industry based on feedback model. *Appl. Energy*-15, 08.2015, pp. 423–428.
- [4] Zell, E., Gasim, S., Wilcox, S., Katamoura, S., Stoffel, T., Shibli, H., Engel-Cox, J., Subie, M. Al, 2015. Assessment of solar radiation resources in Saudi Arabia. *Sol. Energy*-119, 06.2015, pp. 422–438.
- [5] A. Temiz, Ö Kahraman, A. Nadar, M. S. Smiai, S. S. Almutairi and S. Alshahrani, "A smart grid controller for low voltage PV network," 2015 IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), Riga, 2015, pp. 263-267.
- [6] Carol S. Cheng, Dariush Shlrmohammadi, “A three-phase power flow method for real-time distribution system analysis”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 2, May 1995.
- [7] R. E. Mackiewicz, “Overview of IEC 61850 and Benefits”, IEEE, 2006.
- [8] Amplicon, “Introduction to Modbus TCP/IP”, white paper, 2005.
- [9] C. Hoga, G. Wong, “IEC 61850: Open Communication in Practice in Substations”, IEEE, 2004.
- [10] Şahin, C., Kahraman, Ö., Temiz, A., Smiai, M.S., Alramadan, F.Y., Almutairi, S.S. ve Alshahrani, S. “A Smart Control System for FV Generation in LV Distribution”, The Saudi Arabia Smart Grid (SASG), Suudi Arabistan, 2012.
- [11] Jay Makhija, “Comparison of protocols used in remote monitoring: DNP 3.0, IEC 870-5-101 & Modbus”, M.Tech. Credit Seminar Report, November 2003.
- [12] M.R.D. Zadeh, A. Hajimiragha, M. Adamiak, A. Palizban, S. Allan, “New Control and Automation System for an Islanded Microgrid with Energy Storage Systems”, Innovative Smart Grid Technologies – Middle East (ISGT Middle East), 2011 IEEE PES Conference on, 2011.