

ENTERKONNEKTE İLETİM ŞEBEKELERİNDE SİSTEM KARARSIZLIĞI PERSPEKTİFİNDE İBER YARIMADASI ENERJİ KESİNTİSİ

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI

Dr. Turan ÇAKIL

Elektrik- Elektronik Yük. Mühendisi

27.Dönem EMO Ankara Şubesi Enerji Komisyonu Üyesi

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI

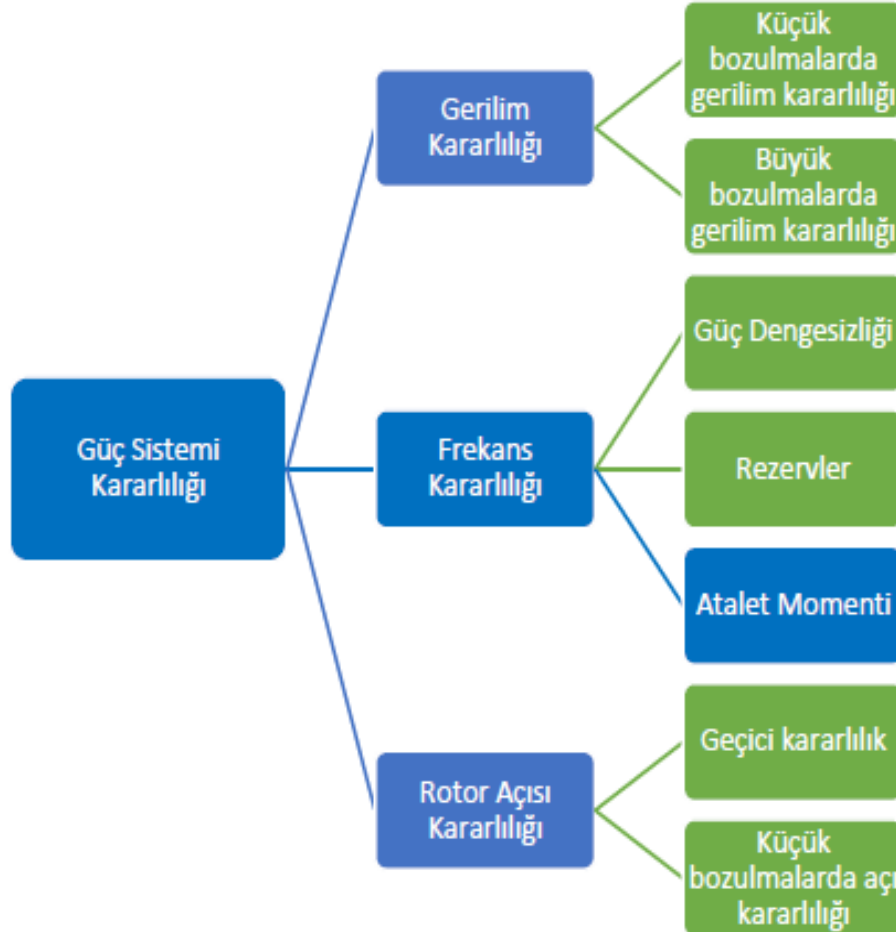


- Elektrik güç sistemleri alanındaki geniş çaplı teknolojik gelişmeye rağmen, büyük miktarlardaki elektrik enerjisini yeterince depolamanın verimli ve ekonomik bir yolu henüz bulunamamıştır. Bu nedenle, bir güç sisteminde, üretilen ve ithal edilen aktif güç miktarı, sistem kayıpları da dâhil olmak üzere tüketilen ve ihraç edilen aktif güç miktarına eşit olmalıdır.
 - Güç sistemi kararlılığı, bir güç sisteminin normal çalışma koşulları altında çalışma dengesi durumunda kalma ve bir bozulmaya maruz kaldıktan sonra kabul edilebilir bir denge durumunu yeniden kazanma yeteneğine sahip olmasıdır. Bozukluklar küçük veya büyük olabilmekte ve aşağıdakiler gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilmektedir:
- Yükteki değişiklikler
 - Üretim kaybı
 - Kısa devreler
 - Anahtarlama işlemleri

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI



GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI



Gerilim düşüşleri frekansta büyük bozulmalara yol açabilir

Büyük frekans sapmaları gerilim genliğinde büyük değişikliklere yol açabilir



Gerilim Düşüşleri rotor açısında büyük bozulmalara yol açabilir

Kararlılıkta gerilim, frekans ve açı ilişkisi

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Frekans Kararlılığı)

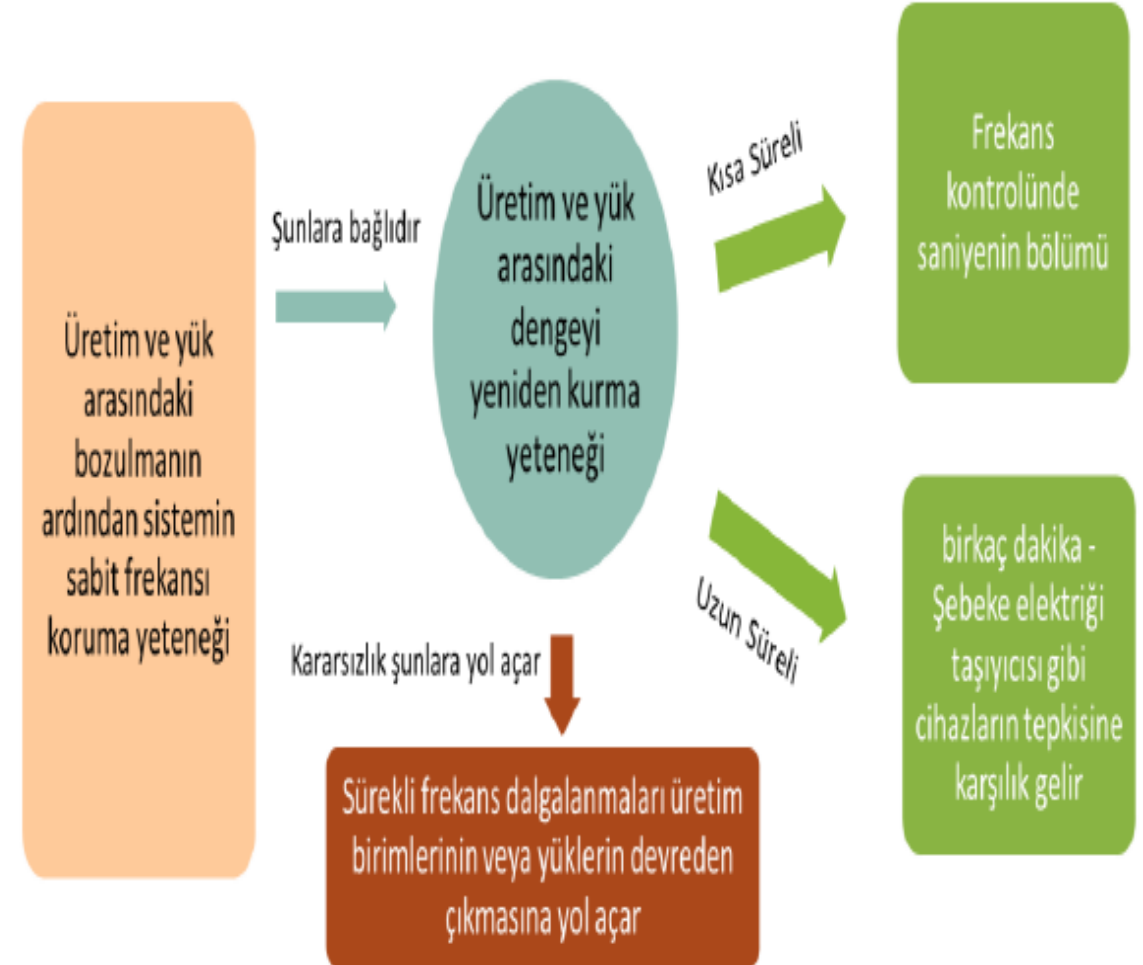


- Frekans, senkron jeneratörlerin dönme hızıdır. Aynı şekilde senkron jeneratör rotorlarının dönüş hızlarının elektriksel ifadesine frekans denir. Üretim ve tüketim arasındaki dengeyi temsil etmek için kullanılan endeks frekanstır. Bir güç sisteminin frekansının nominal frekans değerine (Avrupa için 50 Hz) eşit tutulması istenir.
 - Enterkonnekte sistemde frekans her yerde aynıdır. Güç sistemlerinde frekans kararlılığı, yükteki değişikliklere rağmen sistemin sabit bir frekansı koruma yeteneğidir.
 - Güç sisteminin frekansı üretim ve yük arasındaki denge tarafından belirlenmektedir. Üretim yük miktarından fazla olursa frekans artacaktır. Eğer yük üretim miktarını aşarsa, frekans düşecektir. Frekans kararlılığı, aşağıdakiler de dâhil olmak üzere bir dizi önlemle iyileştirilebilmektedir:
- Üretim miktarının artırılması
 - Yük miktarının azaltılması
 - İletim sisteminin durumunun iyileştirilmesi
 - Yükteki değişiklikleri tahmin etmek için hava tahminlerinin kullanılması

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Frekans Kararlılığı)



Sistemin frekans kararlılığını belirleyen faktörler



GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Senkron Jeneratörler-Rezervler)



•**Senkron jeneratörler**, güç sistemlerinde frekans ve gerilim kontrolünün temel kaynağıdır. Sistem dengesizliği durumlarında, senkron makinelerin döner kütlelerinde depolanan enerji sayesinde ani frekans değişimleri (inertia etkisi) kontrolsüz ancak hızlı bir şekilde yumuşatılır. Bunun dışında, frekans-kontrol döngüleri çeşitli zaman ölçeklerinde (saniyelerden saatlere kadar) devreye girer ve dikkatli bir koordinasyon gerektirir.

•**Rezervler**, Güç sistemlerinde kararlılığı sağlamak için kullanılan rezervler; sistemin ani üretim kaybı, yük değişimi veya arıza gibi durumlara hızlıca cevap vererek frekans ve gerilim dengesini korumaya yardımcı olmaktadır.

Primer kontrol: bağımsız kontrol, otomatik (hızlı)

Sekonder kontrol: Merkezi kontrol, AGC, Otomatik (yavaş), SCADA programı ile

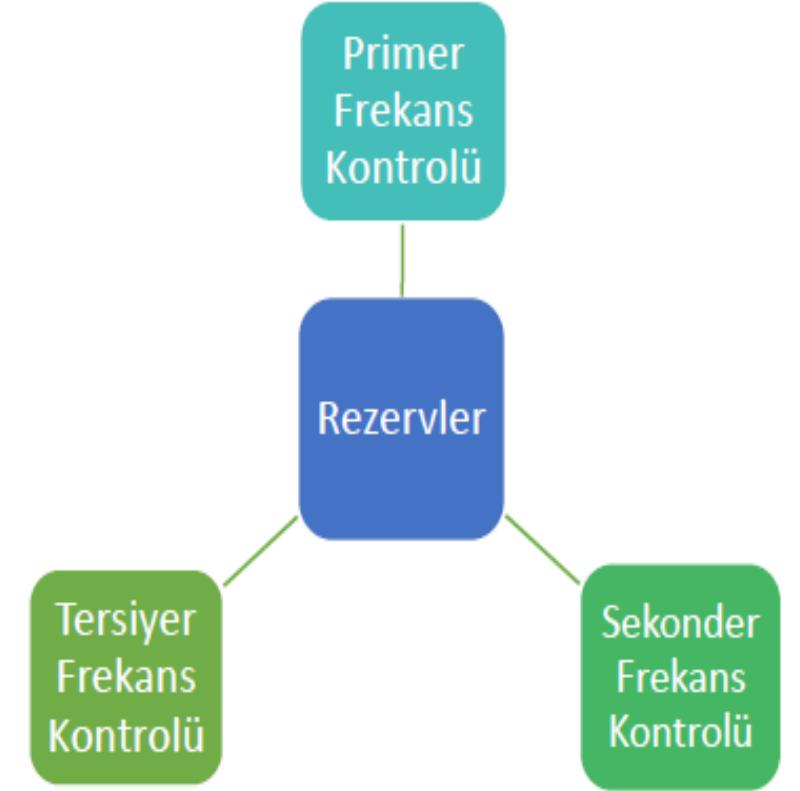
Tersiyer kontrol: Elle yapılan (yavaş), Merkezi kontrol, Sözlü talimat ile (telefon gibi)

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Rezervler)



Sistem güvenliği açısından rezerv gereksiniminin sebepleri aşağıda detaylandırılmıştır.

- Üretim ve tüketim anlık olarak eşit olmalıdır; aksi takdirde frekans sapmaktadır.
- Ani bir jeneratör devre dışı kalırsa, sistemdeki frekans düşmekte ve bu da zincirleme kesintilere neden olabilmektedir.
- Bu nedenle rezervler, sistem kararlılığı ve frekans regülasyonu için hayati önem taşımaktadır.



Sistemin frekans kararlılığında kullanılan rezervler

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Rezervler)



- **Primer frekans kontrolü (PFK)**, elektrik enerjisi üretim ve tüketiminin eşit olmaması durumunda sapmaya uğrayan sistem frekansını, sabit bir değerde dengeleyip frekans değişimini durdurmak için ünite rezerv kapasitesinin, türbin hız regülatörünün ayarlanan hız eğim (speed-droop) oranında, frekans sapması süresince merkezi müdahale olmaksızın, otomatik olarak sağlanması suretiyle katkıda bulunmasıdır.
- Ölü bant 0 Hz'' dir. Diğer bir ifadeyle, 50 Hz dışında herhangi bir frekansa primer kontrol üniteleri tepki vermek zorundadır.
- Primer kontrol yapan üniteler frekanstaki sapmayı takip edecek maksimum 15 saniye içerisinde primer rezerv yükünün %50''sini, 30 saniye içerisinde de tamamını (%100) aktive edebilmelidir. 2020 yılında şebekede her saat 200-300 MW arasında PFK rezervi bulunması gerekmektedir.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Rezervler)



- **Sekonder Frekans Kontrolü**, (AGC) aracılığıyla ve primer kontrol (primer kontrol rezervi) tarafından kullanılan gücün serbest kalması amacıyla frekansın nominal değerine geri dönebilmesi için katkıda bulunmasıyla (özellikle en büyük üretim ünitesinin servis harici olmasından sonra) alan kontrol hatasını (AKE) otomatik olarak düşürmeye yeterli olan işletme rezervinin ilave bir miktarıdır. (Genelde sistemimizde 1000 MW tutulmaktadır.)
- Ünitenin çıkışındaki değişimin başlaması için maksimum tepki süresi 30 saniyedir ve sapma maksimum 15 dakika içinde dengelenmelidir.
- **Tersiyer Frekans Kontrolü**, Sekonder kontrole katılan ünitelerin çalışma noktasını değiştirmeye ve sekonder kontrol gücünü ekonomik açıdan farklı ünitelere mümkün olan en iyi şekilde dağıtmaya yeterli olan işletme rezervinin ilave bir miktarıdır. Tersiyer kontrol rezervi herhangi bir anda devreye alınabilmelidir.
- Tersiyer rezerv, başka bir olayı karşılayabilmek için sekonder rezervi serbest hale getirmektedir.

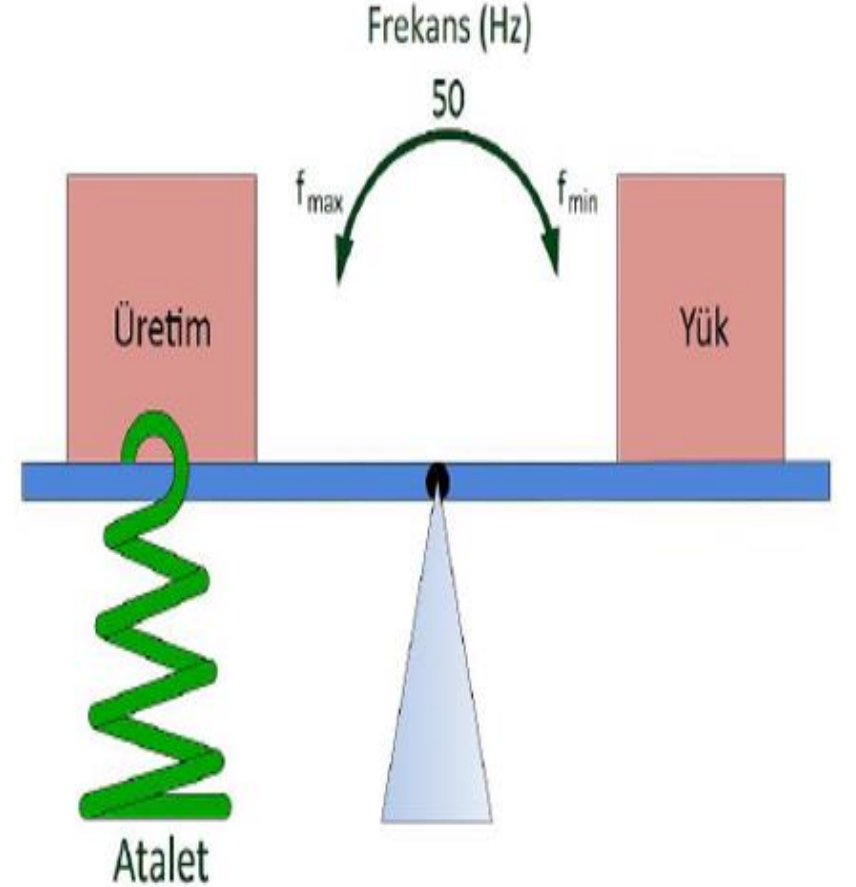
GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Atalet Momenti)



- Güç sistemlerinde **atalet momenti**, sistemin ani yük değişimlerine ve üretim kayıplarına karşı doğal bir tampon görevi görmektedir.
- Senkron jeneratörler, dönme kütleleri sayesinde kinetik enerji depolayarak frekansın ani düşüşünü yavaşlatmaktadır. Ancak YEK'lerin çoğu bu özelliğe sahip değildir çünkü inverter tabanlıdırlar.
- Bu durum, sistem frekansında daha hızlı ve yüksek genlikli değişimlere neden olabilmektedir. Bir güç sisteminin ataleti, tek tek türbin jeneratörlerindeki dönen kütlelerin kinetik enerjisinin sağladığı direnç nedeniyle frekanstaki değişikliklere karşı koyma yeteneği olarak tanımlanmaktadır.
- Çok sayıda jeneratöre sahip daha büyük bir sistemin ataletini incelemek için, bu dönen kütlelerde depolanan enerji miktarı olan sistemin kinetik enerjisine bakmak uygun olacaktır.
- Atalet, sistemde depolanan dönen enerjidir. Türbin/jeneratörlerin atalet sistemi, güç sistemi frekansının sabit bir değere tutulmasına yardımcı olmaktadır.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Atalet Momenti)

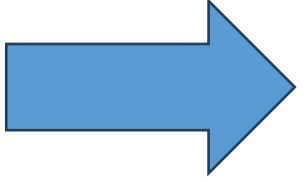
- Bir sistem kaybının ardından, Sistem Ataleti ne kadar yüksek olursa (frekans yanıtı olmadığı varsayılarak) yeni bir sabit durum çalışma frekansına ulaşmak o kadar uzun sürmektedir.
- Doğrudan bağlı senkron jeneratörler ve indüksiyon jeneratörleri, Sistem Eylemsizliğine doğrudan katkıda bulunacaktır. Sistem ile rotor arasındaki kontrol sisteminden dolayı (back-to-back) ana taşıyıcıyı elektrik jeneratöründen ayıran rüzgâr türbinleri veya dalga ve gelgit jeneratörleri gibi modern jeneratör teknolojileri, sistem eylemsizliğine doğrudan katkıda bulunmayacaktır.
- Döner makine içermeyen güneş santrallerinin de sistem ataletine katkısı olmayacaktır.



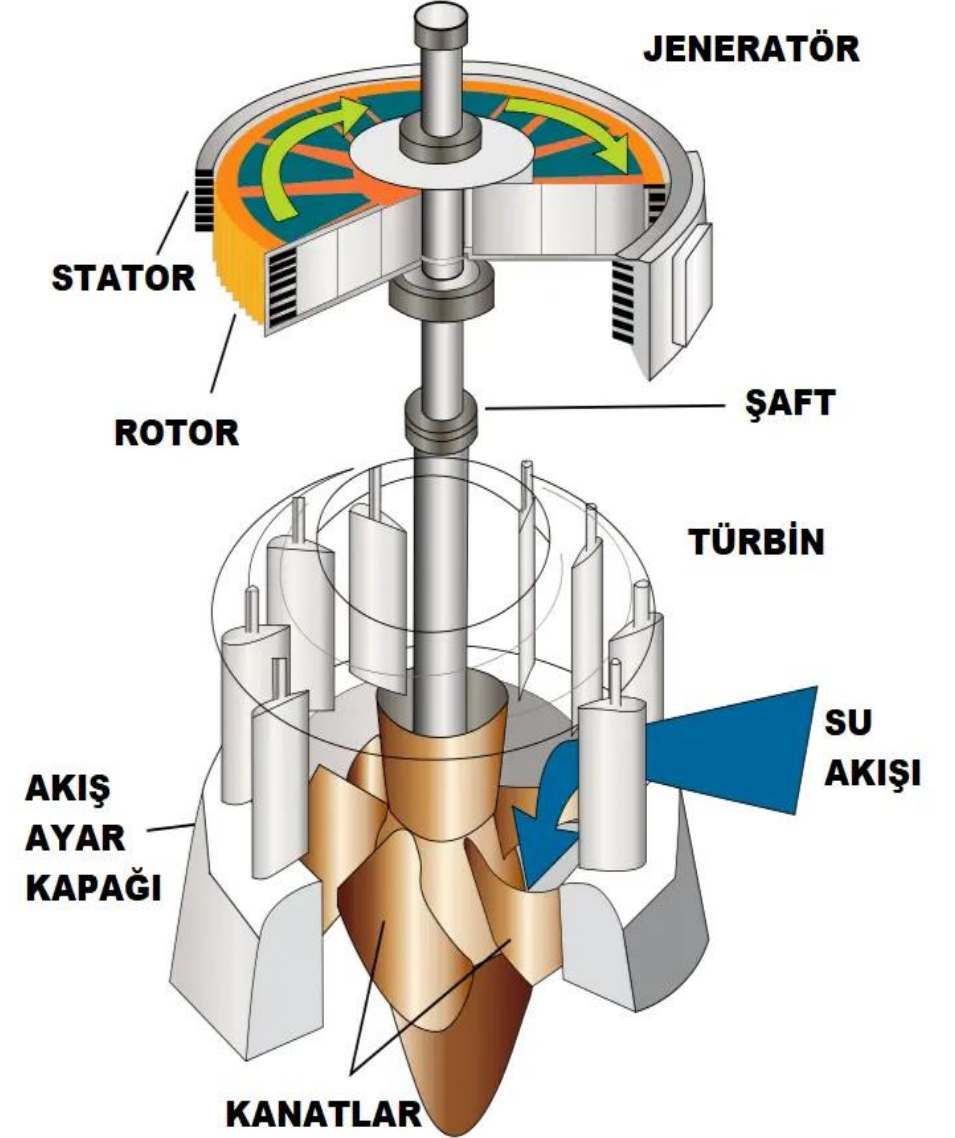
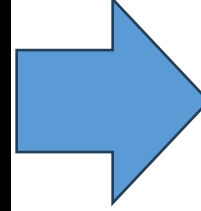
Atalet, üretim ve yük arasındaki ilişki

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Atalet Momenti)

Uygulamada
dönme momentinin
ilk oluşumu



Jeneratörün
Rotoruna
iletilir.



GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Atalet Momenti)



- Atalet sabiti, jeneratörün nominal gücü üzerinden nominal hızda jeneratörde depolanan toplam kinetik enerji olarak tanımlanmaktadır.
- Atalet momenti jeneratörlerin dönme kütlelerinde depolanan kinetik enerjiyi ifade etmektedir.
- H ile gösterilmektedir ve yandaki formülasyona ile ifade edilmektedir:
- 50 Hz için jeneratör, 3000 devir/dakika
- 60 Hz için ise 3600 devir/dakika sınır koşullarında çalıştırılması hedeflenir.

$$H = \frac{1/2 \cdot J \cdot \omega^2}{P_n}$$

Burada;

H= Atalet sabiti (MWs/MVA)

J= Dönen kütlenin atalet momenti (kgm²)

ω = nominal dönüş hızı (rad/s)

P_n= Makinenin MVA değeridir.

Senkron jeneratör için tipik H değeri 2 ila 9 saniye arasında değişebilmektedir. (MWs/MVA).

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\Delta P}{2H}$$

Burada;

$\partial f / \partial t$ = Frekans değişim oranı

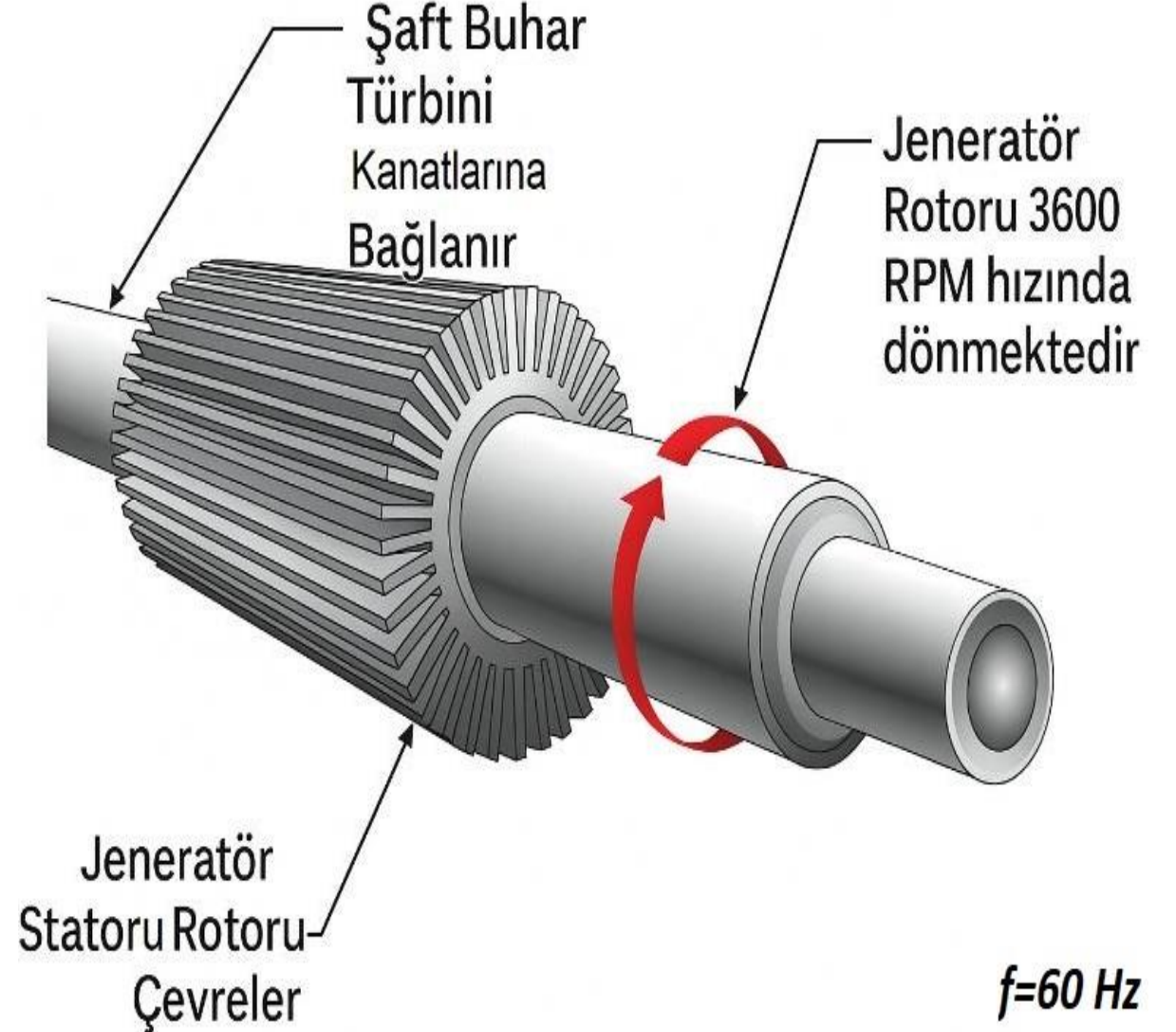
ΔP = MW cinsinden yük veya üretim kaybı

2H= MW/MVA cinsinden sistem ataleti iki katıdır

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Atalet Momenti)

Düşük Ataletin Güç Sistemleri Üzerine Etkileri

- Güç sistemlerinde atalet, frekans değişimlerine karşı gösterilen doğal bir dirençtir ve özellikle frekans kararlılığı açısından hayati öneme sahiptir.
- Geleneksel olarak, şebekeye bağlı senkron jeneratörlerin (termik, hidroelektrik, nükleer santraller) dönen kütleleri bu ataleti sağlamaktadır.
- Ancak, rüzgâr ve güneş gibi inverter tabanlı yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunun artmasıyla birlikte, sistemdeki toplam atalet seviyesi düşmektedir.



GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Atalet Momenti)

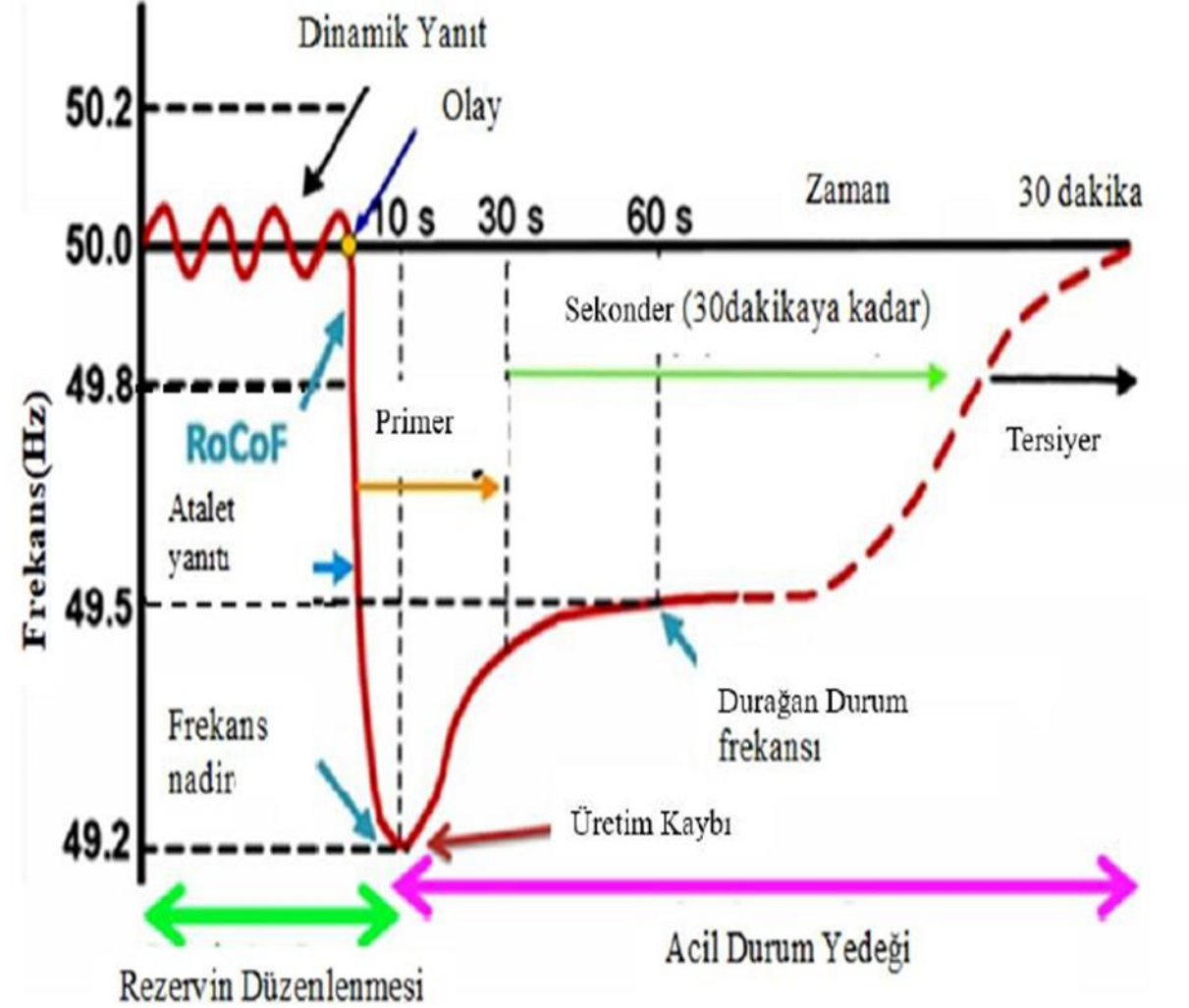


- **Atalet**, frekansın düşme veya yükselme hızını sınırlamaktadır. Atalet azaldığında, frekans değişim oranı (RoCoF) artar. Şekilde örnek bir güç sisteminin atalet tepkisi gösterilmiştir.
- Düşük atalet durumunda, frekans düşüşü (minimum) daha derin ve daha hızlı gerçekleşmektedir. Bu, sistemin frekans koruma mekanizmalarının (örneğin, otomatik yük atma) devreye girmesini gerektirebilir, bu da sistemin kararlılığını daha da riske atmaktadır.
- Geleneksel olarak, frekans kontrolü birincil, ikincil ve üçüncül frekans tepkisi mekanizmalarıyla sağlanmaktadır. Düşük atalet, özellikle birincil frekans tepkisinin etkinliğini azaltmaktadır.
- Frekansın çok hızlı değişmesi, geleneksel jeneratörlerin hız regülatörlerinin bu değişimlere zamanında ve yeterli tepki vermesini zorlaştırmaktadır. Frekansın kritik seviyelerin altına düşmesi, koruma rölelerinin tetiklenmesine ve ardışık olarak daha fazla üretim ünitesinin devreden çıkmasına neden olabilmektedir.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Atalet Momenti)

- **RoCoF (Rate of Change of Frequency)**, Düşük atalet, RoCoF'' un yükselmesine (daha düşük frekans seviyesi) neden olmaktadır. Bu, jeneratör koruma sistemlerinin hatalı açmasına ve ada modlarına (islanding) sebep olabilmektedir.

- **Minimum Frekans**, Atalet azaldıkça sistemin frekans dip noktası daha düşük değerlere ulaşmaktadır. Bu durum yük atma (load shedding) veya sistem çökmesi gibi olaylara neden olabilmektedir.



GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI

(Ataletin Arttırılması İçin Gereken Çözüm Kararlılıkları)



- **Sentetik Atalet (Synthetic Inertia)**, modern inverterler, kontrol algoritmaları sayesinde rotorun kinetik enerjisini kısa süreliğine sisteme aktarabilmektedir. Bu, sentetik inertia olarak adlandırılmaktadır. Örnek: Hydro-Québec, 2015 yılında 1600 MW üretim kaybında sentetik ataletle 126 MW katkı sağlamıştır.
- **Senkron Kompansatörler**, dönen makine altyapısını korumak amacıyla devrede sadece atalet katkısı sağlamak için senkron kompansatörler kullanılabilmektedir.
- **Batarya Enerji Depolama Sistemleri (BESS)**, hızlı tepki süreleri sayesinde RoCoF'' a karşı etkili bir çözüm olabilmektedir.
- **Frekans Tepki Optimizasyonu**, sistem operatörleri tarafından, gün öncesi atalet tahmini ve frekans tepkisi simülasyonları yapılmalı ve dinamik güvenlik sınırları belirlenmelidir.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI

(N-1, N-K Kısıtlılıklar ve Özel Korumalar)



- Bilindiği üzere, her bir iletim operatörü kontrol ettiği alan içerisinde sistem güvenliğini sağlamak zorundadır.
- ENTSO-E gibi büyük bir senkron alanın içinde bulunan iletim operatörlerinin kontrol ettiği alan sadece kendi ülkesi değildir. Bütün iletim operatörleri enterkonneksiyon bağlantısı olan ülkelerin de sistem güvenliğinden dolayı olarak sorumludur.
- İletim operatörleri gerçek zamanlı koşullar göz önünde bulundurularak makul bir gelecek zaman dilimi boyunca güvenilir işletim için prosedürlerden ve bunların hazırlanmasından sorumludur.
- Bu nedenle, her bir iletim sistemi operatörü "ülke içi ve dışında kaskat arızalara sebep olmama" hedefi ile N-1 ilkesi geliştirilmiştir. N-1 ilkesi, oluşabilecek bir dizi olayın birleşimi sonucu ortaya çıkan bir acil durumu önlemek üzerine kurulur.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI

(N-1, N-K Kısıtlılıklar ve Özel Korumalar)



- **Gerilim Kontrolü ve Reaktif Güç Yönetimi**, iletim sistemlerinde gerilim kararlılığı oldukça önemli bir husustur. Öncelikle konuyu temelden incelemek gerekir;
- Gerilim, şebeke durumuna, diğer bir ifadeyle, şebeke topolojisine, üretim, yük, iletim hattı ve trafo yüklemesine bağlı olarak dalgalanan ölçülen bir fiziksel niceliktir. Bu faktörler güç sistemindeki operatör kararları ve diğer olasılıklar (jeneratörlerin veya iletim bileşenlerinin devre dışı kalması) nedeniyle değişebilir.
- Gerilim seviyeleri, farklı tesisler tarafından sağlanan reaktif güç üretimi sayesinde korunur. Bilindiği üzere her bir teçhizatın çalışabileceği nominal işletme gerilimleri bulunmaktadır. Bu limitlerin aşılması için gerilim kontrolü şarttır.

Gerilim kararsızlıkları genelde iki çeşittir:

- Uzun süreli gerilim kararsızlıkları; dakikalar düzeyinde gelişir. Reaktif güç dengesizliği ile ilişkilidir.
- Kısa süreli gerilim kararsızlıkları: Saniyeler içinde oluşur. Güç elektroniği ekipmanları veya dinamik yüklerle ilişkili olabilir.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Kısa Devre Güçleri)



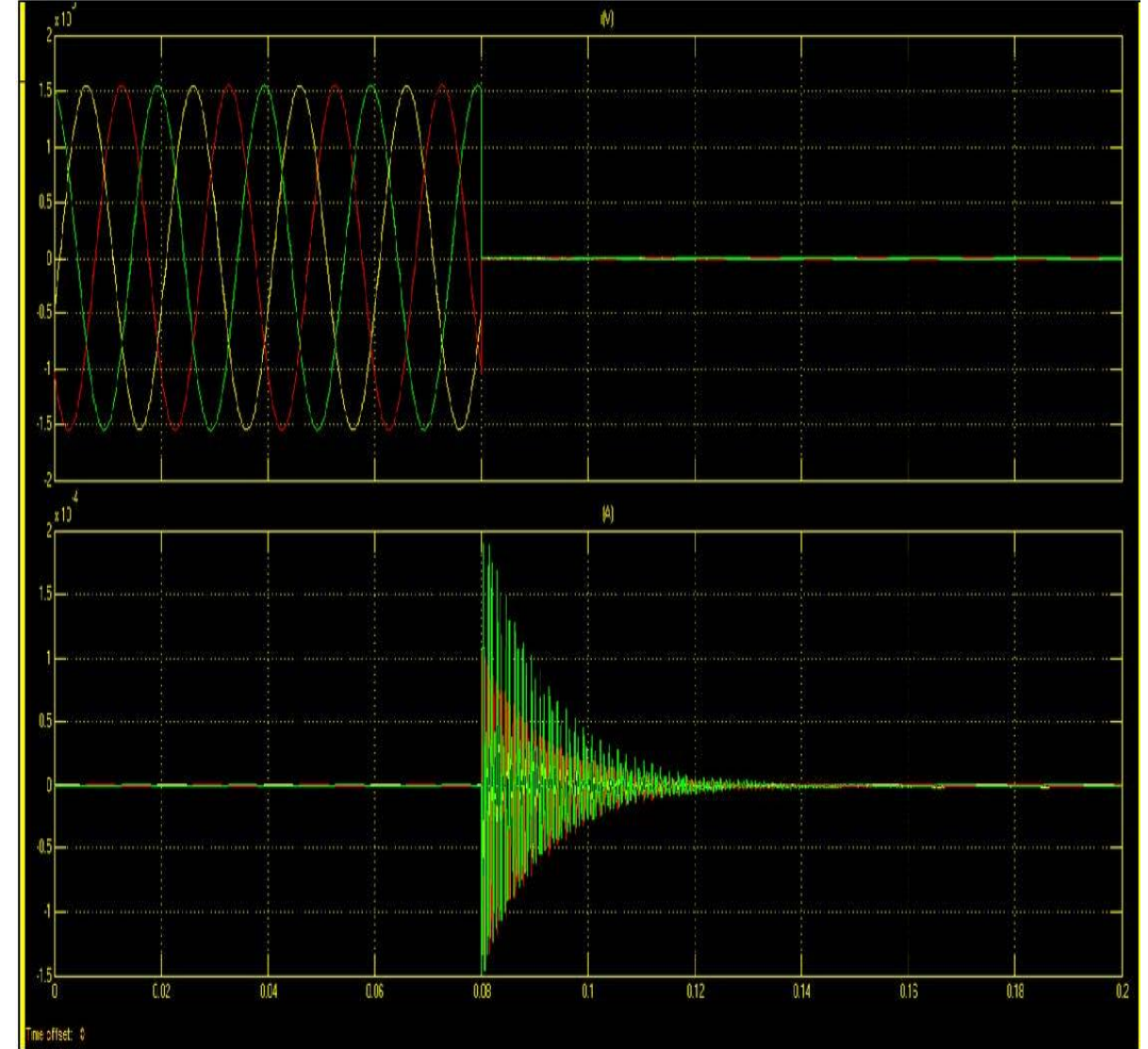
- İletim sistemleri büyüdükçe güçlenir ve nispeten daha stabil hale gelir. Bu durumda teçhizat kısa devre güçleri de yükselmeye başlar.
- Kısacası herhangi bir arıza durumunda oluşan kısa devre gücü teçhizat kapasitelerine daha da yaklaşır.

Bu durumun belli başlı avantajları ve dezavantajları vardır;

- Yüksek kısa devre güçlerinde iletim hattı tekrar enerjilendirmesi kolaydır. Çünkü kapasitans etkisi azılır ve hat sonu gerilimleri çok farklı olmaz.
- Yüksek kısa devre güçlerinde teçhizat seçimleri zorlaşır ve boyutlar/kaplanan alan artar. Tasarımlar karmaşıklaşır ve maliyetler artar.
- Düşük kısa devre güçlerinde iletim hattı tekrar enerjilendirmesi zordur. Çünkü artan kapasitans etkisi ile hat sonu gerilimlerinde afaki değişimler olabilir.
- Düşük kısa devre güçlerinde teçhizat seçimleri nispeten daha kolaydır.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Kısa Devre Güçleri)

- Kısa devre gücü; arızanın şiddetini, koruma sistemlerinin ne kadar hızlı tepki vermesi gerektiğini, şalt teçhizatının (kesici, ayırıcı, bara vb.) dayanması gereken termik ve dinamik zorlamaları belirler.
- İletim operatörleri sürekli olarak kısa devre güçlerini kontrol eder ve özellikle limitlere gelen yerlerde çeşitli manevralar ile sınırların aşılmasına engel olmaya çalışır.
- Kısa devre güçleri, sistem planlaması aşamasında da şalt teçhizatlarının boyutlandırılması açısından oldukça önem arz eder.



GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Açı Kararlılığı)



- Enterkonnekte güç sistemindeki jeneratörlerin senkron kalabilme yeteneği olarak tanımlanan rotor açısı kararlılığı, bozucu etkinin büyüklüğüne bağlı olarak; geçici kararlılık ve sürekli hal kararlılığı başlıkları altında iki grupta incelenir.
- Geçici kararlılık, üretim birimlerinin veya büyük güçlü tüketicilerin devre dışı kalması gibi etkilerden sonra sistemin senkron kalıp kalmayacağı ile ilgilidir.
- Sistemin kararlılığı, bozucu etki öncesindeki çalışma noktasına ve bozucunun şiddetine bağlıdır.
- Genellikle bozucu etki öncesinde ve sonrasındaki sürekli hal çalışma noktası farklıdır. Sürekli hal kararlılığı küçük bozulmaya maruz kalan güç sisteminin senkron kalmayı koruyabilmesi ile ilgilidir.
- Sistemin küçük bozucu etkiler sonrasındaki davranışı, çalışma noktası, iletim hattı ve jeneratör uyarma tipi gibi birçok faktöre bağlıdır. Güç sistemlerinde küçük bozucu etkiler iki türlü kararsızlığa neden olabilirler.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Açı Kararlılığı)



- Bunlar senkron olma momentinin yetersiz olması sonucunda rotor açısının sürekli olarak artması ve sönümleyici momentin yetersiz olması sonucunda artan genlikli rotor salınımlarının oluşmasıdır.
- Büyük açı farkı olan komşu baralar arasındaki elektrik iletim hattının enerjilendirilmesi sistemdeki makinelerin senkronizasyonunu kaybetmesine neden olabilir.
- Ayrıca büyük senkron alanlarda sürekli etkileşim halinde olan jeneratörler birbirleri arasında çeşitli frekans modlarında salınımlar üretebilir.
- Lokal veya bölgeler arası olabilen bu salınımların sönümlenmesi gerekir. Rotor salınımlarının önlenmesi veya sönümlenmesi için birçok farklı koruma ve kontrol elemanı bulunmaktadır;
- Güç Salınım Dedektörleri, Otomatik Voltaj Regülatörü (AVR), Güç Sistemi stabilizatörleri (PSS) gibi elemanlardır.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (SPS-SIPS)



Güç Sistemlerinin Kararlılığını Destekleyecek Sistem Bütünlüğünü Koruma Şemaları (SPS-SIPS), sistem bütünlüğü koruma şemaları için tek bir tanım bulunmamaktadır.

- Bunun yerine, sistem koruma şeması, özel koruma sistemleri veya düzeltici eylem gibi bunlar için farklı isimler ve farklı tanımlar kullanılmıştır.
- Uluslararası standartlara bakılacak olunursa, SIPS' in 2020'deki bir IEEE standardı tarafından tanımı şu şekildedir:
- Sistem Bütünlüğü Koruma Şeması (SIPS), kabul edilemez çalışma koşullarının neden olduğu ciddi sistem acil durumları için güvenliği artırmaya ve bozulmaların yayılmasını önlemeye yarar ve bu sistem koşullarını hafifletmek için kontrol eylemi gerçekleştirerek güç sistemini stabilize etmek için kullanılır.



GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (SPS-SIPS)



SIPS' in sistemde harekete geçireceği önlemler aşağıda verilmiştir:

- **Yük Atma**, bölgesel ya da ulusal düzeyde risk teşkil eden bir üretim fazlası oluştuğunda sistemden belli bir miktar tüketim yükünün atılmasıdır. Burada yük olarak mümkün oldukça mesken yükleri seçilmez ancak soğuk yük besleme mantığına dikkat edilmelidir. Yükler, orta gerilim fiderlerin tek tek ya da direk trafoların servis harici ettirilmesiyle servis harici edilir.
- **Jeneratör Servis Harici Etme**, yük atmaya benzer şekilde bu sefer tüketim fazlasını oluşturan bir durum gerçekleştiğinde dengenin sağlanması adına belli başlı üniteler servis harici ettirilebilir. Burada ünite seçimleri önemlidir. Genellikle termik santral üniteleri bu işlem için kullanılmaz. Çünkü servis harici edilen ünitenin tekrar devreye girmesi uzun zaman almamalıdır. Bu tip durumlarda genellikle HES üniteleri servis harici edilir.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (SPS-SIPS)



- **Kapasitör/Reaktör Anahtarlama**, herhangi bir elektrik iletim hattının servis harici olması sonucu bölgesel bir gerilim çökmesi yaşandığında ya da bir üretim tesisinin herhangi bir sebeple trip etmesiyle gerilim artışı görüldüğünde reaktör veya kapasitörlerin otomatik servis harici ettirilmesiyle bahsedilen durumların önüne geçilebilir.
- **İletim Hattı Servis Harici Etme**, sistemde yaşanan herhangi bir N-1 durumunda herhangi bir elektrik hattının yüklenmesini engellemek veya yükü yönlendirmek amacıyla bu işlem uygulanabilir.
- **Ada Bırakma**, iletim sisteminde yaşanan bir arıza sonrası genellikle yük yönlendirmesi yapmak için çift ana bara merkezlerde kuplaj fiderinin servis harici edilmesi de karşılaşılan bir özel koruma fonksiyonudur.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (SPS-SIPS)



- **Out-of-step**, güç akışlarını, voltajları ve akımları izleyen koruyucu rölelerin performansı, sistem voltajlarındaki ve akımlarındaki değişikliklere yanıt verebilir ve ek ekipmanların tetiklenmesine neden olabilir. Böylece sistemi zayıflar. Muhtemelen ardışık kesintilere ve güç sisteminin büyük bölümlerinin servis harici olmasına yol açabilir. Out-of-step rölelerinin felsefesi kararlı dalgalanmalar sırasında herhangi bir güç sistemi elemanının tetiklenmesini önlemektir.
- Sonuç olarak, özel koruma sistemleri incelendiğinde iletim operatörü için yeri geldiğinde çok kullanışlı bir argüman olduğunu görmek zor değildir. İletim planlaması veya planlama kısıtları, ani gelişen durumlar, geçici sistem işletmesi, uluslararası sağlıklı yük alışverişleri ve benzeri birçok sebeple özel koruma sistemleri her zaman kullanılacaktır. Ancak yanlış tasarlanan veya doğru çalışmayan özel koruma sistemleri Black Out gibi büyük sistem hatalarına dahi yol açabilir.
- Sistem operatörünün bu sistemleri sadece bir kez tasarlanıp devreye alınmasından ziyade sürekli doğruluğunun kontrolü ve takibi gereklidir.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Sonuçlar)



Sonuç olarak, sistem Kararlılığını sağlamak adına şu tespitler üzerinde durulmalı ve geliştirilmelidir:

- Öncelikle acil müdahale eylem planlarının güncellenmesi gerekmektedir.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının artışına paralel olarak, ihtiyati bir enerji sağlayacak batarya enerji depolama sistemlerinin (BESS) yaygınlaştırılması gerekmektedir.
- Şebekelerde enerji çeşitliliğin arttırılması ve buna bağlı bu çeşitliliklerin ülkelerin coğrafi koşullarını göz önüne alarak dengeli bir şekilde dağıtımını sağlanmalıdır. İzole edilecek bölgelerin yani şebeke modelleme tiplerinin de en uygun olanı seçilmelidir.
- Geleneksel üretim tesislerinin de (hidroelektrik, doğal gaz çevrim santralleri, nükleer enerji santralleri) atalet etkisinin stabil tutmak adına arttırılması gerekir. Buna bağlı olarak sanal atalet oluşturacak sistemler de geliştirilmelidir.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Sonuçlar)



- Dinamik ve sürekli (continuous) modda gerilim ve frekans kontrolü yeni gelişen STATCOM gibi teknolojilerle takip edilmelidir.
- HVDC iletim hatları kullanan şebekelerde güç- frekans kontrol fonksiyonlarını sağlayan teknolojilerin aktif hale gelmesi sağlanmalıdır.
- Pompaj depolama sistemlerinin arttırılması gerekmektedir.
- Yük atma ve yük alma protokollerinin gözden geçirilmesi ve buna bağlı olarak haftalık atalet katsayılarının ENTSO-E' ye üye ülkelerce paylaşılması gerekmektedir. ENTSO-E tarafından bu durumla ilgili regülasyonlar yapılmalıdır.
- Dağıtım tarafında ise yüksek gerilim oluşan dönemlerde tüketimin oluşup sistem dengesinin hızlı şekilde sağlanabilmesi amacıyla, ısı pompalarının kullanılması teşvik edilmelidir.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Sonuçlar)



- Üretim hatlarındaki aşırı gerilimlerin koruma ayarları ile gerilim ve akım trafolarının eşik değerlerinin arttırılmalıdır. Böylece, gereksiz açmalar önüne geçilecektir.
- Sistem operatörlerinin eğitimlerinin güncel teknolojilerle uygulamalı olarak eğitilmesi gerekmektedir. Her bir iletim ve dağıtım sistem operatörü, kendi eksiklikleri ışığında şebekelerini ve aktif güç kapasitelerinin yanında reaktif güç kapasitelerini de güçlendirmelidir.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki (YEK) gerilim kontrolünün, $\cos(\phi)$ bağlı takibi yenilenmelidir. Ana bara telemetrelerinin yanı sıra, tali telemetrelerin anlık bozulmasını sistem operatörüne zamanında iletebilecek yapay zeka destekli sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.
- Sinyal işleme yöntemleri ile osilasyonların karakteristiğini, yapay zekâ destekli FFT analizi ile çözecek araçların geliştirilmesi gerekmektedir.

GÜÇ SİSTEM KARARLILIĞI (Sonuçlar)



- Gelecekte mikro şebekeler, otonom kontrol sistemleri ve blockchain tabanlı enerji izleme uygulamaları (insan faktörü göz ardı edilmeden) şebekenin dayanıklılığına doğrudan katkı sağlayacak şekilde tasarlanmalı ve yaygınlaştırılmalıdır. Zira bu sistemler sayesinde, enerji üretimi ve tüketimi daha verimli izlenecek, kullanıcı katılımı daha da artacak, sistem arızalarına karşı daha akıllı çözümler geliştirilecek ve sürdürülebilir enerji çeşitliliği sağlanacaktır.

SAYIN HAZİRUN DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜRLER...

“The greatest energy of movement will be obtained when synchronism is maintained between the pump impulses and the natural oscillations of the system.” (Anlık oluşan darbeler ile sistemin doğal salınımları arasındaki senkronizasyon korunduğunda, en yüksek kinetik enerji elde edilecektir) — **Nikola Tesla, My Inventions IV...**

*Sunumdaki kullanılan kaynaklar, "TMMOB 27. Dönem EMO Ankara Şubesi Enerji Komisyonu üyeleri tarafından hazırlanan Enterkonnekte İletim Şebekelerinde Sistem Kararsızlığı Perspektifinde İber Yarımadası Enerji Kesintisi Analiz Raporu'nda detaylı olarak refere edilmiştir.