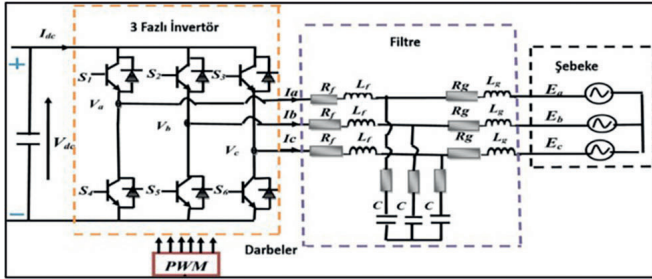


ENTERKONNEKTE ŞEBEKE ÇÖKÜŞLERİNDEKİ İNVERTÖRLERİN ROLÜ

Dr. Turan ÇAKIL - Elektrik-Elektronik Yüksek Mühendisi

turancakil23@gmail.com

Günümüzde güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması, invertör temelli kaynakların (IBR) elektrik şebekesindeki payını artırmaktadır. Şebekeye bağlı (on-grid) invertörler, klasik senkron jeneratörlerden farklı olarak elektromekanik atalet özelliği (H sabiti) yok ya da çok az olduğundan, şebekenin dinamik yanıtını doğrudan yazılım kontrolü ile sağlarlar. Bu durum, sistem kararlılığı, frekans ve gerilim kontrolü, kısa devre akımı seviyesi, koruma sistemleri ve güç kalitesi gibi alanlarda yeni sorunlara neden olmaktadır. Bu teknik yazıda, IEEE ve CIGRÉ standartlarına ve güncel literatüre göre invertör temelli kaynakların belirli parametreler üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Şekil 1 'de şebekeye bağlı invertör yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1. Şebekeye bağlı PV sistemlerde invertör yapısı (on-grid)

Sistem Kararlılığına Etkileri

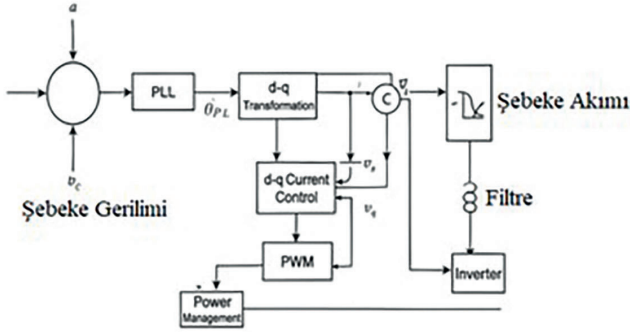
Senkron makinelerin temel özelliği, yüksek dönme ataleti (inertia) sağlamak ve elektrik sisteminde frekans ve voltaj değişimlerini azaltmaktır. Son yıllarda invertörlerin yaygınlaşması, sistem ataletinin azalmasına ve “şebeke gücünün” zayıflamasına neden olmuştur. CIGRÉ’ye göre, şebekede güç sağlayan en önemli unsur senkron makinelerdir. Başlangıçta invertör tabanlı kaynaklar (IBR), sistem üzerinde olumsuz etkiler doğurmaktaydı. Ancak daha yeni ileri kontrol teknikleri, bunu düzeltebilmektedir. Atalet azalmasının sonucu olarak, frekans değişimleri için mekanik enerji kaybı yaşandığı için

frekans istikrarını zayıflatırabilir. Ayrıca şebeke gücünün azalması, küçük titreşimler ve geçici kararsızlıklar oluşturabilir. Zayıf güç koşullarında invertörlerin arızadan sonra düzelme hızları, senkron makinelerinkinden daha az sönümlü olabilmektedir. Örneğin, düşük sistem gücü durumunda invertörlerde görülen geçici dalgalanmalar, kısa süreli parlama limitlerini (flicker) aşabilir. Ayrıca çok sayıda invertörün uzakta bir araya gelmesi, harmonik titreşimleri artırabilir ve şebeke üzerinde rezonans riskini artıracaktır. Bütün bu sorunlar, genel olarak “düşük sistem gücü” durumunu işaret eder. Bu durumda sistem istikrarı, koruma sistemlerinin düzgün çalışması ve güç kalitesi için son derece kritik tehlike olarak görülmektedir.

Grid-Takip (GFL) ve Grid-Oluşturan (GFM) Invertörler

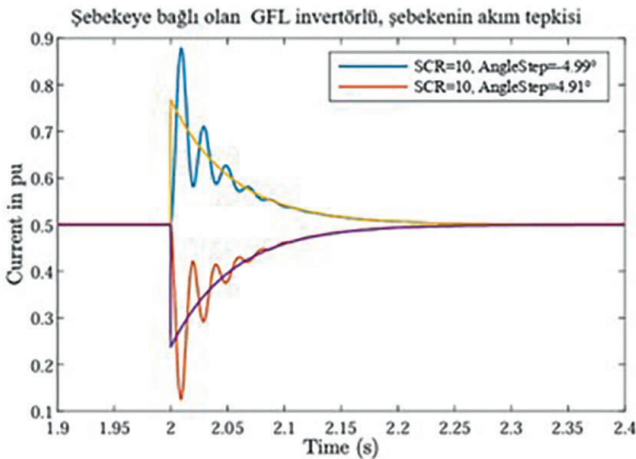
Modern şebekelerde çoğunlukla grid-following (GFL) tipi invertörler kullanılmaktadır. Bu tür invertörler, şebeke gerilimini algılayarak kendi çıkış akımını senkronize eder ve aktif ya da reaktif güç akışını akım kontrolüyle ayarlar. GFL invertörleri doğal olarak bir şebeke rejimi oluşturamaz; sadece şebekenin frekans ve gerilimini takip eder ve uyumsuzluk çıkarsa kendini devre dışı bırakır. Bu devre dışı çıkmada şebekede bir transient olay oluşturur ve şebekeye kısmen etki etmektedir. Kontrol şeması, bir faz kilidi döngüsü (PLL) kullanarak şebeke frekans açısını belirler ve d-q referans sisteminde iki adet PI denetleyicisiyle d ve q eksenlerindeki akımları denetler. Şekil 2’de görüldüğü gibi GFL invertör, şebeke genliği/frekansını oluşturan değil takip eden bir kaynak gibi davranır. Bu nedenle şebeke kısa devre gücü azaldığında GFL invertörler kontrol zorlukları yaşar ve sistem kararlılığını olumsuz etkileyebilir. Bu sebeple “şebeke gücünü” azaldıkça, sistem stabilitesini sağlamak için grid-oluşturan (GFM) invertörlere yönelik çalışmalar gündeme gelmiştir. GFM invertörler, senkron jeneratör benzeri şekilde kendi başına gerilim ve frekans referansı oluşturan (ayarla-

nabilir salınım üretici) cihazlardır. GFM invertörler, şebeke zayıfken bile gerilim/frekansı düzenler ve sentetik atalet desteği sunar.



Şekil 2. Grid-takip (GFL) invertör kontrol diyagramı. Şebeke referansına (PLL) dayalı senkronizasyon ve d-q akım kontrolü ile aktif/reaktif güç yönetimi

Bir çalışmada belirtildiği üzere: “GFM invertörler şebeke gerilimini ve frekansını aktif olarak düzenler, atalet desteği sağlar ve çok zayıf şebeke koşullarında bile kararlı çalışmayı sürdürebilir.” Bu özellikleri, yüksek IBR penetrasyonu durumunda sistem stabilitesine katkı sağlar. Ancak GFM invertörlerin kontrol parametreleri titizlikle ayarlanmalıdır; çünkü çok sayıda GFM invertörün birlikte dengeli çalışması karmaşık senkronizasyon konfigürasyonları gerektirir. Şekil 3’te GFL invertörlerinin kullanılması sonucu şebekenin açılma farkından oluşan akıma tepkisi gösterilmiştir. GFL invertörlerinin uygulanması osilasyonları ani tepkilerle önemli ölçüde azaltır; ENTSO-E bu yüzden GFM fonksiyonlarını tavsiye etmekte ve uyum testlerini önermektedir.



Şekil 3. Açı farkından dolayı oluşan GFL invertörlü şebekenin akım tepkisi

Frekans Kontrolü ve Cevabı

Sistemdeki toplam atalet azaldıkça, frekans değişimlerine karşı sistemin verdiği tepki zayıflar. Bu yüzden IBR’lerin (Inverter-Based Resources) aktif güç ve frekans kontrolü kritik hale gelmiştir. IEEE 1547-2018 ve NERC kılavuzları, IBR’lerin birincil frekans kontrolüne (droop) sahip olmalarını öngörür. NERC performans kılavuzuna göre, IBR tabanlı santrallerde aktif güç ve frekans kontrolü, %5 droop ve hem alçak hem de yüksek frekanslara karşı tepki gibi özelliklerle uygulanmalıdır. Bu nedenle, frekans düşerken invertörün aktif gücünü artırmak ve frekans artarken ise azaltmak gerekir. Kontrol sisteminde ölübant (deadband) bulunuyorsa, bu ayarlanabilir ve mümkünse çok dar yapılmalıdır. Temel olarak, IBR’ler mekanik bir eşik gibi bir yapı olmadan elektronik kontrollere sayesinde droop davranışı gösterirler. Ayrıca sentetik inertia kavramı geliştirilmiştir. Sentetik inertia IBR’nin ani frekans değişimlerinde kısa süreli olarak (bir-iki saniye) ekstra güç sağlamaya çalışmasını sağlar. Bu sayede büyük bir üretim tesisi kesildiğinde, ilk frekans düşüşünün etkisi hafifletilir. Ancak bu geçici ek güç, uzun süre sürmeyecek çünkü invertörün güç kaynağı (örneğin rüzgâr türbini veya batarya) sınırlı bir kapasiteye sahiptir. Son zamanlarda yapılan bazı çalışmalarda, sentetik inertia uygulamalarının kontrol filtre ayarlarına bağlı olarak sistem stabilitesine karışık etkileri olabileceğini ortaya koymuştur. Örneğin bazı çalışmalarda, sentetik inertia sağlayan filtre parametreleri arttıkça sistem kararlılığının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden frekans kontrol stratejileri tasarlanırken hem gecikme ve filtreleme hem de atalet katkısı dengelenmelidir. ABD’deki güvenilirlik düzenlemeleri (FERC maddesinin 842.) uyarınca, büyük iletim sistemi düzeyinde çalışan IBR’lerin birincil frekans tepkisi vermesi zorunludur. Bu kapsamda NERC kılavuzuna göre santraller, işletme koşullarına bağlı olarak aktif frekans kontrol kabiliyetini kullanmalıdır. Uygulamada, bazı bölgelerde santraller “asgari droop”, “sentetik inertia” veya “oranlı frekans katılım (LFSM-O)” modlarında çalışacak şekilde konfigüre edilmektedir. Bu işlevler, şebekeye frekans istikrarını destekleyecek ek dinamik özellikler kazandırır.

Gerilim Kontrolüne Etkisi

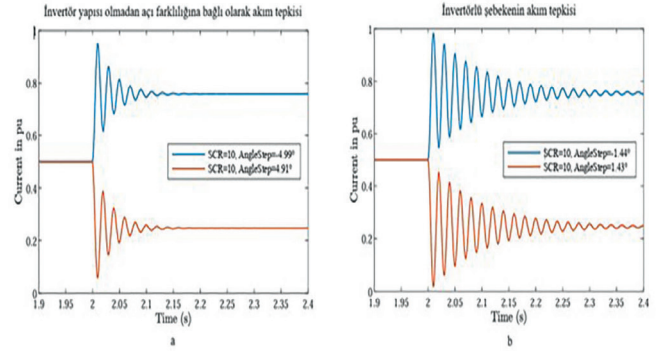
Güç şebekelerinde gerilim kontrolü genellikle senkron jeneratörlerin otomatik voltaj regü-

lasyon (AVR) sistemleri ile yapılması yaygındır. İnvertör tabanlı kaynaklar (IBR'ler) ise reaktif güç kontrolü sayesinde gerilime destek olmalıdır. IEEE 1547-2018 standardı, IBR'lerin belirli gerilim sınırlarında reaktif güç vermesini (volt-var modülleri) ve gerilim sabitliğini korumasını sağlayacak şekilde düzenlemiştir. NERC kılavuzu ise IBR'lerin, senkron jeneratörler gibi kapalı döngü otomatik voltaj kontrol modunda çalışarak sistemin planlanmış gerilimini korumaları gerektiğini vurgular. Yani, invertörün üzerindeki gerilim sürekli ölçülerek, istenen değerden farklılık varsa uygun reaktif akım verilir. Birden fazla IBR aynı noktadan gerilim kontrolü yaparken reaktif güç droop paylaşımı önerilmektedir. Bu durumda her bir kaynak, gerilimin nominal değere göre saptığını ölçerek kendi reaktif akımını ayarlayarak ortak kontrol sağlar. NERC örneğinde, gerilim %0.95–1.05 aralığında %10 değişirse, bu yaklaşık %5 droop karakteristiğine denk gelmektedir. Uygulamada bu, IBR'lerin Volt/VAR kontrollerini (düşey eğri konfigürasyonu) ve voltaj tabanlı kontrol modlarını ayarlayarak ortak Volt/VAR yönetimi yapmaları gerektiğini göstermektedir. Özellikle voltaj düşüşü (örneğin kısa devre sırasında) veya artışı yaşıyorsa invertörler, reaktif gücün etkisinde devre dışı kalmaması şeklinde ayarlanmalıdır. Kısacası, IBR'ler gerilim kontrolünde senkron jeneratörlere benzer şekilde davranmalı; otomatik volt-var kontrol modunda kalarak sistem gerilimini stabilize etmeli ve gerekirse güç katılımını ayarlamalıdır. Bu yetenekler uygun ayarlarla ve diğer sistemlerle uyum içinde çalıştırıldığında, birçok IBR içeren şebekelerde gerilim kontrolü sürdürülebilir hale gelir.

Kısa Devre Akımına Etkisi

İnvertör tabanlı kaynakların kısa devre akımı karakteristiği, senkron makinalardan ciddi şekilde farklıdır. Klasik senkron jeneratörler, ani kısa devre durumunda nominal akımlarının 6-10 katını (veya fazlasını) uzun süre sağlayabilirler. Buna karşılık IBR'ler genellikle güç elektroniği anahtarlarının termik sınırlamaları nedeniyle kısa devre akımını yaklaşık 1,1-1,5 pu (baz değerlerine göre) ile sınırlanır. Deneysel olarak, IBR çıkış akımı kısa süreli bir pik yapabilir (μ s mertebesinde 2,0 pu'yu aşabilir) ama sonra iç kontrol döngüsüyle hızla düşer. Bu, invertör akımlarının birkaç yüz milisaniye içinde gerilim sınırlamasına ya da kontrol katına sabitlenmesi anlamına gelir. Nitekim bir çalışmada %100 invertör pe-

netrasyonu olan bir şebekede, dağıtım koruma cihazlarından geçen kısa devre akımının %10'u aşan değişimler gözlenmiştir. Bu tür senaryolarda koruma koordinasyonu bozulur. Literatürde korumanın sağlıklı devamı için invertörlerin kısa devre akımını geçici olarak 1,2 pu veya 2,0 pu seviyelerinde vermesini önermişlerdir. Şekil 4'te invertör olmayan ve invertör olan bir şebekede akım değişimi marjı gösterilmiştir.



Şekil 4. (a) Şebeke voltaj açısındaki değişiklikten kaynaklanan $\pm\%25$ 'lik akımın zamana tepkisi (b) Aynı durum sebebiyle invertörlü şebekenin akıma tepkisi

Bu öneri, röle ayarlarını güncellemeden doğrudan korumayı sağlayabilmek içindir. Sonuç olarak, invertör kaynağının kısa devre davranışı “akım kaynağı” gibidir ve akım sınırlıdır. Kısa devre durumunda invertörler öncelikle DC besleme gerilimini korumaya çalışır; bu da SCC'nin (symmetrical short-circuit current) sınırlanması demektir. Şebeke planlama ve koruma analizlerinde IBR'in bu davranışı doğru modellerle hesaba katılmalıdır. Aksi takdirde, beklenenden düşük akım nedeniyle kusurlu bölgeyi tespit eden röleler çalışmayabilir veya gereğinden geç devre açabilir. Ayrıca 1547-2018 gibi güncel standartlar, IBR'lerin gerilim/frekans varyasyonlarına dayanıklı olup güç takviyesi yapmasını şart koşarken, aynı zamanda akım katkısının sınırlandırıldığı durumların da dikkate alınmasını gerektirir.

Koruma Sistemleriyle Etkileşimi

İnvertör tabanlı kaynaklar şebeke koruma cihazlarını farklı şekillerde etkiler. Yukarıda belirtildiği gibi, IBR'ler kısa devre anında yüksek akım vermedikleri için akım bazlı rölelerde şebekenin geleneksel davranış modelini bozarlar. Düşük akım seviyesi; akım rölelerinin “görme mesafesini” kısaltır veya duyarsızlaştırır. Ayrıca birden

fazla IBR' nin arızalı noktaya katkısı eşzamanlı ise, koordinasyonlu açma zamanları yeniden ayarlanmalıdır. Aksi halde şu problemler gözlemlenebilir.

Koruma Koordinasyonunun Bozulması: IBR' ler fazla akım vermeyebileceği için ana pano veya hat korumaları kusur akımını yeterince göremeyebilir. Bu durum, koruma cihazları arası zaman aralığı (CTI) ayarlarını değiştirmeyi gerektirir.

Yanlış veya Eşzamanlı Atma: Düşük akımda bazı röleler kör kalırken, hızlı tükenen akım nedeniyle diğer hatlardaki röleler yanlışlıkla devreyi kesebilir (sympathetic trip). Böylece bir hata geniş bir alanı etkileyebilir.

Sigorta Davranışı: Enerji dağıtım sigortaları, inverter akımı düşük olduğunda yanıt vermeyebilir veya beklenenden geç atabilir. Bu hem faz kaybı hem de sigorta kaybında farklı senaryolar yaratır.

Yük Akımı ve Görev: IBR yüklü durumdaki bayilerde yük akımı değiştiğinde sensörler yanlış okuma yapabilir. Bu nedenle röle hassasiyeti de yük profiline göre yeniden ele alınmalıdır.

Kısacası, IBR'lerin farklı kısa devre davranışı, mevcut koruma şemalarını aksatır. Geleneksel zaman-gecikmeli aşırı akım rölesi (OC, OC/ANSI 50/51) artık hatalı bölgeyi güvenilir bir şekilde yakalayamayabilir. Buna karşılık, gerilim-temelli (under/over-voltage) ve sempoinal (differential, distance) koruma algılayıcıları farklı etkilenebilir. CIGRÉ literatüründe vurgulandığı gibi, şebeke operatörleri artık IBR için özel koruma stratejileri geliştirmelidir. Örneğin koruma ayarlarında daha düşük eşik akımları, gerilim dalgalanmasına dayalı koruma tetiklemeleri veya hızlı bilgisayarlı kilitleme mantıkları kullanılabilir. Bazı ülkelerde ise IBR'lerin yoğun kullanıldığı bölgelerde sistem güçlülüğünü artırmak üzere senkron kondansatör (SC) veya batarya destekli "hiper-enjektör" gibi çözümler devreye alınmaktadır.

Güç Kalitesi ve Harmonikler Üzerine Etkisi

Invertörler yüksek güçlü anahtar (IGBT veya silikon karbür) devreleri ile DC-AC dönüşüm yaptığı için doğal olarak şebekeye harmonik bileşenler enjekte eder. Modern tasarımlarda çıkış filtresi (LCL vb.) ile bu etkiler büyük ölçüde bastırılrsa da bazı harmonikler kalır. CIGRÉ' ye göre, çok sa-

yıda IBR' nin bağlandığı zayıf şebeke bölgeleri, özellikle alçak katlı harmonik emisyonu ve rezonans riskini artırır. Örneğin, uzak bir trafonun yakınında rezonans frekansı düşük olabileceği için invertör çıkışındaki (5., 7., 11. vb.) harmonikler gerilimde aşırı tepki yaratabilir. Bu güç kalitesinde bozulma ve ekipman aşırı ısınması gibi sorunlara yol açar. Güç kalitesi standartları bu riske karşı önlemler içerir. IEEE 519-2014 gibi uygulamalı standartlar, iletim şebekesinde Toplam Harmonik Distorsiyon (THD) sınırlarını belirler. Örneğin "pointe of common coupling" noktasında voltaj THD genellikle %5'in altında tutulmalıdır (şebeke gücüne göre değişen limitlerle). Ayrıca IEEE 1547-2018, her invertör cihazı için toplam harmonik ve inter-harmonik distorsiyonun %5'i geçmemesini şart koşar. Bu, IBR'lerin sisteme yararlı olarak harmonik salınımını minimize etmesi anlamına gelir. Pratikte bu gereklilik, inverterin çıkışına pasif veya aktif filtre yerleştirme, çoklu seviyeli yapılar kullanma veya anahtar geçiş stratejilerini optimize etme şeklinde karşılanır. Sonuç olarak, IBR'ler güç kalitesi açısından dikkat gerektirir: Filtre tasarımı, kontrol algoritmaları ve şebeke rezonans analizleri ile harmonik distorsiyonun yol açabileceği olumsuz etkiler asgariye indirilmelidir. Şebeke kodları ve standartlar bu konuda rehberlik eder (Örneğin IEEE-519 std., IEEE-1547 std.), ancak uygulayıcılar sahada test ve ölçümle bu uyumluluğu doğrulamalıdır.

Tablo. 1. Dengeli Sistemdeki Tanımlar çerçevesinde konveksiyonel sistemlerle-invertörlü sistemlerin karşılaştırılması

Sistem Operatörü İçin Kritik Yapılar	Senkron Jeneratör	Invertör Tabanlı Kaynak (IBR)
Atalet (inertia)	Yüksek (rotor kinetik enerjisi)	Çok düşük/yok (atalet sentetik kontrol tarafından sağlanır)
Frekans tepkisi	Doğal droop (türbin valfi)	Ayarlanabilir droop, sentetik inertia
Gerilim kontrolü	AVR (otomatik)	Volt-VAR/Volt-Watt modları ile statik reaktif kontrol (gerilim regülasyonu)
Kısa devre akımı (SC)	Çok yüksek (tipik ~5-10 pu)	Sınırlı (~1.1-1.5 pu), hızlıca düşen tepki

Harmonik emisyonu	Düşük (sinüzoidal)	Göreceli yüksek (anahtar geçişleri); filtreleme gerekir
Şebeke gücü katkısı	Pozitif (sistem gücü yüksek)	Başlangıçta negatif (zayıflama), yeni kontrol ile iyileşme
Dengesizlik/rezonans riski	Düşük	Yüksek (zayıf şebekede çoklu IBR rezonans, flicker)
Koruma ile uyumluluk	Öngörülebilir (yüksek SC akım)	Özellikle kısa devrede farklı; koruma şemaları yeniden düzenlenmeli

Tablodaki durumlar genel eğilimleri göstermektedir; örneğin kısa devre akımı oranları, kaynağa ve şebeke koşullarına bağlı olarak (empedans etkisi) değişebilir.

Sonuçlar

İnvertör temelli kaynaklar, enterkonnekte şebekelere entegre edildiğinde sistem kararlılığından güç kalitesine kadar birçok farklı etkiye neden olmaktadır. İnvertörlerin atalet sorunu, güç elektroniği yapısı ve kontrol sistemleri, klasik senkron şebekelere göre farklı dinamikler yaratmaktadır. IEEE 1547-2018, IEEE 519, NERC ve CIGRÉ gibi uluslararası standartlar ve rehberler, bu yeni durumun gerektirdiği performans kriterlerini belirlerken, invertör tabanlı kaynakların frekans ve gerilim kontrolüne, arıza dayanıklılığına ve harmonik yayılımına etki etmelerini şart koşmaktadır. Bu teknik yazıda, invertörlerin sistem kararlılığı, frekans ve gerilim değişimleri, kısa devre akımındaki değişimler, koruma sistemleri ile etkileşimleri ve güç kalitesine etkileri akademik kaynaklar ve teknik standartlar ışığında incelenmiştir. Tabi ki sonuç olarak gelişen akıllı şebekelerde invertör cihazlarının da kullanılması gözden çıkarılmamalıdır. Ancak yüksek güvenli ve mühendislik temeli güçlü devre tasarımı ve yapısının temel mantığı olan IGBT anahtar yapısında kullanılan yarı iletken maddelerin kaliteli elementlerden oluşması önemlidir. İnvertör cihazlarının da enterkonnekte sistemlere gelecekte olumlu katkı sağlayacakları öngörülebilir. Elde edilen sonuçlar, elektrik mühendisleri ve sistem operatörü olarak çalış

şan mühendislerin, invertör tabanlı yenilenebilir enerji kaynakları (IBR) entegrasyonu sırasında dikkat etmesi gereken temel noktaları vurgulamaktadır. Sonuç olarak, çok fazla IBR kullanılan sistemlerde güvenli bir şekilde çalışabilmek için hem ileri inverter kontrol yöntemi (sentetik inertia, şebeke formu oluşturma) hem de şebeke desteğine yönelik tedbirler (senkron kondansatör, gelişmiş koruma sistemleri) birlikte değerlendirilmelidir.

Kaynakça

1. CIGRÉ SC C4 "System Strength" articles
2. IEEE Std. 1547-2018 (Inverter interconnection performance) ve NERC IBR Performans Rehberi
3. C. Vargas vd., Energies, 2023 (IBR kısa devre akım modeli)
4. M.C. Vargas vd., Energies, 2023 (Koruma koordinasyonu ile ilgili bulgular)
5. X. Niu vd., Sustainability, 2025 (GFL/GFM karışık sistem stabilitesi)
6. Imperix Teknik Notları (GFL inverter kontrolü, İbrahim vd., Imperix Grid-Forming Ürün Notu, 2024 (Grid-forming kontrol çeşitleri)
7. DMX Power Blog (IEEE 519/1547 harmonik kılavuzu) (Erişim tarihi: 2025)
8. X. Niu, Q. Mou, X. Li, G. Lu, "Small Signal Stability Analysis of GFM and GFL Inverters Hybrid System with Three Typical Grid Topology Structures," Sustainability, vol. 17, no. 11, p. 5137, 2025.
9. Y. Kim, T. Zhu, R. Lasseter, et al., "Stability Analysis of Power Systems with High Penetration of State-of-the-Art Inverter Technologies," Energies, vol. 18, no. 7, p. 3645, 2025.
10. L. D. Pabón Ospina, D. Ramasubramanian, "Grid-Forming and Grid-Following inverters: a dynamic performance evaluation using RMS, EMT and small-signal analysis," CIGRÉ Science & Engineering, Issue 37, June 2025.
11. J. Keller, B. Kroposki, "Understanding Fault Characteristics of Inverter-Based Distributed Energy Resources," NREL Tech. Report TR-5500-51697, 2010.
12. P. Denholm, T. Mai, R. W. Kenyon, B. Kroposki, M. O'Malley, Inertia and the Power Grid: A Guide Without the Spin, NREL/TP-6A20-73856, May 2020.
13. R. M. Margolis (Ed.), "Impact of IEEE 1547 Standard on Smart Inverters and Applications in Power Systems," NREL Rep. NREL/TP-5D00-71507, 2018.
14. IEEE Standard 1547™-2018, "IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces."
15. IEEE Std 519™-2014, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems."
16. Enterkonnekte İletim Şebekelerinde Sistem Kararsızlığı Perspektifinde İber Yarımadası Enerji Kesintisi Analiz Raporu, Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, İber Yarımadası Sistem Çökmesi Çalışma Grubu, 2025.
17. Entso-E Grid Forming Capability Of Power Park Modules, 2024.
18. Karima Boutaghane, Nedjoua Bennecib, Mohamed Benidir, Habib Benbouhenni, İlhami Colak, Performance enhancement of a three-phase grid-connected PV inverter system using fractional-order integral sliding mode controls, Energy Reports, Volume 11, 2024.
19. Liu Chenruigang, Fu Lijun, Hu Qi, Lin Yunfeng, Ma Yanhong, Analysis of high-frequency oscillation mechanism of inverter with motor load based on series resonance, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 169, 2025.