

# YÜK ATMA \*

Yazan :  
Necmi UYAK  
TEK

## ÖZET

Yüksek gerilimi sistemimiz iyi enterkonnekte olmadığı için, gelecekte birtakım işletme ve özellikle stabilite problemleri doğurması beklenmektedir. Bir anza sırasında bir generatörün veya enerji nakil hattının devreden çıkması, sistemin bölünmesine ve bölünen bölgelerde üretim-yük dengesinin kaybolmasına neden olacaktır. - Böyle durumlarda üretim ile yük arasındaki dengeyi sağlayabilmek ve sistemin oturmasını önleyebilmek için «Yük Atma» diye tanımlanan İşleme başvurulabilir. Bu yöntem ile, aşırı yüklemeler sırasında düşük frekans röleleri kullanılarak otomatik olarak bazı yükler şebekeden atılabilir.

## SUMMARY:

in the future problems of service and especially stability may arise due to the our badly interconnected system. in case of fault, a generator or a high voltage transmission line can be out of service and system is broken in parts. This causes unbalance in generation-load equilibrium. Under these conditions to achieve the balance between generation and load, and to prevent system break-down «Load rejecting» may be used. For overload conditions by using minimum frequency relays part of the load may be rejected automatically with this method

## GİRİŞ

Müşteriye kaliteli ve devamlı elektrik enerjisinin sağlanması elektrik üretim endüstrisinin ilk ve en önemli hedefidir. Bu hedefe erişmek gayesi ile, kuvvetli akım. elektrik sistemleri tasarlanırken işletmede karşılaşılabilecek bütün olağan üstü durumlar hesaba katılır ve bu durumlarda gerekli yükü beslemek için yeteri derecede üretim kapasitesinin bulunmasına çalışılır. Bu tip tasarımı ve İşletme metodları sistem emniyetini sağlamakta oldukça başarılı olmuştur. Fakat sistem, tasarımı ve işletmesinde bu emniyet faktörü ne kadar büyük olursa olsun, sistem işletme şartlarının, arızaların, hataların ve diğer arıza hallerinin önceden tahmin edilemeyen kombinezonları; umumiyetle sistemin bölünmesine ve bölünen bölgelerde bölgedeki yükü (besleyemeyecek derecede yetersiz elektrik üretimine sebep o'abilir. Böyle olağanüstü bir durum modern bir enterkonnekte sistemde ciddi ve tehlikeli bir lâkım arızaların meydana geldiğine delâlet eder. Dolayısıyla böyle bir arızanın hemen teabit edilip gerekli önleyici ve onarıcı tedbirlerin alınması zaruridir.

Tipik bir enterkonnekte sistem arızı haline örnek, bir generator ünitesinin veya iletim şebekesinin, bir arızadan dolayı, devreden çıkmasıdır. Bu arızı hal sistemin bölünmesine sebep olabilir ve bu olayı takiben bazı bölgeler aşırı üretime, diğerleri ise yeterli olmayan üretime sahip olacaktır. Bu üretim - yük dengesizliği ise, üretimin aşırı olduğu bölgelerde generatorlerin hızlanmasına, üretimin kafi gelmediği böl-

gelerde ise yavaşlamasına sebep olur. Böylece generatörler arasındaki senkronizim kaybolur ve sistem stabilitesi bozulur.

Böyle bir olağanüstü durumu kontrol etmek ve normal işletmeye dönüğü sağlamak için elde mevcut kontrol fonksiyonları' iki gruba ayrılabilir.

### I. Devamlı dinamik kontrol:

1. Hız regülatörü yardımı ile,
2. Gerilim regülatörü yardımı ile.

### II. On - off tipi kontrol :

1. Yük atma,
2. Üretim atma,
3. Kesici operasyonu.

Arıza sırasında I. gruptaki kontrollerin cevap verme zamanları n. gruptakilere nispeten çok yavaştır ve II. gruptakiler arasında da yük atma operasyonu, olağanüstü hâl sırasında enterkonnekte sistemin stabilitesi açısından en etkili olanıdır.

Gelecekte Keban - Gölbaşı EHV nakil hattı işletmeye girdiğinde, bir takım stabilite problemleri doğuracağı tahmin edilmekte ve aşırı yüklemeler, yük atma ile önlenmeye çalışılacaktır.

## YÜK ATMA

Bir olağanüstü hâl sırasında üretim ile yük arasında bir denge sağlanabilmek için, ya üretim artırılmalı veya frekans düştüğünde otomatik yük atma uygulanmalıdır. Birinci alternatif yavaş olması itibariyle, tesirli olmaktan

\* -8.2.1972- tarihinde EİE İdaresi salonunda ve-  
rilmıştır.

uzaktır. İkincisi (Yük atma) ise üretim - yük dengesini sağlamak ve frekansı tekrar normale getirmek için oldukça hızlı ve tesirli bir uygulama değildir.

Bütün yük bölgelerinde, belirli frekanslarda kademeli bir şekilde ayarlanmış, olan düşük frekans rölelerinin uygulanması, sistemdeki aşırı yüklemeleri hafifletmek ve elektrik enerjisi iletimindeki aksamaları asgariye indirmek için basit ve uygulaması kolay bir metod teşkil eder. Aşırı yüklemelere yol açan büyük dış etkilerin sebebi çok kere bilinmediği ve enterkonnekte sistemin oturması bir an meselesi olduğu için, yük atma uygulaması süratli ve otomatik olmalıdır.

### SİSTEM KARAKTERİSTİKLERİ

Düşük frekans rölelerinin yük atma maksadı ile uygulanabilmesi için, aşırı yüklemeler sırasında ve aşırı yükler atıldıktan sonra sistem frekansının nasıl değiştiğine dair bazı bilgilerin bilinmesi zaruridir.

Böyle bir analiz için çok sayıda değişkenin göz önünde bulundurulması icap ettiğinden, genel olarak büyük bir enterkonnekte sistemin frekans karakteristiğini kesin olarak tesbit etmek oldukça zordur.

Genel olarak, sistemin üretim kapasitesindeki ani düşmele sistem frekansının düşmesine sebep olur. Frekansdaki bu düşmeler ani olmayıp, belli bir hızda olmaktadır.

Frekansta başlangıçtaki düşme ihtz aşırı yük miktarı ve sistemin atalet momenti ile orantılıdır. Fakat, frekans düştükçe üretim momentinde bir artma, yük momentinde ise bir azalma olacaktır, bu iki faktörün toplam etkisi ise frekans düşmesinde bir frenleme olacaktır. Hız regülatörünün tesiri göz önüne alınmazsa, üretin ve yük momentlerindeki bu değişimler sistem frekansının altında bir seviyeye kadar düşüp orada kalmasına sebep olur. Eğer bu regülatörlerinin tesiri hesaba katılırsa frekans düşmesi daha da yavaşlandırılacak ve eriştiği son frekans değeri ilk ştkka nazaran daha yüksek olacaktır. Her iki durumda da sistem normal frekansın altında bir frekansta çalışmak zorunda kalacak, bu ise bir takım düzeltli müdahalelerde bulunulmadığı takdirde, daha fazla üretim kapasitesinin kaybına sebebiyet verecektir.

Böyle bir arıza esnasında frekans değişmesi düzgün bir düşme şeklinde olmayıp, makinelelerin birbirine tesir etmesinden dolayı osilasyonlar halindedir. Frekansın düşüş hızı ve bu osilasyonların periodu sistemin değişik bölgelerinde farklı değerlere sahiptir. Frekans düşme-

sinin hızı bazı haralarda diğerlerine nazaran daha büyük olacaktır. Bu osilasyonların özellikleri ancak detaylı ve bilgi sayarlardan faydalanarak yapılan analizlerle elde edilebilir. Bir olağanüstü durum sırasında sistemin hangi noktalarda bölüneceği önceden kesinlikle tayin edilemediği için, bu tip çalışmalar oldukça zordur. Sistemin [ zayıf ve bir arıza sırasında bölünmesi muhtemel noktalarını tahmin edebilmek için stabilite analizleri yapılmalıdır.

### FREKANS KARAKTERİSTİĞİ

Bu bölümde yapılacak analizde, hız regülatörleri ve dönen rezervler hesaba kaUlunuyacaktır. Çünkü bu faktörlerin etkilerini kati olarak genelleştirmek mümkün değildir. Hız regülatörlerinin bir arıza sırasında üretim gücünü artırıp arttırmıyacağı bir takım faktörlere bağlıdır. Bu faktörler (generatörün ilk yükü, kontrol hassasiyeti, kazan zaman sabitesi vs. olarak sayılabilir ve her sistem için değerleri farklıdır.

#### 1. Yük ve generatör momentleri sabit :

Frekansın zamanın bir fonksiyonu olarak değişmesini tanımlayan bağıntı, dönen elektrik makinalarının aşağıda verilen hareket denkleminde elde edilebilir :

$$\frac{df}{dt} = \frac{T_a}{2H} f_0 \quad (D)$$

Bu denklemden

$$\frac{df}{dt} = \text{Frekansın değişme hızı (Hz/saniye)}$$

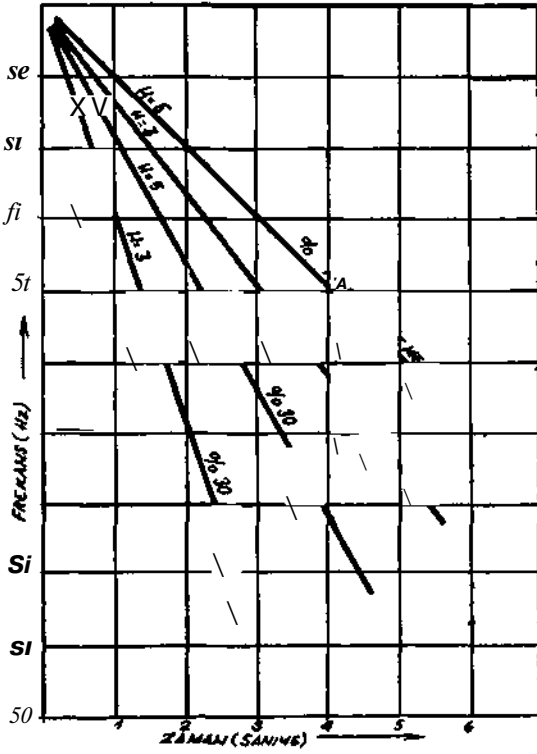
$$f_0 = \text{Baz frekans (Hz)}$$

$$T_a = \text{Net hızlandırıcı moment; o andaki sistem üretimde baz alınarak «per unit» olarak hesaplanır. Bu moment, generatör ve yük /momentleri arasındaki farka eşittir (T_G - T_L).$$

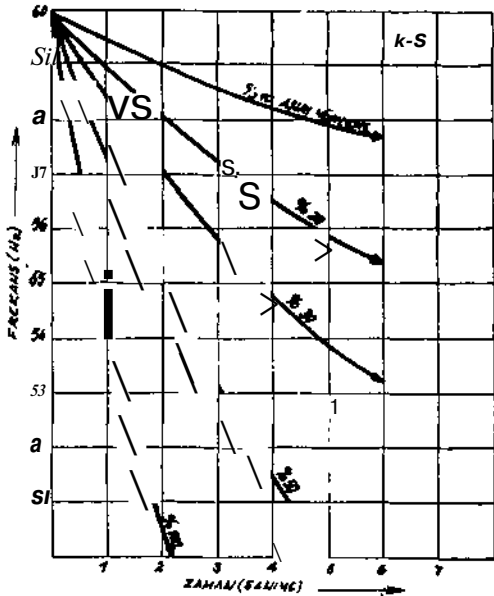
$$H = \text{Sistem atalet sabitesi. Bu sabite sistemdeki bütün generatörlerin atalet sabitelerinin toplamına eşittir ve toplam üretim baz alınarak «per unit» olarak ifade edilir.}$$

Arta kalan generatör momenti  $T_0$  ile yük momenti  $T_L$  'nin bozucu bir dış etki birasında sabit kalacağı varsayımı olarak kabul edilirse, değişik yükler ve atalet sabiteleri için frekansın bir zaman fonksiyonu olarak değişmesi Şekil Tde görüldüğü gibi doğrusaldır. Aşırı yüklenme yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır :

$$\% \text{ aşırı yüklenme} = \frac{\text{Yük - geriye kalan üretim}}{\text{Geriye kalan üretim}} \cdot 100$$

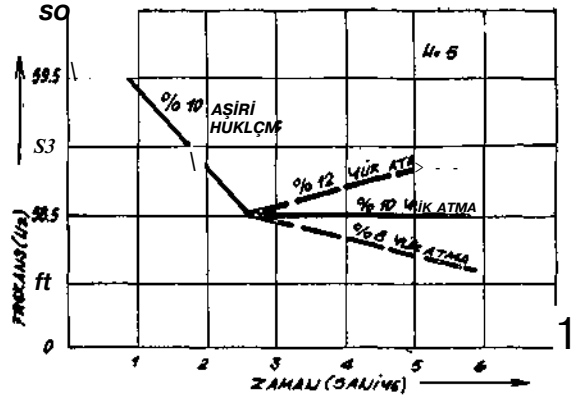


ŞekU 1a.  
Frekans - zaman karakteristiği  
(G=neratör ve yük momentleri sabit)

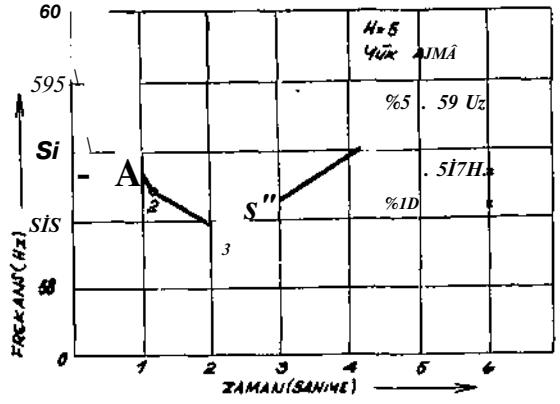


ŞekU 1b.  
Frekans - zaman karakteristiği (Generatör ve  
yük momentleri frekansın fonksiyonu  
olarak değl^tr).

Sistemin yük atıldıktan sonra normale dönme karakteristiği de denklem l'den. elde edilebilir. Frekans düşme ve tekrar normale dönme eğrileri ŞekU 2a'da görülmektedir.



Değişik miktarlarda yük atma.



Şekil 2a.

Bir kaç kademede yük atma.

Yukarda gösterilen yol sistemdeki ani bir üretim düşmesi anındaki frekans karakteristiğini tesfiit etmek için basit ve yaklaşık bir metoddur. Sistem' frekansının düşme hızının pratikteki değerleri bu metoddla elde edilen değerlerden daha düşüktür.

2. Generatör ve yük momentlefindeki değig-melerin tesirleri :

Generatörün momentini frekansla ters .orantılı olarak değişir :

$$T_r = \frac{k}{f} \quad k = \text{Bir sabite} \\ T_G = \text{Generatör momentini}$$

Yük momentini ise frekansın bir fonksiyonu olarak aşağıda görüldüğü gibi değişir.

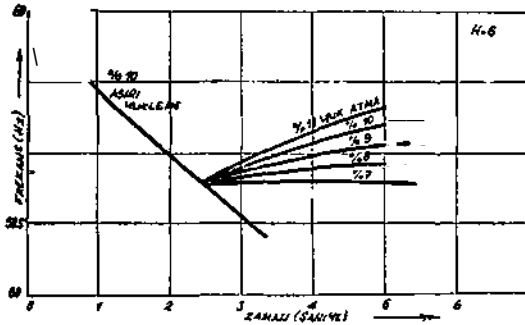
$$P_L = k(DL) \\ T_r = -\frac{P_L}{f} = kf D_r - 1$$

$P_L$  yükünün frekansla değişmesi hususunda sistemler için geçerli bir genelleştirme yapmak

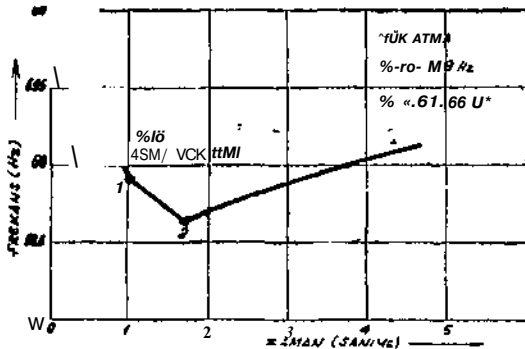
mümkün değildir. Ancak yapılan bazı çalışmalar, yükün frekansla düşüş faktörü olan ( $D_L$ ) değerinin yaklaşık olarak 1,5 olduğunu göstermiştir [1]. Bir yük atma programında, bu faktör için kullanılan nümerik değerın önemini incelemek içinde bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu faktör için kullanılan nümerik değerin elde edilen sonuçlar üzerinde pek az tesir yaptığı görülmüştür. Bu Teferaiista,  $D_L$  için tavsiye edilen nümerik değeri 1,0'dır. (Başka bir deyişle frekans % 1,0 düştüğünde, yük % 1,0 düşer).

Pratikte elektrik enerjisine talebin azami olduğu zamanlarda, frekans 'maksatlı olarak düşürülerek, yük düşürülebilir. Yükü hafifletme' için ikinci bir yol ise sistem gerilimini düşürmektedir. Pratikte, ka/emeli trafolardan faydalanarak sistem gerilimi düşürülebilir. Fakat bir dış, etki sırasında, sistemdeki gerilim durumlarının ne olacağı önceden kestirilenmediği için bu faktör üzerinde daha derine inilmeyecektir.

Eğer generatör ve yük momentlerinin frekansla değiştiği varsayım olarak kabul edilirse, elde edilen neticeler frekansın zamanla değişiminin bir eğri olduğunu gösterir (Şekil 1b). Yük atıldıktan sonra sistem frekansının normale dönmesi de Şekil 2b'de görüldüğü gibi bir eğri boyunca olur.



Değişik miktarlarda yük atma (Generatör ve yük momentleri frekansla değişmekte).



Şekil 2b.

Woe kaç kademede yük atma (Genenatör ve yük atma momentleri frekansla değişmekte).

Bu konuda daha fazla detaya inmeden, sistemdeki rezervlerin bir yük atma programında nasıl dahil edilebileceğini açıklamak faydalı olacaktır,

1

## SİSTEM KEZEBVt YÜKSEK OLDUĞU ZAMAN YÜK ATMA

Sistemdeki arızalar daima talebin büyük olduğu zamanlarda meydana gelmezler. Yapılan incelemeler enerji kesintilerinin büyük bir oranının sistemdeki yüklemelerden bağımsız olarak vuku bulunduğunu ortaya koymaktadır [2]. Dolayısıyla arızaların bir kısmının, rezervin yüksek olduğu zamanlarda meydana gelmesi büyük bir ihtimaldir.

Rezervin miktarı artııkça, türbinlerin cevap verme zamanlarının da daha kısa Olacağı bir gerçektir. Bu avantajlardan faydalanarak, rezervlerin yüksek olduğu zamanlarda, yük atma programında değişiklik yapılması kuvvetle tavsiye edilmektedir [2]. Programdaki bu tadilat, merkezi bir mantık devresi kullanılarak otomatik olarak yapılabilir.

Aşağıdaki tablo, değişik tip santrallardaki rezervlerin cevap verme zamanlarını mukayese etmektedir [2] :

	%
Nehirler üzerinde, alçak düşü, kısa 'cebrî boru tipi hidro üniteler	80
Rezervuar tipi, yüksek düşü, kısa cebrî borulu hidro üniteler	70
Gas/Fuel oil tipli termik üniteler	65
Kömürle çalışan hızlı »	.60
Kömürle çalışan yavaş »	35
Rezervuar tipi, yüksek düşü, uzun 'cebrî borulu hidro üniteler	20

## DÜŞÜK FREKANS BOLE KARAKTERİS-TİĞİ

Belli başlı iki tip düşük frekans rölesi vardır. Bunlar ptatik tip röle (SFF) ile elektromekanik tip röle (CFF) dir.

Statik röle (SFF)

Bu röle sistem frekansını ölçmek için sayısal tekniklerinden faydalanır. Çalışma prensibi olarak, şebeke frekansının (50 veya 60 Hz) bir periyodu esnasında meydana gelen darbeleri sayar. Herhangi bir frekans İçin bu darbelerin sayısı tanımlanmıştır. Bu darbelerin sayısının belli bir sayının üstünde olması, sistem frekansının düştüğüne işaret eder. Sistemin emniyeti açısından, rölenin düşük frekans durumunun meydana geldiğine dâir."sinyal" gönderme iflin, düşük

frekans durumunun Üs period devam etmesi gereklidir. Bu üç periodluk zaman gecikmesi gerektiğinde 80 perioda kadar uzatılabilir.

Statik röle SFP, çok hassas bir röledir. 54,2 Hz ve 60,8 Hz arasında, 0,05 Hz kademe aralıklarıyla ve  $qz$  0,005 Hz hata ile ayarı yapılabilir. Bu hassasiyet,  $-20^{\circ}C$  ve  $60^{\circ}C$  sıcaklıklar ve 42 ve 142 volt arasında muhafaza edilebilir. Rölenin cevap verme zamanı frekansın zamanla değişme hazma bağlı değildir.

### Elektromekanik röle (CFF)

En düşük frekans rölesi yüksek hızlı bir endüksiyon rölesidir. Statik röle kadar hassas ve stabil değildir. Fakat pek fazla hassasiyet aramayan uygulamalarda kullanılabilir. Dezavantajlarından biri esvap verme zamanının frekansın değişme hızına bağlı olmasıdır. Dolayısıyla laboratuvar dışında kalibrasyonu yapılmak istenildiğinde büyük problemler doğurur.

### Frekans değişimine hizmm tesbiti

Çoğu zaman yük atma işlemini hızlandırmak için çalışması sadece frekansın düşme hızına bağlı rölelerin kullanılmasını tavsiye edilmektedir. Fakat İlk bölümde açıklandığı gibi, sistem frekansının düşmesi doğrusal olmayıp osilasyonlar halinde olmaktadır ve bu osilasyonların periodu da sistemde baradan baraya değişmektedir. Bu osilasyonların gereksiz yere yük atılmasına sebep olmasını önlemek için, bu tip bir rölede uzun zaman gecikmeleri kullanılması zarureti doğmaktadır. Bu uzun zaman gecikmeleri ise rölenin kullanılmasındaki ilk maksadı (yük atmaya hızlandırmak) baltalamaktadır.

### YÜK (ATMA PROGRAMI)

İdeal bir yük atma programının sistemde meydana gelececek üretim yetersizliğini hemen tesbit etmesi ve aşın yüklemelerin miktarını tahmin ettikten sonra sistem tekrar normal hale getirmek için gerekli yükü hemen atması lazımdır.

Bazı hallerde, yük atıldığı gıtol üretimin aşırı olduğu bazı bölgelerde de üretimin atılması gibi bir operasyona gidilmelidir.

Yük atma sırasında enterkonnekte sistemin oturmasını önlemek için aşağıdaki tedbirler alınmalıdır:

1. Çok önemli mahalli yükleri karşılamaya çalışmak. Bu mahalli talep santralin yardımcı cihazlarını ve önemli endüstriyel kuruluşları ihtiva eder.

2. Sistemin daha fazla bölgelere bölünmesini önlemek için, yük atma sırasında, iletim

hatlarında aşırı yüklemelerin meydana gelmemesine dikkat etmek.

Yük atma sırasında İletim hatlarının aşırı bir şekilde yüklenmesini önlemek için, yük atmak için kullanılan düşük frekans rölelerinin dengeli olarak bütün sisteme dağıtılması gereklidir. Bu tedbirlere rağmen, atılan yüklerin sisteme dağılışı durumu bazı hallerde gelişmiş olabilir. Bu yeknesak olmayan dağıtımın sebebi frekansın düşmesi sırasında meydana gelen osilasyonlardır. Bu osilasyonlar sistemin bazı noktalarında gereksiz yere yük "atmalara" da sebep olabilir.

Bütün bu aksaklıklara rağmen tesirli bir yük atma programı yapmak mümkündür. Yük atma (programlarının çoğunluğu Şekil 1b'de gösterilen frekans karakteristiğini baz olarak alır. Fakat Şekil 1a'da gösterilen basitleştirilmiş karakteristiği kullanarak da iyi neticeler elde edilebilir.

### Yük atma programı için gerekli veriler

Yük atma programı için aşağıdaki değerleri tesbit etmek lazımdır:

1. Sistemin korunması gereken azami aşırı yüklemeye seviyesi,
2. Atılacak azami yükün miktarı,
3. Yük atmanın başlatıldığı frekans seviyesi,
4. Düşülebilecek minimum frekans seviyesi.

### -1. Azami aşırı yüklemeye seviyesi :

Yük atma programları sistemi belli bir aşırı yüklemeye seviyesine karşı koruyacak şekilde hazırlanır. Büyük enterkonnekte sistemlerde bir arıza anında sistemin hangi noktalarda bölünebileceğini tesbit ve bu bölünmüş bölgelerdeki üretimi - yük' dengesini tahmin etmek oldukça zor olduğu için, böyle anlarda meydana gelecek aşırı yüklemeleri tesbit etmek de pek mümkün değildir.

Stabüite analizleri bölünmesi muhtemel bölgeler hakkında bilgi verebilir ve bu verilere dayanarak aşırı yüklemeye miktar hakkında bazı tahminler yapılabilir. Genel olarak % 50 aşırı yüklemeye bir sistemde meydana gelebilecek en kritik duruma tekabül eder. Fakat enterkonnekte sisteme sadece bir veya iki bağlantı hattı ile paralel olarak bağlı olan endüstriyel sistemlerde veya belediye şebekelerinde % 100 gibi bir aşırı yüklemeye durumu hasıl olabilir [1]. Böyle bir durumda aşırı yüklemeye miktarı için bir tahmin yapmak daha kolaydır. ; \_ i

## 2. 'Azâmi yük atma miktarı i

Sistem frekansını normale döndürmek için yeterli derecede yük atılması gereklidir. Bunu gerçekleştirmek için, aşuı yüklemeye miktarına eğit miktarda yük atılmalıdır. (Geriye kalan yük tün baz olarak alınmıştır.)

Yük atma sarasında frekansın tam olarak 60 Hz'e çıkarılması gerekli değildir, örneğin yük atma ile frekans 59 Hz'e çıkarılabilirse, daha sonra hız regülatörlerinin yardımı ile vs. frekans 60 Hz'e yükseltilebilir. Fakat sistemin devamlı olarak 59 Hz altında çalışması, bilhassa buhar türbinlerinin emniyeti yönünden oldukça tehlikelidir.

Eğer aşırı yüklemeye miktarını tesbit etmek mümkün değilse, yük atma miktarı tahmin edilmelidir. [1]'de verilen bilgiye göre, A.B.D.'deki elektrik şirketleri arasında yük atma programı uygulayanların, % 30'u % 10 - 25 oranında, % 56'sı % 25 - 50 oranında ve % 12'si % 50 - 75 oranında yük atmaktadır.

## 3. Yük atmanın başlatılacağı frekans :

Bu frekans seviyesinin nümerik değeri, bir çok faktörlere bağlıdır. Bu frekansın, sistemin bir müdahalede bulunulmadan normal işletme şartlarına dönebileceği frekansın- veya sistemle devamlı olarak çalışabileceği frekansın altında olması şarttır.

Enterkonnekte olmıyan ufak sistemlerde arıza esnasında, frekansın 59 Hz'e kadar düşmesine ve sistemin bir anüddet için bu frekansta çalışmasına, müsaade edilebilir. Dolayısıyla yük atma 59 Hz civarında başlatılabilir.

Büyük enterkonnekte sistemlerde ise frekansın normalden 0,2 - 0,3 Hz kayması, sistemde bir takım ciddi arızaların meydana geldiğine delâlet eder. Bundan dolayı yük atma işlemine daha yüksek bir frekans seviyesinde başlamak gereklidir (59,3 Hz) [1].

Bu frekans seviyesi tesbit edilirken, sistemde bir arıza anında meydana gelecek frekans osilasyonları göz önüne alınmalıdır. Mesela mahalli bir generatör büyük sisteme nazaran salınım yaparsa (örneğin generatör harasından 3 fazlı bir kısa devre toprak arızası giderildikten sonra) bu generatör barasında büyük frekans kaymaları meydana gelir. Bu frekans kaymaları kendini generatör harasına yakın yük baralarında gösterir.

Düşük frekans rollerinin bu salınmalardan ve osilasyonlardan etkilenmemesi için, ayarlarının daha düşük bir seviyede yapılması ve gecikmeli olarak çalışmaları gereklidir.

## 4. Düşülebilecek minimum frekans seviyesi

Yük , atma programı hazırlanırken düşük frekansın çeşitli cihazlar üzerindeki tesirini araştırmak Hazımdır. Aşağıdaki testler % 10 frekans düşmesi halinde yapılmıştır [6] :

### Türbinler :

Buharın akış hızı ve diğer özellikleri sabit tutularak, frekans % 10 düşürüldüğünde türbin gücünün % 0,8 azaldığı görülmüştür.

Türbin kanatları çalışırken, değişik frekanslarda vibrasyonlar yapmaktadır. Türbinle-normal hızla dönerken meydana gelecek bu vibrasyonlar, kanatların emniyeti için kritik olacak bir şekilde tasarlanmıştır. Fakat türbin normal hız altında çalıştırıldığı takdirde kanatlar rezonans yapmaya ve nihayet hasar sebebi olur. Bu duruma daha çok türbinlerin alçak basınç kısımlarında rastlanır. Bu frekans limitleri (veya hız limitleri) türbin çalışmaya başladığı, veya yüksek hızlarda test edildiği zamanlarda da aşıldığı halde, bu durumlar türbin yüklenmediği için pek kritik değildir.

Buhar türbinlerinin işletme şartları için [5] de tavsiye edilen bazı rakamlar aşağıda verilmiştir :

Normal yüklü durumunda frekans (Hz)	Minimum kritik zaman (dakika)
59,4	devamlı
58,8	90
58,2	10
57,6	1

Bu deđerler «kümü.atif»dir.

Hidrolik türbinleri için düşük frekans, buhar türbinlerine nazaran büyük bir tehlike değildir ve % 10'a kadar frekans düşmelerini emniyetli olarak çalıştırılabilirler [5].

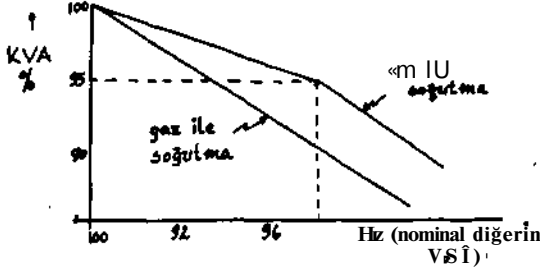
### (Jeneratörler :

Yapılan testlere göre, % 10 frekans düşmesi generatör verimini % 1 azaltır. Ancak soğutma vantilatörleri daha düşük hızda çalışacaklarından anıza süresince makinanın termik limitler zorlanacaktır. Bazı durumlarda bu güçlük gasıncını veya soğutma suyunun akış hızını arttırmakla giderilebilir.

Ayrıca % 2-5 düşük frekanslarda devreye generatör sokmak senkronizasyon yönünden güçlüklerde meydana getirir.

Aşırı yükte generatörler, stator akımı nominal değerinin % 130'unda 1 dakika ve ikazlam

akımı nominal değerin % (129'i olduğu zaman 1 dakika çalışabilir. Daha uzun süreli çalışma stator ve ikaz sargılarında sıcaklık artmasına ve hasara sebep olabilir. Ancak, eğer yük kontrol edilirse generatörler çok alçak olmamak üzere düşük frekansta saatlerce çalıştırılabilirler [5].



örnek :

Sıvı ile soğutulan generatörlerde hız nominal hızın % 95'ine düşüncüye kadar, eğer KVA çıkışı hızla orantılı, olarak düşürülürse uzun süre çalışabilirler (% 95 hızda, KVA % 95).

Gaz ile soğutulan generatörlerde KVA hızın karesi ile orantılı olarak düşürülmelidir. % 95 hızın altında çalışma:

Bütün generatörlerin armatör akım ve gerilimi düşürülmelidir. Sıvı ile soğutmada KVA hızın karesi ile orantılı olarak düşürülmelidir. Gaz ile soğutmada ise normal hızın altında çalıştırılacağı; zaman, KVA'da düşme hızın karesi ile orantılı olmalıdır.

KHz/VA :

Kazan yardımcı cihazları iyi bir şekilde tasarımılanarak yeterinden fazla bir kapasitesi bulunursa, alçak frekanslarda çalışma kazanın yeteneğini fazla etkilemez.

: örneğin normal şartlarda kazanı besleyen iki su pompasını düşük frekanslarda üçüncü bir pompa takviye edebilir. Böyle bir yedek % 10' kadar bir frekans düşmesi için yeterlidir.

Değirmenler :

% 10 bir frekans düşmesi veya gerilimde % 10 bir azalma öğütülen kömürün kalitesinde hissedilir herhangi bir değişiklik yapmamıştır.

Vantilatörler :

Hızda % 10 bir azalma türbinden dönen vantilatörlerin çıkışma % 10 azaltmıştır. (Durum vantilatörleri normal çalışma şartları için yeterli olandan fazla bir kapasitede tasarlanmakla düzeltilebilir.

Besleme pompaları :

% 10'luk frekans düşmesi su pompalarının çıkışını ve dolayısıyla türbogeneratörün gücünü % 33 azaltmıştır. Kondensör pompaları için sözü geçen azalma takriben % 25'tir. Bu aksaklık yukarıda kazan bölümünde açıklandığı gibi mesela normal şartlarda yeterli olan iki su pompasına bir üçüncüsü yedek olarak ilave edilerek giderilebilir.

Fuel - oil pompaları :

Santrafüj tip pompalarda hız düşmesi, çıkışı su pompalarında olduğu gibi etkiler. Sabit hızlı motorla dönen pompalarda yağ basıncını sabit tutmak için «by - pass» kullanılmazsa pompa ve kazan kapasitesi % 10 azalır. Eğer «by - pasa» kullanılırsa hiç bir tesir hissedilmez.

## SANTRAL ELEKTRİK CİHAZLARI

Endüksiyon motorları :

% 10 frekans düşmesi motor hızını % 10 azaltır. Ancak % 10 gerilim düşmesi hızı fazla etkilemez. Başlama momenti  $V^2$  ve  $1/2$  ile orantılı olduğundan, hem frekans hem de gerilimde % 10 azalma momenti etkilemez.

Senkron makineler :

Senkron anakınaların sürekli rejim stabilitesi  $(V_b, r = -v, nt, rn * 1)^{1/f} \xi^{ekimdec}$  değiştiğinden frekans ve gerilimde % 10'luk bir değişme stabiliteyi % 10 azaltır.

İkazlama sistemleri :

% 10'luk frekans düşmesi pilot ikazlama generatör geriliminde % 15 ve ana ikaz generatörünün geriliminde % 21 düşmeye sebep olur. Testlerde ayarlama reostatları devre dışı bırakılmıştır. Frekans 50 Hz'in altına düştüğü zaman pilot, generatör geriliminde stabilize bozukluğu görülmüştür. % 10 kadar olan frekans düşmelerinde ana ikaz generatörünün gerilimi reostat ayarı ile normale çıkarılabilir.

Koruma röleleri, wat - saat metreler vs. :

Frekansta % 10 düşme endüksiyon rölelerinin çalışma süresini % 10 civarında uzatır. Buna mukabil pano üzerindeki aletler % 1 hata ile çalır. Watt-saat metrelerin 54 Hz'de + % 5 bir hatası vardır.

Gerilim regülatörleri :

Genel olarak gerilim regülatörleri frekans düşmesine karşı hassaslaştırılır. Statik devrelerinde iriduktans ve kapasitans bulunan regülatörlerde

% lü'luk frekans düşmesi hapsedlefoillr bir şekil-  
de tesirini gösterir.

D.G. kontrol sistemleri :

Çoğu kontrol sistemlerinde batarya sayesinde  
bir kaç saat normal çalışma sağlanabilir.

DAĞITIM: SİSTEMİ CİHAZLARI •

Şebeke röleleri :

Rölelerin açma kapama karakteristiklerini  
frekans değişimleri etkilemekle beraber; bu tesirler hayati değildir. Bu röleler trafoların ikaz akımına göre kalibre edilir.

Trafolar :

• % 10'luk bir frekans ve gerilim düşmesi trafo kayıplarını % 15 azaltır. Frekans ve gerilim düşmeleri magnetik akıyı ters yönde etkilediğinden, ikisinde de aynı oranda bir azalma ikaz akımını etkilemez.

Kapasitörleff ve hatlar'

Paralel kapasitör, havai hat ve yer altı kablolarının KVAR'ı frekansın kendisi ile ve gerilimin karesi ile doğru orantılı değişeceğinden, % 10'luk frekans düşmesi % 10 KVAR düşmesine sebep olur. Aynı oranda bir gerilim düşmesi KVAR'ı % 19 azaltır.

TÜKETİCİ CİHAZLAR :

Yapılan araştırmalar <%> 10'luk bir frekans düşmesinin radyo, TV ve buzdolapları üzerinde pek menfi tesirler yapmadığını göstermiştir. Çünkü genel olarak frekans ve gerilimdeki % 10'a kadar olan değişimler imalatçının tolerans limitlerinin içine düşmektedir.

Nof:

£6]da (değişik elamanlar üzerinde yapılmış olan bu testleri herhangi bir şekilde genelleştirmek İmkânsızdır. Dolayısıyla, yukarıda verilen rakamlar bir referans olmaktan ziyade, bu konuda fikir verici bir mahiyette alınmalıdır. Çünkü bu rakamların değişik sistemler için farklılıklar göstereceği bir gerçektir.

Sonuç olarak, frekans düşmesinin santral (türbinler hariç) ve şebeke elamanları için pek kritik olmadığını söyleyebiliriz. Bu hususta en kritik eleman buhar türbinleri olup bu ünite üzerinde gereken itina gösterilmelidir.

**DÜŞÜK FREKANS RÖLELERİNİN AYARLANMASI**

İşu rölelerin, ayarlanması için «trial-and-error» yolu kullanılır. Bu metodun, maksadı yük atma

kademelerinin sayısını ve büyüklüğünü optimum yapmaktır.- Optimum durumda röleler aşırı yüklemeye uğramadan, frekans belli sınırlar içinde tutmak için, gerekli yükü attığı gibi aynı zamanda daha hafif aşırı yükletmelerde de minimum miktarda yük atmayı gerçekleştirir.

Yük atma kademelerinin sayısı :

Seçilecek yük atma kademelerinin sayısı atılacak yükün miktarı ile orantılıdır. Yani bu sayı, atılacak toplam yük miktarı ne derecede büyükse o kadar büyük olur. Ufak bloklar halinde bir çok frekans seviyesinde yük atılırken, atılan yükün miktarı minimum olmasına rağmen, frekansın normale dönüşümü yavaş olmaktadır. Diğer taraftan büyük bloklar halinde bir iki kademede yük atılması durumunda ise, frekansın normale dönüşümü çok kısa bir zamanda olmasına rağmen bu metod gereğinden fazla miktarda yük atılmasına sebep olmaktadır. [2]'de elde edilen verilerde optimum kademe sayısının 3-4 arasında olduğu görülmektedir. Tecrübeler de kademe sayısı bu tavsiye edilen rakamlar arasında olduğu takdirde, röle koordinasyonunun daha basit olduğunu ortaya koymuştur.

Kademelerin büyüklüğü :

Her kademede atılacak yükün miktarı sistemdeki en büyük generatörün gücüne, veya bölge Jert birleştiren bağlantı hatlarının kapasitesine bağlıdır. Birinci kademe için çok kullanılan bir rakam toplam sistem yükünün % 10'dur. İkinci kademede atılan yükün miktarı diğer kademelere nazaran daha ufaktır.

Yüksek düşü, uzun cebri boru tipi hidrolik santraller her kademede atılacak yükün miktarı konusunda oldukça hassastırlar. Keban bu tip santrallara güzel bir örnek verilebilir. İBM tarafından yapılan çalışmalara göre; bu rezervuar tip santrallerin çoğunlukta olduğu sistemlerde büyük bloklar halinde yük atmak pek arzu edilen bir şey değildir [2]. Çünkü bu tip santrallerin büyük zaman sabitelerinden dolayı menfi dış etkilerö karşı frekans tepkileri, osilasyonlar halindedir.

Röle ayarı :

Röle koordinasyonunda geçicilik, rölenin faaliyet geçeceği frekansların ayarları ve zaman koordinasyonu ile elde edilir.

Yük haralarında meydana gelen çeşitli frekans osilasyonlarının gereksiz yerlere yük atmalara sebep olmalarını önlemek için, her kademe için bir zaman gecikmesi gereklidir. Daha önce de açıklandığı gibi bu osilasyonlar kısa devreler ve benzeri durumlardaki güç alınmılla; sırasında meydana



dana gelir. Her kademe için 0,3 - 0,4 saniyelik bir zaman gecikmesi bu osilasyonların tesirini önlemek için yeterli olmaktadır [1].

Fakat bazı özel tip yükler-üaha uzun zaman geciktirmelerini gerektirmektedir. Mesela enerji nakil hattına saplanmış bir yükte, bu hat devreden çıktığı zaman, gerilim ve frekans aniden düşmeyip yavaşça sönebilir. Frekansın yavaşça sönmeye enerji nakil hattının deşarj' akün ile veya endüksiyon motorlarının yavaşlamaları ile ilgili olabilir. Bu durumda endüksiyon motorlarının ikaz akımı enerji nakil hatlarının kapasitansı tarafından sağlanmaktadır. Bu frekans sönmelerinin zamanı, düşük frekans rölelerini çalıştıracak kadar uzun olabilir. Bu gibi hallerde 0,35 - 0,5 saniye-gibi bir zaman geciktirmesi uygulamak geciktiricidir [1]. Eğer bu yüklerin sayısı az ise genel yük atma programında bir değişiklik yapılmayp özel bir takım tedbirler alınmalıdır.

Röle ayarlamasında kullanılacak metod :

Röle koordinasyonu aşağıda basit bir örnek verilerek açıklanacaktır.

Bu örnekte statik tip -röleler (SFF tipi) kullanılacak ve sistem % 50 aşırı yüklemeye karşı korunacaktır. Geriye kalan (artık) üretim baz olarak alınırsa % 50 aşırı yüklemeye, sistemde % 50 üretim kaybı durumuna tekabül eder. O halde frekans normale dönüştürmek için % 50 yük atmak gerekecektir. (% 50 yük atmada geriye kalan üretim yine baz olarak alınmıştır.)

Bu programda yük 4 kademe atılacaktır ve her kademe atılacak yük aşağıda verilmiştir.

1	Kademe	% 10
2.	»	% 10
3.	»	% 15
4.	»	% 15
Toplam		% 50-

Varsayım olarak;

Yük atmanın başlatılacağı frekans	59,3 Hz
Düşülebilecek en düşük frekans seviyesi	57 Hz
Sistemin atalet sabitesi H	5
Minimum geciktirme zamanı	0,3 saniye
Kesici açma zamanı	0,1 saniye

Programı basitleştirmek için yük atıldıktan sonra generatör ve yük momentlerinin sabit kaldığı bir varsayım olarak kabul olunacaktır Yani doğrusal frekans karakteristiği kullanılacaktır.

1. Yük atma kademesi (% 10):

Röle fekans ayarı	: 59,3 Hz
Geciktirme zamanı	: 0,3 Saniye
Kesici zamanı	: 0,1 Saniye

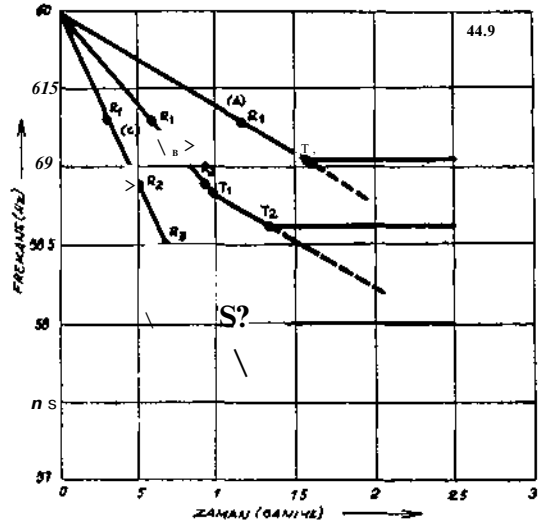
2. Yük atma kademesi (% 10):

2. kademenin frekans seviyesi öyle ayarlanmalıdır ki, sadece 1. kademe atılan yük miktarını gerektiren ağırlık yüklemeler sırasında 2. röle çalışmamalıdır. Başka bir deyişle, % 10 bir aşırı yüklemeye için 2. rölenin frekans seviyesi öyle ayarlanmalıdır ki, düşen frekansın seviyesi 2. rölenin faaliyete geçeceği seviyeye erişmeden 1. kademedeki yük atma işlemi tamamlanmış olsun. Böylece gereksiz yere yük atma önlenmiş olacaktır. Şekil 3'deki A eğrisi % 10 aşırı yüklemeye durumunu göstermektedir.

1. kademe rölesi  $R_1$ , 59,3 Hz'de zaman 1,15 saniye anında İken faaliyete geçmekte ve 59,05 Hz'de ve 1,55 saniye anında yükü atmaktadır. 59,0 Hz veya biraz aşağısı 2. rölenin faaliyete geçme seviyesi olarak alınabilir. Bu örnekte 2. rölenin faaliyete geçme seviyesi olarak ilave bir marjın ile 58,9 Hz seçilmiştir. 2 rölede kullanılan zaman geciktirmesi 0,3 saniyedir.

3. Yük atma kademesi (% 15):

3. kademenin frekans seviyesi öyle ayarlanmalıdır ki, ilk iki kademe atılan yüklerin yeterli olacağı bir aşırı yüklemeye sırasında 3. röle bir yük atma işlemine girişmemelidir. 3. kademenin frekans seviyesi 2. kademe olduğu gibi Şekil 3'ten faydalanarak tesbit edilebilir. Şekil



Şekil a.

$R_1, R_2, R_3, R_4$  — Rölelerin frekans ayarları,  
 $T_1, T_2, T_3$  — Rölelerin faaliyete geçip yük attıkları zamanlar.

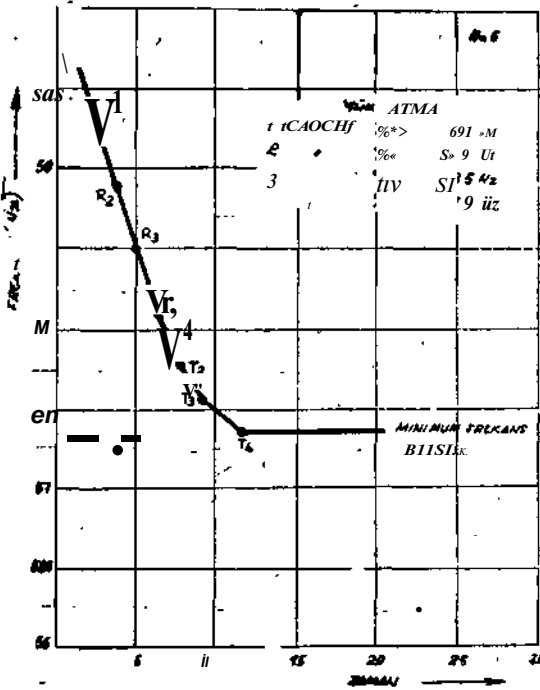
Statik düşük frekans rölelerinin ayarlanması için kullanılan frekans - zaman karakteristikleri.

S'te B eğrisi % 20 bir aşırı yüklemeye tekabül etmektedir. 1. kademe T<sub>1</sub> anında yükü atmaktadır. B doğrusunun eğimi T<sub>2</sub> anında tekrar değişir. 58,5 Hz., 3. rölenin faaliyete geçme seviyesi olarak seçilmiştir. Röle 3 için de 0,3 saniyelik bir zaman geciktirmesi kullanılmıştır.

#### 4. Yük atma kademesi (% 15):

Önceki kademelerde olduğu gibi bu kademede için seçilecek frekans seviyesinde, ilk üç kademede atılan yük miktarının, yeterli olabileceği bir aşırı yüklemeye sırasında, 4. röle gereksiz yere yük atmamalıdır. 4. rölenin faaliyete geçme seviyesini tesbit etmek için, sistemde % 35 oranında bir aşırı yüklemeye olduğu varsayım olarak kabul edilir. Şekil S'te (C) eğrisi % 35 bir aşırı yüklemeye tekabül eder. Bu durumda röle 3.58 Hz'de ve T<sub>3</sub> anında yük atmaktadır. Dolayısıyla 57,9 Hz, Röle 4'ün faaliyete geçme seviyesi olarak seçilmiştir. Röle 4 için yine 0,3 saniyelik bir zaman gecikmesi kullanılmıştır.

Röleler için frekans seviyeleri tesbit edildikten sonra programın azami aşırı yüklemeye (% 50) sırasındaki performansı test edilmiştir. Şekil 4, programın % 50'lik bir aşırı yüklemeye sırasında ki performansını göstermektedir. Bu durumda



Şekil 4.

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> — Rölelerin frekans ayarları,  
T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> — Rölelerin, faaliyete geçip yük  
attıkları zamanlar.

Sistemin % 60 azami aşırı yüklemeye karşı koruyan yük atma programı (SFF tipi röle kullanılmıştır).

son kademe 57,35 Hz'de yük atmaktadır. Bu frekans seviyesi (57,35 Hz) düşülebilecek en düşük frekans limitinin X57 Hz) üstünde olup, program gerekli şartları sağlayacaktır. Aksi takdirde röleler için değişik frekans seviyelerini denemek gerekecektir.

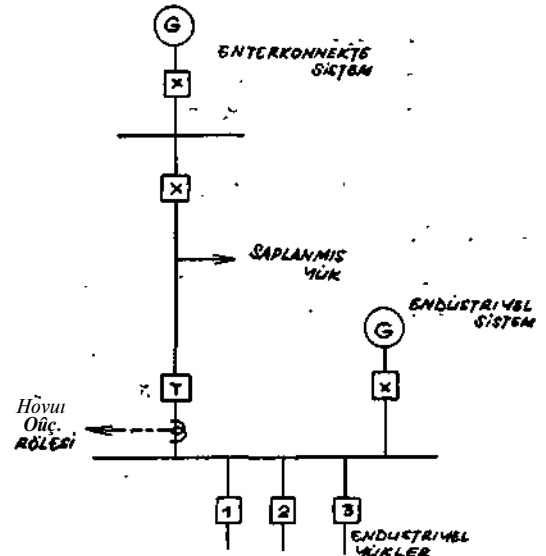
Eğer generatör ve yük momentinin frekansla değiştiği varsayım olarak kabul edilseydi, frekans değişimleri bir eğri boyunca olacaktı. Bu durumda tesbit edilecek frekans seviyeleri, örnek çözümdeki, seviyelerinin üstünde olacak ve % 50'lik aşırı yüklemeye sırasında yük atma işlemi tamamlandıktan sonra sistem frekansı 60 Hz'e dönecekti.

- Yukarıda görüldüğü gibi statik rölelerin işlem zamanlarının frekans değişme hızına bağlı olmaması durumu, düşük frekans rölelerinin yük atma programı için koordinasyonunu basit bir işleme indirgemektedir.

### ÖZEL DURUMLAR

1. Mahalli üretimi plan endüstriyel kuruluşlar [4]:

Mahalli üretime sahip bir çok endüstriyel kuruluşların bir kısmı özel bir yük atma programı uygular. Bu kuruluşların çoğu elektrik ihtiyaçlarının bir kısmını Şekil 5'te görüldüğü gibi enterkonnekte sistemden bir bağlantı hattı vasıtasıyla alırlar. Bir arıza anında bağlantı hattının şebeke tarafındaki kesicisinin açılması durumunda, mahalli santral bilhassa bağlantı hattına saptanmış olan yükleri de beslemeye kalktığında aşırı yüklemeye maruz kalacaktır. -Bu



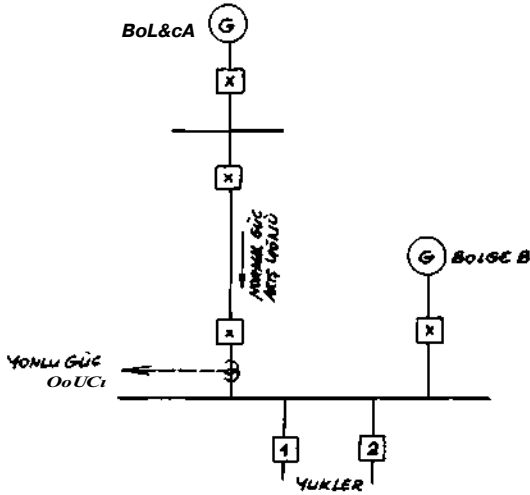
Şekil 5.

Mahalli üretime sahip ve enterkonnekte sisteme - bağlantı hattı olan endüstriyel kuruluş.

durum endüstriyel sistem frekansının düşmesine sebep olur. Böyle anlarda yük atmaya baş vurulur ve bu nedenle kesici T açılır ve zaruri olmayan yükler (mesela yük 1 ve 2) devreden çıkarılır. Böylece esas önemi taşıyan yük 3, üretimden gerektiği şekilde faydalanmış, olur. Endüstriyel sistemdeki yük atma işlemini hızlandırmak için gücün akış yönüne bağlı olarak çalışan güç röleleri kullanılır.

## 2. İki Üretim bölgesi arasındaki bağlantı :

Böyle durumlarda bölgelerden birisi mesela A, diğerini (B) besler. Şekil 6'da görüldüğü gibi (B) bölgesinde üretim yetersizliği, (A) bölgesinde ise üretim fazlalığı vardır. Bir arıza anında, (B) bölgesinde önemli olmıyan yükler atılarak sistemin oturması önenebilir. Bu hallerde de güç rölelerinden faydalanılabilir.



Şekil 6.

İki bölge arasındaki bağlantı hattı ve güç rölesi.

### ATILAN YÜKÜN TEKRAR DEVREYE ALINMASI

Bir yük atma sırasında atılan yüklerin tekrar devreye alınması, bilhassa normal olarak

personel bulundurulmayan noktalarda büyük problemler doğurmaktadır. Denetleme kontrolü olan noktalarda bu sistemden faydalanılabilir. Diğer personel bulundurulmayan merkezlerde de düşük frekans rölelerinden faydalanılarak, frekans normale döndüğü zaman yükler otomatik olarak bağlanabilir.

Bu rölelerin iki frekans ayar seviyesi vardır. Bunların birinde röle yük atar, diğerinde ise yükü devreye bağlar.

### SİSTEMİN BÖLÜNMESİ VE DEVREDEN ÇIKARILMASI

Eğer sistemi normale döndürmek yük atma programının kapasitesi dışında ise, ilave olarak düşük frekans röleleri kullanarak sistem, sistematik ve düzenli bir şekilde bölünebilir veya devreden çıkarılabilir.

### KAYNAKLAR :

- [1] Load Shedding - Application guide, J. Berdy, General Electric.
- [2] Load Shedding, Power system computer feasibility study, Vol H. IBM.
- [3] Application of Underfrequency Relays for Automatic Load Shedding, H. E. Lokay, IEEE transaction on power apparatus and systems, Vol. PAS-87, (March 1968).
- [4] Load Conservation by means of Underfrequency Relays, W. C. New, General Electric.
- [5] Emergency Operation of large Steam Turbine - Generators, R. E. Branson, General Electric.
- [6] Symposium on Plant Capability at Low Frequencies and Load Relief, AIEE Transaction, Vol 73, 1954.