

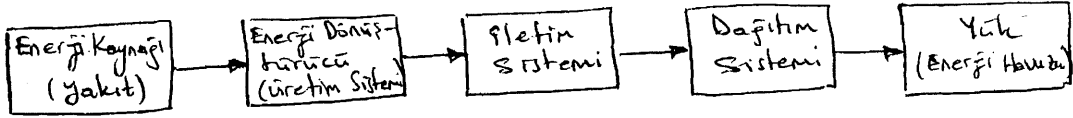
ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KONTROL TEKNİKLERİ

①

Doç. Dr. Ercan İZGİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

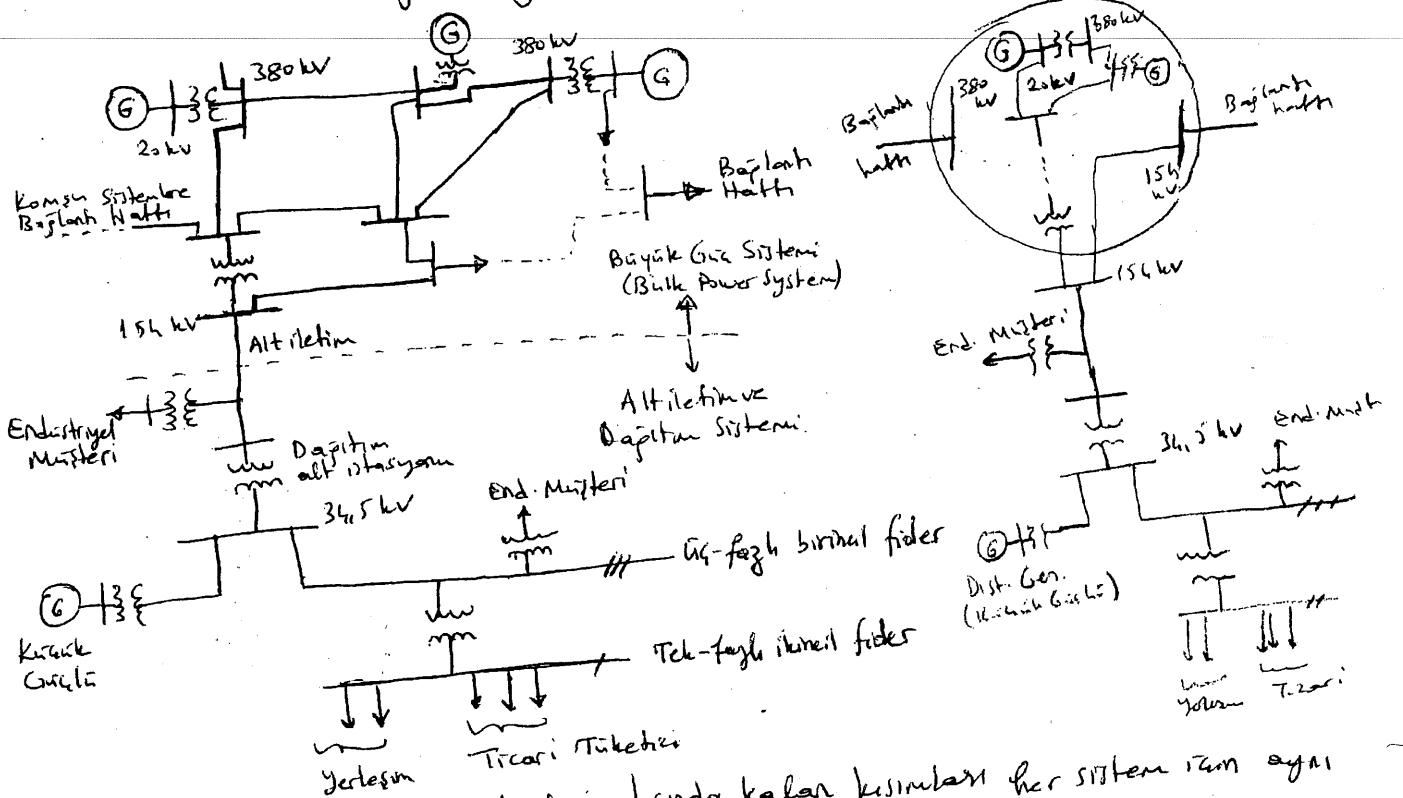
Güç Sistemlerine Genel Bakış:

Elektrik güç ve enerji sisteminin yapısı çok geniş ve kompleks olup, aşağıdaki şekilde olduğu gibi "5" ana bölüme ayrılabilir.



Burada en önemli bileşen enerji kaynağı olup, enerji dönüşümü için kullanılır. İkinci bileşen üretim sistemi olup enerji kaynağını elektrik enerjisine dönüştürür. Üçüncü bileşen iletim sistemi olup, üretim merkezlerindeki elektrik enerjisini ana yük merkezlerine yüksek gerilim hatları altında iletir. Dördüncü ana bileşen dağıtım hatları olup, enerjinin tüketicilere alçak gerilim şebekesi ile dağıtır. Son olarak beşinci bileşen ise yük veya enerji harıcı olup, elektrik enerjisini arzu edilen forma dönüştürüp, elektrik enerjisini yararlı hale getirir (Isı, ışık, mekanik vb enerji gibi).

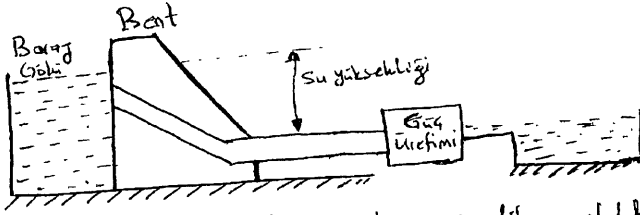
Bir Güç Sisteminin ayrıntılı yapısı aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Güç sistemlerinin üretim merkezleri dışında kalan kısımları her sistem için aynı olup, üretim merkezlerinin farklı özellikleri vardır.

GÜÇ SİSTEMLERİNDE ÜRETİM MERKEZLERİNİN ÇEŞİTLERİ:

1-) Hidroelektrik Santraller: Aşağıdaki şekilde hidroelektrik güç santrallerinin prensip şeması görülmektedir.



Hidroelektrik Santral tarafından üretilen elektrik gücü, hidroelektrik türbin boyunca geçen su miktarına ve su basıncına bağlıdır. Kilowatt olarak santral kapasitesi şu şekildedir;

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

Burada,
 $Q = m^3/s$ 'de akan su miktarı
 $H =$ Düşü yüksekliği
 $\eta =$ Verim (Türbin verimi)

Hidrolik türbin, baraj gölünden gelen sudaki kinetik enerjisi, kendi dönen milinde olan mekanik enerjiye dönüştürür. Hidrolik türbinlerin kanatları genellikle sabit olmamasına karşın, sabit kanatlı olanları da vardır. Sabit kanatlı türbinler, sadece sabit yük durumunda kullanılır. Kanatlı ayarlı olanlar ise, yükün ayalıp çoğalmasına karşı büyük uyum gösterirler. Bu tip türbinlerin kanatları değişen yük durumlarına göre otomatik olarak ayarlanarak, en ekonomik çalışma durumu sağlanır.

Türbin ve generator ortak bir mil üzerinde konumlanmıştır. Generator rotorunun kutup sayısı elektrik güç sisteminin işletme frekansına dayalı olan bir dönme hızına sahiptir.

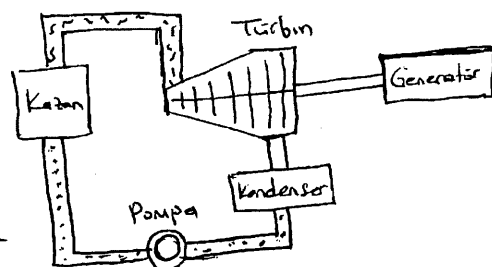
$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P}$$

$f \rightarrow$ frekans
 $P \rightarrow$ kutup sayısı
 $n_s \rightarrow$ hız [devir/dk]

2.) Termik Santraller:

- Buhar Santralleri: Buhar santra-

linin prensip şeması yandaki şekilde görülmektedir. Buhar santrallerinde ya da hava karışımı ocaklarda yakıtlarda ısıtılarak su ısıtılır ve buhara dönüştürülür.



Diger güç santralleri

- Jeotermal güç santralleri
- İstenen yarımlı motor santralleri (Genellikle pıvıant yarımları kısılanmak amacıyla kullanılırlar)
- Kombıne Çevrımı Güç santralleri [Gaz türbın üretım ünitesi ve buhar türbın ünitesi, bir arada bulunur. Gaz ve buhar türbın üniteleri yanar yakıttan elde edilen sıcaklığı paylaşır. Isı enerjisinin bir parçası buhar üretmek için kullanılır ve buhar türbını sürrebilecek sıcaklığa ve basınçta çıkarılır. Yakıtın yanması esnasında üretilen sıcak gazlar ^{gas türbını döndürmek için kullanılır. Türbını ayırıldığı} buhar ^{ısıtma için kullanılır.} enerjisi türbın besleme suyu ile ısıtılmak için kullanılır. Kombıne çevrımı güç santrallerinin verimi diğerlerine göre (sadece gaz veya buharı göre) daha yüksektir.]
- Nükleer güç santralleri ve
- Diğer alternatif enerji kaynaklarına dayalı üretım santralleri {Rüzgar, Güneş, Gelgit, Dalga, Kojenerasyon, Biyom vb.

GÜÇ SİSTEM KONTROL

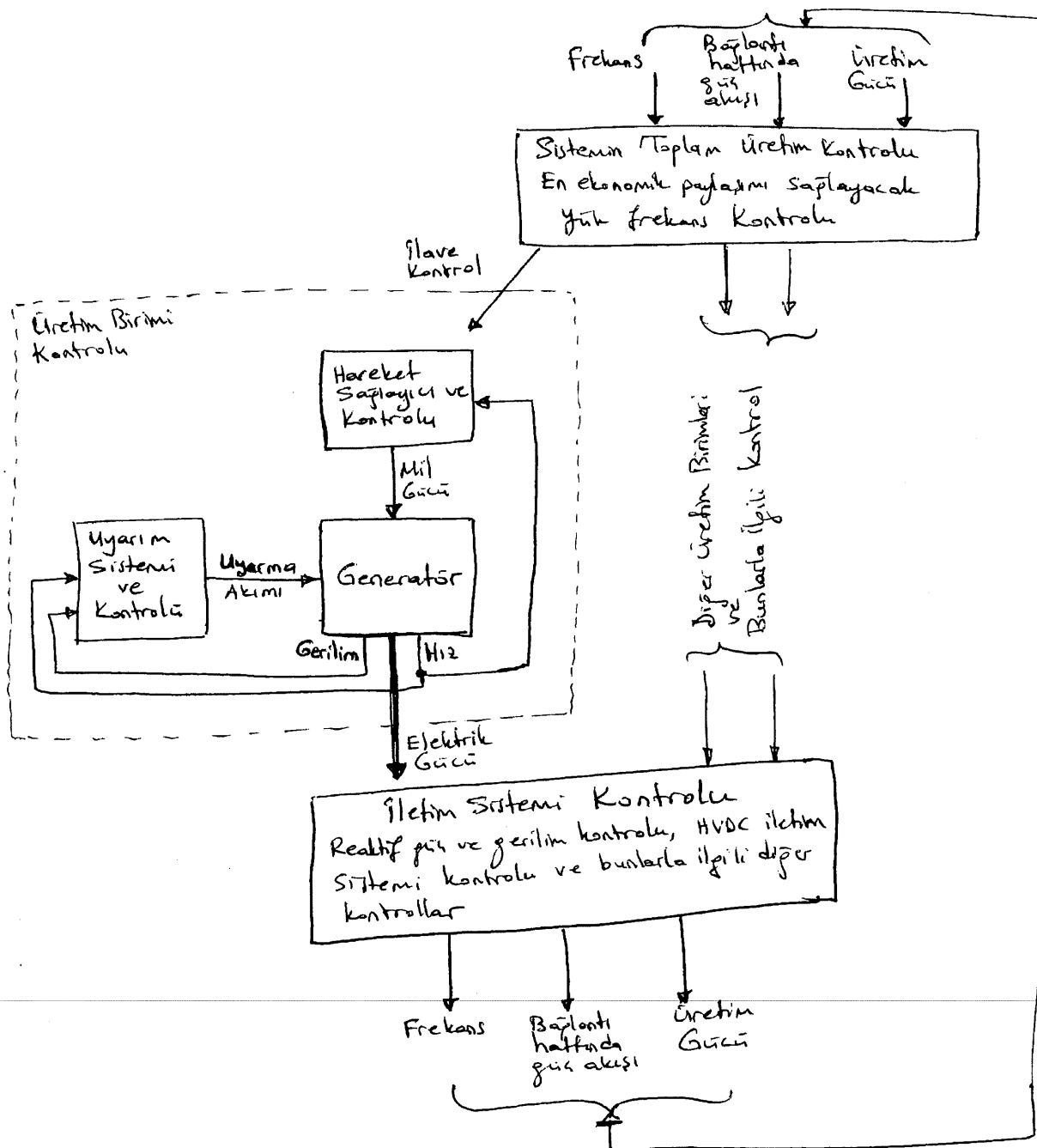
Bir elektrik güç sistemi;

- Sürekli olarak değışen yüklerle, dolayısıyla sürekli değışen aktif ve reaktif güç taleplerine cevap verebilmek zorundadır. Elektrik enerjisi uygun bir şekilde ve yeterli miktarlarda depo edilememektedir. Bundan dolayı yeterli miktarlarda devir yapan aktif ve reaktif güç rezervleri sürekli olmalı ve tüm zamanlar uygun bir şekilde kontrol edilmeli.
- Enerjiyi minimum maliyetle ve çevreye minimum etki ile temin etmelidir.
- Kaliteli güç temini için i) frekans sabıtlığı ii) gerilim sabıtlığı iii) Güvenilirlik seviyesi yerine getirilmelidir.

Yukarıdaki bahsedilen amaçların gerçekleştirilmesi için birçok kontrol sistemi kullanılır. Bütün bu kontrol seviyeleri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Verilen bu şekil, bir güç sisteminin değışik alt sistemlerini ve birleştirilmiş kontrolünü tanımlanmaktadır.

Güç sistemlerinde kontrol seviyelerini genel olarak iki alt birime ayırabiliriz.

- Üretim Sistemi Kontrolü
- İletim Sistemi Kontrolü

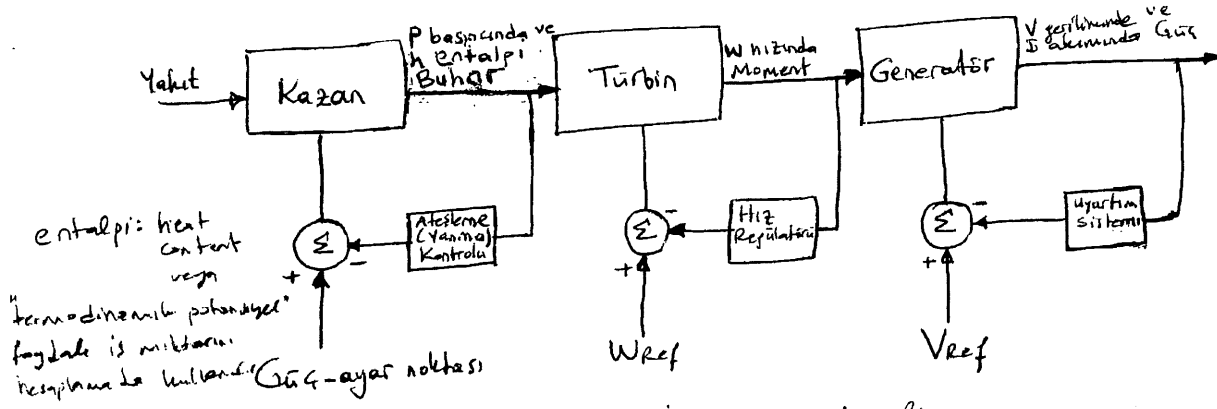


Hareket sağlayıcı ve onunla ilgili kontrol sistemi hız regülasyonu ve enerjiyi temin eden sistem değişkenlerinin kontrolüyle ilgilidir. Uyarım sistemi ve kontrolünün amacı, generatör gerilimini ve reaktif güç çıkışını ayarlamaktır. Güç üretim sisteminin temel amacı toplam sistem üretimini ile toplam kayıplar ve sistem yükleri arasındaki dengeyi sağlamaktır. Böylece arzu edilen frekans ve komşu sistemler arasındaki güç dengesini (bağlantı hattında güç akışı) sağlanmış olur.

İletim sistemi kontrolü, güç ve gerilim kontrol cihazlarını içerir. Bunlar statik VAR kompanzasyonları, senkron kondansatörler, anahtarlama kondansatörler ve reaktörler, kademe değiştirici transformatörler, ve HVDC kontrol sistemi gibi cihazlardır.

Bir güç sisteminde kontrol amaçları, güç sisteminin işletme şartlarına bağlıdır. Normal şartlar altında, kontrol amacı frekan ve gerilim değişimini mümkün olduğu kadar nominal değerlerine yakın tutmaktır. Anormal şartlar geliştiği zaman kontrol amaçları sistem işletimini normal işletme şartlarına döndürmeyi amaçlamalıdır.

UYARTIM SİSTEMİ : Senkron generatori doğrudan etkileyen 3 temel kontrol sistemi vardır. Bunlar kazan kontrolü, hız regülatörü ve uyartım sistemi.

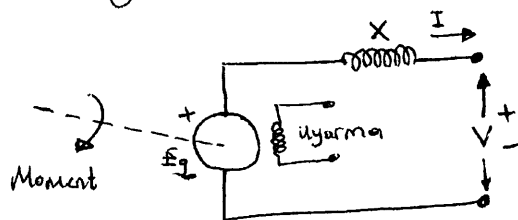


Her bir kontrol biriminin fonksiyonunu kısaca özetleyelim.

Üretim biriminin kayıpsız olduğunu düşünelim (toplam çıkış gücü, toplam türbin ve generator kayıplarına nazaran oldukça büyüktür, bu yüzden üretim biriminin kayıpsız olduğu düşünülür). Bu kabul şartı altında, buhar olarak alınan gücün tamamı, generator uçlarında elektriksel güç olarak alınır. Bundan dolayı prensip şeması yukarıda verilen üretim birimi ısı enerjisini elektrik enerjisine çeviren bir cihaz olarak düşünülebilir.

- Türbine iletilen buhar gücü hız regülatörü ile kontrol edilir.
- Uyartım sistemi, generatörde üretilen emk (elektromotor-kuvveti) 'yı, dolayısı ile çıkış gerilimini, güç faktörünü ve akımın genliğini kontrol eder.

Burada senkron generatorün basit eşdeğer devresi aşağıdaki gibi temsil edilebilir.

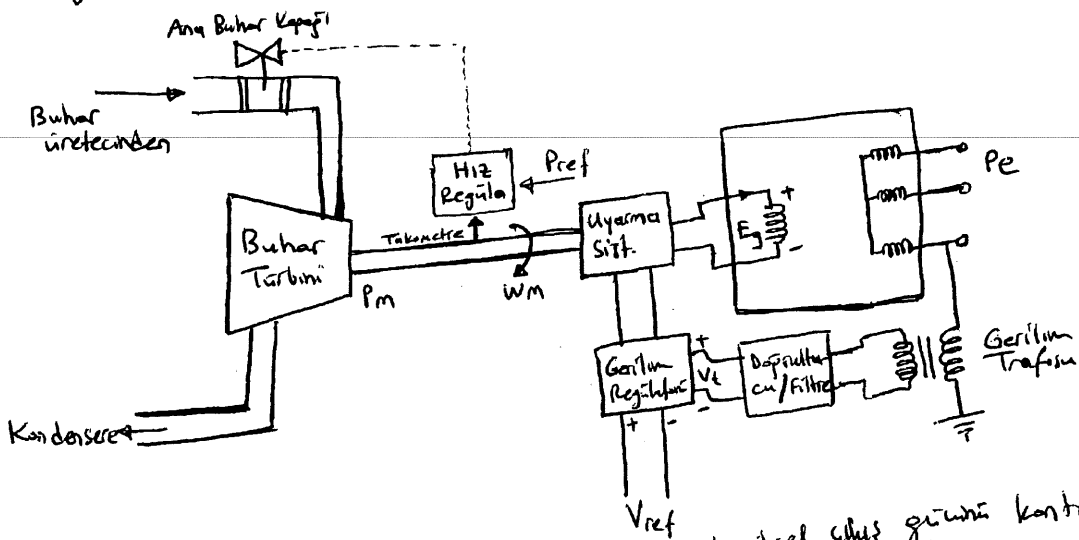


Burada hız regülatörü momentü veya mil gücünü ve uyarma sistemi ise emk 'yı yani E_g gerilimini kontrol eder.

GENEL GÜÇ SİSTEM KONTROL KONULARI:

Genel olarak, güç sistemlerinde otomatik kontrol sistemleri kullanılır. Türbin-generator ünitelerinde ve belirli (gerilim-kontrollü) baralarda lokal kontrol sistemleri mevcuttur. Merkezi kontrollar, bölge kontrol merkezlerinde uygulanmaktadır. Aşağıda bir buhar türbini- ve generatörden oluşan üniteye bulunan iki temel kontrol sistemi verilmiştir. Bunlar gerilim kontrolü ve hız kontrolüdür. Bu kontrolde kullanılan cihazlar ise gerilim regülatörü ve türbin- hız regülatörüdür.

Gerilim regülatörü, generatör V uc (çıkış) gerilimini kontrol etmek amacıyla generatör uyarıtımının çıkış gücünü ayarlar. V_{ref} referans gerilimi artar (veya azalır) ise gerilim regülatörünün çıkışı V_f artırır (veya azaltılır), dolayısıyla generatör uc gerilimi V 'yi artırır (veya azaltır). Bu kontrol işlemi yapılırken geri besleme elemanı olarak bir gerilim trafo üzerinden ve doğrultucudan yararlanır.



Türbin hız regülatörü ise türbinin P_m mekaniksel çıkış gücünü kontrol etmek amacıyla buhar valflerinin pozisyonunu ayarlar. P_{ref} referans mekaniksel güç artar (veya azalır) ise hız regülatörü buhar kapağını açık konuma (veya kapalı konuma) getirir. Böylece P_m gücü artırılır (veya azaltılır). Burada W_m hız geri beslemesi hız regülatörü üzerinden yapılır.

$$P_m > P_e \Rightarrow W_m \uparrow$$

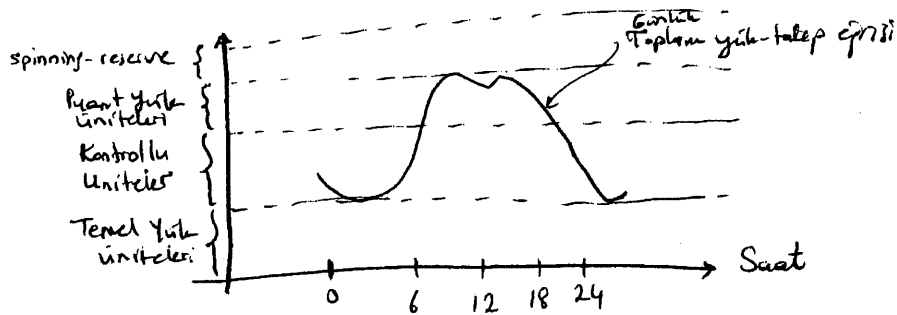
$$P_m < P_e \Rightarrow W_m \downarrow$$

(Buhar kapağı kapanma yönünde hareket ettirilir)
(Buhar kapağı açma yönünde hareket ettirilir)

Generatör barolarındaki gerilim regülatörlerine ilave olarak, bazı belirli baralarda gerilim geriliğini kontrol etmek amacıyla birtakım cihazlar kullanılır. Bu cihazlar, kademe değışimli trafo, anahtarlamalı kapasite grupları ve statik var kompanseörleri gibi cihazlar olup, gerilimi high bir seviyede otomatik olarak kontrol edebilirler.

Merkezi kontrol sistemleri ise günümüzün modern güç sistemlerinde önemli bir rol oynarlar. Günümüzdeki sistemler birbirleriyle bağlantılı çok bölgeli sistemlerdir (Enterkonnekte sistem). Enterkonnekte sistemlerde her bir bölgenin kendine ait merkezi kontrol sistemi vardır. Böylece bu şekilde bir yapı ile her bir bölge tahmin edilen peak yüklerde ve tahmin edilemeyen generatör arızalarında kendi enerji rezervleri diğer bölgelerde paylaşabilirler. Ayrıca enterkonnekte sebepleri, büyük yük değışimlerinde bile frekansta büyük sapmalar oluşturmazlar. Halbuki işle bölgede büyük yük değışimlerinde frekans değışimleri daha dikkat çekicidir.

Enterkonnekte sebepleri içerisindeki tipik bir bölgenin, bir gün boyunca yükleri nasıl karşıladığını aşağıda verilen günlük yük eğrisi üzerinde inceleyelim.

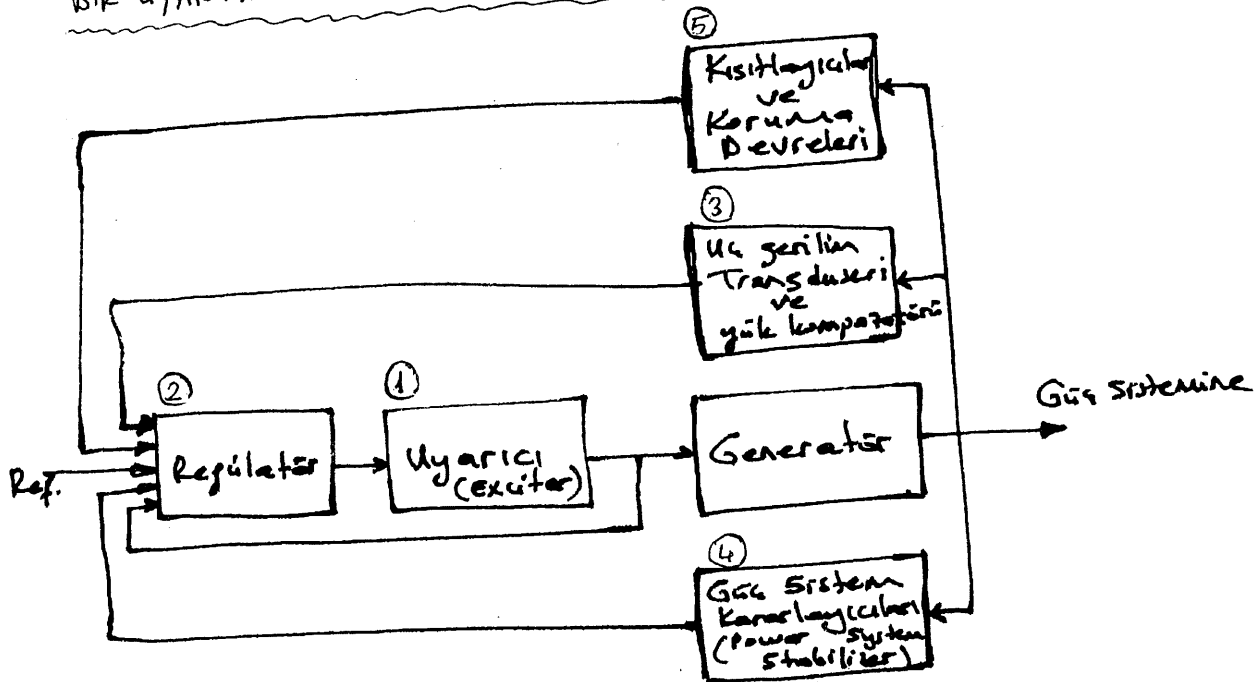


Genellikler
Temel yük üniteleri, nükleer üniteler ve büyük fosil ve fosil yakıtlı ünitelerdir. Bu tip üniteler genellikle 24 saat boyunca kendi nominal değerlerinde çalışırlar. Yüklerin değışken kısmı ise merkezi kontrol birimlerine kontrol edilen üniteler tarafından karşılanır. Orta boyutlu fosil yakıt kullanan termik üniteler ile hidrolik üniteler bu tip ünitelerdir. Peak yük üniteleri ile peak yükler beslenir. Bu tip ünitelerin varımı genellikle daha düşüktür ve devreye girip çıkmaları daha hızlıdır. Gaz türbinali üniteler ile diğel üretim birimleri bu tip ünitelerdir.

Merkezi kontrol birimleri, bölgedeki sistem frekansını, ünitelerin güç gücü ve bağlantı hattı güç akışı gibi bilgileri sürekli olarak izler. Buradan elde edilen bilgiler, yük-frekans kontrolünde (yükdeğişimlerine karşı nominal frekansı sağlamak) ve bağlantı hattındaki net güç akışını kontrol etmek için kullanılır. Böylece türbin hız regülatörlerinin referans güç işaretleri sürekli olarak elde edilmektedir.

Göz önünde bulundurulması gereken diğer bir husus da ünitelerin işletme maliyetleridir. Özellikle kontrol edilen ünitelerin işletme maliyetleri büyük oranlarda farklılık göstermektedir. Büyük ^{güçlü} üniteler genellikle daha verimli ünitelerdir. Fakat yakıtlanmalarındaki farklılıklardan dolayı (kömür, petrol, gaz vb) işletme maliyetlerinde farklıdır. Bu sebepten dolayı üniteler arasında ekonomik yük paylaşımı yapılmalıdır (Economic Dispatch). Ekonomik yük paylaşımı ile, toplam işletme maliyetini minimum yapacak şekilde ünitelerin yüklenme miktarları belirlenir. Ekonomik yük paylaşımı yük-frekans kontrolü ile birlikte koordine edilmelidir. Böylece kontrol edilecek ünitelerin belirtilen referans güç işareti ile ekonomik yüklenme sağlanmış olur ve yük-frekans kontrolünün amaçları da gerçekleştirilmiş olur.

BİR UYARTIM SİSTEMİNİN BİLEŞENLERİ :



(1) Uyarıcı: Senkron generatörün uyarma (alan) sargılarına dc enerji sağlar.

(2) Regülatör: Giriş kontrol işaretini yükselterek uyarma kontrolü için uygun formata getirir.

(3) Uç Gerilim Transduseri ve Yük Kompansatörü:

Generatör uç gerilimini hisseder, doğrultur ve filtreleyerek dc büyüklüğe dönüştürür ve bu büyüklüğü orzu edilebilir uç gerilimini temsil eden Referans değeri ile karşılaştırır. İlave olarak (reaktif) yük kompensasyonu temin edilebilir (örneğin generatör uçlarından uzak bir noktadaki gerilimi sabit tutmak gerektirir)

(4) Güç Sistem Dengeleyici (Stabilizer) ^(Stabilizator) ^{Regülatöre} ilave giriş sinyali üreterek güç sistem osilasyonunun sönümlenmesini sağlar. Genel olarak kullanılan giriş işaretleri ~~rotor~~ rotor hızındaki sapma, frekanslı sapma ve güçteki ivmelenme.

(5) Sınırlayıcılar (Limitör) ve Koruma Devreleri:

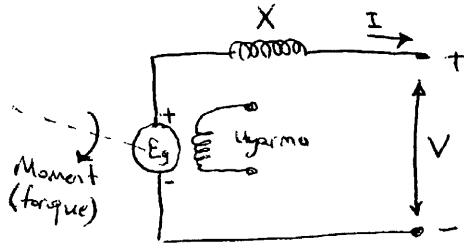
Bir dizi kontrol işlevini ve koruma fonksiyonlarını içerir. Böylece uyarıcının ve senkron generatörün kısıt değerleri içerisinde kalması sağlanır. ^{En sık} kullanılan ~~fonksiyonlar~~ fonksiyonlar; alan akımı kısıtı, maksimum uyarma kısıtı, uç-gerilim kısıtı, her iki başına gerilim ve koruma ~~ile~~ işlevi ve yetersiz uyarma işlevi gibi fonksiyonlardır. Bunlar genellikle birbirinden ayrı devreler olup, çıkışları uyarma sistemine farklı noktalardan uygulanır.

Burada tek bir blok altında toplanarak gösterilmektedir.

Toplan bir işaret şeklinde

(6)

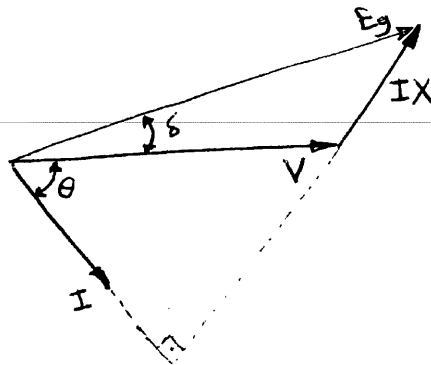
ÖRNEK: Uç gerilimi V , iç gerilimi E_g ve akımı I olan ve endüktif olarak çalışan aşağıdaki generatörü göz önünde bulunduralım.



Giriş gücünün hız regülatörü tarafından sabit tutulduğunu kabul edelim. Bu başlangıç şartı altında uyarma değerini E_g 'den E_g' ne artıralım. Yine bu şartlarda bara geriliminin bu makineye paralel olarak bağlı diğer makineler dolayısı ile sabit kaldığını düşünelim. Bu durumdaki I' akımını, $\cos \theta'$ güç faktörünü ve moment açısı δ' nı bulunuz.

Çözüm: Fazör diyagramı çizilerek bu problem çözülebilir. (Aslında bu problemin amacı senkron makine kontrol sistemini anlatmaktır)

Senkron makinenin başlangıçtaki fazör diyagramı aşağıda olduğu gibidir. Senkron makine uç gerilimi referans alınır.



Verilen şartlar altında güç ifadesi iki şekilde yazılabilir

(1) Generatörün uç şartlarından hareketle

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta \quad \dots \dots (1)$$

(2) Moment açısı ($\delta =$ Güç açısı) cinsinden {Not: Stator direnci ihmal edilmiştir}

$$P = \frac{E_g \cdot V}{X} \cdot \sin \delta \quad \dots \dots (2)$$

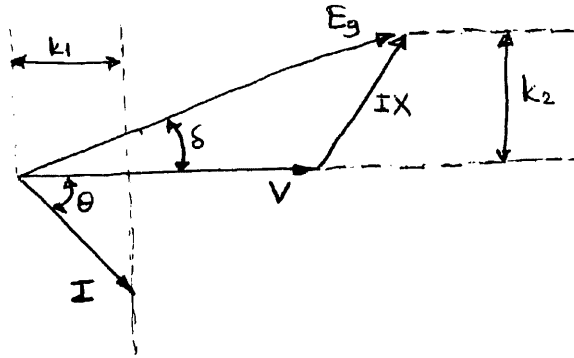
Bizim probleminizde Güç (P) ve Gerilim (V) sabit olarak verilmiştir.

(1) eşitliğinden $I \cdot \cos \theta = k_1 = \text{sabit olmalı}$

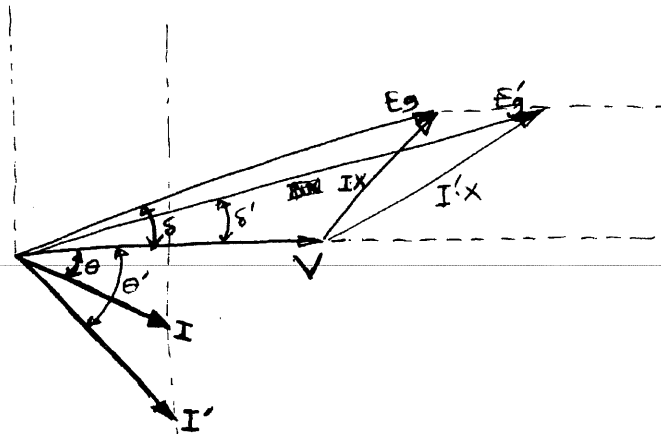
(2) eşitliğinden $E_g \cdot \sin \delta = k_2 = \text{sabit olmalı}$

Fazör diyagramını yeniden çitirsek ;

(7)



Eğer uyarma akımı artırılırsa yani E_g değeri büyütülürse, E_g değeri yatay çizgili bölge içerisinde sabit kalacak şekilde yine I akımı da dikey çizgili bölge arasında sabit kalacak şekilde değişecektir.



Özetle, Senkron generatörde, sonsuz büyük şebekeyle paralel çalışmada uyarma kontrolü, kendisinin etkilediği em'yi değiştirir ve sadece makinenin reaktif gücü etkilenir. Aktif güç ise sabit kalır.

Not: Sonsuz büyük şebeke değişimi ile empedansı ihmal edilecek kadar küçük olan, sabit gerilimli ve güç önüne alınan makineye göre sonsuz güçlü bir kaynağın anlamında kullanılmaktadır. Senkron makine böyle bir şebekeye bağlanırsa uyarma akımı sabittir.

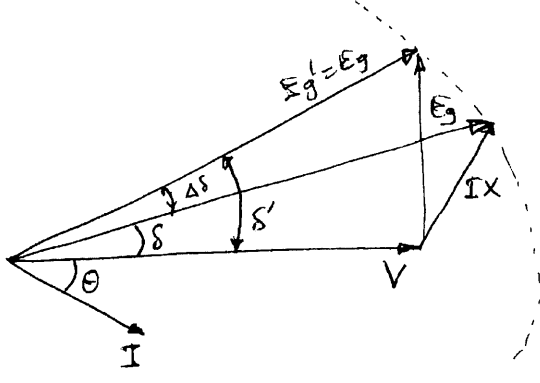
Şimdi ise dikkatlerimizi şebeke ile paralel çalışan makinenin P aktif gücünün nasıl ayarlanıp kontrol edildiği konusu üzerine toplayalım. Yukarıda anlatıldığı üzere reaktif güç uyarma akımı ile değişmektedir. Yani uyarma akımı sabit olan bir makinede E_g gerilimi sabittir. O halde aktif güç ayarlamak için $\sin \delta$ 'yi ya da δ yük açısını değiştirmek lazımdır. $[P = \frac{1}{X} (E_g) \cdot V \cdot \sin \delta]$

O halde δ 'nin nasıl ayarlanacağını incelemek gerekmektedir. E_g gerilimi sabittir. O halde δ yük açısını değiştirmek lazımdır. $[P = \frac{1}{X} (E_g) \cdot V \cdot \sin \delta]$

V gerilimi sonsuz büyük şebekeyi gösteren fazör olduğuna göre, bunun değeri de sabittir. O halde δ yük açısını değiştirmek lazımdır. E_g gerilimi sabittir. O halde δ yük açısını değiştirmek lazımdır.

kutup akısı tarafından meydana getirilir. Kutupların konumunu belirleyen parametre ise δ dir. Yani δ açısında $\Delta\delta$ kadar değişme, kutupların konumunun $\Delta\delta$ kadar kayması demektir. Kutupların konumunu $\Delta\delta$ kadar δ değişince E_g fazöründe $\Delta\delta$ kadar kayar. Kutupların konumunu $\Delta\delta$ kadar ileriye kaydırmak için generatörün miline uygulanan M momentini artırmak ve çok kısa bir sürede mekanize imcelendirmek lazımdır. Örneğin, hidrolik santrallerde, generatörü döndüren su türbinlerinin su vanasını açarak, su miktarını artırmak yolu ile M momentini büyütür. aktif güç ayarı yapılır.

Buhar santrallerinde buhar miktarını artırarak veya dizel motorun yakıtını artırarak



Özetle, bir senkron generatörün sisteme vereceği aktif ve reaktif güç

$$P = \frac{V \cdot E_g}{X} \cdot \sin \delta$$

$$Q = - \frac{V}{X} \cdot (E_g \cdot \cos \delta - V)$$

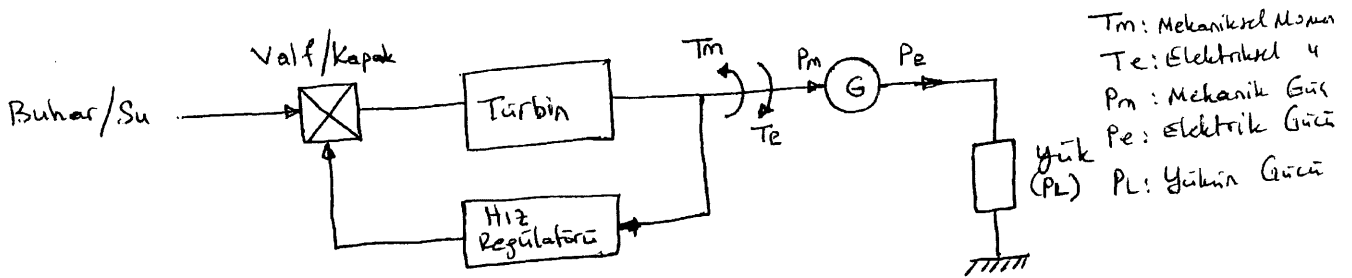
formülleri ile hesaplanır. Buradan anlaşılabacağı üzere

- * Uyarma akımının ayar edilmesi sadece reaktif güç büyüklüğüne etki eder.
- * Türbin giriş debisinin ayar edilmesi büyük bir miktarda aktif güç üzerinde, küçük bir miktarda reaktif güç üzerinde etki eder.

Güç sisteminin kontrolünü gerçekleştirmek için sistemdeki her elemanın dinamik performansını anlamak gerekir. Yani sistem kontrol cevabını gözlemleyebilmek için, yük, generatör, türbin, hız regülatörü ve bağlantı hattı gibi temel elemanların modellerinin tanımlanması gerekmektedir.

GENERATÖR MODELİ VE YÜK DEĞİŞİMİNE CEVABI:

Bir generatör, dönmeye elverişli eden iki zıt momentli bir büyük dönen kütle gibi temsil edilebilir. Bu durumu temsil eden aşağıdaki radyal sistemi göz önünde bulundurarak;



T_m mekaniksel moment döner hızın artmasına sebep olur. Buna mukabil T_e elektriksel moment T_m (mekaniksel moment)'ye ters yönde etki ederek döner hızın azalmasını sağlar. Bu iki büyüklük (T_m ve T_e) birbirine eşit olduğu zaman döner hızı $\omega = \omega_0$ sabit olur. Sistemdeki elektriksel yük artarsa, yani Elektriksel Moment (torque) artarsa [$T_e > T_m$ olursa] tüm döner sistem yavaşlamaya başlar. Bu durumda buhar veya su girişi kapakları açılarak mekaniksel moment artırılır ve $T_m = T_e$ olması sağlanmaya çalışılır. Bu işlemin, yüklerin sürekli olarak değişmesinden dolayı güç sistemlerinde sürekli olarak tekrarlanır.

Generatör modelini oluşturmada kullanacağımız parametreler aşağıda olduğu gibidir.

ω = Açısal hız

α = Açısal ivme

δ = Yük açısı (Generatör faz açısı)

T_{net} = Makinadaki net ivmelenme momenti

T_m = Mekaniksel moment (Türbinden Dolaylı)

T_e = Elektriksel Moment (Generatörden Dolaylı)

P_{net} = Net ivmelenme gücü

P_m = Mekanik Giriş Gücü

I = Makinenin eylemsizlik momenti

M = Makinenin açısal momentumu

Generator modelini oluştururken kullanacağımız büyüklükleri per-unit değerde ele alacağız. Kullanacağımız bazı temel büyüklükler aşağıdaki gibidir.

$$J \text{ kg-m}^2 \text{ (Kütle atalet momenti)}$$

$$T_{\text{Inet}} = J \cdot \alpha$$

$$\text{kg-m}^2/\text{s} \quad M = W \cdot I$$

$$P_{\text{net}} = W \cdot T_{\text{Inet}} = W \cdot (J \cdot \alpha) = M \cdot \alpha$$

Bir tek dönen makineyi göz önünde bulunduralım. Makinenin nominal hızı ve faz açısı, sırasıyla ω_0 ve δ_0 olsun. Farklı işletme şartlarından dolayı makine ω_0 ve δ_0 nominal değerlerinden uzaklaşır. Hızdaki sapma $\Delta\omega$, faz açısındaki sapma ise $\Delta\delta$ kadar olsun.

Burada $\Delta\delta$ faz açısı sapması, α hızlanmasına maruz kalan makine faz açısı ile, ω_0 hızında dönen bir referans eleman faz açısı arasındaki farka eşittir.

Hızlanma durumunda makine hızı, ω

$$\omega = \omega_0 + \alpha \cdot t \Rightarrow \Delta\delta = \int (\omega_0 + \alpha t) dt - \int \omega_0 dt$$

$$= \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2} \alpha t^2 - \omega_0 \cdot t$$

$$\Delta\delta = \frac{1}{2} \alpha t^2$$

O halde $\Delta\omega$ nominal hızdan sapma miktarı,

$$\Delta\omega = \alpha t \quad \text{--- Not: } \left\{ \omega = \omega_0 + \alpha t \Rightarrow \omega = \omega_0 + \Delta\omega \right\}$$

$$\text{olup } \Delta\delta = \int (\omega_0 + \alpha t) dt - \int \omega_0 dt \Rightarrow \Delta\delta = \int \alpha t dt$$

$$\Rightarrow \Delta\delta \cdot \frac{dt}{dt} = \alpha t \cdot \frac{dt}{dt} \cdot \frac{dt}{dt} \quad (\text{türev alındı})$$

$$\Delta\delta = \alpha t dt \Rightarrow \alpha t = \frac{d}{dt}(\Delta\delta)$$

$$\Rightarrow \Delta\omega = \alpha t = \frac{d}{dt}(\Delta\delta)$$

olarak yazılır.

Net imcelendirme momentinin hız sapması ve frekans sapması cihazından karşılığını yazmak istersak

(11)

$$\boxed{T_{net} = I \cdot \alpha} \text{ idi. Ve aynı zamanda } \boxed{\Delta \omega = \alpha t = \frac{d}{dt} (\Delta \delta)} \text{ idi}$$

$\Delta \omega = \alpha t \Rightarrow$ her iki tarafın türevini alalım.

$$\frac{d}{dt} \Delta \omega = \frac{d}{dt} \alpha t \Rightarrow \boxed{\frac{d}{dt} \Delta \omega = \alpha}$$

$$\Rightarrow \boxed{T_{net} = I \cdot \alpha = I \cdot \frac{d}{dt} (\Delta \omega)}$$

$$\Rightarrow \boxed{T_{net} = I \cdot \frac{d^2 (\Delta \delta)}{dt^2}} \quad \frac{d}{dt} \left[\frac{d}{dt} \Delta \delta \right]$$

Dönen hız ve mekanik momentteki sapmalar ile mekanik ve elektrik prizindeki sapmalar, net imcelendirme için de farklılık oluşturacaktır.

$$\Rightarrow P_{net} = P_{net0} + \Delta P_{net} \quad (1*)$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{net0} = P_{m0} - P_{e0} \\ \Delta P_{net} = \Delta P_m - \Delta P_e \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{P_{net} = (P_{m0} - P_{e0}) + (\Delta P_m - \Delta P_e)} \quad (2*)$$

Bentler schilde net imcelendirme momenti

$$\boxed{T_{net} = (T_{m0} - T_{e0}) + (\Delta T_m - \Delta T_e)} \quad (3*)$$

Ayrıca

$P_{net} = \omega \cdot T_{net}$ olduğu hatırlanırsa

$$\boxed{P_{net} = (\omega_0 + \Delta \omega) (T_{net0} + \Delta T_{net}) = P_{net0} + \Delta P_{net}} \quad (4*)$$

Yukarıdaki P_{net} ve T_{net} ifadelerini yukarıda yerine yazarsak
 (2*) (3*) (4*)

2*

$$(P_{m0} - P_{e0}) + (\Delta P_m - \Delta P_e) = (\omega_0 + \Delta \omega) [(T_{m0} - T_{e0}) + (\Delta T_m - \Delta T_e)]$$

elde edilir. Senkron çalışma durumunda $P_{m0} = P_{e0}$ ve $T_{m0} = T_{e0}$ olduğundan
 (Sürekli Durumda)

$$0 + (\Delta P_m - \Delta P_e) = (\omega_0 + \Delta \omega) \cdot [0 + \Delta T_m - \Delta T_e]$$

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \omega_0 \Delta T_m - \omega_0 \Delta T_e + \overset{\text{ihmal}}{\Delta \omega \Delta T_m} - \overset{\text{ihmal}}{\Delta \omega \Delta T_e}$$

$$\boxed{\Delta P_m - \Delta P_e = \omega_0 (\Delta T_m - \Delta T_e)} \quad \dots \dots \dots (A)$$

olarak elde edilir.

Net moment ile hız değişimi arasındaki ilişki

$$T_{\text{net}} = I \alpha$$

$$\Gamma_{\text{net}} = I \cdot \frac{d}{dt} (\Delta \omega)$$

T_{net} ifadesi yerine yazılırsa, (3*)

$$(\Gamma_{T_m} - \Gamma_{T_e}) + (\Delta T_m - \Delta T_e) = I \cdot \frac{d}{dt} (\Delta \omega)$$

Sürekli durumda $\Gamma_{T_m} = \Gamma_{T_e}$ olduğundan

$$0 + (\Delta T_m - \Delta T_e) = I \cdot \frac{d}{dt} (\Delta \omega)$$

(A) ifadesinden $(\Delta T_m - \Delta T_e) = \frac{1}{\omega_0} (\Delta P_m - \Delta P_e)$ olduğundan

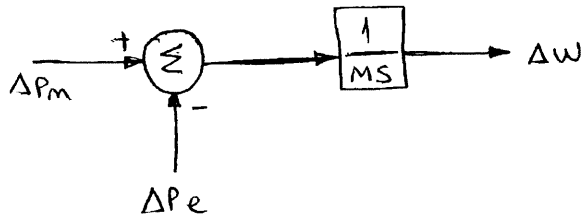
$$\frac{\Delta P_m - \Delta P_e}{\omega_0} = I \cdot \frac{d}{dt} (\Delta \omega)$$

$$\boxed{\Delta P_m - \Delta P_e = \underbrace{\omega_0 \cdot I}_M \cdot \frac{d}{dt} (\Delta \omega) = M \frac{d}{dt} (\Delta \omega)} \quad \text{yazılır.}$$

Böylece, mekanik güç, elektriksel güç ve hız değişimi arasındaki ilişki elde edilmiş oldu. Bu eşitliği Laplace dönüşümü uygularsak,

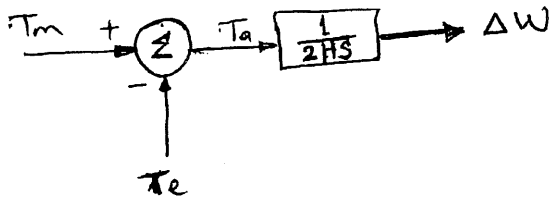
$$\boxed{\Delta P_m - \Delta P_e = M s \cdot \Delta \omega}$$

Bu eşitliği aşağıdaki model ile temsil edebiliriz



Güç ve hız arasındaki bağlantıya ilişkin transfer fonksiyonu.

Hız ile moment arasındaki transfer fonksiyonu ise;



Burada, $M = 2H$ olup, H atalet sabitidir. Birimi (MW·sn/MVAR)

YÜK MODELİ VE FREKANS DEĞİŞİMİNE CEVABI:

Güç sistemi yüklerinin bir kısmı tamamen omik yüklerden teşekkül ederken, bir kısmında motor gibi değişken güç-frekans karakteristiği gösteren yüklerdir. Diğer bir kısmı ise daha farklı karakteristikler sergileyen yüklerdir. Motor yükleri elektrikli yüklerin önemli bir kısmını oluşturup, elektrikli güç frekansa değişimlidir çünkü motor hızı değişmektedir. Bu sebeple, frekans değişiminin sistemin net güç üzerindeki etkisi bir model ile belirtilmelidir. Frekansla değişimlilik nedeniyle yükte meydana gelen değişimlilik arasındaki ilişki,

$$\Delta P_D = D \cdot \Delta W \Rightarrow D = \frac{\Delta P_D}{\Delta W}$$

şeklinde verilebilir.

Burada ΔP_D = Frekansa duyarlı güç değişimi
 D = Yük sönüm sabiti

ΔW = Açısal hızdaki değişim (Rad/sn)

Daha sıgat ifade ile, sönüm sabiti, frekanstaki %'lik değişim için yükteki güçte değişim olarak tanımlanır. [D 'nin tipik değişim aralığı %1 - %2] 'dır

Örneğin $D=2$ ise frekansta %1'lik bir değişim, yükte %2'lik bir değişime sebep olur. Bununla birlikte sistemin dinamik cevabı bulunurken; nominal yük sistem baz gücünden farklı ise D değeri değiştirilmelidir. Örneğin 1200 MVA gücünü besleyen bir şebke

D değerini göt önüne alalım (Sistem dinamikleri 1000 MVA başında). $D_{1000 \text{ MVA başı}} = 2 \times \left(\frac{1200}{1000}\right) = 2,4$

Bir kompozit yükün frekansa bağlı karakteristiği ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

14

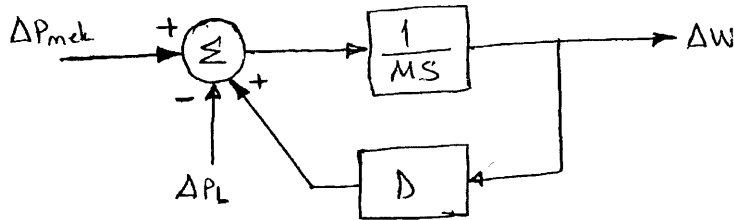
$$\Delta P_e = \Delta P_L + D \cdot \Delta W \quad (\text{Net elektrik gücü değişimi})$$

Burada,

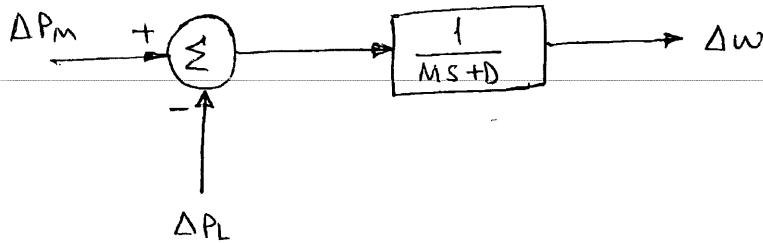
ΔP_L = Frekansa duyarlı yük değişimi

ΔP_e = Elektriksel yütü net değışiklik

Yük sönüm etkisini ifade eden blok diyagramı aşağıda olduğu gibidir.



Bunu aşağıdaki blok diyagramına da indirgeyebiliriz.



ÖRNEK : 500 MVA'lık 4 adet eşdeğer birimden oluşan küçük bir üretim (zaman) sistemi toplam 1020 MW'lık bir yükü beslemektedir. Her bir birimin H atalet sabiti 500 MVA'lık bat gücü değeriinde 5 olarak hesaplanmıştır. Yük %1'lik frekans değışimini için %1,5 oranında değışmektedir. Yükte 20 MW'lık bir ani azalma durumunda

- 2000 MW'lık bat gücü için H ve D sabitlerini belirleyiniz
- Htt regülatörünün devre dışı olması durumunda frekanstaki sapmayı hesaplayınız.

$$\left. \begin{array}{l} D = \%1,5 \\ H = 5 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Üretim sistemi için } H = 5 \cdot \frac{500}{2000} \cdot 4 = 5 \text{ sn}$$

2000 MVA başında

4 üniteli bir sistem

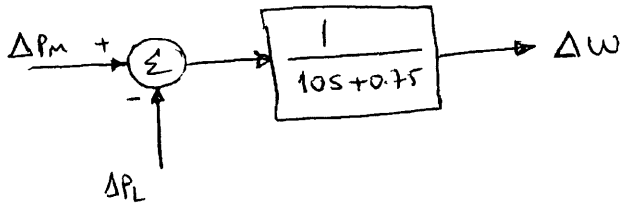
$$M = 2H \Rightarrow M = 10 \text{ sn}$$

Yine 2000 mVA boyunda, geriye kalan yükün D'yi hesaplayalım.

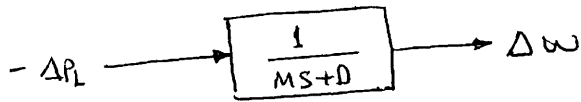
$$1020 - 20 = 1000 \text{ MW 'lık yükün}$$

$$D = \%1.5 \cdot \frac{1000}{2000} = \%0.75$$

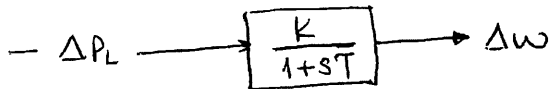
Bu durumda sistemin blok diyagramı aşağıdaki gibi olur.



(b) Hız regülatörü herhangi bir düzeltme eyleminde bulunmadığına göre ($\Delta P_{mek} = 0$)



Bu blok diyagramını standart gösterim olan kazanç ve zaman sabiti açısından ifade edersek.



$$K = \frac{1}{D} = \frac{1}{0.75} = 1.33$$

$$T = \frac{M}{D} = \frac{10}{0.75} = 13.33$$

$$\text{Yükteki değişim } \Delta P_L = -20 \text{ MW}$$

$$\text{Per-unit Cinsinden } \Delta P_L = \frac{-20}{2000} = -0.01 \text{ pu}$$

Yükte aniden meydana gelen ΔP_L adimsal değişimin "s" domainindeki karşılığı

$$\Delta P_L(s) = \frac{-0.01}{s}$$

Dolayısıyla,
Blok diyagramının çıkışı $\Delta W(s)$,

16

$$\Delta W(s) = - \left(\frac{-0,01}{s} \right) \left(\frac{K}{1+sT} \right) = \frac{0,01K}{s(1+sT)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{1+sT}$$

Ters Laplace transformu ile

$$= \frac{A(1+sT) + Bs}{s(1+sT)}$$

$$\Delta W(t) = -0,01 \cdot K \cdot e^{-t/T} + 0,01 \cdot K$$

$$\Rightarrow A + AST + BS = 0,01K$$

$$= -0,01 \cdot 1,33 e^{-\frac{t}{13,33}} + 0,01 \cdot 1,33$$

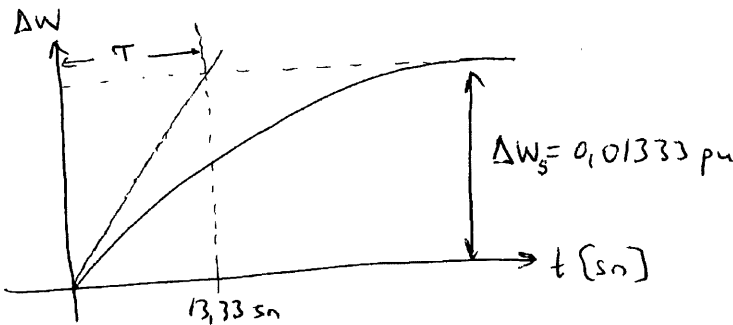
$$A + s(AT+B) = 0,01K$$

$$= -0,0133 e^{-0,075t} + 0,0133$$

$$\boxed{A = 0,01K}$$

$$AT+B = 0$$

$$0,01K \cdot T + B = 0 \Rightarrow \boxed{B = -0,01K}$$



$$\Delta W(s) = \frac{0,01K}{s} - \frac{0,01KT}{1+sT}$$

$$\Delta W(s) = \frac{0,01K}{s} - \frac{0,01K}{s + \frac{1}{T}}$$

Burada zaman sabiti $T = 13,33$ sn olup

$$\text{Sürekli durum hız sapması } \Delta W_s = - \frac{\Delta P_L}{D} = 0,0133 \text{ pu}$$

$$\{ \text{Not: } \Delta P = D \cdot \Delta W \}$$

$$= 0,0133 \times 60 = 0,8 \text{ Hz (gerçek değer)}$$

ÖRNEK: 600 MVA üretimi ^{radyal} sahip bir şebekeyi göz önünde bulunduralım.

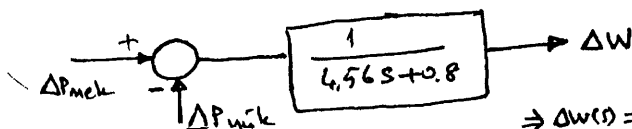
Üretim biriminin ağırsal momentumu $M = 7,6$ [mw-sn/MVA] olup 400 MVA'lık bir yükü beslemektedir. Yükle %2'lik bir deşism frekansta %1'lik bir deşism oluşturmuyor. Frekanstaki sapmayı hesaplayınız. [Baz Gcc 1000 MVA]

Yükte anlık olarak 10 MVA'lık bir artış olması durumunda

* Öncelikle eşdeğer generatör yük modelini oluşturalım. Bütün büyüklükler 1000 MVA bazına göre olmalı.

$$M = 7,6 \times \frac{600}{1000} = 4,56$$

$$D = 2 \times \frac{400}{1000} = 0,8$$



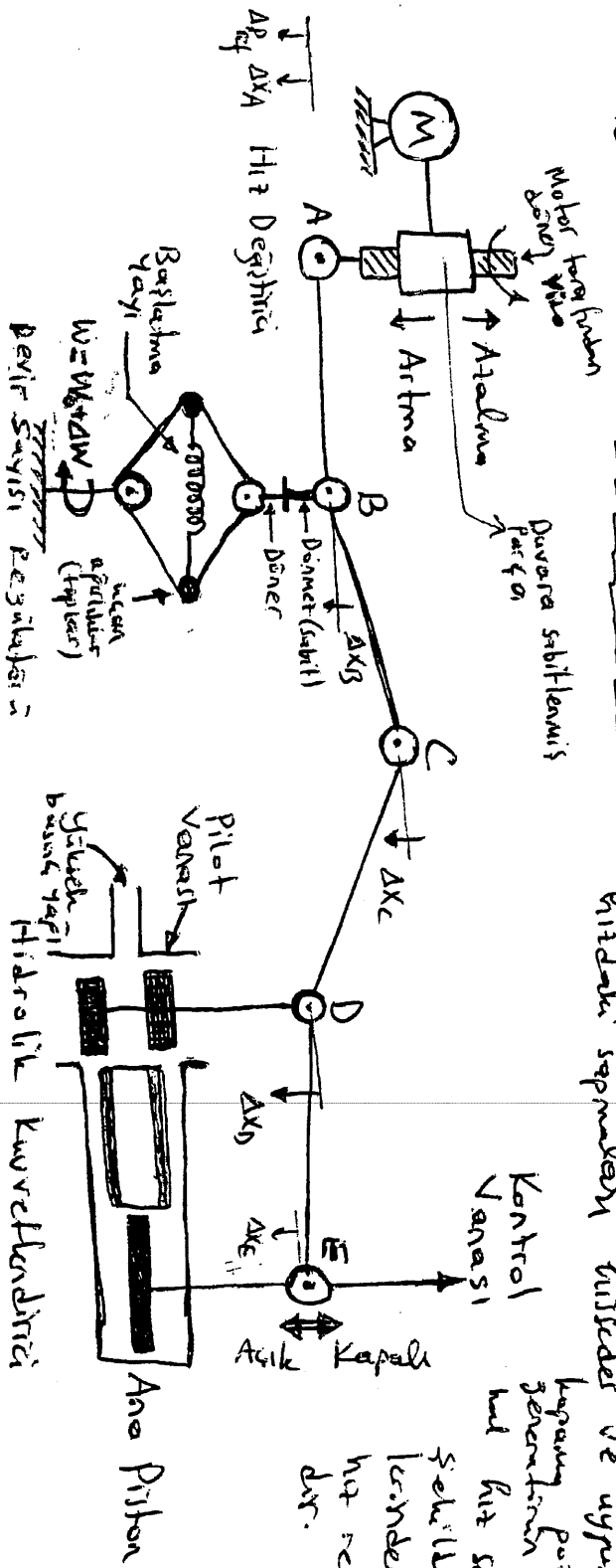
$$\Delta P_L = \frac{10}{1000} = 0,01 \text{ pu} \Rightarrow \Delta P_L(s) = \frac{0,01}{s}$$

$$\Rightarrow \Delta W(s) = - \frac{0,01}{s} \left(\frac{1}{4,56s + 0,8} \right) \Rightarrow \Delta W(t) = 0,0125 e^{-0,1754t} - 0,0125$$

$\left\{ \begin{array}{l} \Delta W \text{ nin } 0,1 \\ \text{deşisi } -0,01 \\ \text{olup } 60 \text{ Hz} \\ \text{995 Hz'lik} \end{array} \right.$

HIZ REGULATOR MODELİ:

Bir hız regülatörünü hız değışiminde neticeinde olunan hızdaki sapmaların hızı ile ilgili olarak

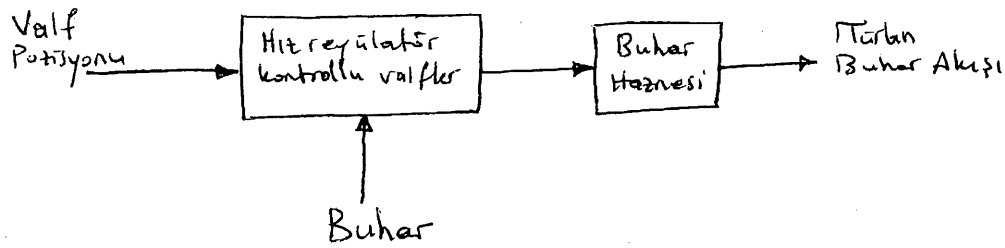


hız değışiminde neticeinde olunan hızdaki sapmaların hızı ile ilgili olarak hız değışiminde neticeinde olunan hızdaki sapmaların hızı ile ilgili olarak

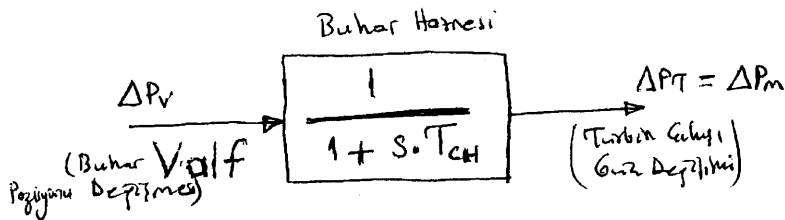
TÜRBİN MODELİ : (Prime-Mover)

Buhar türbinlerinde buhar akışını kontrol etmek için valfler kullanılır. Bu valf turbinin yüksek basınç girişinde bulunur ve hız regülatörleri ile kontrol edilir. Burada, yüksek basınç türbini ile valf arasında bir buhar haznesi mevcuttur. Bu hazne, valfdaki buhar akışını yüksek basıncalı türbinden buhar akışına iletirirken bir gecikmeye neden olur. Bu gecikme ise matematiksel modelde bir gecikme zamanı ile girer.

Şu anda santrallerde kullanılan çok farklı türbin çeşitleri vardır. Her bir türbin matematiksel modeli farklıdır. Biz burada sadece ön-ısıtmasız buhar türbinin modelini vereceğiz. Diğer türbinler için literatürde ayrıntılı bilgi mevcuttur.



Ön ısıtmasız buhar türbinin blok diyagramı

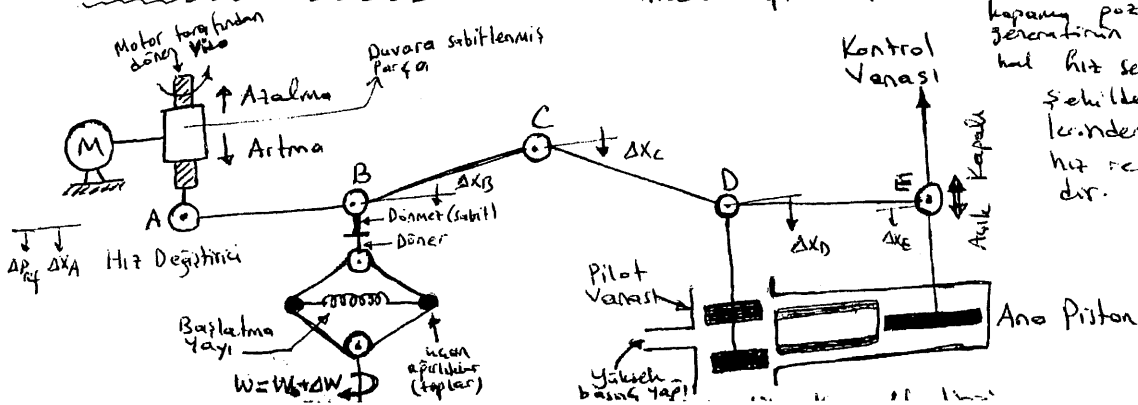


Ön ısıtmasız buhar türbininin yaklaşık lineer modeli

Burada T_{CH} : Gecikme zaman sabiti (Genellikle 0,2-2 sn arasında bir değerdir)

HIZ REGÜLATÖR MODELİ: Bir hız regülatörün yük değişimleri neticesinde oluşan hızdaki sapmaları hissederek ve uygun bir valf açma veya kapanma pozisyonu ile senkron jeneratörün hızını yeniden sürekli hal hız seviyesine getirir.

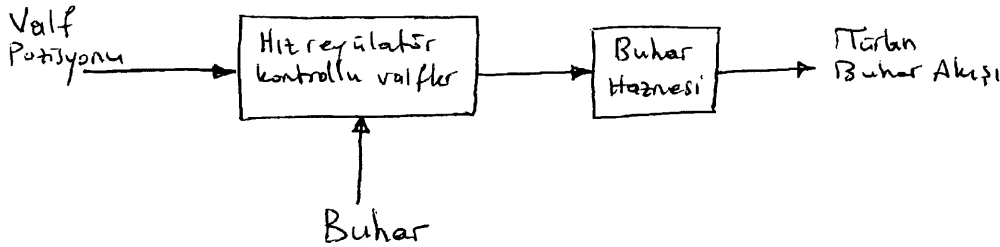
Şekilde ilk hız regülatörlerinden olan bir Watt hız regülatörünün prensipelidir.



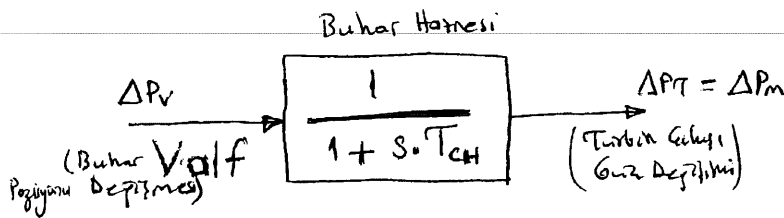
TÜRBİN MODELİ : (Prime-Mover Model)

Buhar türbinlerinde buhar akışını kontrol etmek için valfler kullanılır. Bu valfler türbinin yüksek basınç girişinde bulunur ve hız regülatörleri ile kontrol edilir. Burada, yüksek basınç türbini ile valf arasında bir buhar haznesi mevcuttur. Bu hazne, valfdeki buhar akışını yüksek basınçlı türbinden buhar akışına iletirirken bir gecikmeye neden olur. Bu gecikme ise matematiksel modelde bir gecikme zamanı ile girer.

Şu anda santrallerde kullanılan çok farklı türbin çeşitleri vardır. Her bir türbin matematiksel modeli farklıdır. Biz burada sadece ön-ısıtmasız buhar türbinin modelini vereceğiz. Diğer türbinler için de literatürde ayrıntılı bilgi mevcuttur.



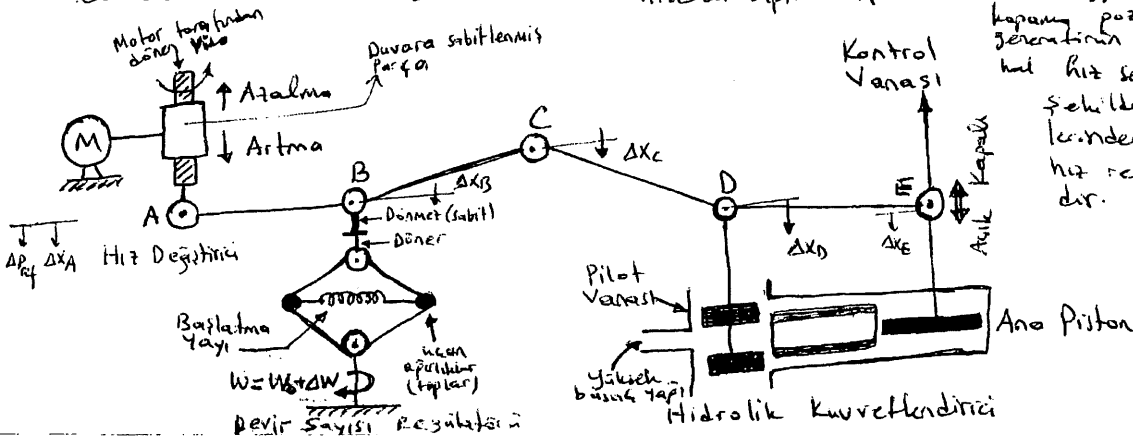
Ön ısıtmasız buhar türbininin blok diyagramı



Ön ısıtmasız buhar türbininin yaklaşık dizeer modeli

Burada T_{CH} : Gecikme zaman sabiti (Genellikle 0,2-2 sn arasında bir değerdir)

HIZ REGÜLATÖR MODELİ : Bir hız regülatörünü yük değişimleri neticesinde oluşan hızdaki sapmaları hissederek ve uygun bir valf açma veya kapama pozisyonu ile senkron jeneratörün hızını yeniden sürekli bir hız seviyesine getirir.



Şekilde ilk hız regülatörlerinden olan bir Watt hız regülatörünün prensipelidir.

Hız regülatörünün çalışması şu şekildedir.

Eğer generatör hızı senkron hızın üzerine çıkarsa, uçan ağırlıklar metkezlere kuvvetinden dolayı birbirinden uzaklaşacaklardır. Bu uçan topların birbirinden uzaklaşması sonucu B noktası aşağıya inecektir. A noktası sabit bir noktadır ve bu yüzden C noktasında aşağıya doğru inecektir. Başlangıçta E noktası da sabit olup, D noktasında aşağıya doğru inecektir. Bu durumda pilot vanasının alt ve üst ~~pistonları~~ ^{kapakları} bulundukları yörde aşağıya doğru inecektir ve yüksek basınç altındaki yağ ana pistonun altına doğru hareket edecektir. Böylece ana piston yukarı hareket ederek kontrol vanasını kapalı konuma doğru itecektir. Bu işlemin neticesinde mekanik güç azaltılmış olacak ve generatör hızını yavaşlatacaktır. Elbetteki bu düzeltme işlemi oldukça sıklıkla bir zaman alacaktır, çünkü türbin-generatör ünitesinin moment ataleti oldukça yüksektir. Bununla birlikte ~~asrı~~ uygun olmayan aşırı vana kapanmasında ayrı bir tehlike oluşturacaktır. Vananın aşırı kapanması ile senkron generatör hızının olması gereken hızdan çok daha aşağı seviyelere inmesine sebep olacaktır. Bunun neticesinde yeniden düzeltme işlemi başlayacaktır ve bu şekilde büyük salınımlar oluşacaktır ve senkron-generatör kararsız halde çalışacaktır. Bu durumu önlemek için E noktası yukarı doğru hareket ederken D'ye de yukarı doğru kaldırılır, ve böylece pilot vanasının alt ve üst kapakları ana pistonu ~~gerekli~~ ^{olupmadığı} noktalarına kapatabilir. Yapılan bu işlem doğrudur fakat geçimlidir.

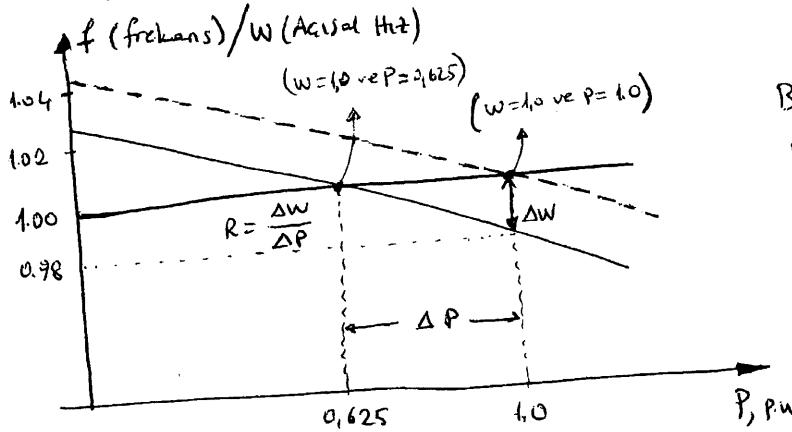
Benzinli motorun P aktye pünne nasıl kumanda edildiğini anlatalayalım. Bu durumda buhar vanası bir servo-motor yardımıyla kumanda edilir. Örneğin üretimi bir noktadan başka bir noktaya değiştirilebilir. Operatör herhangi bir üretimi seviyesinde iken motora belirli bir yönde ~~hare~~ döndürerek A noktasının aşağı indirir ve böylece üretimi başka bir seviyeye yükseltmeyi hedefler. A noktası aşağıya doğru indiği zaman C noktası yukarı kalkar, B noktası ise sabit kalır (çünkü başlangıç itibarı ile W hızı değişmemiştir ve bu yüzden B noktası sabit kalır). Daha sonra D noktası yukarı kalkar. Bundan dolayı pilot vanasının üst kapakları içerge yağ alır, ~~alt~~ ^{alt} kapaklar ise dışarı yağ buralır, ana piston aşağı hareket eder ve kontrol vanası ~~terhale~~ ^{terhale} açılır. Neticede generatör çıkışı artmış olur. Bu işlemin tersi yapılarak da generatör çıkışı azaltılır.

Hız regülatörünün çalışması göz önünde bulundurulursa; hız regülatörünü mil hızını bir vana potansiyon çıkışına çeviren mekanik bir çevirici diyebiliriz.

Hız Regülatörlerinin Devir-Yük Karakteristikleri:

Herhangi bir alternatör (generatör) yüklendikçe generatörü döndüren tahrik mekanizmasının (su türbini, diesel motoru, buhar türbini vb.) devir (hız) regülatörü generatöre verilen gücü otomatik olarak ayarlar. Devir regülatörlerinin ayarlama karakteristikleri değişik olabilir.

Herhangi bir alternatörün boşta devri ile, tam yüklü devri arasında fark vardır. Yani generatör yüklendikçe devri düşer. Alternatörün yük ile devrinin değişimini gösteren eğriye, hız regülatörünün devir-yük karakteristiği denir.



Burada,

R: Devir-yük karakteristiğinin eğimidir.

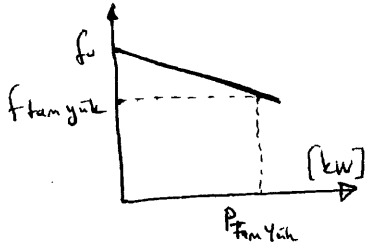
Devir değişiminin yüzde olarak ifade edilmesine, yüzde devir değişimi veya yüzde devir regülasyonu denir.

$$\% \text{ Devir değişimi} = \frac{N_{\text{boş}} - N_{\text{tam yük}}}{N_{\text{tam yük}}} \times 100$$

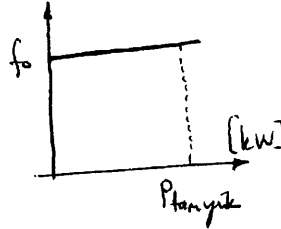
Generatörlerde devir ile frekans doğru orantılıdır. Generatörün kutup sayısı sabit olduğuna göre, yüzde devir değişimi yüzde frekans değişimine eşittir. Boşta frekans ile tam yük frekansı arasındaki farkın tam yük frekansının yüzdesi olarak ifade edilmesidir.

$$\% \text{ frekans değişimi} = \frac{f_0 - f_{\text{tam yük}}}{f_{\text{tam yük}}} \times 100$$

Devir regülatörleri eğimli karakteristik veya yatay karakteristik gösterebilirler. Eğimli karakteristikte her frekans belirli bir yükte elde edilir. Eğer alternatörün tam yük frekansı ile boştaaki frekansı aynı olursa, bu tip karakteristikli regülatöre yatay karakteristikli regülatör denir.

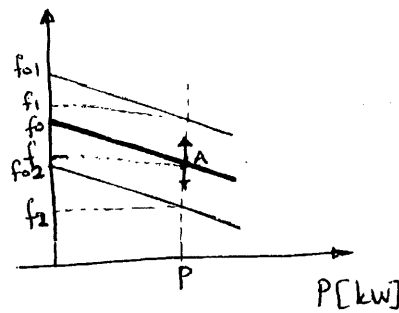


Eğimli Karakteristik



Yatay Karakteristik
(Küçük Güçlerde ve Küçük yük)
Değişimlerinde

Eğimli karakteristikli bir hız regülatörünü ayar ederek generatöre giren mekanik enerji artırılırsa karakteristik yukarıya doğru kayar. Tam yükteki frekansı f ve boştaaki f_0 iken, tam yük frekansının f_1 ve boştaaki frekansında f_0 gibi daha yüksek değere çıkartılır. Regülatörü ayarlayarak generatöre verilen mekanik enerji azaltılırsa, karakteristik eğrisi aşağı doğru kayar.



Hız regülatör çıkışı, hız değıştiricinin pozisyonu tarafından belirlenen bir hız-yük referansı (ΔP_{ref}) ile karşılaştırılır. Hata sinyali (ΔP_g), kontrol vanasını kontrol etmek için kullanılır.

Burada: ΔP_g : Ayar noktası ΔP_{ref} ile $\frac{1}{R} \Delta W$ gücü arasındaki hata işaretidir.
 R : Hız regülatörünün efinidir.

$$\Delta P_g = \Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta W \quad (MW)$$

$$\Delta P_g = \Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta W \quad (MW)$$

Buhar valfini kontrol etmek için gerekli kuvvet hidrolik kuvvetlendirici ile saplanır. Pilot vanasının bu kuvvetlendiriciye giriş pozisyonu X_D olmak üzere çıkış pozisyonu X_E 'dir. Pilot vanasındaki küçük bir değişim ΔX_D ise,

$$\Delta X_D = \Delta P_g - \Delta P_V \quad [MW]$$

Pilot Vanasındaki değişim = Güç Hata İfaretı - Pilot vanasındaki kumulatif değişim
 Burada,

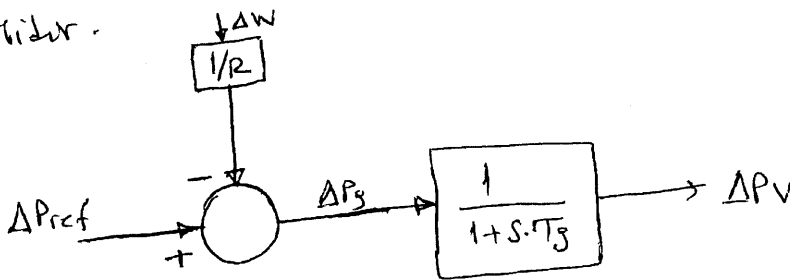
$$\Delta P_V = K_g \int \Delta X_D dt$$

K_g sabiti, ağırlıkça, silindirik şekline ve akışkan basıncına bağlıdır.

Son iki denklemin Laplace dönüşümü kullanılarak, kontrol valfinin pozisyonunu değistirecek sistemin transfer fonksiyonu = $\frac{\Delta P_V}{\Delta P_g} = \frac{K_g}{1 + s \cdot T_g}$

$$G_G(s) = \frac{\Delta P_V}{\Delta P_g} = \frac{1}{1 + s \cdot T_g}$$

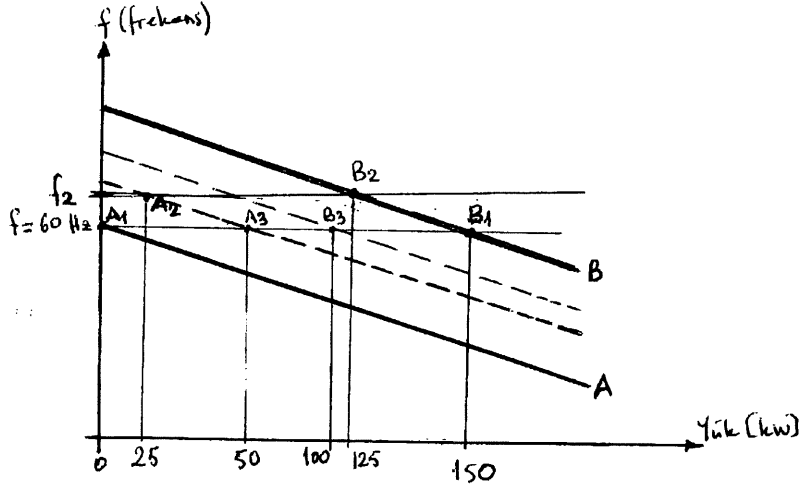
olarak verilir. Burada T_g zaman sabiti olup $T_g = \frac{1}{K_g}$ 'dir. Genellikle 0-1 sn civarında bir değerdir. Sistemin blok diyagramı aşağıda olduğu gibidir.



Karakteristikleri

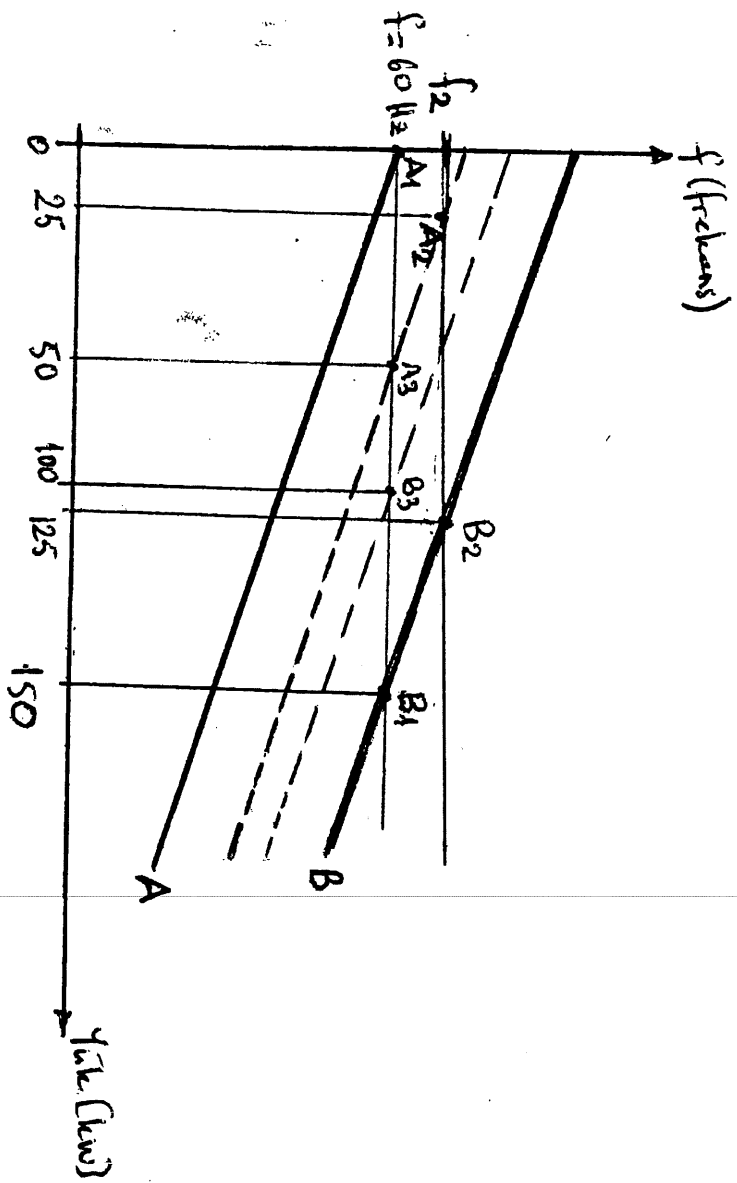
Meyilli Devir-Yük Aynı Olan İki Generatörde Yükleme Paylaşılması :

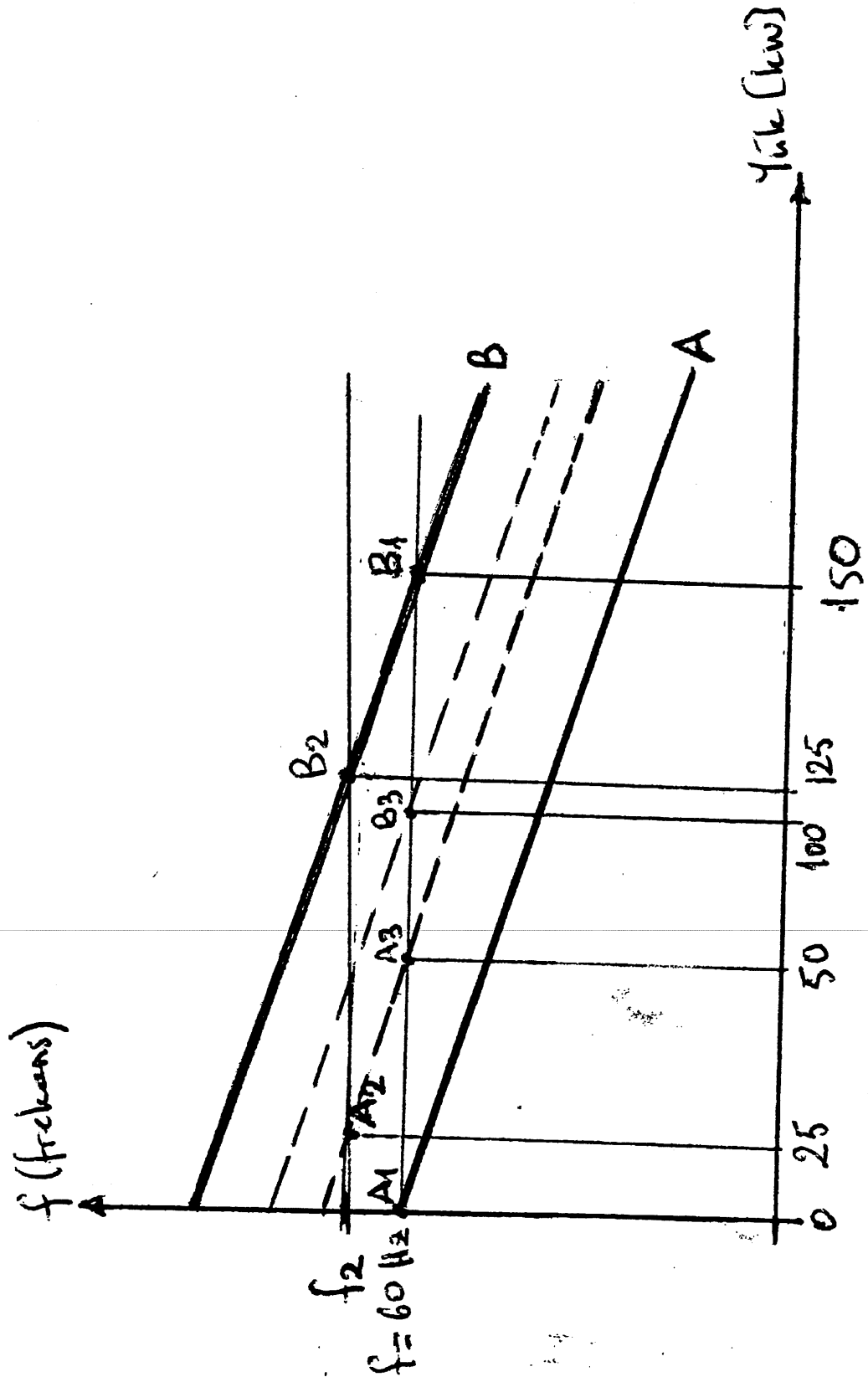
İki özdeş generatörün devir-yük regülatörlerinin karakteristikleri aynı olduğuna göre, yük transferi aşağıdaki şekilde olduğu gibidir.



B generatörü 60 Hz frekansında 150 kW'lık yükü besliyor. B'nin esi olan (güçleri, senkro empedansları, etkin dirençleri aynı olan) A generatörü B'ye henüz yeni bağlanmış ve hiçbir yük taşıyamıyor. B generatörü B1, A'da A1 durumundadır. Bir miktar yükün, sistemin frekansını değiştirmeden, B'den A'ya aktarılması için her iki generatörün devir regülatörlerini ayarlamak gerekir.

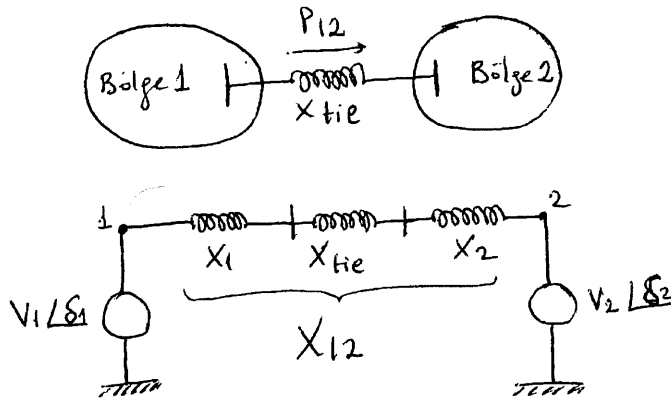
B yükünün 1/3'ünü A'ya aktarmak istediğimizi düşünelim. Yani B generatörü 100 kW'lık yük taşıırken A generatörü 50 kW'lık yükü taşıyacaktır. A generatörünün devir regülatörünü ayarlayarak fabrik makinasına verilen enerjiyi arttırdıkça A'nın devir-yük karakteristiği yukarı doğru kayar, makinenin devri yükselir ve A üzerine yük almaya başlar. Bu şekilde A'nın üzerine 25 kW'lık yük alınmaya kadar devir regülatörünün ayarlanmasına devam edilir. Bu durumda B alternatörü üzerindeki 25 kW'lık yük kalktığı için devir biraz artar ve sistemin yeni frekansı f_2 de A generatörü A2 ve B de B2 durumundadır. A 25 kW'lık B'de 125 kW'lık yükü taşımaktadır. B generatörünün devir regülatörünü ayarlayarak, fabrik makinasına dolayısı ile B generatörüne verilen enerji yavaş yavaş azaltıldıkça B generatörü üzerinden yük almaya başlar, ve A generatörü yüklendikçe devri düşer (A2'den A3'e gelir). B generatöründe karakteristiği aşağı doğru kayarak B2'den B3 noktasına gelir. Bu şekilde 25 kW'lık daha yük alan A generatörü A3 durumunda 50 kW yükü beslerken, B generatöründe B2'den itibaren üzerinden 25 kW'lık daha yük atarak B3 durumunda 100 kW'lık yükü beslemeye başlar. Sistemin 60'ın üstündeki frekansı f_2 tekrar 60 Hz'e düşer.





Bağlantı Hattı Modeli:

Aşağıdaki iki bölgeyi bir sistemi göt içinde bulunduran.



V_1 : 1. bölge hat sonu gerilimi
 V_2 : 2. " " " "

X_{12} : 1 ve 2 bölgeleri arasındaki eşdeğer reaktans

δ_1 : 1. bölge için hat sonu gerilimine ait faz açısı

δ_2 : 2. bölge için hat sonu gerilimine ait faz açısı

Bağlantı hattı üzerinden 1 bölgesinden 2 bölgesine iletilen güç,

$$P_{12} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{12}} \cdot \sin(\delta_1 - \delta_2) = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{12}} \cdot \sin \delta_{12}$$

Burada,

$$V_1 = |V_1| e^{j\delta_1} = V_1 \angle \delta_1$$

$$V_2 = |V_2| e^{j\delta_2} = V_2 \angle \delta_2$$

$$\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2 \text{ ve } X_{12} = X_1 + X_{tie} + X_2$$

Eğer bu faz açılarının ilk değerlerinden, δ_{10} ve δ_{20} 'den $\Delta \delta_1$ ve $\Delta \delta_2$ kadar bir sapma olur ise bağlantı hattı güç akışında oluşacak lineerleştirilmiş sapma miktarı

$$\Delta P_{12} = \frac{\partial P_{12}}{\partial (\delta_1 - \delta_2)} \cdot \underbrace{(\Delta \delta_1 - \Delta \delta_2)}_{\Delta \delta_{12}} = \left. \frac{\partial P_{12}}{\partial \delta_{12}} \right|_{\delta_{120}} \cdot \Delta \delta_{12} = T_{12} \cdot \Delta \delta_{12}$$

ve böylece,

$$T_{12} = \left. \frac{\partial P_{12}}{\partial \delta_{12}} \right|_{\delta_{120}} = \frac{|V_1| |V_2|}{X_{12}} \cos(\delta_{120})$$

$$\Delta P_{12} = \frac{|V_1| |V_2|}{X_{12}} \cdot \cos(\delta_{10} - \delta_{20}) (\Delta \delta_1 - \Delta \delta_2) = T_{12} (\Delta \delta_1 - \Delta \delta_2)$$

Not: Burada T_{12} , güç açısı değişimini temsil eden eğrinin $\delta_{120} = \delta_{10} - \delta_{20}$ başlangıç çalışma noktasındaki eğimi olup buna "güç senkronizasyon katsayısı" denir. Frekanstaki sapma, Δf , açıdaki sapma ile bağlantılı olarak ifade edilmeli.

İstenirse,

$$\Delta \omega = \frac{d}{dt} (\Delta \delta) \Rightarrow 2\pi \Delta f = \frac{d}{dt} (\Delta \delta) \Rightarrow \Delta f = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} (\Delta \delta)$$

~~$$\Delta \delta = 2\pi \int \Delta f dt \quad [\text{rad}]$$~~

Yada tersi bir ifade ile açıdaki sapma

$$\Delta \delta = 2\pi \int \Delta f dt \quad [\text{rad}]$$

Bağlantı hattı gücündeki sapmanın (ΔP_{12}), frekansdaki sapma cinsinden ifadesi ise,

$$\Delta P_{12} = T_{12} \cdot \Delta \delta_{12} \Rightarrow \Delta P_{12} = T_{12} [\Delta \delta_1 - \Delta \delta_2] \Rightarrow \Delta P_{12} = T_{12} \cdot 2\pi \cdot [\int \Delta f_1 dt - \int \Delta f_2 dt]$$

$$\Delta P_{12} = 2\pi T_{12} [\Delta f_1 - \Delta f_2]$$

Burada T_{12} eş zamanlı kat sayısı olup, şu şekildedir:

$$T_{12} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{12}} \cdot \cos(\delta_{10} - \delta_{20})$$

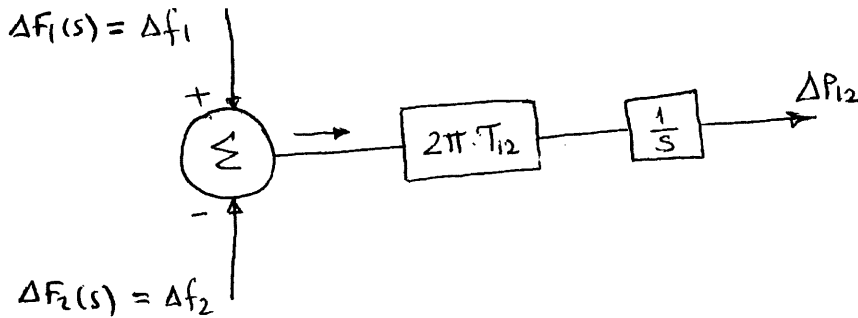
Bu ifadeyi daha önce bulunan $\Delta P_{12} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_{12}} \cdot \cos(\delta_{10} - \delta_{20}) (\Delta \delta_1 - \Delta \delta_2)$ ifadesi içerisinde kullanarak Laplace'ini alırsak

$$\Delta P_{12}(s) = \frac{2\pi T_{12}}{s} [\Delta F_1(s) - \Delta F_2(s)]$$

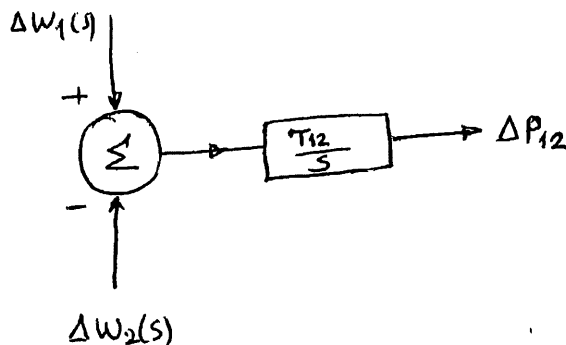
elde edilir. Bölgedeki toplam güç değişimi ise,

$$\Delta P_{12}(s) = \frac{1}{s} \sum 2\pi T_{12} [\Delta F_1(s) - \Delta F_2(s)]$$

Bağlantı hattının matematiksel modelinin blok diyagramı ile sunumu aşağıdadır.



veya bu blok diyagramını acısal hızdaki değişmeye göre ($\Delta \omega$) oluşturursak



Bağlantı hattındaki güç akış yönüne bağlı olarak bir bölgede yük akışı olurken, diğer bölgede ise yük azalması olur. Buradaki enerji akışının yönü faz açuları arasındaki fark ile belirlenir. Eğer $\Delta\delta_1 > \Delta\delta_2$ ise enerji "1" bölgesinden "2" bölgesine doğru akıyordur.

GENERATÖRLERDE GERİLİM VE REAKTİF GÜÇ KONTROLÜ:

Generatör uyarma sistemi ^{temel olarak} generatör geriliminin oluşmasını sağlar hem de reaktif güç akışını kontrol eder.

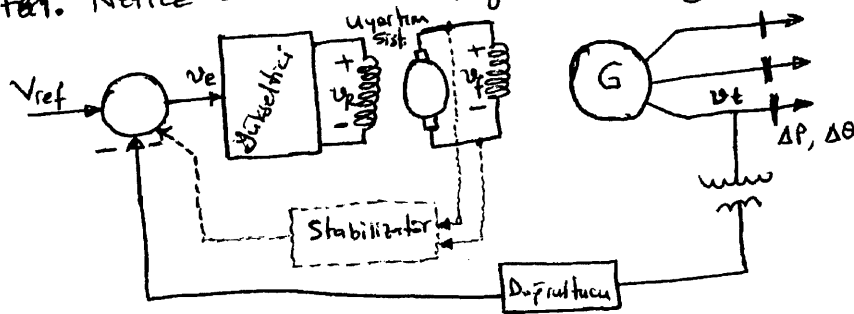
Daha önceden de görüldüğü üzere aktif güç talebi temel olarak frekansı etkilerken, reaktif güç talebindeki değişiklik ^{ise} gerilim genliğini etkiler. Gerilim ve frekans kontrolü arasındaki etkileşim çok güçlü olduğundan dolayı bu iki kontrol sistemini ayrı ayrı analiz etmek mümkündür.

Reaktif güçler generatörler, kondansatörler ve reaktörler tarafından üretilirler. Generatör reaktif güç uyarma alanı ile kontrol edilirler. Generatör reaktif güç kontrolünün temeli generatör uyarma kontrolüne dayanır ki bu otomatik gerilim regülatörleri kullanılarak yapılır. AVR'nin amacı senkron generatörün

(Automatic Voltage Regulator = AVR)

çıkış gerilimini belirleyen seviyede sabitlemektir. Aşağıda AVR'nin basitleştirilmiş blok diyagramı verilmiştir.

Generatörün beslediği reaktif güç talebindeki bir artış, generatör uc geriliminde bir düşüş oluşturur. Generatör uc gerilimi çıkış fazlarından birine bağlı bir gerilim transformatorü ile ölçülür ve bu gerilim doğrultularak dc ayar işaretleri ile karşılaştırılır. Yükseltken hata işareti uyarma alanını kontrol eder ve uyarıyı artırır ve böylece uc gerilim ayar edilir. Böylece generatör uyarma alanı artırılmıştır ki bunun neticesinde üretilen emk artar. Netice olarak reaktif güç üretimi yeni bir dengeye oturmuş olur.



Generatörlerde

Gerilim ve reaktif güç kontrol sistem bileşenlerinin öncelikle modelleri verilecek daha sonra otomatik gerilim regülasyonu analize geçilecektir.

UYARTIM SİSTEM MODELİ

Gök farklı tipte uyarma sistemleri olmasına rağmen, günümüzün modern güç sistemleri ^{uyartımı} beslemesi ac kaynağı olan ve güç-elektronik elemanları ile doğrultulmuş dc kaynağı ile sağlanır.

Uyartım sisteminin çıkış gerilimi, ^{Magnetik devrelerdeki doyma etkisinden dolayı;} alan geriliminin bir non-linear fonksiyonudur. Bu sebeple uyarma sisteminin alan gerilimi ile uç gerilimi arasında basit bir ilişki yoktur. Fakat bütün bunlara rağmen modern bir uyarma sisteminin modeli lineerleştirilerek verilir. Yani doyma etkisi ve diğer non-linear etkiler göz önünde bulundurulmaz. En basit haliyle bir uyartım sisteminin transfer fonksiyonu T_E zaman sabiti ve K_E kazanç ile verilir.

$$\frac{V_F(s)}{V_R(s)} = \frac{K_E}{1 + T_E \cdot s}$$



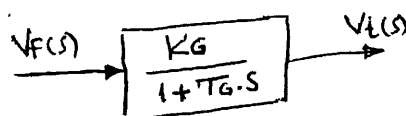
$T_E \ll$
(Modern uyartım sistemlerinde T_E çok küçük bir değer alır.)

Reaktif Güç ve Gerilim Kontrolü Açısından

GENERATÖR MODELİ:

Bir senkron generatörde üretilen emk, makina ~~makina~~ manyetizmasının bir fonksiyonu olup, uç gerilimi generatör yüküne bağlıdır. Lineerleştirilmiş modele göre generatör uç gerilimini kendi uyarma alan gerilimine bağlayan transfer fonksiyonu K_G kazancı ve T_G zaman sabiti ile verilir.

$$\frac{V_t(s)}{V_F(s)} = \frac{K_G}{1 + T_G \cdot s}$$



$K_G \in [0.7, 1]$
 $T_G \in [1, 2] \text{ sn}$

(YÜKSELTİCİ)

AMPLİFİKATÖR MODELİ :

Amplifikatörler K_A kazanç ve T_A zaman sabiti ile temsil edilirler. Gerilim Hata izareti (V_e) ile V_R çıkış gerilimi arasındaki transfer fonksiyonu aşağıda olduğu gibi verilir.

$$\frac{V_R(s)}{V_e(s)} = \frac{K_A}{1 + T_A \cdot s}$$

SENSÖR MODELİ :

Gerilim trafosu ile ölçülen çıkış gerilimi köprü doğrultucular ile doğrultulur. Böylece buradaki sensör modeli yine birinci dereceden transfer fonksiyonu şeklinde, aşağıda olduğu gibi verilir.

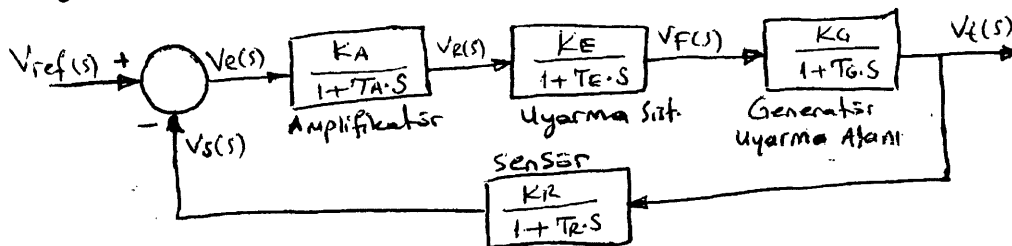
$$\frac{V_s(s)}{V_t(s)} = \frac{K_R}{1 + T_R \cdot s}$$



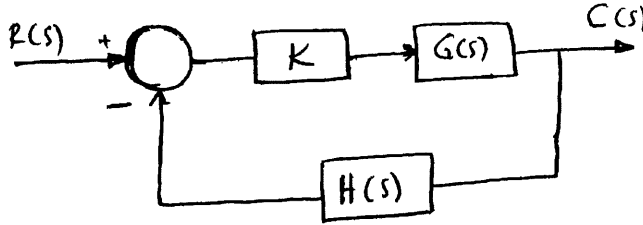
$$T_R \in [0.01; 0.06] \text{ sn}$$

GENERATÖRLERDE OTAMATİK GERİLİM REGÜLASYONU :

Generatör gerilim kontrolü temel olarak uyartım sistemi geriliminin kontrolü ile gerçekleştirilir. Aşağıda bir senkron generatör otomatik gerilim regülatörünün basitleştirilmiş kapalı çevrim blok diyagramı verilmiştir.



Otomatik gerilim regülatörüne ilişkin açık çevrim transfer fonksiyonu, yukarıda verilen blok diyagramına göre aşağıdaki gibi verilir. Fakat bundan önce açık-çevrim kazancının ne olduğunu aşağıdaki blok diyagramında inceleyelim.



$R(s)$: S-domaini referans girişi

$C(s)$: S-domaini kontrol çıkışı

$G(s)$: Sistem transfer fonk

K : Kontrolör kazancı

$H(s)$: Sensör transfer fonksiyonunu temsil eden geri besleme elemanı

Kapalı-çevrim transfer fonksiyonu

$$T(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K \cdot G(s)}{1 + K \cdot G(s) \cdot H(s)}$$

Buradan da görüleceği üzere S-domaininde sistemin cevabı

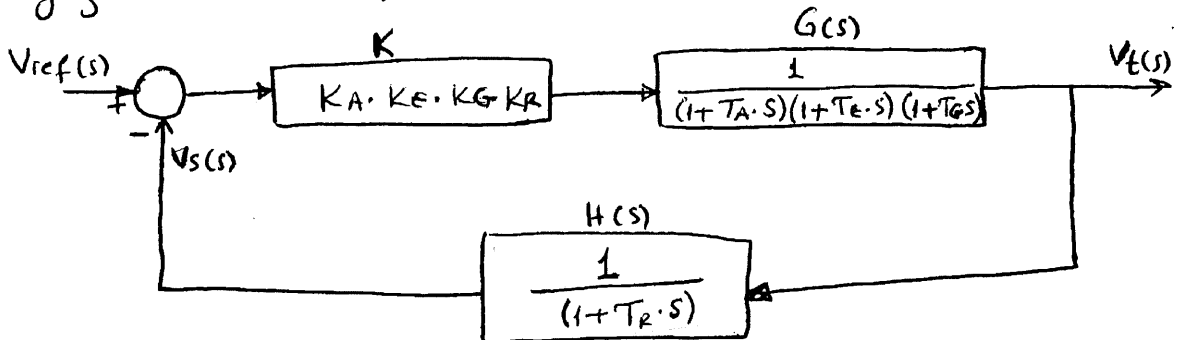
$$C(s) = T(s) \cdot R(s)$$

Burada $K \cdot G(s) \cdot H(s)$ kazancı açık-çevrim transfer fonksiyonu olarak adlandırılır.

Buna göre otomatik gerilim regülatörü bloğunun açık-çevrim transfer fonksiyonu

$$K \cdot G(s) \cdot H(s) = \frac{K_A \cdot K_E \cdot K_G \cdot K_R}{(1 + T_A \cdot s)(1 + T_E \cdot s)(1 + T_G \cdot s)(1 + T_R \cdot s)}$$

olarak bulunur. Buradaki $K \cdot G(s) \cdot H(s)$ transfer fonksiyonu aşağıdaki blok diyagramı ile temsil edilebilir.



Generatör uç gerilimi $V_t(s)$ ile referans gerilim $V_{ref}(s)$ arasındaki kapalı çevrim transfer fonksiyonu ise

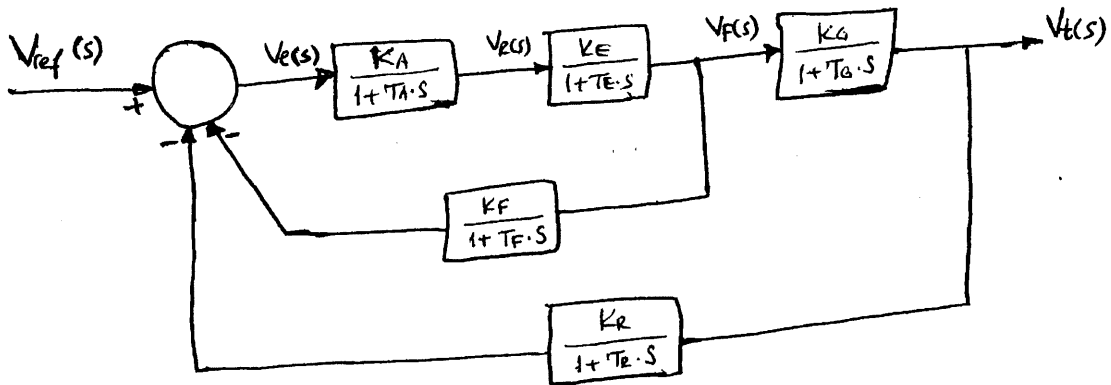
$$T(s) = \frac{V_t(s)}{V_{ref}(s)} = \frac{K \cdot G(s)}{1 + K \cdot G(s) \cdot H(s)} = \frac{K_A \cdot K_E \cdot K_G \cdot K_R \cdot \frac{1}{(1+T_A \cdot s)(1+T_E \cdot s)(1+T_G \cdot s)}}{1 + K_A \cdot K_E \cdot K_G \cdot K_R \cdot \frac{1}{(1+T_A \cdot s)(1+T_E \cdot s)(1+T_G \cdot s)} \cdot \frac{1}{(1+T_R \cdot s)}}$$

$$\Rightarrow T(s) = \frac{K_A \cdot K_E \cdot K_G \cdot K_R (1 + T_R \cdot s)}{(1 + T_A \cdot s)(1 + T_E \cdot s)(1 + T_G \cdot s)(1 + T_R \cdot s) + K_A \cdot K_E \cdot K_G \cdot K_R}$$

STABİLİZÖR'ÜN DE DİKKATE ALINDIĞI

UYARTIM SİSTEMİ BLOK DİYAGRAMI:

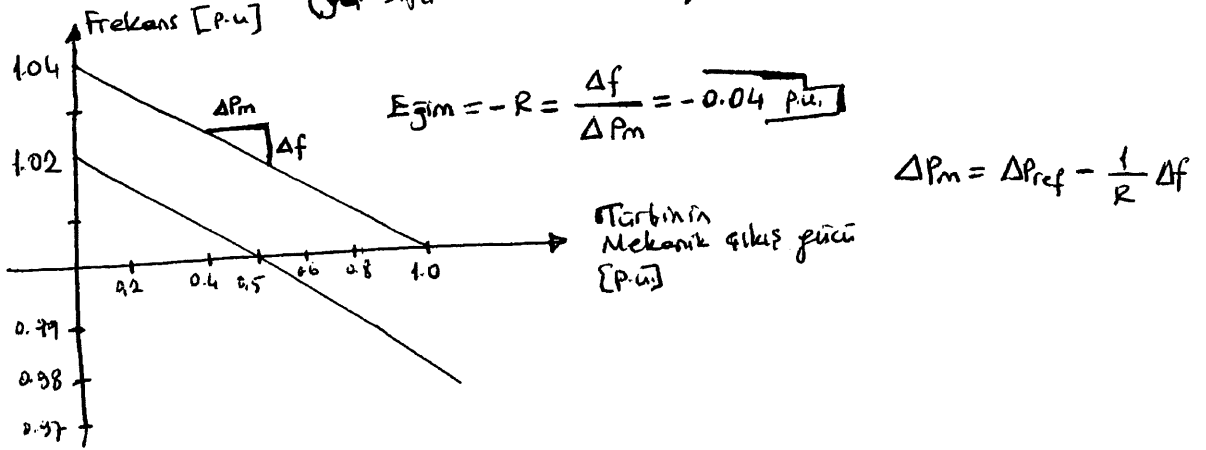
T_A ve T_E zaman sabitleri sistemin dinamik cevabını kısa sürede düzeltilemeyecek kadar büyük zaman sabitleridir. Bu sebeple sistem kontrolünün dinamik cevabı iç-geri besleme çevriminin türü ile geliştirilebilir. Bunun için sisteme bir iç geri besleme elemanı eklenir. Sistemdeki bu iç-geri besleme türü stabilizörler ile gerçekleştirilir.



Not: Uyarma sisteminin geçidine göre generatörlerdeki otomatik gerilim regülasyonuna ilişkin blok diyagramları değişiklik gösterebilir.

ÖRNEK: 500 MVA gücünde ve 60 Hz frekansındaki bir türbin-generatör ünitesinin otomatik hız regülatörünün regülasyon sabiti $R = 0,05$ p.u.'dür (Devir-yük karakteristiğinin eğimi). 28
kendi nominal değerleri bazına göre

Eğer generatör frekansında 0,01 Hz'lik bir artış olursa, türbinin mekanik çıkış gücünde azalma ne kadar olur. (Referans gücü sabittir)
 (yani sıfır olarak alınacak)



Çözüm: Frekanstaki değışikliği p.u. olarak hesaplırsak

$$\Delta f_{p.u.} = \frac{\Delta f}{f_{\text{baz}}} = \frac{0,01}{60} = 1,6667 \times 10^{-4} \text{ p.u.}$$

$$\Delta P_m = \Delta P_{\text{ref}} - \frac{1}{R} \Delta f \quad \text{olduğundan} \quad [\Delta P_{\text{ref}} = 0]$$

$$\Delta P_{m_{p.u.}} = \left(\frac{-1}{0,05} \right) \cdot (1,6667 \times 10^{-4}) = -3,3333 \cdot 10^{-4} \text{ p.u.}$$

$$\Delta P_m = (\Delta P_{m_{p.u.}}) \cdot S_{\text{baz}} = (-3,3333 \times 10^{-4}) \cdot (500) = -1,6667 \text{ MW}$$

Not: Interkonnekte bir güç sistemindeki bir bölgedeki sürekli hal güç-frekans ilişkisi bölgedeki her bir üniteye ilişkin $\Delta P_m = \Delta P_{\text{ref}} - \frac{1}{R} \Delta f$ ifadelerinin toplanmasıyla belirtilebilir. Δf 'in her bir ünite için aynı olduğunu kabul ederseniz,

$$\Delta P_m = \Delta P_{m1} + \Delta P_{m2} + \Delta P_{m3} + \dots + \Delta P_{mn} = \overbrace{(\Delta P_{\text{ref}1} + \Delta P_{\text{ref}2} + \dots + \Delta P_{\text{ref}n})}^{\Delta P_{\text{ref}}} - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \cdot \Delta f$$

Burada $\Delta P_m = \overbrace{\text{Türbin mekanik güçlerindeki toplam değışim}}^{\text{toplam}} = \Delta P_{\text{ref}} - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \cdot \Delta f$

$\Delta P_{\text{ref}} =$ Referans güçlerindeki toplam değışim

$\beta = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) =$ Bölge frekans cevap karakteristiğı olarak

verilirse $\Delta P_m = \Delta P_{\text{ref}} - \beta \cdot \Delta f$ → Bölge sürekli-hal frekans-güç ilişkisi

ÖRNEK

Frekansı 60 Hz olan enterkonnekte bir güç sistemindeki bir bölgeyi göz önünde bulunduralım. Bu bölgede 3 adet türbin-generatör ünitesi olup güçleri sırasıyla 1000 MVA, 750 MVA ve 500 MVA'dır. Her bir bölgenin regülasyon sabiti $R = 0,05$ pu 'dır.

— kendi nominal değerleri batıya göre

Başlangıçta her bir ünite kendi nominal değerlerinin yarısında çalışmaktadır.

Sistem yükü ani olarak 200 MW artarsa,

a) β bölge frekans cevap karakteristikini 1000 MVA bazına göre bulunuz.

b) bölge frekansındaki sürekli-hal azalmasını bulunuz.

c) Her bir ünite üzerindeki türbin sıkış gücündeki artışmayı bulunuz.

ve yüklerin frekans bağımlılığı

Not: Her bir ünitenin referans gücü sabit olup kayıplar ihmal edilmektedir. ($\Delta P_{ref} = 0$)

Çözüm:

(a) Regülasyon sabitlerinin yeni per-unit değerleri hesaplanmalıdır.

$$R_{pu}(yeni) = R_{pu}(eski) \cdot \frac{S_{baz}(yeni)}{S_{baz}(eski)}$$

$$R_{1pu}(yeni) = R_{1pu}(eski) = 0,05$$

$$R_{2pu}(yeni) = (0,05) \left(\frac{1000}{750} \right) = 0,06667$$

$$R_{3pu}(yeni) = (0,05) \left(\frac{1000}{500} \right) = 0,10 \text{ per-unit}$$

Buna göre β katsayısı

$$\beta = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{0,05} + \frac{1}{0,06667} + \frac{1}{0,10} = 45,0 \text{ per-unit}$$

(b) Kayıplar ihmal edildiğinden ve yükler frekansa bağımsız olduğundan türbin mekanik gücü yük artışına yani 200 MW'a eşittir. per-unit olarak $(200/1000) = 0,20$ p.u.

$\Delta P_{ref} = 0$ olduğundan

$$\Delta f = \left(\frac{-1}{\beta} \right) \cdot \Delta P_m = \left(\frac{-1}{45} \right) (0,20) = -4,444 \times 10^{-3} \text{ p.u.}$$

$$= (-4,444 \times 10^{-3}) \cdot 60 = -0,2667$$

Frekanstaki sürekli-hal azalması 0,2667 Hz 'dir.

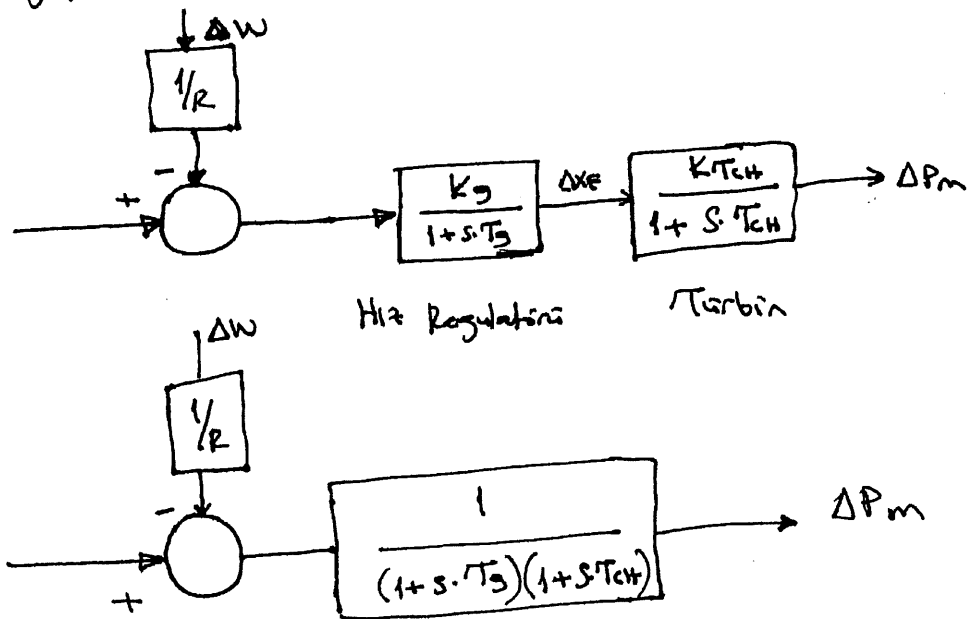
$$c) \Delta P_{M1} = \left(\frac{-1}{0,05} \right) (-4,444 \times 10^{-3}) = 0,08888 \text{ per-unit} \\ = 88,88 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{M2} = \left(\frac{-1}{0,06667} \right) (-4,444 \times 10^{-3}) = 0,06666 \text{ per-unit} \\ = 66,66 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{M3} = \left(\frac{-1}{0,110} \right) (-4,444 \times 10^{-3}) = 0,0444 \text{ per-unit} \\ = 44,44 \text{ MW}$$

Not: Dikkat edilirse ünite 1'in nominal ^{MVA} gücü ünite 2'ninkinden $\% 33 \frac{1}{3}$ kadar büyük ve ünite 3'ten $\% 100$ büyüktür. Buradan ^{dolayısıyla} her bir ünite toplam yük değişimini kendi nominal büyüklükleri ile orantılı olarak paylaşmıştır.

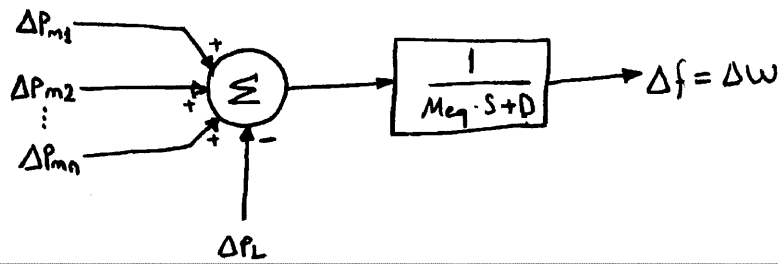
Türbin-~~generator~~ hız regülatör ünitelerinin davranışını daha detaylı bir incelemeye tabi tutmak için her iki elemanında transfer fonksiyonlarını dikkate almak gerekir. Aşağıda bu iki ünitenin blok diyagramı kaskad bir yapı içerisinde verilmiştir.



Türbin-hız regülatörü blok diyagramı

Bir bölgenin toplam yük-frekans kontrolü ile ilgili analizlerde, sistemdeki tüm generatörlerin toplu davranışı ile ilgilenilir. Bundan dolayı, makinelerin birbirleri arasındaki salınımları ve iletim sisteminin performansı dikkate alınmaz. Sonuç olarak sistemdeki yük değişimlerine bütün generatörler birlikte cevap verirler ve bu generatörlerin hepsi eşdeğer bir generatör ile temsil edilebilirler. Bir bölge, deki bütün generatörleri temsil eden eşdeğer generatörden maksat şudur ki;

- Eşdeğer generatör bütün üretim birimlerinin eylemsizliklerinin toplamına eşit olan M_{eq} eylemsizliğine eşittir
- Sistem yüklerinin etkisi tek bir sönüm sabitine (D) indirgenmektedir.
- Eşdeğer generatörün hızı sistem frekansını belirler [bu cinsinden ikisi birbirine eşittir]



{ Yük modeli ve Frekans cevabı etkisi

ΔP_L gibi bir yük değişimini müteakip, n generatörlü bir sistem için sürekli hal (steady-state = ss) frekans sapması

$$\Delta f = \frac{-\Delta P_L}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}\right) + D}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\frac{1}{R_{eq}}}$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\Delta f = \frac{-\Delta P_L}{\frac{1}{R_{eq}} + D}$$

Daha önceden, Bölge frekans cevabı karakteristiği β

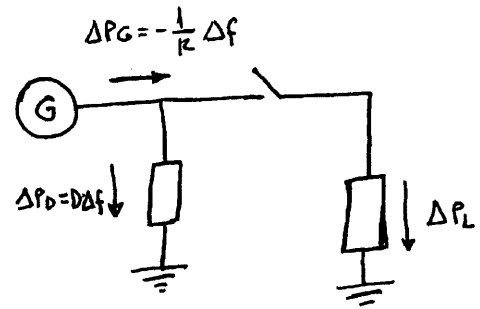
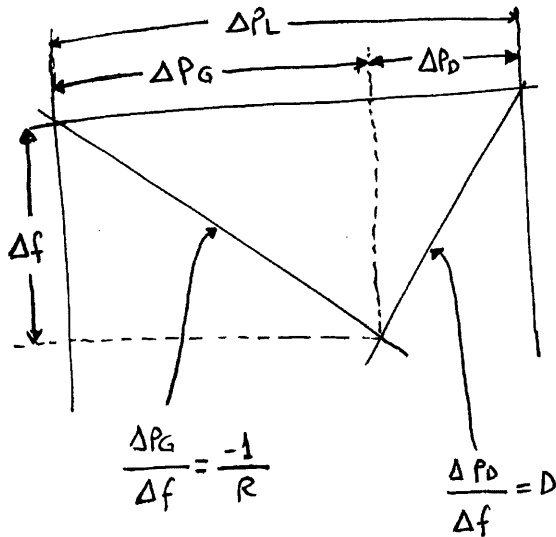
$$\beta = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) = \frac{1}{R_{eq}} \text{ olarak tanımlanmış idi. Şimdi bölge için}$$

tanımlanmış tek bir yük sönüm sabiti (D)'yi de göz önünde bulundurursak;
 β , bölge frekans cevabı karakteristiği

$$\beta = \frac{1}{R_{eq}} + D = \frac{-\Delta P_L}{\Delta f} \quad [\text{MW/Hz}]$$

olarak tanımlanır.

Hız regülatöründeki hız düşüşünün ve yükün frekansa duyarlılığının net frekans değişimi üzerindeki etkisi şekilde verilmektedir. Nominal frekans çalışmada sistem yükünde ΔP_L kadarlık bir artış, toplam üretimde ΔP_G kadarlık bir artış oluşturur (çünkü üretim ile tüketim dengede olmalıdır). Buna mukabil frekansa duyarlı yüklerin gücünde (örneğin bir motor püresi) toplam olarak ΔP_D kadarlık bir azalma oluşturur. Çünkü bu tür yüklerin gücü frekansa duyarlıdır. Bölge frekans cevabı karakteristiği β



$$\begin{aligned} \Delta P_L &= \Delta P_G - \Delta P_D \\ &= \frac{-\Delta f}{R} - D \cdot \Delta f \end{aligned}$$

$$\Delta P_L = -\Delta f \left[\frac{1}{R} + D \right]$$

$$\Rightarrow \Delta f = \frac{-\Delta P_L}{\frac{1}{R} + D}$$

ÖRNEK: 60 Hz frekansındaki bir güç sisteminin toplam yükü 1260 MW'tır. Frekansındaki her %1'lik değişim yükte %1.5'lik bir değişime karşılık gelmektedir. Yükte ani olarak 60 MW'lık bir azalma olması durumunda,

sürekli-hal frekans sapmasını aşağıdaki durumlar için bulunuz.

- (a) Hız kontrol düzeneğinin devre dışı olması durumunda.
- (b) Regülasyon sabiti %5 olan ve 500 MW'lık üretim kapasitesine sahip olan bir sistemdeki yedek rezerv gücü 240 MW'tır (spinning reserve). $R = \%5$ 500 MW'lık bantta göre. Diğer tüm generatörler tam açık valf pozisyonunda çalışmaktadır.

Ayrıca hız regülatörü ölü bant karakteristiğinden dolayı, hız regülatörlerinin ancak %80'i sistem yükündeki azalmaya cevap verebildiğini kabul edelim. Bu durumda sürekli-hal frekans sapmasını bulunuz.

Çözüm:

(a) $1260 - 60 = 1200$ MW

Geniş kalan yük için sönüm katsayısı, D

$$D = \frac{1.5 \cdot 1200}{60} = 30 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Hz başına} \\ \text{MW'lık} \\ \text{değişim} \end{array} \right.$$

Kontrol olmadığı durumda

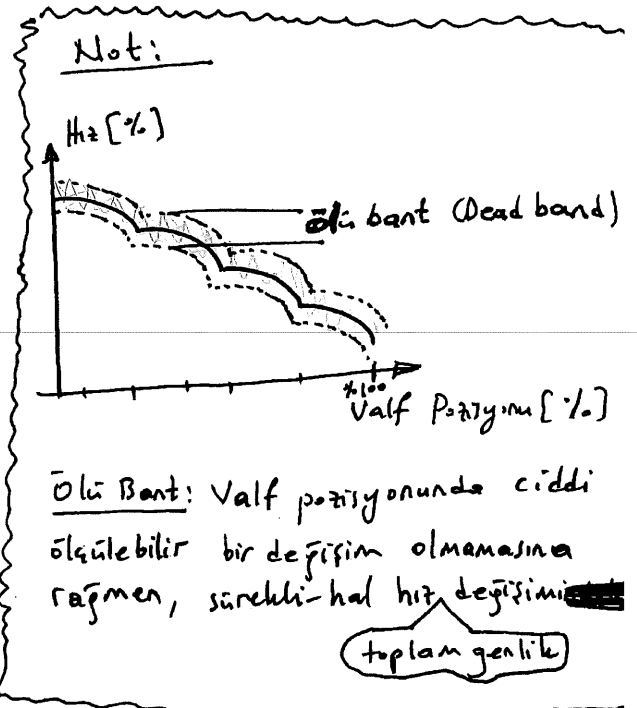
$$\Delta f = \frac{-\Delta P}{D} = \frac{-(-60) \text{ MW}}{30 \text{ MW/Hz}} = 2.0 \text{ Hz}$$

- (b) Sistem yükünde azalma, dolayısı ile frekansta artma olduğundan yedek güç üniteleri hariç diğer bütün üniteler buna cevap verecektir. Bununla beraber ölü bantın etkisi nedeniyle sadece toplam üretimin %80'i hız regülasyonuna katkı yapacaktır.

Toplam üretim kapasitesi = $\text{Yük} + \text{rezerv} = 1260 + 240 = 1500$ MW

Üretimin regülasyon katkısı = $0.8 \times 1500 = 1200$ MW

Hız regülatörünün regülasyon sabitinin %5 olması şu manaya gelmektedir; frekans %5'lik bir değişim, %100'lük üretim değişimine karşılık gelir



Bundan dolayı

$$\frac{1}{R} = \frac{1200}{\left(\frac{5}{100}\right) \cdot 60} = 400 \text{ mW/Hz}$$

Not: $R = 0,05 \text{ pu}$

$$R_{\text{gerçek}} = 0,05 \cdot 60 = 3 \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{\Delta P_c}{\Delta f} = \frac{1200}{3} = 400 \text{ mW/Hz}$$

Bölge frekans cevabı karakteristiği

$$\beta = \frac{1}{R} + D = 400 + 30 = 430 \text{ mW/Hz}$$

Sürekli-hal frekansta

$$\Delta f = \frac{-\Delta P_L}{\beta} = \frac{-(-60) \text{ mW}}{430 \text{ mW/Hz}} = 0,1395 \text{ Hz 'lık bir artış olur.}$$

OTOMATİK YÜK FREKANS KONTROLÜ ve BİRİNCİL GERİİMLİN KAPANMASI:

Normal işletme şartlarında sistemde sürekli bir güç dengesi vardır. Bu dengeye göre;

$$P_G = P_L + P_{\text{ayıplar}} \quad \text{dır.}$$

Frekans ise ancak bu şartlar altında nominal değerindedir. Yütün aniden artması neticesinde yük-frekans dengesi bozulur. Generatör çıkışında bu yeni yüke uyum sağlamak için aniden artar ve

$$\Delta P_G = \Delta P_L \quad \text{olur.}$$

Ancak bu denge sağlanırken $\Delta P_T = \Delta P_L$ değerinde bir dengelilik oluşacaktır. Bunun sonucu olarak hız, dolayısı ile frekans değişecektir. Bu değişiklik ilgili bölge boyunca düzgün olarak kabul edilir.

Bölgedeki güç dengesi, ~~kinetik enerji~~, yük değişikliği ve kinetik enerji değişiminin toplamının türbin çıkış gücüne eşit olması ile sağlanır.

$$\Delta P_T = \Delta P_L + \frac{d}{dt} [W_{kin}] + D \cdot \Delta f$$

Kinetik enerjinin hızın karesi ile orantılı olduğu düşünülürse

$$W_{kin} = W_{kino} \left[\frac{f'}{f_0} \right]^2 \quad \text{mws}$$

Burada $f' = f_0 + \Delta f$ olduğundan

$$\begin{aligned} W_{kin} &= W_{kino} \left[\frac{f_0 + \Delta f}{f_0} \right]^2 = W_{kino} \left[1 + \frac{\Delta f}{f_0} \right]^2 \\ &= W_{kino} \left[1 + 2 \cdot \frac{\Delta f}{f_0} + \underbrace{\left(\frac{\Delta f}{f_0} \right)^2}_{\text{ihmal}} \right] \\ &\approx W_{kino} \left[1 + 2 \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \right] \end{aligned}$$

Bu eşitlik güç dengesi eşitliğinde yerine yazılırsa

$$\Delta P_T - \Delta P_L = \frac{2 \cdot W_{kin0}}{f_0} \cdot \frac{d}{dt} (\Delta f) + D \cdot \Delta f \quad [MW]$$

Bu eşitlik generator nominal gücü P_{GR} 'ye bölünür ise, per-unit cinsinden sistem güç-dengeyi eşitliği,

$$\Delta P_T - \Delta P_L = 2 \cdot H \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta f}{f_0} \right) + D \cdot \Delta f \quad \text{p.u MW olur ki}$$

burada makinenin atalet sabiti, H [p.u. cinsinden]

$$H = \frac{W_{kin0}}{P_{GR}} \left[\frac{MW_{sn}}{MW} \right] = \text{p.u sn}$$

Denkleme Laplace dönüşümü uygulanırsa,

$$\Delta P_T(s) - \Delta P_L(s) = 2 \cdot \overset{= sH(s)}{H(s)} \cdot \frac{1}{f_0} \cdot \Delta f(s) + D \cdot \Delta f(s)$$

Buradan $\Delta f(s)$ çekilirse

$$\Delta f(s) = \frac{f_0}{(s \cdot 2 \cdot H(s) + f_0 \cdot D)} \left[\Delta P_T(s) - \Delta P_L(s) \right]$$

Buradaki ifadeyi kazanç ve zaman sabiti açısından ifade eder isek

$$T_p(s) = \frac{2 \cdot H}{f_0 \cdot D} \quad [sn]$$

$$K_p(s) = \frac{1}{D} \left[\frac{H_2}{pu} MW \right]$$

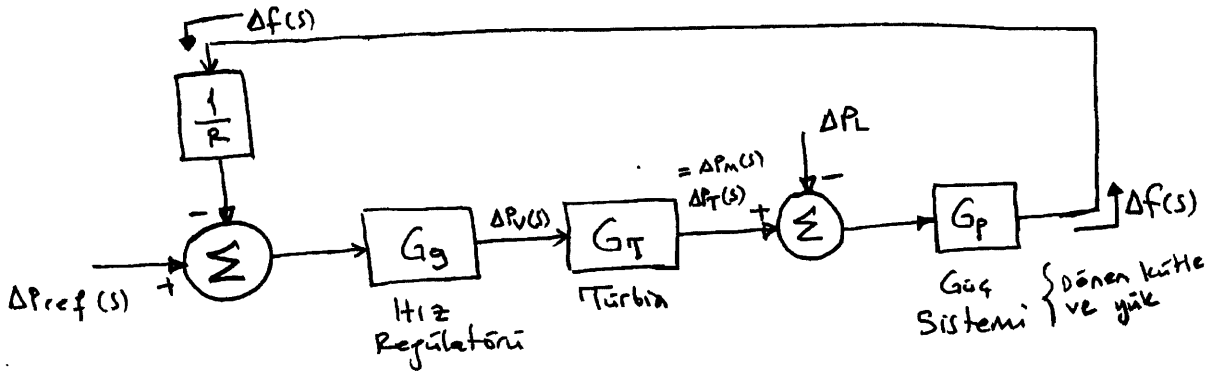
olmak üzere, G_p güç sistemi transfer fonksiyonu

$$G_p(s) = \frac{K_p}{1 + s \cdot T_p}$$

olarak tanımlanır ve güç dengesi eşitliği

$$\Delta f(s) = G_p(s) \left[\Delta P_T(s) - \Delta P_L(s) \right] \quad \text{olarak elde edilir.}$$

Güç sistemini tanımlayan bu parametreleride kullanarak, otomatik yük-frekans kontrolünün birincil kontrol çevirimi, aşağıdaki blok diyagramı ile verilebilir.

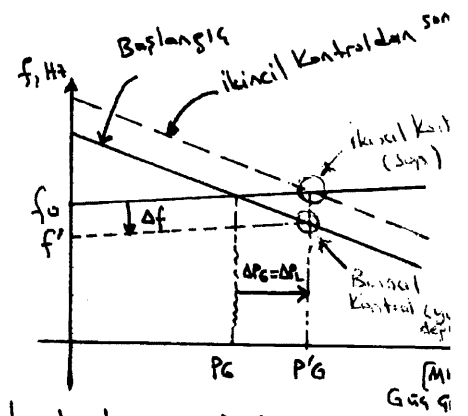


Birincil bölge otomatik yük-frekans kontrol çevirimi

OTOMATİK YÜK FREKAN KONTROLÜ ve İKİNCİL ÇEVİRİM :

İkincil otomatik yük-frekans kontrol çevirimi ile frekans tekrar nominal değere çekilir.

Yukarıda verilen birincil otomatik yük-frekans kontrol çevirimi bir çıkış (Δf) ve iki giriş (ΔP_{ref} , ΔP_L) değişkenlerine sahiptir. Bu blok diyagramının Δf çıkışı



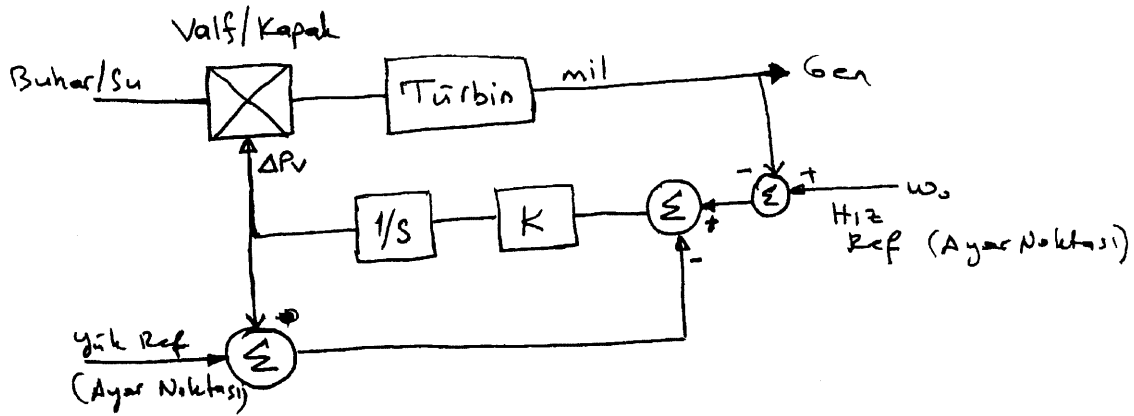
$$\Delta f = G_p \left[\left(\Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \Delta f \right) G_g \cdot G_T - \Delta P_L \right] \quad \text{--- (*) ---}$$

olarak bulunur.

Yük-frekans kontrolünün dinamik davranışını daha iyi anlayabilmek için verilen sistemi (Birincil ALFC (Area Load Frequency Control)) iki farklı durum için inceleyelim. Birinci durumda hız değiştiricinin pozisyon değiştirmedip, ~~devam eder~~ İkinci durumda ise hız değiştiricinin uygun kontrol stratejisi ile hareket ettirildiğini kabul edelim.

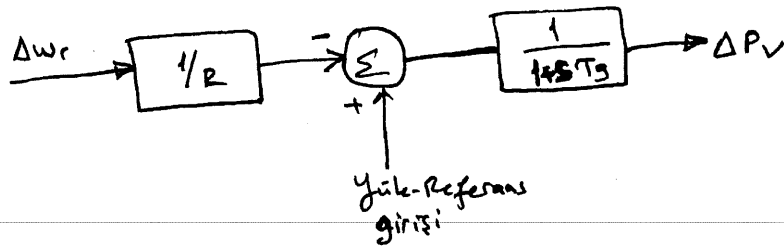
Bir itele güç ünitesinde ani yük artışından kaynaklanan bir türbin-generatör ünitesi birincil kontrol aksiyonunu tamamlamış demektir. Sistem yeni çıkış gücü P_0' 'ni verirken, sistemi tekrar istenilen nominal frekansta ^{Δf kadar azalmış bir frekansta} ^{Gelişim devam eder} çalıştırma-

sını sağlamak üzere, üretim ünitesinin kinetik enerjisini artıracak şekilde hız regülatörünün yük-referans ayarı yapılarak ikinci kontrol gerçekleştirilir.



Şekilde gösterilen yük-frekans ayarlama noktası denilen giriş değiştirilerek yük ile hız arasındaki denge ayarlanabilmektedir. Pratikte ayar noktasını değiştirmeyi ayarlamak için hız değiştirici motor kullanılır.

Yukarıdaki sistemin indirgenmiş blok diyagramı çizilirse



1. Durum: Kontrolsüz durumda otomatik yük-frekans kontrol çeviriminin frekans cevabı!

Hız değiştiricinin potansiyon değiştirmediyi kabul ediyoruz. ($\Delta P_{ref} = 0$)

Bu durumda frekans değişiminin transfer fonksiyonu ile çıkış gerilimine eşittir. (***) Eşitliğinden Δf 'li çıkışı

$$\Delta f(s) = \frac{G_P(s)}{1 + \frac{1}{R} G_P(s) \cdot G_G(s) \cdot G_T(s)} \left[-\Delta P_L(s) \right] \quad \text{--- (**)}$$

$\Delta P_L = M$ kadarlık bir basamak yük değişikliği için $\Delta P_L(s) = \frac{M}{s}$

olarak transfer fonksiyonu elde edilir. Yukarıdaki eşitlikten $s \rightarrow 0$ veya $(t \rightarrow \infty)$ için sürekli hal frekans düşüşü

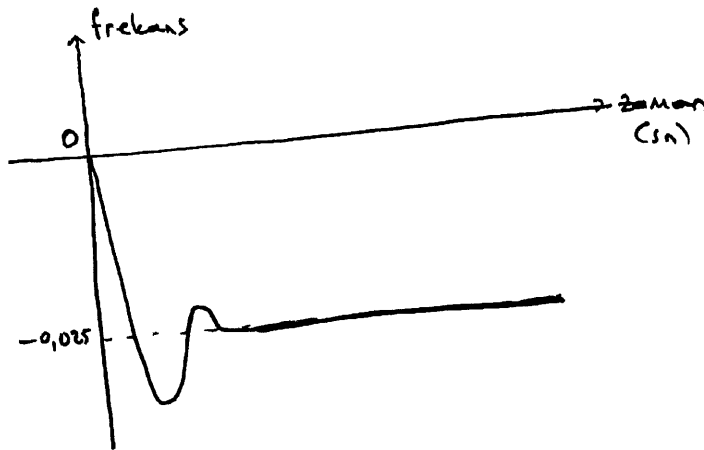
$$\Delta f_0 = \lim_{s \rightarrow 0} [s \cdot \Delta f(s)] = \frac{-K_P}{1 + \frac{K_P}{R}} = \frac{-M}{D + \frac{1}{R}} \text{ Hz} = \frac{-\Delta P_L}{D + \frac{1}{R}}$$

Bölge frekansı cevap karakteristiği $\beta = D + \frac{1}{R}$ ($\mu \frac{MW}{Hz}$) yatılırsa

Bu durumda, frekans düşüşü

$$\Delta f_0 = - \frac{\Delta P_L}{\beta} = - \frac{M}{\beta} \text{ Hz. olur.}$$

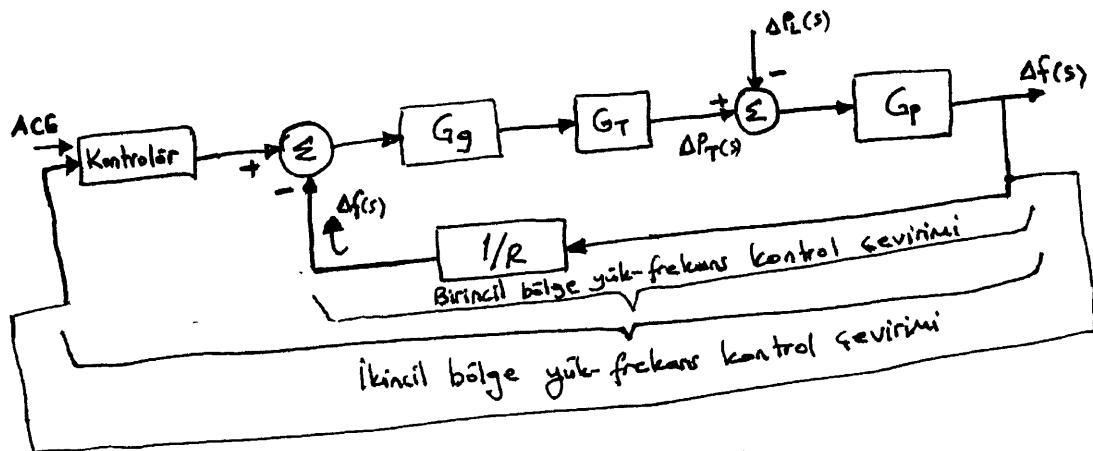
Sistemin transient dinamik davranışında incelemek istersek (**) eşitliğine ~~adım yük değişimine karşılık gelen birim basamak fonksiyonu uygulandığında~~ adım yük değişimine karşılık gelen birim basamak fonksiyonu uygulandığında frekans cevabı aşağıdaki gibi olur.



2.Durum: Kontrollü durumda otomatik yük-frekans kontrol çeviriminin frekans cevabı

Yük değişikliğini takiben, frekans sapmasını tekrar nominal değere getirmek için hız değiştiricisi uygun kontrol stratejisi ile hareket ettirilmelidir.

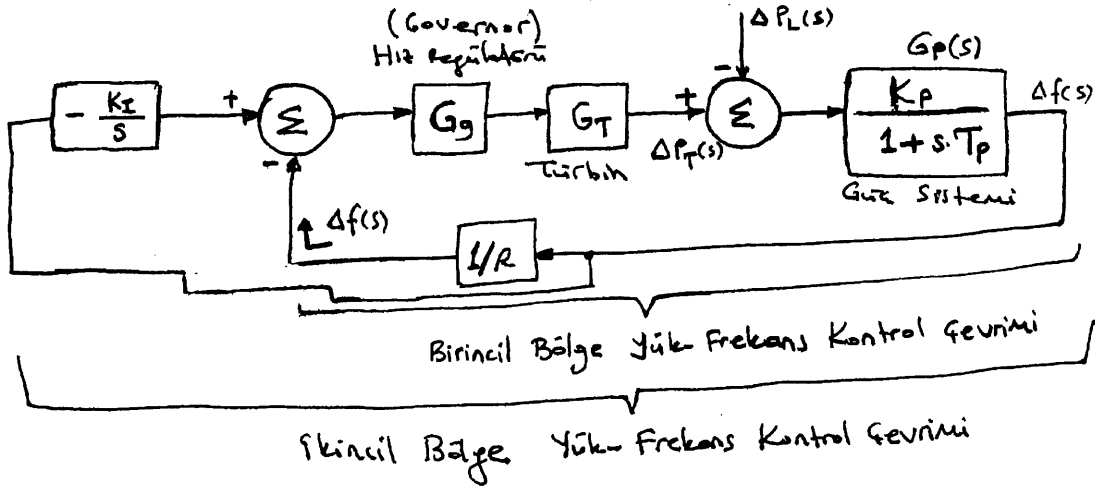
Aşağıdaki şekilde birincil yük-frekans kontrol çevirimine ilave olarak ikincil döngü eklenmiş olması durumunda verilmiştir.



Kontrolörü besleyen sinyal "Bölge Kontrol Hatası" (ACE - Area Control Error) olarak adlandırılır. Tek bölgeli sistemler için $ACE = \Delta f$

Bu kontrolör, PD, PID gibi kontrolörler olabilir. Biz burada sadece integral kontrolörün kullanılması durumunda incelemeyi yapacağız.

İkinci yük-frekans kontrolüne dahil edilen ünitenin yük-frekans ayarlayıcısına bir integral kontrolörü eklenmesiyle sürekli durumda frekans hatasının sıfır olması aşağıdaki şekilde verildiği gibi elde edilebilir.



Integral kontrolör, sisteme bir hata kaldığı sürece çıkışı artırır ve hız değiştiricinin hareketine neden olur. İntegratör çıkışı yalnızca frekans hatası sıfır olduğunda sabit bir değere ulaşır ve böylece hız ayarlayıcı pozisyon değiştirmez. K_I kazanç sabiti integrasyon oranını kontrol eder ve gevrimin cevap hızını denetler. [Not: Burada amaç $\int ACE dt$ integralini minimum yapmaktır. Sürekli durumda ACE değeri sıfırdır.]

Basamak yük değişimine karşılık olarak hız değiştiricinin pozisyon değişimi;

$$\Delta P_{ref}(s) = -\frac{K_I}{s} \cdot \Delta f(s)$$

Yukarıdaki blok diyagramından

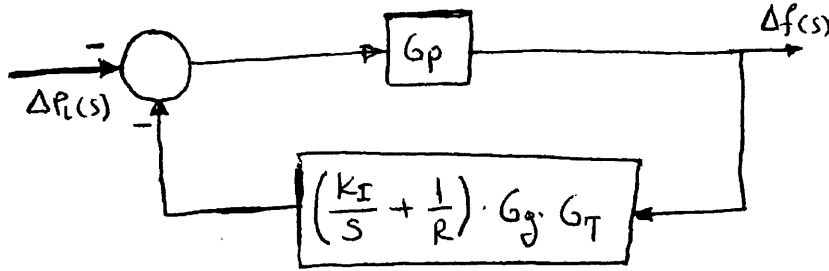
$$\Delta f(s) = \left[\left(-\frac{K_I}{s} \Delta f(s) - \frac{1}{R} \Delta f(s) \right) \cdot G_g \cdot G_T - \Delta P_L(s) \right] \cdot G_p$$

Buradan Transfer fonksiyonu $T(s) = \frac{\Delta f(s)}{\Delta P_L(s)}$ oluşturulursa

$$\frac{\Delta f(s)}{-\Delta P_L(s)} = \frac{G_p}{1 + \left(\frac{K_I}{s} + \frac{1}{R}\right) \cdot G_g \cdot G_T}$$

olarak elde edilir.

Veya blok diyagramı basitleştirilirse

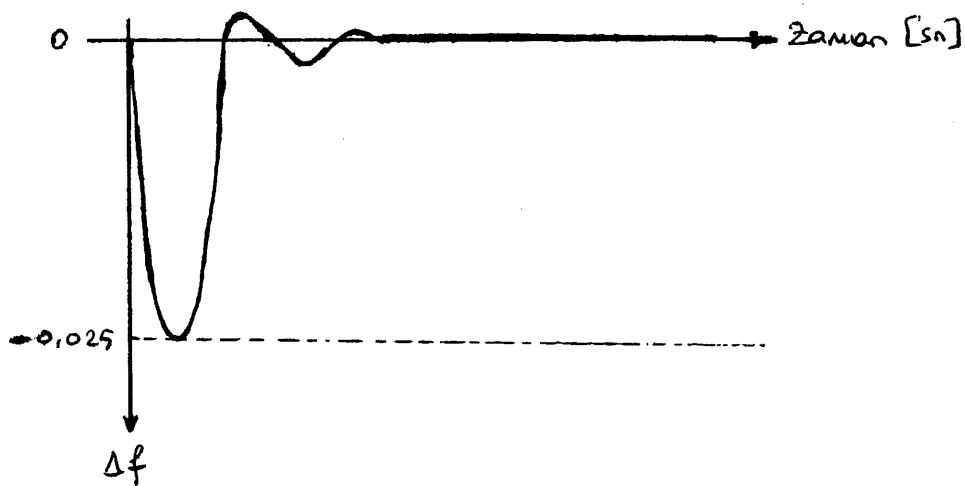


Buradan transfer fonksiyonu

$$T(s) = \frac{K \cdot G(s) \cdot H(s)}{1 + K \cdot G(s) \cdot H(s)} = \frac{G_p(s)}{1 + \left(\frac{K_I}{s} + \frac{1}{R}\right) \cdot G_g \cdot G_T}$$

olarak elde edilir.

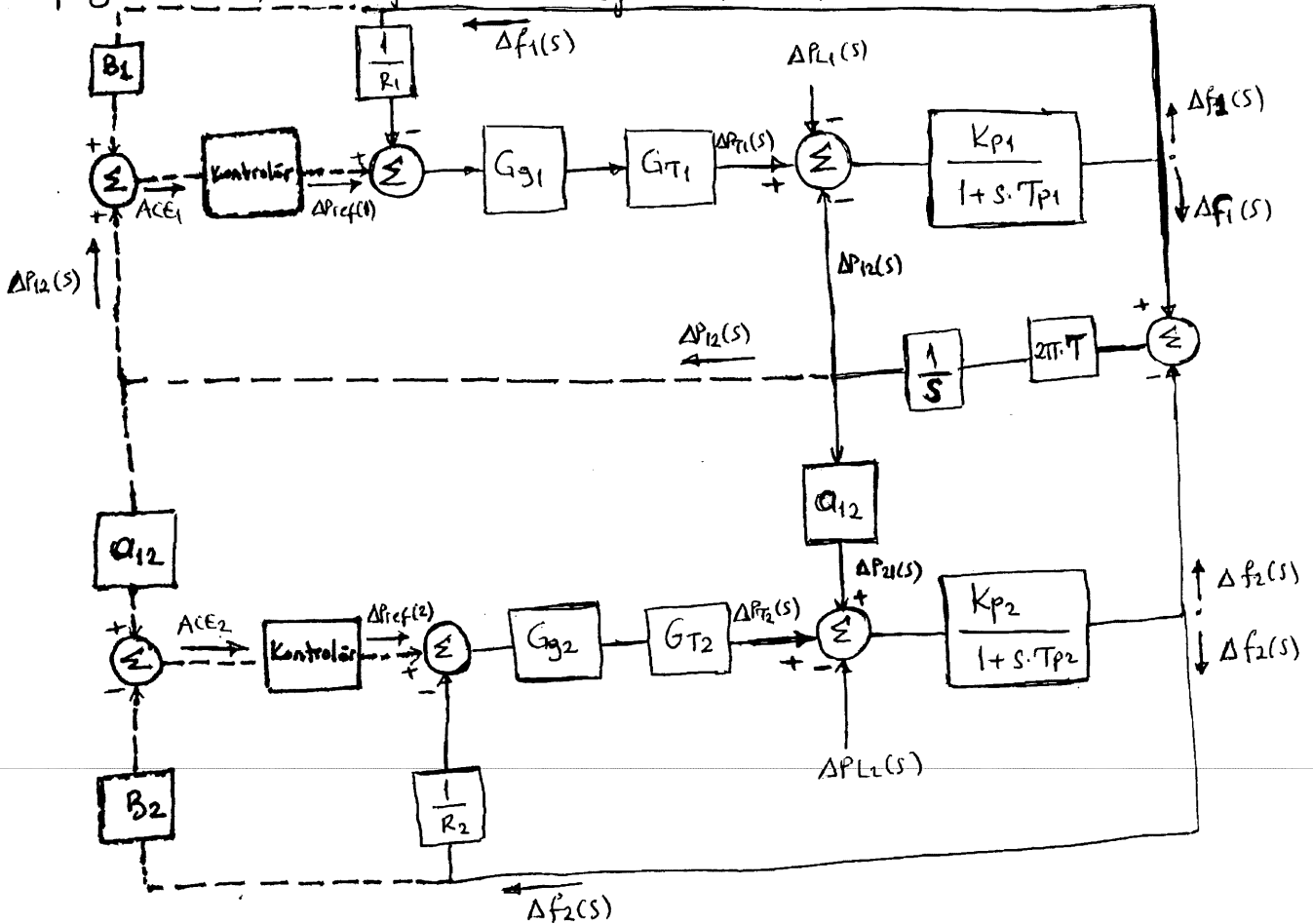
Aşağıda adım yük değişimine karşı integral kontrolör ile donatılmış ikincil yük-frekans kontrol geririminin frekans cevabı verilmiştir.



İki veya Daha Fazla Kontrol Bölgesine Sahip Güç Sistemlerinde Otomatik-Yük Frekans Kontrolü

[42]

İki kontrol bölgesi bir güç sisteminde otomatik yük-frekans kontrolüne ilişkin kontrol blok diyagramı aşağıda verilmiştir. Burada her kontrol bölgesi kendi parametreleri ile tanımlanır. Ancak bütün bölgelerin ortak paylaştıkları bir frekans değeri vardır.



İki Kontrol Bölgesine Sahip Bir Güç Sisteminde Otomatik yük-Frekans Kontrolü Birincil Geyrim ve Geyrimin Frekans Cevabı

Hız değıştiricinin pozisyonu sabittir, $\Delta P_{ref,1} = \Delta P_{ref,2} = 0$

Birinci bölgedeki yük artışı : ΔPL_1 } olsun.

İkinci bölgedeki yük artışı : ΔPL_2 }

Sürekli haldeki frekans ve bağlantı hatlarındaki güç değışimini hesaplayalım.
Bağlantı hatlarındaki güçleri toplarsak,

$$\Delta P_{T1} - \Delta PL_1 - \Delta P_{tie,1} = D_1 \cdot \Delta f_0$$

$$\Delta P_{T2} - \Delta PL_2 - \Delta P_{tie,2} = D_2 \cdot \Delta f_0$$

olarak yazılır. $\Delta P_{T10} = \Delta P_{m10} = -\frac{\Delta f_0}{R_1}$

yenine yazılırsa;

$\Delta P_{tie,1} = 1$ bölgesinden diğer bölgelere aktarılan güç değışim değeri

$\Delta P_{tie,2} = 2$ bölgesinden diğer bölgelere transf eden sürekli değışim miktarı

$$\Delta P_{T20} = \Delta P_{m20} = \frac{-\Delta f_0}{R_2}$$

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{R_1} \Delta f_0 - \Delta P_{L1} &= D_1 \cdot \Delta f_0 + \Delta P_{12} \\ -\frac{1}{R_2} \Delta f_0 - \Delta P_{L2} &= D_2 \cdot \Delta f_0 + a_{12} \cdot \Delta P_{12} \end{aligned} \right\} (**) \quad \text{Not: } P_{12} = -P_{21}$$

Burada, a_{12} iki bölge arasındaki transfer fonksiyonu olup

$$a_{12} = -\frac{P_{\gamma 1}}{P_{\gamma 2}} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_{\gamma 1} : 1. \text{ kontrol bölgesine ilişkin güç kapasitesi} \\ P_{\gamma 2} : 2. \text{ nci kontrol bölgesine ilişkin güç kapasitesi} \end{array} \right.$$

olarak tanımlanır. İki bölgenin kapasitesi birbirinden farklı ise

$$\bullet \quad \Delta P_{tie,2} = a_{12} \cdot \Delta P_{tie,1}$$

(**) eşitliğinden Δf_0 ve ΔP_{12} çözümlerse

$$\Delta f_0 = \frac{-\Delta P_{L2} + a_{12} \cdot \Delta P_{L1}}{\beta_2 - a_{12} \cdot \beta_1} \quad \text{ve} \quad \Delta P_{12} = \frac{\beta_1 \cdot \Delta P_{L2} - \beta_2 \cdot \Delta P_{L1}}{\beta_2 - a_{12} \cdot \beta_1}$$

Burada β_1 ve β_2 bölge frekans cevap karakteristikleri,

$$\beta_1 = D_1 + \frac{1}{R_1}, \quad \beta_2 = D_2 + \frac{1}{R_2}$$

Bölge parametreleri eşdeğer kabul edilirse

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= D_2 = D \\ R_1 &= R_2 = R \end{aligned} \right\} \text{ ise}$$

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta$$

$$\text{ve} \quad a_{12} = -1 \quad \text{olur.}$$

Bu durumda

$$\Delta f_0 = \frac{-\Delta P_{L2} + \Delta P_{L1}}{2\beta} \quad [\text{Hz}]$$

serbest-halde her iki bölge için frekans sapması aynı olur.

$$\Delta P_{12} = \frac{\Delta P_{L2} - \Delta P_{L1}}{2} \quad [\text{pu. MW}]$$

Bu sefer, sadece "1" bölgesinde ΔP_{L1} kadarlık yük artışı durumunda oluşacak sürekli-hal değerlerini hesaplayalım. Birinci bölge için

$$\Delta P_{T1} - \Delta P_{12} - \Delta P_{L1} = \Delta f_0 \cdot D_1 \quad [1. \text{ bölge için}]$$

$$\Delta P_{T2} + \Delta P_{12} = \Delta f_0 \cdot D_2 \quad [2. \text{ bölge için}]$$

Burada mekaniksel güç ΔP_T (veya ΔP_M) regülasyon sabitine bağlı olup

$$\Delta P_{T1} = \Delta P_{M1} = -\frac{\Delta f_0}{R_1} \quad \text{ve} \quad \Delta P_{T2} = \Delta P_{M2} = -\frac{\Delta f_0}{R_2}$$

Bu değerleri yukarıdaki denklemlerde yerine yazarsak

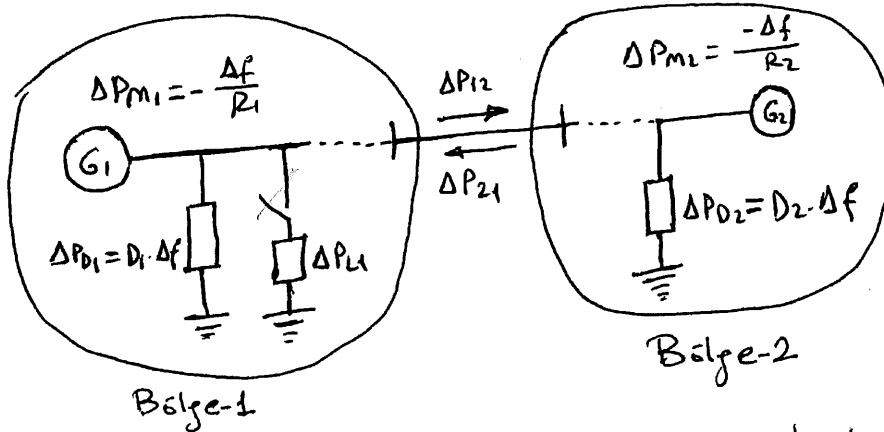
$$\left. \begin{aligned} \Delta f_0 \left[\frac{1}{R_1} + D_1 \right] &= -\Delta P_{12} - \Delta P_{L1} \\ \Delta f_0 \left[\frac{1}{R_2} + D_2 \right] &= \Delta P_{12} \end{aligned} \right\} \text{Bu denklemler eşitirse}$$

$$\Delta f_0 = \frac{-\Delta P_{L1}}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1 \right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)} = \frac{-\Delta P_{L1}}{\beta_1 + \beta_2}$$

ve

$$\Delta P_{12} = \frac{-\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1 \right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right)} = \frac{-\Delta P_{L1} \cdot \beta_2}{\beta_1 + \beta_2}$$

Bu ilişkiyi aşağıdaki şekilde açıklayabiliriz



Bölge-1'deki ΔP_{L1} kadarlık bir artış her iki bölgede de frekansta bir azalma oluşturur. ΔP_{12} 'nin negatif çıkması enerji akışının 2 bölgesinden 1 bölge-sine dönmeye başladığını göstermektedir.

Benzer şekilde eğer iki bölgesinde ΔP_{L2} kadarlık bir artış olsaydı

$$\Delta f_0 = \frac{-\Delta P_{L2}}{\beta_1 + \beta_2} \quad \text{ve} \quad \Delta P_{12} = -\Delta P_{21} = \frac{\Delta P_{L2} \cdot \beta_1}{\beta_1 + \beta_2} \quad \text{olur}$$

İki Kontrol Bölgesi Güç Sisteminde Otomatik Yük-Frekans Kontrolü,
İkinci Çevrim ve Sistemin Frekans Cevabı:

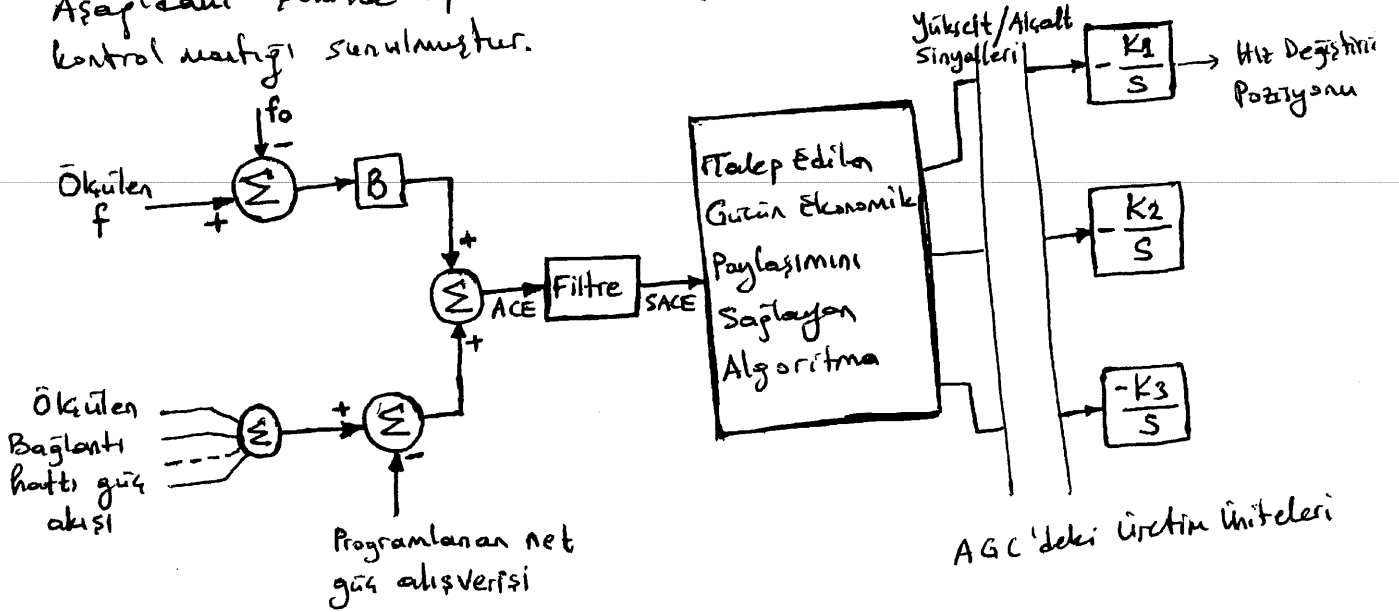
145

İkinci kontrolün etkin olmadığı süreç içerisinde, üniteler senkronite olarak yeni sistem frekansında çalışırlar. İkinci kontrol çevriminin sistemdeki değişikliklere cevap vermesi ile hız regülatörleri yük-frekans değerleri koordineli olarak kontrol edilir ve sistem tekrar f_0 nominal frekansına geri getirilir.

Gök bölgesi enterkonnekte sistemlerde otomatik üretim kontrolü aşağıdaki görevleri yerine getirir.

- Her bölge kendi yük değişikliğini sağlar
- Komşular ile önceden planlanmış sınırlar içerisinde güç alışverişini sağlar
- Üretimin üniteler arasındaki ekonomik üretimini sağlar
- İstenilen frekans değerine ulaşılması için bölgenin payına düşeni yapmasına izin vermek

Aşağıdaki şekilde tipik bir AGC (Automatic Generation Control) sisteminin kontrol mantığı sunulmuştur.



Her Bir Kontrol Bölgesi için AGC Montajı

Buradaki filtrenin amacı ACE işaretini güçlerdeki hızlı ve rastlantısal değişikliklerden temizlemektir. Aksi takdirde sistem tüm bu hızlı değişikliklere cevap vermek isteyecektir, bunun sonucu olarak sistemdeki türbin valfleri hız regülatörleri gibi sistemler daha çabuk açılacak ve daha çabuk metal yorulması olacaktır. Bu sebeple istenmeyen yükseklikteki ve hızlı değişimler filtre edilerek ACE, işareti SACE (Smoothed ACE) olarak sistem girişini belirler.

Bağlantı Hattı Yönelimli Kontrol Stratejisi

Farklı bölgelerin birbirleriyle enterkonnekte olmalarının başlıca iki nedeni şu şekilde dir.

- Komşu sistemlerle (gerçek daha kazançlı olduğu için gerekte gereksiniminden dolayı) enerji satışına ve komşu sistemlerden enerji almasına imkan verir.
- Eğer bir sistemde ani üretim kayıpları olursa, enterkonnekte sisteme bağlı tüm bölgeler frekans değişikliğinden etkilenecektir ve böylece frekansın nominal değerine yeniden ulaşmasında bütün bölgeler etkili olacaktır.

Bağlantı hattı yönelimli kontrol'ün temel amacı her bir bölgenin kendi yükleri ile üretimi arasındaki dengeyi sağlamaktır. Bu iki kontrolün yapılması ile sağlanır.

- Frekans nominal değerinde tutulmalı
- Komşu sistemlerle net enerji alış-veriş programlanan değerleri içerisinde kalmalı

Örneğin, bu görevlerin yapılabilmesi için aşağıdaki durumların sistem tarafından tanımlanması gerekir

i) Eğer frekans düştü ise ve bölgeden dışa doğru ~~bir~~ enerji transferinde artış var ise; bir yük artışı olmuştur ve bu yük artışı bölge dışında gerçekleşmiştir

ii) Eğer frekans düştü ise ve bölgeden dışa doğru enerji transferinde bir azalma var ise; bir yük artışı olmuştur ve bu yük artışı bölge içerisinde gerçekleşmiştir.

Bu örnekler frekansın artması durumu içinde verilebilir.

Konuyu daha iyi anlayabilmek için aşağıdaki tanımlamaları verelim.

$$P_{net-int} = \text{Toplam net enerji değişimi (+Sistenden ayrılan; - sisteme giren)}$$

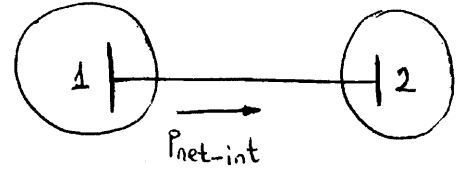
$$P_{net-int-ref} = \text{Programlanmış (arzu edilen) enerji değişimi}$$

$$\Delta P_{net-int} = P_{net-int} - P_{net-int-ref}$$

$$\Delta P_{net-int} \text{ bir bölge için yazılırsa örneğin } \Delta P_{net-int1} = \Delta P_{12} = \frac{-\Delta P_{L1} \left(\frac{1}{R_1} + D_1 \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2}$$

Bağlantı hattı yönelimli kontrol planı aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

ΔW	$\Delta P_{net-int}$	Yük Değişimi	Sonuç Kontrol Eylemi
↘	↘	$\Delta P_{L1} : \nearrow$ $\Delta P_{L2} : 0$	1 Bölgesindeki P _{gen} üretimini ↗
↗	↗	$\Delta P_{L1} : \searrow$ $\Delta P_{L2} : 0$	1 Bölgesindeki P _{gen} üretimini ↘
↘	↗	$\Delta P_{L1} : 0$ $\Delta P_{L2} : \nearrow$	2 Bölgesindeki P _{gen} üretimini ↗
↗	↘	$\Delta P_{L1} : 0$ $\Delta P_{L2} : \searrow$	2 Bölgesindeki P _{gen} üretimini ↘



Burada kontrol işareti bölge kontrol hatası (ACE) olup, aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$ACE_1 = \Delta P_{12} + B_1 \cdot \Delta f_1 \quad (\text{Birinci kontrol bölgesi için})$$

Aynı şekilde ikinci kontrol bölgesi için

$$ACE_2 = \Delta P_{21} + B_2 \cdot \Delta f_2 \quad [\Delta P_{21} = -\Delta P_{12} \text{ olduğundan}]$$

$$ACE_2 = -\Delta P_{12} + B_2 \cdot \Delta f_2$$

yağılır. Burada B_1 ve B_2 : 1inci ve 2inci bölgeler için frekans yönelim faktörü olup, klasik ACE eşitiğinde en mükemmel yakın yönelim faktörü değeri hem normal hem de arızalı işletme şartlarına uygun olmalıdır. Araştırmalar en uygun frekans yönelim faktörü değerinin, bölge frekans cevap karakteristiklerine eşit olduğunu göstermiştir.

$$|B| = |\beta| \quad \left(\text{pu} \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \right)$$

$$B = \beta = \frac{1}{P} + D$$

Bağlantı hattı yönelimli kontrol stratejisinin uygulanması verilen kontrol blok diyagramında kesik çizgili çevrimin eklenmesi ile elde edilir. Basamak yük değişimine karşılık olarak hız değştiricinin pozisyon değştirdiği düşünülür ise

$$\Delta P_{ref,1} = -K_{I1} \cdot \int (\Delta P_{12} + B_1 \cdot \Delta f_1) dt$$

$$\Delta P_{ref,2} = -K_{I2} \cdot \int (\Delta P_{21} + B_2 \cdot \Delta f_2) dt$$

Genel olarak, $\Delta P_{ref,i} = -K_i \int ACE \cdot dt$

$$ACE = \underbrace{(P_{tie} - P_{tie,ref})}_{\text{scheduled}} + B \cdot \underbrace{[f - f_0]}_{\substack{\text{Engel} \\ \text{Halde} \\ 50/60 \text{ Hz}}} \Rightarrow ACE_i = \sum_{j=1}^n \Delta P_{ij} + B_i \cdot \Delta f$$

ÖRNEK: Bağlantı hattıyla birbirine bağlı iki kontrol bölgesine ilişkin karakteristik büyüklükler

Bölge-1	Bölge-2
$R = 0,01 \text{ pu}$	$R = 0,02 \text{ pu}$
$D = 0,8 \text{ pu}$	$D = 1,0 \text{ pu}$
Baz Güç = 500 MVA	Baz Güç = 500 MVA

1. ci bölgede 100 mw'lık bir yük artışı olması durumunda sürekli-hal frekans sapmasını ve bağlantı hattındaki güç akış miktarındaki değişimini bulunuz ($f = 60$)

$$\begin{aligned} \Delta P_{T1} - \Delta P_{L2} - \Delta P_{L1} &= \Delta f \cdot D_1 \\ \Delta P_{T2} + \Delta P_{L2} &= \Delta f \cdot D_2 \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{eşitliklerden } \Delta f \text{ ve } \Delta P_{L2} \text{ çözülür} \\ \left[\Delta P_{T1} = -\frac{\Delta f_0}{R_1} \text{ ve } \Delta P_{T2} = -\frac{\Delta f_0}{R_2} \right] \end{array} \right.$$

$$\Delta f = \frac{-\Delta P_{L1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + D_1 + D_2} = \frac{-\left(\frac{100}{500} \text{ pu}\right)}{\frac{1}{0,01} + \frac{1}{0,02} + 0,8 + 1} = -0,00131752 \text{ pu}$$

$$f_{\text{yeni}} = 60 - 0,00132(60) = 59,92 \text{ Hz.}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{L2} &= \Delta f \left(\frac{1}{R_2} + D_2 \right) = -0,00131752 \left(\frac{1}{0,02} + 1 \right) = -0,06719368 \text{ pu} \\ &= -0,06719368 \times 500 = -33,6 \text{ MW} \end{aligned}$$

Türbin mekanik güçlerindeki değişiklik ise,

$$\Delta P_{m1} = -\frac{\Delta f}{R_1} = -\left(\frac{-0,00131752}{0,01}\right) = 0,131752 \text{ pu} = 65,876 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{m2} = -\frac{\Delta f}{R_2} = -\left(\frac{-0,00131752}{0,02}\right) = 0,06587615 \text{ pu} = 32,938 \text{ MW}$$

$$\text{Üretimdeki toplam değişim} \leftarrow \begin{cases} 98,814 \text{ MW} \\ + \\ \hline \end{cases}$$

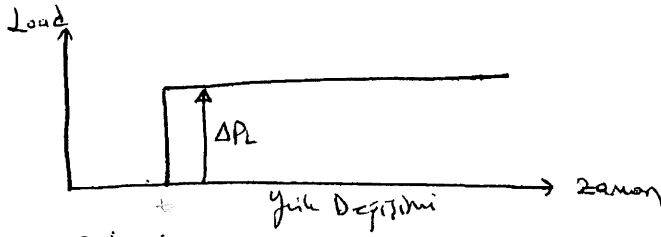
Bu miktar toplam yük artışı 100 mw'tan 1,186 mw azdır ($100 - 98,814 = 1,186$).
Çünkü frekans azalmasından dolayı toplam bölge gücünde bir azalma olmuştur.

Bu değerler,

$$\text{Bölge 1 için: } \Delta f \cdot D_1 = -0,0010540 \text{ pu} = -0,527 \text{ MW}$$

$$\begin{aligned} \text{Bölge 2 için: } \Delta f \cdot D_2 &= -0,00131752 \text{ pu} = -0,6588 \text{ MW} \\ &+ \\ &= -1,1858 \text{ MW} \end{aligned}$$

Bu değerler herhangi bir dığeltme sistemi yapılmaması durumunda elde edilecek sürekli hal değerleridir. Eğer hız regülatörleri uygun kontrol stratejisi ile hareket ettirilirse;

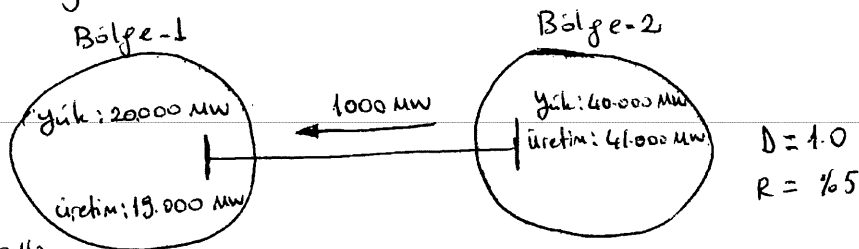


Hız regülatörsüz



Hız regülatörlü

ÖRNEK : İki bölgele entekonnekte bir güç sistemini dikkate alalım.



Sistem frekansı = 60 Hz.

İlci bölgenin yükü 20.000 MW, ikinci bölgenin yükü de 40.000 MW'dır. Her bir bölgede %1'lik frekans için %1'lik yük değişimi olmaktadır. Bir bölge, iki bölgeden 1000 MW'lık güç çekmektedir. Hız regülatörünü R, her bir unite için %5'tir.

~~Birinci bölge 4000 MW'lık üretim kapasitesi~~

Birinci bölgenin yedek rezervi 1000 MW olup

bu güç 4000 MW'lık üretim kapasitesi boyunca dığgün olarak yayılmıştır. İkinci bölgenin yedek rezervi de 1000 MW olup, bu güç ise 10.000 MW'lık üretim boyunca dığgün olarak yayılmıştır.

Her bir bölgenin yükünü, üretimini ve sürekli durum frekansına bağlantı hattı gücünü aşağıdaki durumlar için bulunuz.

- (a) İkinci döngü kontrolünün olmaması durumunda eğer İlci bölgede 1000 MW'lık yük atılması ~~var ise~~ olması durumunda

(b) Yedek rezerv güçlerini ^{taşıyan üniteler} ikincil kontrol çevrimine dahil edilmektedir. Birincil bölge frekans yavaşlama faktörü 250 MW/0.1 Hz olup, ikincil bölge 500 MW/0.1 Hz dir. Aşağıdaki her bir durum için sürekli-hal frekansını, üretimi, yükü ve bağlantı hattı gücü bulunuz

- Birinci bölgede 1000 MW'lık yük azalması var ise
- Birinci bölgede yedek rezerv taşıyan kısımda 500 MW'lık üretim kaybı olması durumunda
- Birinci bölgede yedek rezervin taşınmadığı kısımda 2000 MW'lık üretim kaybı olması durumunda
- Bağlantı hattı yük ^{ikincil kontrol çevrim} alış-veriş planında herhangi bir değişiklik yokken bağlantı hattının devre dışı olması durumunda
- Bağlantı hattı yük alış-veriş ^{defisit} planlaması ~~ve~~ sıfıra ayarlı iken hat devre dışı olursa.

Çözüm: (b) İkincil kontrol çevrimi devre dışı iken, {Bütün generatörler yük kaybına cevap verecektir.} Birinci bölgede ^(spinning reserve) yedek rezerv ile birlikte toplam üretim kapasitesi $19.000 + 1.000 = 20.000$ MW'lık.

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{0.05} \times \frac{20.000}{60} = 6666,67 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \quad \left\{ \text{Not: } \frac{1}{R} = \frac{\Delta P_G}{\Delta f} = \frac{20.000}{0.05 \times 60} = 6666,67 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \right.$$

İkinci bölgede ise toplam üretim kapasitesi $(1000 + 41.000 = 42.000 \text{ MW})$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{0.05} \times \frac{42.000}{60} = 14.000 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$$

Dolayısı ile toplam $(42.000 + 20.000 = 62.000 \text{ MW})$ 'lık üretim kapasitesi için toplam regülasyon

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R} = 6666,67 + 14.000 = 20666,67 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$$

1000 MW'lık yük kaybından sonra geriye kalon 19.000 MW'lık yük için birinci bölge yük sınırlama sabiti

$$D_1 = 1 \times \frac{19.000 (\text{MW})}{60 (\text{Hz})} = 316,67 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$$

İkinci bölgedeki 40.000 MW'lık yük için

$$D_2 = 1 \times \frac{40.000 (\text{MW})}{60 (\text{Hz})} = 666,67 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$$

İki bölge için toplam yük sabiti

$$D = D_1 + D_2 = 666,67 + 316,67 = 983,33 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$$

0 halde

1000 mw'lık yük kaybı dolayısı ile sistem frekansındaki değişme

$$\Delta f = \frac{-\Delta P_L}{\frac{1}{R} + D} = \frac{-(-1000)}{20666,67 + 983,33} = 0,04619 \text{ Hz}$$

Frekansdaki artış dolayısı ile her bir bölgedeki yük değişimleri

$$\Delta P_{D1} = D_1 \cdot \Delta f = 316,67 \times 0,04619 = 14,63 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{D2} = D_2 \cdot \Delta f = 666,67 \times 0,04619 = 30,79 \text{ MW}$$

Hız regülasyon katsayılarına bağlı olarak her bir bölgedeki üretim değişimleri

$$\Delta P_{G1} = -\frac{1}{R_1} \cdot \Delta f = 6666,67 \times 0,04619 = -307,93 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{G2} = -\frac{1}{R_2} \cdot \Delta f = 14.000 \times 0,04619 = -646,65 \text{ MW}$$

Netice olarak, yeni yük dağılımı, üretim ve bağlantı hattı güç akışları

Bölge 1	Bölge 2
Yük = 20000 - 1000 + 14,63 = 19014,63 MW	Yük = 40.000 + 30,79 = 40030,79
Üretim = 19.000 - 307,93 = 18692,07 MW	Üretim = 41.000 - 646,65 = 40353,35 MW

İki bölgeden bir bölgesine aktarılan güç miktarı $\rightarrow$

$$19014,63 - 18692,07 = 322,56 \text{ MW}$$

veya

$$40353,35 - 40030,79 = 322,56 \text{ MW}$$

- (b) İkincil kontrol çevriminin devrede olması durumunda (i) 1.nci bölgede 1000 mw'lık yük kaybı
- (i) Bölge 1'de ikincil kontrolle dahil edilen üretim kapasitesi 4000 MW olup, bu ilave kontrol ile birlikte ACE₁ hatası sıfırlanır. Aynı şekilde 2.nci bölgenin ilave kontrol çevrimi de ACE₂ hatasını sıfırlayacaktır

$$ACE_1 = B_1 \cdot \Delta f + \Delta P_{12} = 0$$

$$ACE_2 = B_2 \cdot \Delta f - \Delta P_{12} = 0$$

Böylece

$$\Delta f = 0 \text{ ve } \Delta P_{12} = 0 \text{ olur.}$$

~~4000 MW + 3000 MW = 7000 MW~~

Bölge 1 ~~4000 MW~~ üretimi ve yükü 1000 MW azalmıştır. Fakat 2 bölgesinin sürekli hal yük ve üretiminde herhangi bir değişiklik oluşturmaz. Aynı zamanda bağlantı hattı üzerinde de herhangi bir değişiklik olmaz.

(ii) Bölge-1'de yedek rezervi taşıyan kısımda 500 MW'lık üretim kaybı var.

Üretim kaybı ~~4000 MW~~ oluşmadan önce 1-Bölgesinde 4000 MW'lık üretim kapasitesine uygun olarak dağılmış 1000 MW'lık yedek rezerv var idi. ($3000 \text{ MW} + 1000 \text{ MW} = 4000 \text{ MW}$)

Yedek rezerv

500 MW'lık ~~yük~~ ^{güç} kaybı var. Buna göre rezerv güç kaybı

$$\begin{array}{rcl} 3000 \text{ MW} & 1000 \text{ MW rezerv güç} & \\ 500 \text{ MW} & X \text{ MW " " "} & \end{array}$$

$$X = \frac{500}{3000} \times 1000 = 166,67 \text{ MW}$$

$$\text{Geride kalan rezerv güç ise } 1000 - 166,67 = 833,33 \text{ MW}$$

Dolayısı ile 833,33 MW'lık rezerv güç 500 MW'lık üretim kaybını karşılayabilir. Bu nedenle her iki bölgedeki yük ve üretim değerleri botunum öncesi değerlere tekrar ayar edilebilir. Böylece sistem frekansı ve bağlantı hattı güç akışında herhangi bir değişim olmaz.

(iii) İkinci bölgede yedek rezervin taşınmadığı kısımda 2000 MW'lık üretim kaybı olması durumunda; kaybın yarısı yedek rezerv tarafından karşılanır, (yani 1000 MW). Bu limit yakalandıktan sonra 1-Bölgesi ACE hatasını daha fazla kontrol edemez. Bu durumda ~~2~~ 2-bölge. Sınn slave kontrolü ACE hatasını kontrol eder. Böylece,

$$ACE_2 = B_2 \cdot \Delta f - \Delta P_{12} = 0$$

veya

$$\Delta P_{12} = B_2 \cdot \Delta f = \frac{500 \text{ MW}}{0,1 \text{ Hz}} \cdot \Delta f = 5000 \cdot \Delta f$$

Bundan dolayı, sistem frekansında net bir azalma oluşur. Frekans atalması, ise frekansa duyarlı yüklerden dolayı, yükte de bir atalma oluşur.

Bölge-1'in yük sönüm sabiti,

$$D_1 = 1 \times \frac{20.000}{60} = 333,33 \text{ MW/Hz}$$

Bölge-1'deki üretim kaybı, yükteki azalma ile ve 2-bölgesinden 1-bölgesine aktarılan güç ile karşılanır. Böylece,

$$-1000 = D_1 \cdot \Delta f + \Delta P_{12}$$

$$-1000 = 333,33 \Delta f + 5000 \cdot \Delta f \Rightarrow \Delta f = \frac{-1000}{5000 + 333,33} = -0,1875 \text{ Hz.}$$

Bölge-1'deki yük değişimi

$$\Delta P_{D1} = D_1 \cdot \Delta f = 333,33 \times (-0,1875) = -62,5 \text{ MW}$$

Bağlantı hattı güç akışındaki değişim

$$\Delta P_{12} = 5000 \times (-0,1875) = -937,5 \text{ MW}$$

Bölge-2'deki yük değişimi

$$\Delta P_{D2} = D_2 \cdot \Delta f = 666,67 \times (-0,1875) = -125.000 \text{ MW}$$

Buna göre bölgedeki son yük ve üretim dağılımı

Bölge-1

$$\text{Yük} = 20.000 - 62,5 = 19937,5 \text{ MW}$$

$$\text{Üretim} = 19.000 - 1000 = 18000 \text{ MW}$$

$$\text{Ve sürekli-hal } \Delta P_{21} = 41812,5 - 39875 = 1937,5 \text{ MW}$$

$$\text{sürekli-hal } f = 60 - 0,1875 = 59,8125 \text{ Hz.}$$

Bölge-2

$$\text{Yük} = 40.000 - 1250 = 39875 \text{ MW}$$

$$\text{Üretim} = 41.000 - 125 + 937,5 = 41812,5$$

(IV) Bağlantı hattı yük-alış-veriş planında herhangi bir değişiklik yok iken, bağlantı hattı devre dışı kalıyor ise; 54

1-Bölgesi ikincil kontrol çevrimi yük değişim planını kendisi karşılamaya çalışacaktır. (yani 1000 MW'lık transferi kendisi karşılamaya çalışacaktır)

$$ACE_1 = \Delta P_{12} + B_1 \cdot \Delta f = 1000 + \frac{250 \text{ MW}}{0.1 \text{ Hz}} \cdot \Delta f$$

$$\Rightarrow ACE_1 = 1000 + 2500 \cdot \Delta f = 0 \Rightarrow \Delta f_1 = -\frac{1000}{2500}$$

$$\Rightarrow \Delta f_1 = -0.4 \text{ Hz.}$$

1-Bölgesindeki yük değişimi

$$\Delta P_{D1} = D_1 \cdot \Delta f_1 = 333.33 \times (-0.4) = -133.33 \text{ MW}$$

Bentler olarak 2-Bölgesi için

$$\Delta f_2 = \frac{1000}{5000} = 0.2 \text{ Hz} \quad \text{artış olur.}$$

ve

$$\Delta P_{D2} = 666.67 \times 0.2 = 133.33 \text{ MW}$$

Buna göre bölgelerdeki yeni yük ve üretimler

Bölge-1

$$\text{Yük} = 20.000 - 133.33 = 19866.67 \text{ MW}$$

$$\text{Üretim} = 19866.67 \text{ MW}$$

$$f_1 = 59.6 \text{ Hz}$$

Bölge-2

$$\text{Yük} = 40.000 + 133.33 = 40133.33$$

$$\text{Üretim} = 40133.33 \text{ MW}$$

$$f_2 = 60.2 \text{ Hz.}$$

(V) Bağlantı hattı yük değişim planı sıfır ayarlı iken hat devre dışı ise;

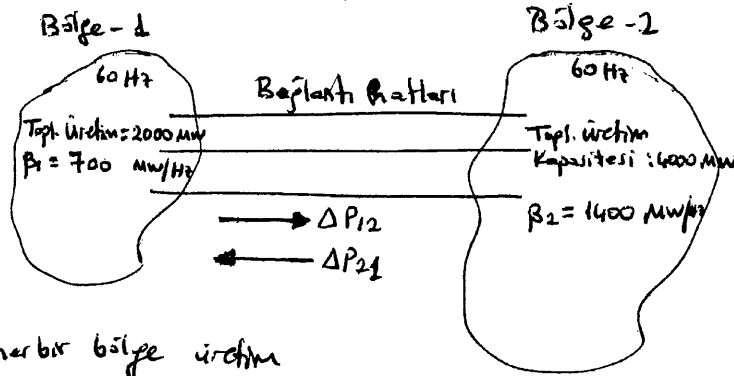
Bölge-1 ikincil kontrolü üretimi 1000 MW arttıracaktır

Bölge-2 ikincil " ise " 1000 MW azaltacaktır.

Sonuçta her bir bölgedeki üretim, tüketimle aynı olacak ve frekans 60 Hz'e eşit olacaktır.

ÖRNEK: Bağlantı hattı ile birbirine bağlı iki kontrol bölgesine ilişkin karakteristik büyüklükler şekil üzerinde gösterildiği gibidir.

55



Başlangıçta her bir bölge üretimi kapasitesinin yarısını kullanmaktadır ve $\Delta P_{12} = \Delta P_{21} = 0$.

Bölge-1'de ~~100~~ 100 MW'lık ani bir yük artışı olması durumunda

Sürekli-hal frekans hatası Δf 'i ve sürekli-hal bağlantı hattı güç akışı hatasını

(a) yük-frekans kontrolü devre dışı ise

(b) " " " devrede iken

hesaplayınız. [Not: Kayıplar ve frekansa duyarlı yükler ihmal edilmiştir.]

Çözüm (a) İki bölge birbirleriyle entegre olduğu için Δf frekans hatası her iki bölge içinde aynıdır.

$$\Delta P_m = \Delta P_{ref} - \beta \cdot \Delta f$$

esitliği her bir bölge için yazılırsa ve taraf tarafa toplanırsa,

$$(\Delta P_{m1} + \Delta P_{m2}) = (\Delta P_{ref1} + \Delta P_{ref2}) - (\beta_1 + \beta_2) \cdot \Delta f$$

Kayıplar ve frekansa duyarlı yükler ihmal edildiğinden, her iki bölgedeki toplam mekanik güçteki artış, 100 MW'lık toplam yük artışına eşit olacaktır.

$$\Delta P_{m1} + \Delta P_{m2} = 100 \text{ MW}$$

LFC devre dışı iken ΔP_{ref} 'te sıfır olduğundan

$$100 = -(\beta_1 + \beta_2) \cdot \Delta f = -(700 + 1400) \cdot \Delta f$$

$$\Delta f = \frac{-100}{2100} = -0,0476 \text{ Hz}$$

Buna göre her bir bölgenin mekaniksel güçteki değeri $(\Delta P_{ref} = 0)$

$$\Delta P_{m1} = -\beta_1 \cdot \Delta f = -(700)(-0,0476) = 33,33 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{m2} = -\beta_2 \cdot \Delta f = -(1400)(-0,0476) = 66,67 \text{ MW}$$

Buna göre 100 MW'lık yükün 33,33 MW'ı Bölge-1 tarafından karşılanmakta, 66,67 MW'ı ise Bölge-2 tarafından karşılanmaktadır. 2-Bölgesindeki 66,67 MW'lık üretim fazlalığı 1-Bölgesine aktarılmaktadır. Bağlantı hattı güç değişimi

$$\Delta P_{21} = +66,67 \text{ MW}$$

veya

$$\Delta P_{12} = -66,67 \text{ MW}$$

olur.

(b) Bölge kontrol hatası

$$ACE = (P_{tie} - P_{tie,ref}) + B \cdot (f - f_0)$$

50/60 Hz.

$$= \Delta P_{tie} + B \cdot \Delta f$$

olduğundan

$$ACE_1 = \Delta P_{12} + B_1 \cdot \Delta f_1$$

$$ACE_2 = \Delta P_{21} + B_2 \cdot \Delta f_2$$

LFC devrede olduğundan bağlantı hattındaki net akış sıfır olur (kayıplar ihmal)

$$\Delta P_{12} + \Delta P_{21} = 0 \quad \text{veya} \quad \Delta P_{21} = -\Delta P_{12}$$

Ayrıca sürekli halde $\Delta f_1 = \Delta f_2 = \Delta f$ olduğundan

$$ACE_1 = \Delta P_{12} + B_1 \cdot \Delta f$$

$$ACE_2 = -\Delta P_{12} + B_2 \cdot \Delta f$$

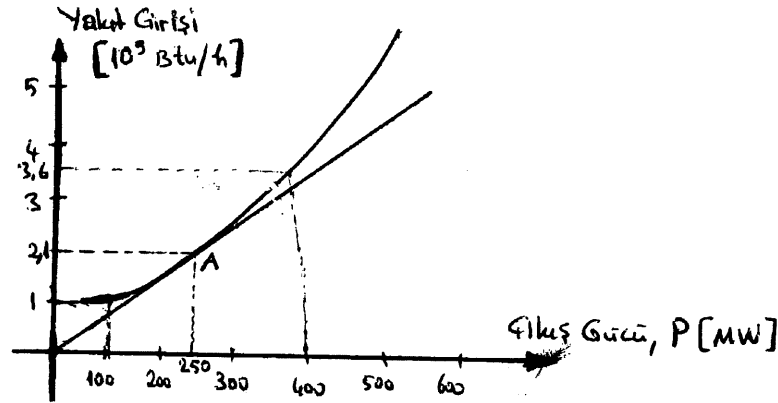
Sürekli-halde $ACE_1 = ACE_2 = 0$ olacaktır. Bu iki ifade toplanırsa

$$ACE_1 + ACE_2 = 0 = (B_1 + B_2) \cdot \Delta f$$

Bu sebepten dolayı $\Delta f = 0$ ve $\Delta P_{12} = \Delta P_{21} = 0$ olur. Bölge-1 kendi 100 MW'lık yük artışını kendisi karşılar ve Bölge-2 yük artışından önceki yük çalışma şartlarına geri döner.

EKONOMİK YÜK PAYLAŞIMI :

Ekonomik yük paylaşımının amacı, generatör ünitelerinin aktif güç çıkışlarını hem talep gücü karşılayacak şekilde, hem de toplam işletme maliyetlerini minimum yapacak şekilde belirlemektir. Burada en belirleyici faktör yakıt maliyetleridir. Bir güç santralının işletilmesinde yakıt girişine karşılık çıkış gücünü veren eğrilerden yararlanır.



Eğriden de görüleceği üzere, eğrinin herhangi bir işletme noktasındaki eğiminin tersi üretim sisteminin o noktadaki yakıt verimliliğini gösterir.

İki ünite arasındaki en ekonomik yük paylaşımını belirleyebilmek için, her iki üniteye ilişkin artımsal yakıt maliyetlerinin belirlenmesi gerekir. Öncelikle yakıt ihtiyacı $\$/\text{MWh}$ 'e dönüştürülür.

Daha sonra artımsal maliyetler her bir ünitenin güç-çıkış eğrilerinin eğimi kullanılarak bulunur.

$$\text{Artımsal Yakıt Maliyeti} = \frac{dC}{dP} \quad [\$/\text{MWh}]$$

Burada $C = \text{Yakıt Maliyeti} [\$/\text{h}]$

$P = \text{Çıkış Gücü [MW]}$

Paralel çalışan iki üniteli bir santralde, bir üniteye ait artımsal maliyet genellikle diğr ünitenin artımsal maliyetinden daha yüksektir. En ekonomik işletim için, artımsal maliyeti yüksek olan ünitenin yükü, her iki ünitenin artımsal maliyetleri eşit olana kadar diğr üniteye aktardır.

ÖRNEK 1: Şekil (**) 'i kullanarak (a) 100 MW'lık çıkış gücü için

(b) 400 MW'lık çıkış gücü için yakıt gereksinimlerini bulunuz. Böylece A noktasının maksimum verimliliğe sahip işletme noktası olduğunu ~~ispatlayınız.~~ gösteriniz.

(a) 100 MW için yakıt girişi = 1×10^3 [Btu/h], Böylece

$$\text{Yakıt ihtiyacı}_{(100 \text{ MW})} = \frac{1 \times 10^3}{100} = 10 \times 10^6 \text{ [Btu/MWh]}$$

(b) 400 MW için yakıt girişi = $3,6 \times 10^3$ [Btu/h], Böylece

$$\text{Yakıt ihtiyacı}_{(400 \text{ MW})} = \frac{3,6 \times 10^3}{400} = 9,0 \times 10^6 \text{ [Btu/MWh]}$$

A noktası için ise

$$\text{Yakıt ihtiyacı} = \frac{2,1 \times 10^3}{250} = 8,4 \times 10^6 \text{ [Btu/MWh]}$$

Görüldüğü üzere en az yakıt A noktasında harcanıyor. Bu nokta orijinden eğriye çizilen teğetin teğant'ıdır.

ÖRNEK 2: Belirli bir miktardaki kömürün maliyeti 1,2 \$ olup, yakıt olarak verdiği enerji 10^6 Btu 'dur. Eğer üretilen biriminin giriş çıkış karakteristiği (**) şeklinde olduğu gibi ise A noktası için artımsal yakıt maliyetini bulunuz.

$$\text{A noktasındaki Egm} = \frac{2,1 \times 10^3 - 0}{250 - 0} = 8,4 \times 10^6 \text{ [Btu/MWh]}$$

$$\text{Artımsal Maliyet} = 8,4 \times 10^6 \frac{\text{Btu}}{\text{MWh}} \cdot 1,2 \frac{\$}{\text{Btu}} = 10,08 \frac{\$}{\text{MWh}}$$

N tane ünitesi olan enterkonnekte bir güç sisteminin ekonomik yük paylaşımı için toplam değişken maliyet C_T 'yi dikkate alalım.

$$C_T = \sum_{i=1}^N C_i = C_1(P_1) + C_2(P_2) + \dots + C_N(P_N) \quad [\$/h]$$

Burada C_i yakıt maliyeti ve diğer değişken maliyetleri de ihtiva eden ünite maliyetleridir.

Bölgedeki toplam yük talebi P_T ise

59

$$P_T = \sum_{i=1}^N P_i = P_1 + P_2 + \dots + P_N$$

Burada iletim kayıpları ihmal edilmiştir. Burada Ekonomik yük paylaşımını gerçekleştirebilmesi için ünitelere ilişkin $P_1, P_2, \dots, P_N$ değerlerini, C_T değerini minimum yapacak şekilde belirlemektir. Bu belirlemekteki kriterimiz; ekonomik işletimin, bütün ünitelerin artımsal maliyetlerinin eşit olduğu noktada olması gerçeğine dayanır. Yani,

$$\frac{dC_1}{dP_1} = \frac{dC_2}{dP_2} = \dots = \frac{dC_N}{dP_N} = \lambda$$

Veya Ekonomik yük paylaşımına matematiksel bir eşyım bulmak istersek;

C_T toplam maliyeti, dC_T türevlerinin toplamının sıfır olması durumunda oluşur.

$$dC_T = dC_1 + dC_2 + \dots + dC_N = 0$$

Her bir terimi $\frac{\partial P_i}{\partial P_i}$ ile çarparsak

$$dC_T = \frac{dC_1}{dP_1} dP_1 + \frac{dC_2}{dP_2} dP_2 + \dots + \frac{dC_N}{dP_N} dP_N = 0 \quad (*)$$

Benzar şekilde P_T 'nin türevini alırsak

$$dP_1 + dP_2 + \dots + dP_N = 0$$

Bu denklemi λ ile çarpalım.

$$\lambda dP_1 + \lambda dP_2 + \dots + \lambda dP_N = 0$$

Bu denklemi dC_T ifadesinden çıkarırsak,

$$\left(\frac{dC_1}{dP_1} - \lambda\right) dP_1 + \left(\frac{dC_2}{dP_2} - \lambda\right) dP_2 + \dots + \left(\frac{dC_N}{dP_N} - \lambda\right) dP_N = 0$$

Bu denklemin sıfır olabilmesi için her bir terimin ayrı ayrı sıfıra eşit olması gerekir, yani

$$\frac{dC_1}{dP_1} = \frac{dC_2}{dP_2} = \dots = \frac{dC_N}{dP_N} = \lambda$$

{ Dolayısı ile bütün artımsal maliyetler eşit olduğu zaman C_T maliyeti minimum olur.

ÖRNEK 3 Fosil yakıtlı ve iki üniteli bir bölgede ekonomik yük paylaşımı yapılacaktır. Ünitelere ilişkin değışken iletme maliyetleri aşağıda olduğu gibidir

$$C_1 = 10P_1 + 8 \cdot 10^{-3} \cdot P_1^2 \quad \$/h$$

60

$$C_2 = 8P_2 + 9 \cdot 10^{-3} \cdot P_2^2 \quad \$/h$$

Burada P_1 ve P_2 güçleri MW cinsindedir. Her bir ünitenin sırası gücünü, artımsal iletme maliyetini ve C_T toplam ^{en ekonomik iletme} maliyetini talep gücünün 500 ile 1500 MW arasında değışmesi durumunda hesaplayınız. [Not: Generator kısıtları ve iletme kayıpları ihmal edilmiştir]

Çözüm: Ünitelerin artımsal maliyetleri

$$\left. \begin{aligned} \frac{dC_1}{dP_1} &= 10 + 16 \cdot 10^{-3} \cdot P_1 \quad \$/MWh \\ \frac{dC_2}{dP_2} &= 8 + 18 \cdot 10^{-3} \cdot P_2 \quad \$/MWh \end{aligned} \right\} \frac{dC_1}{dP_1} = \frac{dC_2}{dP_2} \quad \text{olması duru-} \\ \text{munun ekono-} \\ \text{mik iletme} \\ \text{sayılacağından}$$

$$10 + 16 \cdot 10^{-3} \cdot P_1 = 8 + 18 \cdot 10^{-3} \cdot P_2$$

$$\text{aynı zamanda } P_1 + P_2 = P_T \Rightarrow P_2 = P_T - P_1$$

$$10 + 16 \cdot 10^{-3} \cdot P_1 = 8 + 18 \cdot 10^{-3} \cdot (P_T - P_1)$$

Buradan P_1 'i çekersek

$$P_1 = \frac{18 \cdot 10^{-3} \cdot P_T - 2}{34 \cdot 10^{-3}} = 0,5294 \cdot P_T - 58,82 \text{ MW}$$

C_T 'nin minimum olması durumunda artımsal maliyet

$$\begin{aligned} \frac{dC_2}{dP_2} = \frac{dC_1}{dP_1} &= 10 + 16 \cdot 10^{-3} \cdot P_1 = 10 + 16 \cdot 10^{-3} (0,5294 \cdot P_T - 58,82) \\ &= 9,0589 + 8,4704 \cdot 10^{-3} \cdot P_T \quad \$/MWh \end{aligned}$$

Böylece minimum iletme maliyeti

$$C_T = C_1 + C_2 = (10P_1 + 8 \cdot 10^{-3} \cdot P_1^2) + (8 \cdot P_2 + 9 \cdot 10^{-3} \cdot P_2^2) \quad \$/h$$

Talep için 500 ile 1500 MW arasındaki değişimleri için ekonomik yük paylaşımı aşağıdaki tabloda göstermiştir.

P_T	P_1	P_2	dC/dP_1	C_T
MW	MW	MW	\$/MWh	\$/h
500	206	294	13,29	5529
600	259	341	14,14	6901
700	312	388	14,99	8358
800	365	435	15,84	9899
900	418	482	16,68	11525
...	...	...	...	...
1400	682	718	20,92	20924
1500	735	765	21,76	23058

GENERATOR KISITLARININ ETKİSİ

Ekonomik Yük Paylaşımına

Generatör ~~Et~~ Etkisi:

Kısıtlarının

Herbir generatör ünitesi nominal değerinin üzerinde veya belirli bir değerin altında işletilmemelidir. Yani,

$$P_{\min} < P_i < P_{\max} \quad i=1,2, \dots, N$$

olmalıdır. Ekonomik yük paylaşımı açısından diğer bazı kısıtlarda göz önünde bulundurulabilir. Örneğin

- Bazı ünitelerin çıkışları, belirli iletim hatları veya bazı ekipmanlar aşırı yüklenmesini diye sınırlandırılabilir.
- Kötü hava şartları altında bazı ünitelerdeki üretim seviyesi, emisyon oranları azaltmak için sınırlandırılabilir.

Buradaki temel yaklaşım şu şekildedir.

Eğer herhangi bir ünite kendi limit değerlerine ulaşmış ise, o ünite veya üniteler o limit değerinde tutulur ve geride kalan üniteler, aynı artımsal iletim maliyetlerinde çalıştırılır. Burada bölgenin artımsal iletim maliyeti, limit değerlerine ulaşmamış ünitelere ilişkin ortak artımsal maliyete eşittir.

ÖRNEK 4: Örnek 3'teki problemi aşağıdaki kısıtları gözleterek yeniden çözümlü.

$$100 \leq P_1 \leq 600 \text{ MW}$$

$$400 \leq P_2 \leq 1000 \text{ MW}$$

$$\frac{dC_2}{dP_2}$$

Çözüm: Küçük güçlerde, ünite 2 minimum limit olan 400 MW değerinde çalışacaktır. Bu durumda artımsal maliyet $\frac{dC_2}{dP_2} = 15,2 \text{ \$/MWh}$ ilave yükler ünite 1'den karşılanacaktır.

$$\frac{dC_1}{dP_1} = 15,2 \text{ \$/MWh olana kadar}$$

veya

$$\frac{dC_1}{dP_1} = 10 + 16 \cdot 10^{-3} \cdot P_1 = 15,2 \Rightarrow P_1 = 325 \text{ MW}$$

Fakat P_T 'nin $400+325=725$ MW'tan az değerleri için $P_1 \leq 325$ MW'ta Bu durumda bölgenin artımsal maliyeti tek başına ünite 1 tarafından belirlenir.

Büyük yüklerde ise ünite 1 600 MW'lık maksimum limitinde kalacaktır. Bu durumda artımsal maliyet $\frac{dc_1}{dP_1} = 19,60$ \$/MWh. İlave yükler ünite 2'ye karşılanacaktır, öyleki bu durumda $\frac{dc_2}{dP_2} > 19,6$ \$/MWh olacaktır.

$\frac{dc_2}{dP_2} = 19,60$ \$/MWh iken $P_2 = 664$ MW olarak bulunur. Yani

$$\frac{dc_2}{dP_2} = 8 + 18 \cdot 10^{-3} \times P_2 = 19,60 \Rightarrow P_2 = 664 \text{ MW}$$

Fakat P_T 'nin $600+664=1264$ MW'tan büyük değerleri için $P_2 > 664$ t Bu durumda bölgenin artımsal maliyeti tek başına ünite 2 tarafından belirlenir.

$725 < P_T < 1264$ arasında ise hiçbir ünite limit değerlerine ulaşmamıştır. Ekonomik yük paylaşımı Örnek 3'teki gibi olacaktır.

500 ile 1500 MW arasında değişen yükler için bu örneğimizi dört eşyine aşağıdaki tablo ile özetleyebiliriz.

P_T [MW]	P_1 [MW]	P_2 [MW]	dc/dP [\$/MWh]	CT [\$/h]	
500	100	400	$\frac{dc_1}{dP_1} \begin{cases} 11,60 \\ 13,20 \\ 14,80 \\ 15,20 \end{cases}$	5720	
600	200	400		6960	
700	300	400		8360	
725	325	400		8735	
800	:	:	:	:	ÖRNEK 3 ile AYNI
...					
1200					
1244	600	644	$\frac{dc_2}{dP_2} \begin{cases} 19,60 \\ 20,60 \\ 22,40 \\ 24,20 \end{cases}$	17765	
1300	600	700		18890	
1400	600	800		21040	
1500	600	900		23370	

Ekonomik Yük Paylaşımına İletim Kayıplarının Etkisi:

Ünitenin herhangi birisi düşülmüş maliyeti ile oldukça yüksek verime sahip olabilir. Aynı zamanda aynı ünite yük merkezinden çok uzak bir konumda olabilir. Bu durumda bu ünite ile ilgili iletim kayıpları o kadar yüksek olduğu ekonomik yük paylaşımının yeniden değerlendirilmesi gerekir. Yani bu ünitenin etkisi için, ekonomik yük paylaşım stratejisi gereği değişir.

İletim kayıpları ekonomik yük paylaşım stratejisine dahil edilir ise toplam ^{yük} talep formülümüz aşağıdaki gibi olur.

$$\underbrace{P_1 + P_2 + \dots + P_N}_{\text{üretim}} - \underbrace{P_L}_{\text{kayıp}} = \underbrace{P_T}_{\text{Toplam yük talebi}} \quad \dots \dots \dots (A)$$

Burada;

P_T = toplam yük talebi

P_L = toplam iletim kayıpları olup $P_L = f(P_1, P_2, \dots, P_N)$

P_L sabit bir kayıp yük olmayıp ünitelerin etkisi gücüne bağlı olarak değişir. Yani $P_1, P_2, \dots, P_N$ 'e

(A) ifadesinin türevi alırsa

$$(dP_1 + dP_2 + \dots + dP_N) - \left(\frac{\partial P_L}{\partial P_1} \cdot dP_1 + \frac{\partial P_L}{\partial P_2} \cdot dP_2 + \dots + \frac{\partial P_L}{\partial P_N} \cdot dP_N \right) = 0$$

Bu ifade λ ile genişletilir ve "dC" ifadesinden çıkarılırsa

$$\left(\frac{dC_i}{dP_i} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_i} - \lambda \right) dP_i + \left(\frac{dC_2}{dP_2} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_2} - \lambda \right) dP_2 + \dots + \left(\frac{dC_N}{dP_N} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_N} - \lambda \right) dP_N = 0$$

Bu eşitlik ancak her bir terimin ayrı ayrı sıfıra eşit olması durumunda sağlanır. Yani

$$\frac{dC_i}{dP_i} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_i} - \lambda = 0 \Rightarrow \lambda = \frac{\partial C_i}{\partial P_i} \left(\frac{1}{1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_i}} \right)$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

ÖRNEK 5: Örnek 4 için iletim kayıpları aşağıda olduğu gibidir. 165

$$P_L = 1.5 \cdot 10^{-4} \times P_1^2 + 2 \cdot 10^{-5} \times P_1 \times P_2 + 3 \cdot 10^{-5} \times P_2^2 \text{ MW}$$

Burada P_1 ve P_2 güçleri [MW] cinsindedir. $\lambda = 16$ \$/mwh ise her bir ünitenin çıkışını, toplam iletim kayıplarını, toplam yük talebini ve toplam iletim maliyeti C_T 'yi bulunuz.

Çözüm: Artırımlı maliyetler

$$\lambda = \frac{dC_i}{dP_i} \left(\frac{1}{1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_i}} \right) \text{ olduğundan}$$

$$\frac{dC_1}{dP_1} \left(\frac{1}{1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_1}} \right) = \frac{10 + 16 \cdot 10^{-3} \times P_1}{1 - (3 \cdot 10^{-4} \times P_1 + 2 \cdot 10^{-5} \times P_2)} = 16$$

$$\frac{dC_2}{dP_2} \left(\frac{1}{1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_2}} \right) = \frac{8 + 18 \cdot 10^{-3} \times P_2}{1 - (6 \cdot 10^{-5} \times P_2 + 2 \cdot 10^{-5} \times P_1)} = 16$$

Yukarıdaki eşitlikler düzenlenirse

$$\left. \begin{aligned} 20.8 \cdot 10^{-3} \times P_1 + 32 \cdot 10^{-5} \times P_2 &= 6.00 \\ 32 \cdot 10^{-5} \times P_1 + 18.96 \cdot 10^{-3} \times P_2 &= 8.00 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} P_1 &= 282 \text{ MW} \\ P_2 &= 417 \text{ MW} \end{aligned}$$

Toplam
iletim kaybı

$$P_L = 1.5 \times 10^{-4} (282)^2 + 2 \cdot 10^{-5} (282)(417) + 3 \cdot 10^{-5} (417)^2 = 19.5 \text{ MW}$$

Toplam yük talebi

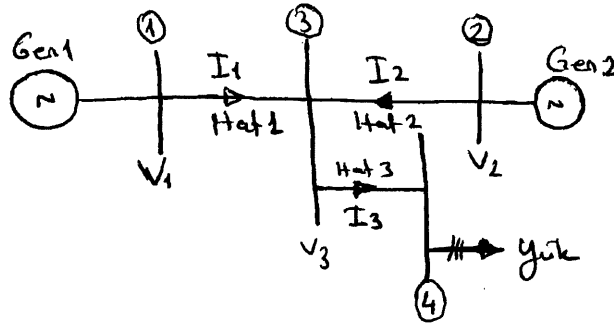
$$P_T = P_1 + P_2 - P_L = 282 + 417 - 19.5 = 679.5 \text{ MW}$$

Toplam iletim maliyeti

$$C_T = C_1 + C_2 = 10(282) + 8 \cdot 10^{-3} (282)^2 + 8(417) + 9 \cdot 10^{-3} (417)^2 = 8357 \text{ $/h}$$

KAYIP İFADESİNİN ÇIKARILIŞI

İletim kayıplarının ekonomik yük paylaşımı üzerindeki etkisini dikkate almak için, kayıp ifadesinin üretim birimlerinin etkisiz güçleri açısından ifade edilmesi gerekir. Bunun için aşağıdaki sistemi dikkate alalım. Şekilde iki elektrik santrali üç fazlı bir yükü beslemektedir.



Toplam üç fazlı iletim kaybı

$$P_{\text{kayıp}} = 3 (|I_1|^2 R_1 + |I_2|^2 R_2 + |I_3|^2 R_3)$$

Burada R dirençleri her bir hat için Ω/faz olarak verilmiştir.

$$|I_3| = |I_1 + I_2| = |I_1| + |I_2|$$

I_1 ve I_2 akımlarının arasında faz farkı olmadığını düşünelim. Bu akımlar P_1 ve P_2 güçleri açısından ifade edilebilir.

$$|I_1| = \frac{P_1}{\sqrt{3} |V_1| \cos \phi_1}$$

$$|I_2| = \frac{P_2}{\sqrt{3} |V_2| \cos \phi_2}$$

$\cos \phi_1$ ve $\cos \phi_2$ sırasıyla bara 1 ve bara 2'deki güç faktörleridir.

Yukarıdaki tüm akım ifadeleri $P_{\text{kayıp}}$ ifadesinde yerine yazılırsa

$$P_{\text{kayıp}} = P_1^2 B_{11} + 2 P_1 P_2 B_{12} + P_2^2 B_{22} \quad \dots \quad (A)$$

olup buradaki B_{11} , B_{12} ve B_{22} katsayıları aşağıda olduğu gibidir.

$$B_{11} = \frac{R_1 + R_3}{|V_1|^2 \cos^2 \phi_1} ; B_{12} = \frac{R_3}{|V_1| |V_2| \cos \phi_1 \cos \phi_2} ; B_{22} = \frac{R_2 + R_3}{|V_2|^2 \cos^2 \phi_2}$$

(AA) ifadesi n generatorl  bir sistem için genelle tirilecek

$$P_{\text{kayıp}} = \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^n P_k \cdot P_m \cdot B_{km}$$

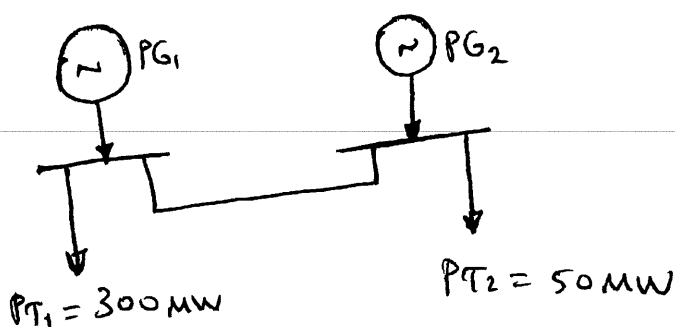
Burada $B_{mk} = B_{km}$ 'dir.

ÖRNEK: Generator limitlerinin göz ardı edildiği aşağıdaki sisteme ilişkin artımsal maliyet fonksiyonları ve kayıp ifadesi aşağıda olduğu gibidir.

$$IC_1 = \frac{dC_1}{dP_{G1}} = 0,007 \cdot P_{G1} + 4,1 \quad \$/\text{MWh}$$

$$IC_2 = \frac{dC_2}{dP_{G2}} = 0,07 \cdot P_{G2} + 4,1 \quad \$/\text{MWh}$$

$$P_L = 0,001 (P_{G2} - 50)^2 \quad \text{MW}$$



Her bir uniteye ilişkin optimal üretim miktarları ve iletim kayıpları bulunuz.

$$\lambda = \frac{\partial C_i}{\partial P_{Gi}} \left(\frac{1}{1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{Gi}}} \right) \quad \text{olduğunu biliyoruz.}$$

$L_i = \text{Penalty faktörü}$

kayıp ifadesinden
 nce $\frac{\partial P_L}{\partial P_{G2}}$ ifadesini hesaplayalım.

$$\frac{\partial P_L}{\partial P_{G2}} = 0,002 (P_{G2} - 50) = 0,002 P_{G2} - 0,1$$

iteratif bir  s r m ile sonucu g d lmemelidir.

L_1 penalti faktörü için ~~her zaman "5" olarak alınır.~~ ~~diğer limitler için~~ $L_i = \frac{1}{1 - \frac{\partial PL}{\partial PG_i}}$ $i=2,3,\dots,n$ 68
 $L_1 = 4.0$ kullanalım.

$$L_2 = \frac{1}{1 - \frac{\partial PL}{\partial PG_2}} = \frac{1}{1 - (0.002 PG_2 - 0.1)} = \frac{1}{1.1 - 0.002 PG_2}$$

optimal yük paylaşım kuralını uygularsak

$$L_1 \frac{dC_1}{dPG_1} = L_2 \frac{dC_2}{dPG_2} = \dots = L_n \frac{dC_n}{dPG_n} = \lambda$$

{ Burada L_i 'ler penalti faktörleridir.

$$L_1 \cdot \frac{dC_1}{dPG_1} = 0.007 PG_1 + 4.1 = \lambda$$

$$L_2 \frac{dC_2}{dPG_2} = \frac{1}{1.1 - 0.002 PG_2} (0.007 PG_2 + 4.1) = \lambda$$

$$PG_1 = \frac{\lambda - 4.1}{0.007}$$

$$PG_2 = \frac{1.1\lambda - 4.1}{0.007 + 0.002\lambda}$$

} λ başlangıç değerini "5" olarak verelim.

Bu durumda $PG_1 = 128.6 \text{ MW}$, $PG_2 = 82.4 \text{ MW}$, $PL = 1.0 \text{ MW}$

$PG_1 + PG_2 - PL = 210 \text{ MW}$ olup $PT = PT_1 + PT_2 = 350 \text{ MW}$ 't küçüktür. Bu durumda λ 'yı büyütmemiz gerekir. $\lambda = 6$ seçersek

$$PG_1 = 271.4 \text{ MW}, PG_2 = 82.35 \text{ MW}, PL = 1.046 \text{ MW}$$

$$PG_1 + PG_2 - PL = 352.7 \text{ MW}$$

Bir kaç iterasyonun sonra

$$PG_1 = 227.72, PG_2 = 117.65, PL = 4.58 \text{ ve } PG_1 + PG_2 - PL = 340.8 \text{ olarak bulduk}$$

PENALTI FAKTÖRÜNÜN HESAPLANMASI

Kayıp ifadesi PL'nin direkt olarak verildiği durumlarda penalti faktörünün hesaplanması verilmis idi. Eğer kayıp ifadesi PL belirli bir formülasyon ile verilmedi ise;

- Bu durumda C_i maliyet fonksiyonu ve $\frac{dC_i}{dP_{Gi}} = IC_i$ artımsal maliyet fonksiyonu per-unit sisteme giren güçleri ifade edilmelidir.

Maliyet fonksiyonunun genel formatı

$$C_i = \alpha_i + \beta_i \cdot P_{Gi} + \gamma_i \cdot P_{Gi}^2 \quad [\$ / h] \quad \dots (1)$$

şeklinde iken, artımsal maliyet fonksiyonu

$$IC_i = \frac{dC_i}{dP_{Gi}} = \beta_i + 2\gamma_i \cdot P_{Gi} \quad [\$ / MWh] \quad \dots (2)$$

şeklinde olur. $P_{Gi} = P_{Gi(pu)} \times \underset{\substack{\downarrow \\ [Mw]}}{S_B^{3\phi}}$ ifadesini kullanarak C_i ve IC_i

ifadelerini yeniden yazarsak

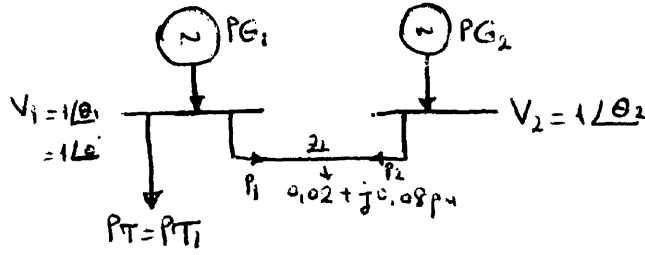
$$C_i = \alpha_i + \beta_i \cdot S_B^{3\phi} \cdot P_{Gi(pu)} + \gamma_i (S_B^{3\phi})^2 \cdot P_{Gi(pu)}^2 \quad [\$ / h] \quad \dots (1*)$$

$$IC_i = \frac{dC_i}{dP_{Gi}} = \beta_i + 2\gamma_i (S_B^{3\phi}) \cdot P_{Gi(pu)} \quad [\$ / MWh] \quad \dots (2*)$$

Görüleceği üzere burada per-unit sisteme geçiş oldukça kolay

(1) ve (2) formüllerinde, sırası ile γ_i yerine $\gamma_i (S_B^{3\phi})^2$ ve $\gamma_i (S_B^{3\phi})$ yazıyoruz. β_i yerine ise sadece (1) formülünde $\beta_i (S_B^{3\phi})$ yazıyoruz

ÖRNEK: Generatör kısıtları ihmal edilen aşağıdaki sistemi göz önünde bulunduralım.



$$IC_1 = 0.007 \cdot PG_1 + 4.1 \text{ ¢/MWh}$$

$$IC_2 = 0.007 \cdot PG_2 + 4.1 \text{ ¢/MWh}$$

$$S_B^{3\phi} (\text{Bar gücü}) = 100 \text{ MW}$$

Optimum yük paylaşımını bulunuz.
Çözüm:

(2*) eşitliğini kullanarak

$$IC_1 = 4.1 + 0.7 \cdot PG_1 (\text{pu}) \text{ [¢/MWh]}$$

$$IC_2 = 4.1 + 0.7 \cdot PG_2 (\text{pu}) \text{ [¢/MWh]}$$

{ Örneğin bunu kontrol edelim.
 $PG_1 = 100 \text{ MW}$ olsun. Bu durumda
 $PG_1 (\text{pu}) = \frac{100 \text{ MW}}{100 \text{ MW}} = 1 \text{ pu}$ olur.
 Bu durumda:
 $IC_1 = 4.1 + 0.7 \cdot 1 = 4.8 \text{ ¢/MWh}$
 olur ki bir önceki formülle aynı sonucu verir.

Hattın hesapları;

$$Z_L = 0.02 + j0.08 \text{ pu} \Rightarrow Y_L = Z_L^{-1} = 2.94 - j11.76$$

Genel olarak $Y = G + jB$ olarak verildiğinden
 ↑ ↑
 iletkenlik süseptans

Hattın parametreleri

$$G_{11} = G_{22} = 2.94$$

$$G_{12} = G_{21} = -2.94$$

$$B_{11} = B_{22} = -11.76$$

$$B_{12} = B_{21} = 11.76$$

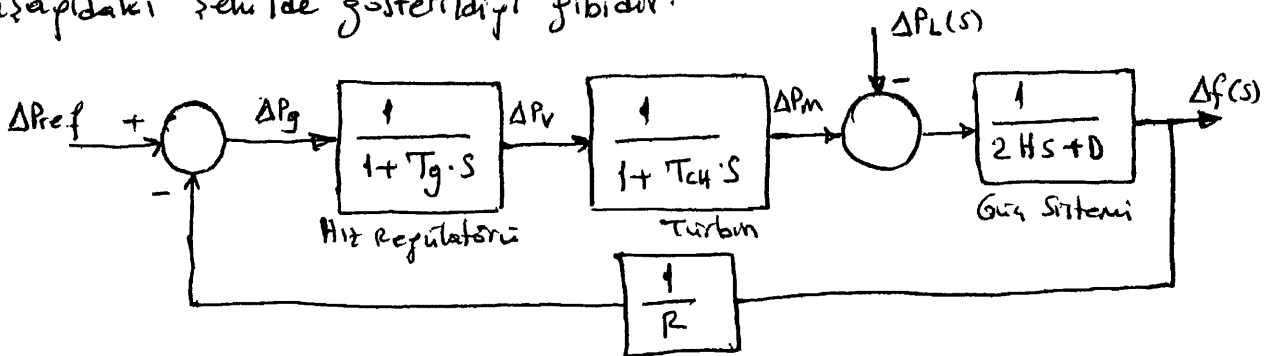
GÜÇ SİSTEMLERİNDE KONTROL TEKNİKLERİ - ÖDEV-1

- 1- Gücü 250 MW olan ve 60 Hz frekansında çalışan bir türbin generatör ünitesine ilişkin hız regülasyon katsayısı $R = 0.5$ 'tir. Generatör frekansı sürekli halde 60 Hz'ten 59.7 Hz'e düşmüştür. Buna göre türbin çıkış gücündeki artışı bulunuz. [Bazı değerler, sistemin kendi nominal değerleridir.]
- 2- Nominal güçleri 250 MW ve 400 MW olan iki generatör paralel olarak çalışmakta ve 500 MW'lık yükü paylaşmaktadır. 250 MW'lık generatörün hız regülasyon oranı %6 iken 400 MW'lık generatörün hız regülasyon oranı ise %6.4'tür. Hız regülatörleri ile herhangi bir kontrol yapılmaksızın generatörlerin paylaştıkları yük miktarlarını bulunuz.
- 3- Kendi nominal değerleri batına göre regülasyon oranları sırasıyla %4 ve %1 olan generatörlerin nominal değerleri 400 ve 800 MW'dır. Aynı bslp. içerisinde bulunan bu generatörler paralel olarak çalışmakta ve 700 MW'lık yükü paylaşmaktadır. Ünite-1 200 MW'lık yükü karşılarken Ünite-2 ise 500 MW'lık yükü paylaşmakta karşılanmaktadır. Nominal frekans 1 pu (60 Hz) 'tir. Eğer yükte 130 MW'lık bir artış olur ise;

(a) Frekansa duyarlı yüklerin olmadığını kabul ederek ($D=0$) sürekli-hal frekans sapmasını ve ünitelerin yeni üretimlerini bulunuz.

(b) Yükün her %1'lik frekans değişimine karşılık %0.804 oranında değiştiğini kabul ederek ($D=0.804$) sürekli-hal frekans sapmasını ve ünitelerin yeni üretimlerini bulunuz.

- 4- İzole bir güç istasyonunun yük-frekans kontrol blok diyagramı aşağıdaki şekilde gösterildiği gibidir.



$$T_{CH} = 0.15 \text{ sn}$$

$$T_g = 0.25 \text{ sn}$$

$$H = 8 \text{ sn}$$

$$D = 1.6$$

(b) "rlocus" MATLAB komutunu kullanarak root-locus çizimini bulunuz.

(a) stabilite kriterinin belirlenmesinde kullanılan "Routh tablosunu" oluşturunuz ve hız regülasyon oranı R'nin sınırlarını kontrol stabilitesi açısından belirleyiniz.

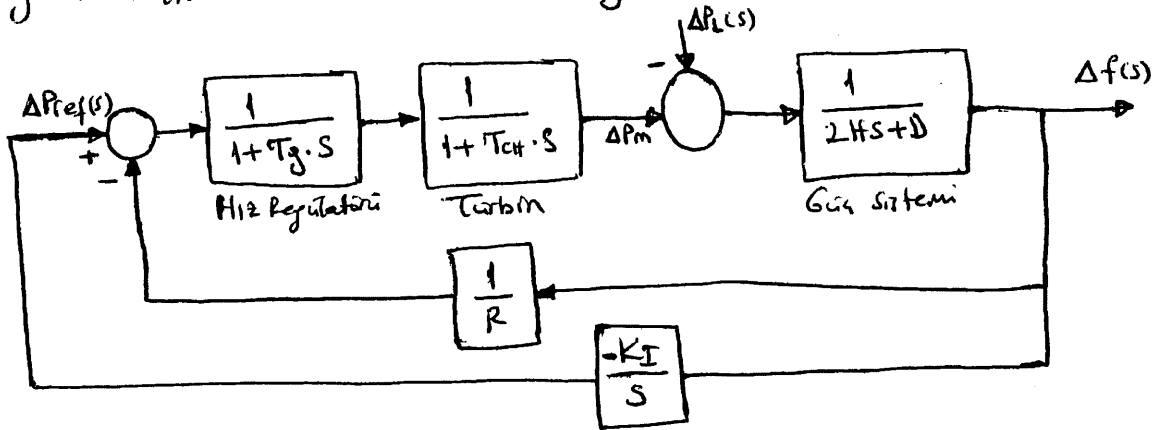
5- Problem (4)'teki ünitenin hız regülasyon oranı $R=0,04$ p.u değerine ayarlı iken 50 MW'lık bir yük artışı olsun. [Türbin giriş gücü 200 MW ve frekansı 60 Hz'dir]. Yani $\Delta P_L = \frac{50}{200} = 0,25$ p.u'dur. Bu durumda

(a) Sürekli-hal frekans sapması kaç Hz'dir.

(b) Kapalı-çevrim transfer fonksiyonunu elde ediniz ve MATLAB'i kullanarak adım değışim cevabı için frekans sapmasını bulunuz. ["step komutunu kullan"]

(c) Sistemin simülink blok diyagramını elde ediniz ve frekans cevabını elde ediniz.

6- Problem (5)'teki yük-frekans kontrol sisteminde otomatik üretim kontrolünü gerçekleştirmek üzere ikinci integral kontrol çevrimini eklenmiştir.



(a) $\Delta P_L = 0,25$ p.u yük artışı için MATLAB "step" fonksiyonunu kullanarak frekans sapmasını bulunuz [$K_I = 9$ alınız.]

(b) Frekans sapmasına ilişkin sistem cevabını (a) şikendaki şartlar için SIMULINK blok diyagramını oluşturarak elde ediniz.

7- Bağlantı hatlarıyla birbirine entekonnekte olan iki bölge'li bir sistemin 1000 MVA ortak bazına göre verilmiş parametreleri aşağıdaki tabloda olduğu gibidir.

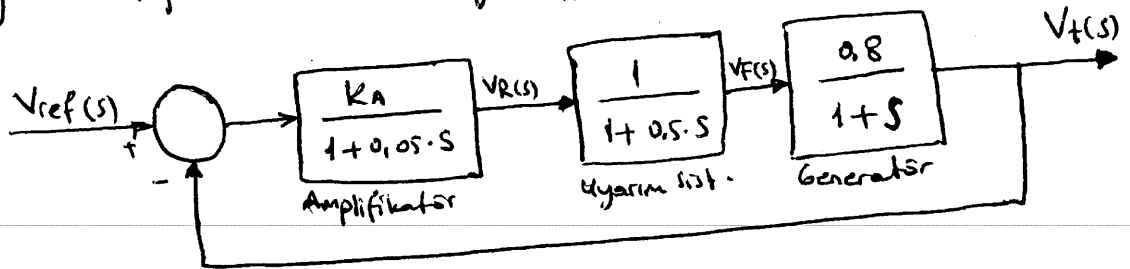
Bölge-1	Bölge-2
$R_1 = 0,105$	$R_2 = 0,0625$
$D_1 = 0,6$	$D_2 = 0,9$
$H_1 = 5$	$H_2 = 4$
$T_{g1} = 0,2 \text{ sn}$	$T_{g2} = 0,3 \text{ sn}$
$T_{ch1} = 0,5 \text{ sn}$	$T_{ch2} = 0,6 \text{ sn}$

Üniteler 60 Hz frekansında paralel olarak çalışmaktadırlar. Eş zamanlılık katsayısı başlangıç koşullarından hesaplanmış olup $T_{12} = 2,0$ p.u. olarak verilmiştir. Bölge-1'de 200 MW'lık, Bölge-2'de ise 150 MW'lık yük artışı eşzamanlı olarak gerçekleşmiştir.

- Sürekli-hal frekans değerini ve bağlantı hattındaki güç akış değişimini bulunuz, ve sistemin kontrol blok diyagramını çizin.
- (a)'daki şartlar için SIMULINK blok diyagramını oluşturunuz ve sistemin frekans cevabını elde ediniz. (ikincil kontrol devre dışı)

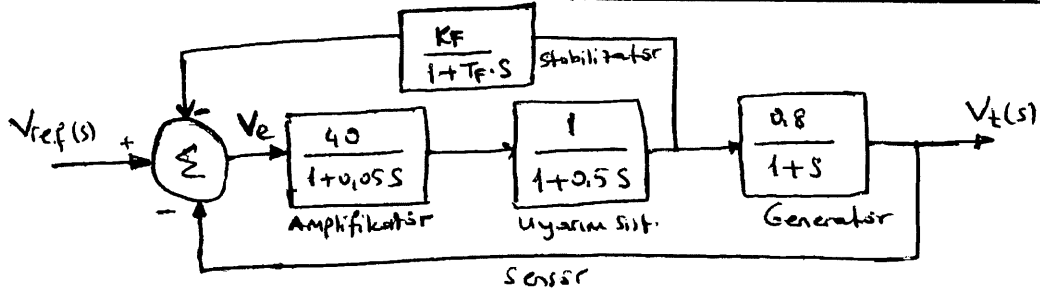
8- Problem (7)'deki iki-bölgeli sisteme bölge-kontrol-hatalarının dahil edilmesi durumunda SIMULINK modelini oluşturunuz ve her bir bölge için frekans ve güç cevaplarını ve bağlantı hattı güç akış cevabını elde ediniz.

9- Bir üretim biriminin basitleştirilmiş ve lineerleştirilmiş "otomatik gerilim regülasyonu" aşırıdaki blok şemasıyla gösterildiği gibidir.



- Stabilite kriterinin belirlenmesinde kullanılan "Routh tablosunu" oluşturunuz ve K_A kazancının değişim sınırlarını kontrol stabilitesi açısından belirleyiniz.
- MATLAB fonksiyonu "rlocus" 'u kullanarak root-locus çizimini bulunuz ve yorumlayınız.
- Kapalı-çevrim transfer fonksiyonunu elde ediniz ve MATLAB "step" fonksiyonunu kullanarak, sistemin adım cevabını elde ediniz.
- SIMULINK blok diyagramını oluşturunuz ve adım cevabını elde ediniz.

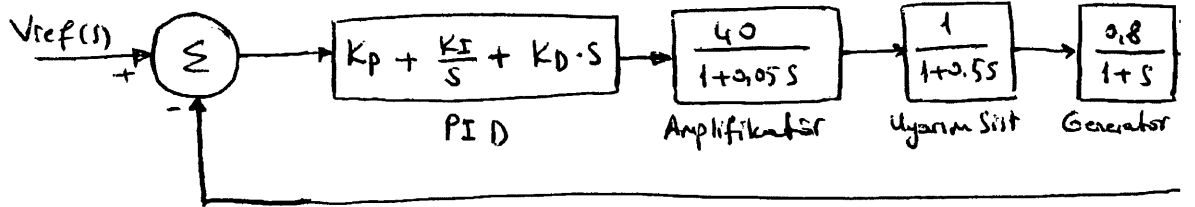
10- Problem (9) 'daki "otomatik gerilim regülasyonu" blok diyagramına bir 14-gv besleme elemanı (stabilizatör) eklenmiştir. Şekilde gösterilen stabilizatörün zaman sabiti $T_f = 904$ sn ve Türev kazancı $K_F = 0,1$ olarak verilmiştir.



(a) Kapalı çevrim transfer fonksiyonunu elde ediniz ve MATLAB "step" fonksiyonunu kullanarak sistemin adım cevabını elde ediniz.

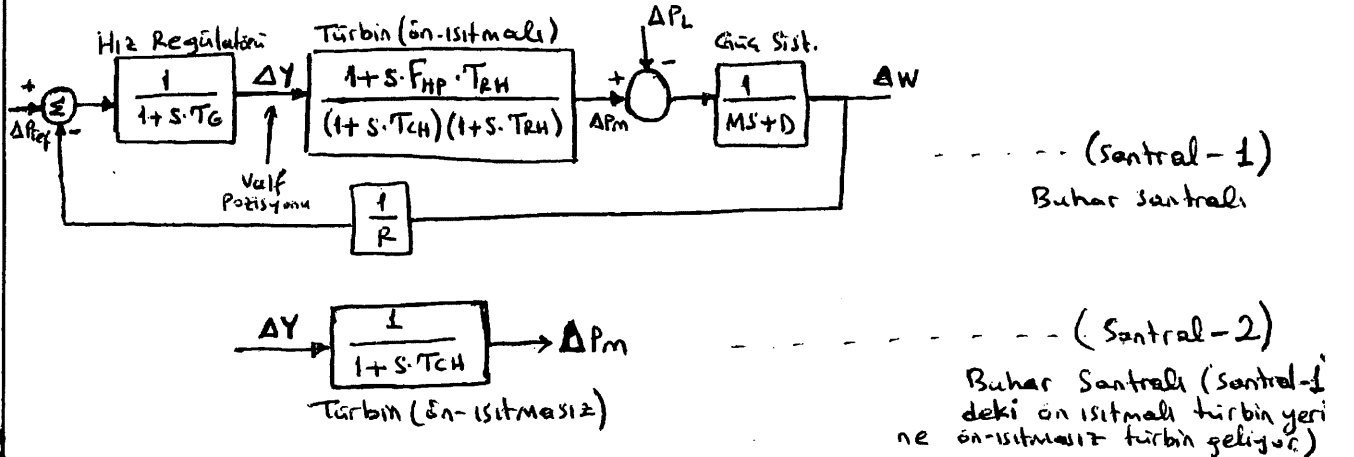
(b) SIMULINK blok diyagramını oluşturunuz ve adım cevabını elde ediniz

11. Problem (5)'teki "otomatik gerilim regülasyonu" blok diyagramına bir PID kontrolör eklenmiştir.



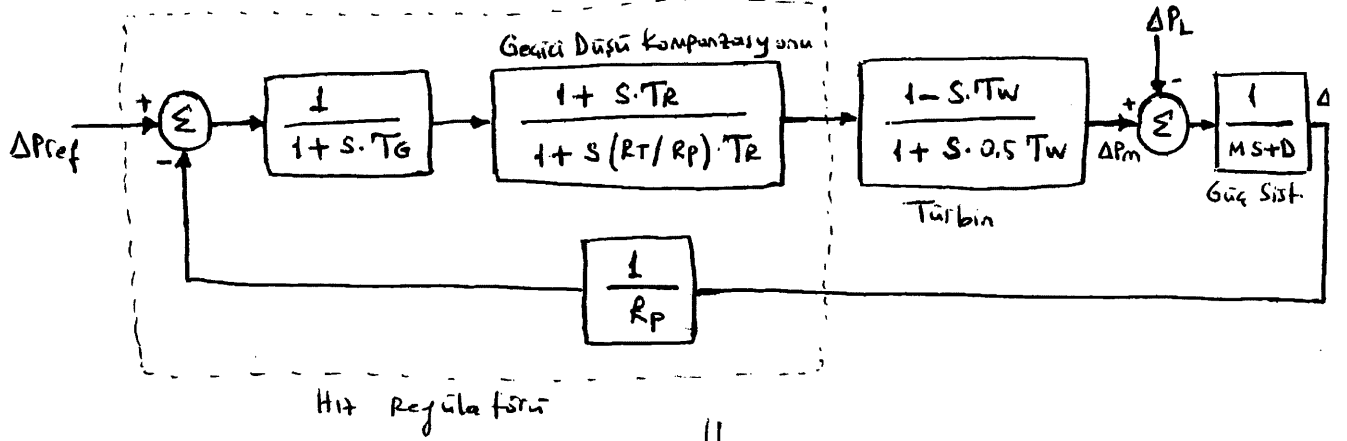
Simulink blok diyagramını oluşturunuz ve $K_p=0.2$ olarak alınız. K_I ve K_D katsayılarını ise adım cevabını minimum sürede kontrol edecek şekilde ayarlayınız. [K_I ve K_D için önerilen sınırları: $[0.15; 0.3]$ arası]

12. Aşağıda blok diyagramları verilen buhar ve hidrolik santrallerine ilişkin SIMULINK blok diyagramını oluşturunuz ve yük talebinde küçük bir adım artışı olması durumunda (a) Türbin valflerindeki pozisyon değişimlerini (b) Mekanik güç değişimlerini (c) Hız (frekans) sapmalarındaki değişimleri her iki santral için aynı grafik üzerinde karşılaştırmalı olarak elde ediniz



Santral-1 ve Santral-2'ye ilişkin parametreler aşağıdaki gibidir.

$$\begin{array}{llll} R = 0,05 & T_G = 0,2 \text{ sn} & F_{HP} = 0,3 & T_{RH} = 7,0 \text{ sn} \\ T_{CH} = 0,3 \text{ sn} & F_P = 0,7 & M = 10,0 \text{ sn} & D = 1,0 \text{ sn} \end{array}$$

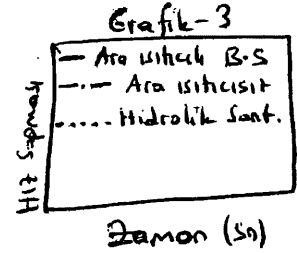
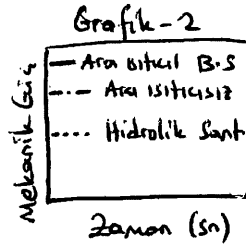
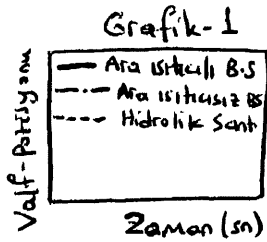


Santral-3 (Hidrolik Santral)

Santral-3'e ilişkin parametreler aşağıdaki gibidir.

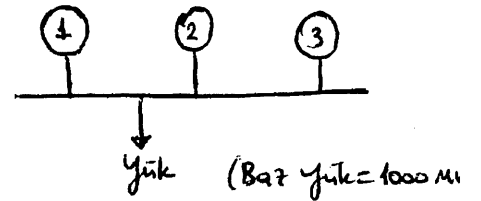
$$\begin{array}{llll} R_P = 0,05 & T_G = 0,2 \text{ sn} & M = 6,0 \text{ sn} & D = 1,0 \\ T_W = 10 \text{ sn} & R_T = 0,38 & T_R = 5,0 \text{ sn} & \end{array}$$

Not: İstenilen grafikler aşağıdaki formatta olacak



13- Üç generator ünitesine sahip tek kontrol bölgesi bir sisteme ilişkin hız regülasyon katsayıları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Ünite	Nominal Güç	Hız Regülasyon Katsayısı, R
1	100 MVA	0,01
2	500 MVA	0,015
3	500 MVA	0,015



Ünitelerin başlangıç yükleri şu şekildedir.

$$P_1 = 80 \text{ MW}$$

$$P_2 = 300 \text{ MW}$$

$$P_3 = 400 \text{ MW}$$

50 mw'lık bir yük artışı sonucunda

a) $D = 0$

b) $D = 1.0 \text{ pu}$ (Baz yük'e göre) $\rightarrow$ [Bütün büyüklükler ortak baza göre hesaplanacak]

olması durumunda her bir ünitenin yeni üretim seviyeleri ne olur?

14- Bağlantı hattı ile birbirine bağlı iki kontrol bölgesine ilişkin karakteristik büyüklükler aşağıdaki gibidir.

<u>Bölge-1</u>	<u>Bölge-2</u>
$R_1 = 0.01 \text{ pu}$	$R_2 = 0.02 \text{ pu}$
$D_1 = 0.8 \text{ pu}$	$D_2 = 1.0 \text{ pu}$
Baz Güç = 2000 MVA	Baz Güç = 500 MVA

1. ci bölgede 100 mw'lık bir yük artışı olması durumunda sürekli-hal frekans sapmasını ve bağlantı hattındaki ve bağlantı hattı güç-akış değişimini bulunuz. ($f = 60 \text{ Hz}$)

15- Tek kontrol bölgesi bir güç sisteminde 2 adet türbin-generatör ünitesinin nominal güçleri sırasıyla 500 ve 750 mva 'dır. Sistem frekansı 60 Hz olup, hız regülasyon katsayıları kendi nominal değerleri bazına göre sırasıyla $R_1 = 0.04 \text{ pu}$ ve $R_2 = 0.05 \text{ pu}$ tür. Sistem yükü ani olarak 250 mva artmıştır.

(a) Bölge frekans cevap karakteristiği β 'yı 1000 mva bazına göre hesaplayınız.

(b) Δf frekans sapmasını pu ve gerçek değer cinsinden hesaplayınız.

TESLİM TARİHİ :

04 Haziran 2008