

Senkron Makinede Dinamik Rejim

Nihat TAVLAN

Y. Müh.

" E. E. İ. M.

Özet . Senkron makinenin dinamik, rejimini etili etmek için oldukça yorucu matematik denklemlerini kurmak gerekir Burada teoriye girmeden hesap metodları ve neticeleri vermeğe çalışıldı Ayrıca konuya hususi ilgi duyan meslektaşları tatmin, hem de bundan evvelki bir yazıda verilen Park Transformasyonlarına iyi bir misal teşkil etmesi bakımından, senkron makinelerde yük darbelerine ait denklemler ek olarak ilâf edildi

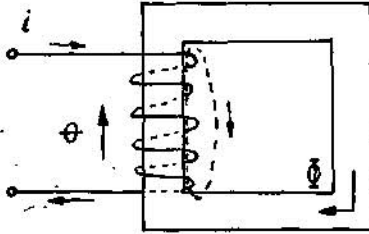
Konuya tam olarak nüfuz edebilmek için önce sarım sayısı W olan bir bobin alalım ve bu bobinden bir akım geçirelim. Bu durumda bobin bir akı meydana getirecektir:"

$$0 = w i$$

Elektrik devresinde bir gerilim- ne ise, manyetik devre için de bu akı aynıdır. Manyetik gerilimi bir manyetik devre, meselâ bir demir devresi (boyunduruk) üzerinden kapatırsak; akı bu boyunduruktan (boyunduruğun manyetik direnci R_m) aşağıdaki kanuna göre bir manyetik fluks geçirir :

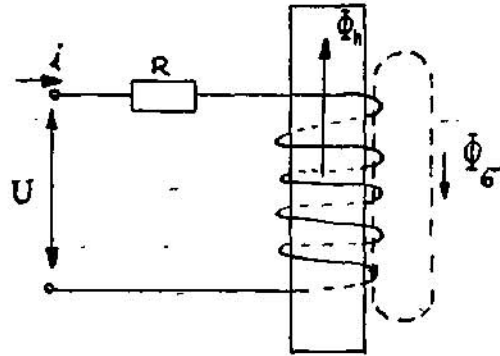
$$\Phi = \frac{\theta}{K_m}$$

Görülüyor ki bu formül tıpkı Ohm kanunu gibidir ve burada akılar elektrikteki akımlar gibi kolayca hesaplanabilir. Buna rağmen ikisi arasında oldukça fark vardır. Elektrikte iletkenler ve izolatörler kullanılır. İletkenlerin iletim kabiliyetleri izolatörlere nazaran $15 \cdot 10^{10}$ -f- $20 \cdot 10^{10}$ kadardır. O halde oldukça doğrulukla söylenebilir ki iletkenlerden akım akar, izolatörlerden akmaz Manyetik devrelerde ise bu kesin fark yoktur, zira manyetik iletkenlik meselâ dinamo demirinde havaya nazaran ancak $2 \cdot 10^{10}$ f $3 \cdot 10^{10}$ arasındadır. Şu halde yukarıda belirtilen akımın hepsi hiç bir zaman yalnız demirden bir fluks geçirmeyecek," aynı zamanda % 10 kadar bir fluks'ta havada devresini tamamlayacaktır.



şekil i

Umumiyetle işe yarayan demirden geçen fluksa «esas fluks» ve devresini havada tamamlayan, istenmeyen fluksa «kaçak fluks» denmektedir.



Şekil : 2

Şimdi küçük manyetik dirençli bir demir çerdek ele alırsak ve bunun üzerine bir bobin sarılırsa (bobin telinin elektriki direnci R); Buna göre indüktivite:

$$L = \frac{W^2}{P} \quad \text{Burada}$$

manyetik direnç R_m iki paralel koldan müteşekkildir (Demir yolunun direnci ile kaçak yolun direnci). O halde toplam manyetik direnç R_j , ve R_a dirençlerinin paralel bağlanmasından meydana gelmiştir.

$$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{R_h} + \frac{1}{R_a}$$

$$L = \frac{W^2}{R_m} = w^2 \cdot \frac{1}{R_m} = w^2 \left[\frac{1}{R_h} + \frac{1}{R_a} \right] =$$

$$= \frac{W^2}{R_h} + \frac{W^2}{R_a} = L_h + L_a$$

Görülüyor ki sonuç iki indüktivitenin seri bağlanmasını veriyor. Önemli bir sonuç : Manyetik dirençlerin paralel bağlanmasından sen bağlı indüktiviteler elde edilmektedir. Aksi olarakta manyetik dirençlerin seri bağlanması paralel bağlı indüktiviteleri verir.

Bu şekilde hesaplanan indüktivitelerle, gerilimi de ithal etmek sureti ile akım seyrini çıkarabiliriz. Önce akım, indüktiviteye bağlı olarak $i = L \frac{di}{dt}$ yükselir, muayyen bir zaman sonra $\frac{U}{L} = i$ değerini alır. Bu aradaki seyir

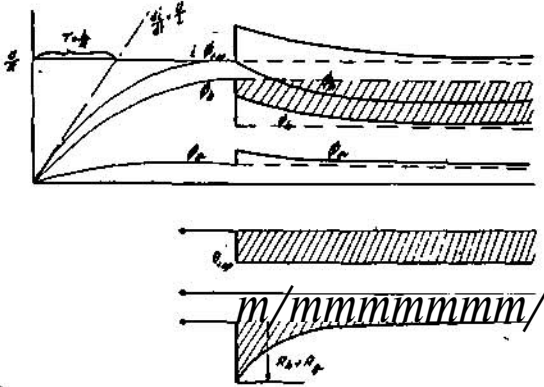
zaman. sabitesi τ bir üssel fonksiyonu takip eder.

$$T = \frac{L_1 + L_2}{R}$$

Bobine bir doğru gerilim tatbik edildiği takdirde akımın nasıl değiştiği bu şekilde görülüyor. Toplam fluksta halinde olduğu gibi :

$$OT = \frac{fh}{K_m}$$

aynı seyri gösterir. O halde uygun bir ölçek seçmekle akım eğrisi toplam akı eğrisi ile çakıştırılabilir, bu durumda iken ani olarak demir çekirdeğe ilâve bir manyetik- gerilim ilk gerilime nazaran zıt yönde tesir edecek şekilde tatbik edilsin.



Şekil : 3

Bu ilâve akımın demir çekirdekte meydana getirdiği ilâve fluk, esas fluksu dolayısıyla toplam fluksu azaltır, bu esnada kaçak fluk sabit kalır, zira ilâve edilen akı yalnız demir yoluna bağlı olup havada devresini kapamaz. Bu hal nihâi durum için doğrudur, ilk an için değil, aksi halde toplam fluksun sıçrama şeklinde değişmesi gerekirdi. Sıçrama şeklindeki değişme bir sonsuz

büyüklikteki $\frac{dI}{dt}$ ve alt sargıdaki sonsuz yükseklikte bir gerilim demektir.

Eğer bu nahoş sonsuz büyük gerilimi nazarı itibare almak istemezsek, bu takdirde ilk anda alt bobine bağlı toplam fluksun değişmediğini kabul etmemiz lâzımdır; yani ilk anda akı değişmesi olmamış gibi düşünmek gerekir. Bu ancak eğer alt bobindeki akımı, ilk anda amper sarımı o anda ilâve edilen amper sarımla toplam sifra münce olacak şekilde bir sıçrama yapabildiği takdirde mümkündür. Hakikatte de bu böyle olur. Akım ve bununla bağlı akı bir sıçrama yaparlar ve sonra bir zaman sabitesi ile eski duruma gelirler. Alt bobinde kısa , zamandaki amper sarım yükselmesi kaçak devresinde kendini gösterir, yani kaçak fluk bu sıçramayı kopye eder. Şimdi toplam sıçramasız nihai duruma erişir (esas fluk = toplam fluk — kaçak fluk).

Sıçrama şeklinde bir sabit manyetik gerilimi demir çekirdeğe verdik, demir devresindeki manyetik direnci sabit olduğunu isoyledik ve böylece esas fluksta da aynı şekilde bir sıçrama bekledik.

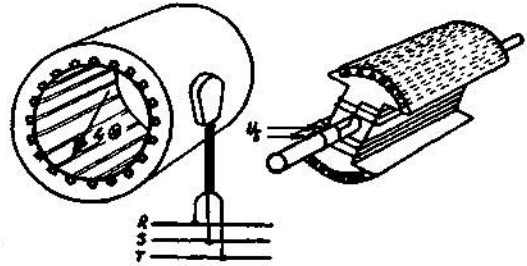
Bunun yerine esas fluk için aşağıdaki ilgi çekici geçiş seyrini elde ederiz :

Önce bir sıçrama ve ondan sonra da son duruma kadar üssel bir geçiş seyri.

Şimdi düşünülebilir; manyetik direnç ne biçim olmalıdır ki esas fluksa böyle bir seyir imkânı sağlasın? Manyetik direnç akımın fluksa bölümüne eşittir. İlâve bobinin akısı ile önce küçük bir değerde fluk sonra büyük değerde fluk elde ederiz. O halde manyetik direnç pk anda büyük ve sonra küçük olacaktır. Bütün buraya kadar anlatılanlar üzerinde düşünülürse manyetik direncin başlangıç değeri olarak $R_h + R_c$ yani demir ve hava dirençlerinin sen bağlanması ve nihai değer için de yalnız R_h olacağı görülür.

Şimdiye kadar anlatılanlar senkron makinenin endüvisinden başka bir şey değildir. Demir çekirdek endüvi gövdesi, alt sargı (esas sargı) ikaz sargısını teşkil edecektir.

Senkron makineyi tam olarak belirtebilmek için endüviyi statorun içine sürmek kâfi gelecektir, böylelikle şimdiye kadar abstre olarak düşünülen ilâve akımın da nereden geldiği kolaylıkla görülür; bu stator akımının meydana getirdiği akıdan başka bir şey değildir. Stator akımı bir alternatif akıdır, akı da alternatif frekansla dönen bir alternatif akıdır. Fakat normal durumda endüvi de aynı hızla döndüğünden; akı ve endüvi, dönme esnasında birbirlerine karşı sabit kalacaklardır. Bu demektir ki endüviye göre döner akı bir doğru olacaktır. Yalnız burada daima kutup yönündeki ve kutup tekerleği açısının durumuna göre değişen endüvi reaksiyonu (açık deyimle stator akımı geri tesiri) vaziyeti güçleştirmektedir. Bu gibi hallerde stator akısı iki kısım olarak; birisi kutup eksen yönünde (boyuna eksen) ve diğeri kutup aralığı yönünde (enine eksen) tesir ettiği düşünülür. Bu iki kısım Park transformasyonları ile birbirinden ayrı olarak tetkik edilebilir.



Şekil • 4

YÜK DARBELERİ

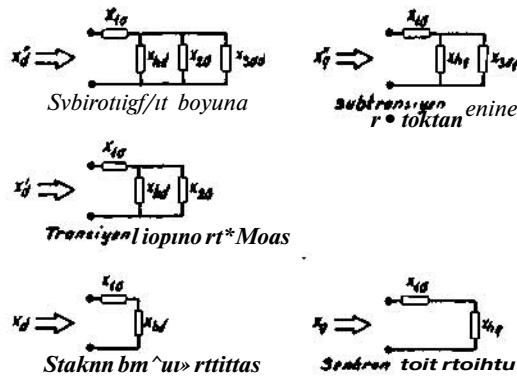
Görüldü ki stator akısının ani değişmelerinde endüvi manyetik direnci önce demir ve kaçak yolunun seri bağlanmasına eşit bir değer alır.

İkinci olarak gördük ki, manyetik dirençlerin seri bağlanması elektriki taraftan induktivite-lerin paralel bağlanmasını verir.

Üçüncü olarak stator akısının stator akımından nasıl meydana geldiğini ve nasıl endüviye tesir ettiğini gördük.

Şimdi statordaki ani geçiş rejimlerinde generatördeki dirençlerin ne gibi bir durum arzettiklerini görelim :

Şekilde sol ortada tetkik ettiğimiz endüvide manyetik dirençlerin R_h ve R_{sen} bağlanması ile eriştiğimiz hal görülüyor. Boyuna transient reaktans denilen bu reaktans, ikaz sargısı kaçak reaktansı ile paralel bağlanmış esas alan reaktansının stator kaçak reaktansı ile seri bağlanmasından müteşekkildir. Belirli bir zaman seyri-nden sonra bu iç direnç senkron reaktansa geçişir. Eğer senkron makine amortisman sargılarını havi ise bu takdirde transientin senkron reaktansa geçişmesi seyrine, bir de subtransient transient reaktansa geçişmesi seyrini eklenir. Buna göre subtransient reaktans, evvelki montaja bir de amortisman sargılarının kaçak reaktansının paralel bağlanmasına eşittir. Bu subtransient rejim içinde tabiidir ki endüvi tarafında evvelce gördüğümüz gibi, fakat şimdi amortisman sargılarını da kavrayan bir doğru akım geçiş rejimi olacaktır. Bununla beraber amortisman sargısı rejimi ikaz sargıları rejiminden çok daha çabuk söner; öyle ki önce paralel bağlı $X_{3(j)}$ kaybolur, sonra X_{2a} kaybolur.

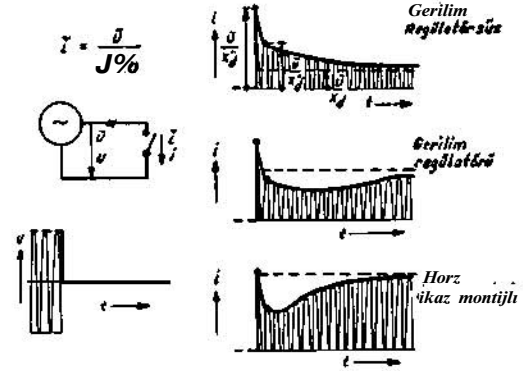


Şekil 5 — Senkron makinenin dinamik reaktansları.

Şekilde sağdaki sütunda enine eksen bağlantıları görülmektedir. Burada ikaz sargılarının tesiri mevzuu bahis olmadığından subtransient

hal doğrudan doğruya senkron hale geçer. Boyuna eksende transient durumun mevcudiyetine rağmen, enine eksende bu transient hale de senkron reaktans tesir eder.

Dinamik stabilitede ise dinamik reaktans değerlerinin yukarıdaki gibi sabit bir zaman içinde subtransient, bunu takip eden sabit zaman sahasında transient hal diye (yaklaşık hesaplarda yapıldığı gibi) değerlendirmemek lazımdır. Üç reaktans değeri daha ziyade kesintisiz bir geçiş rejiminde tam olarak tespit edilemeyen üç karakteristik noktadır. Bir senkron makinede kısa devre seyri ele alınırsa bu durum daha ziyade aydınlanır :



Şekil 6 — Kısa devrede akım seyri

Şekilde generatör, kısa devreden evvel u (kesik çizgi) gerilimini verecek şekilde ikaz edil- sin. Kısa devre esnasında gerilim sıfıra düşer, buna göre gerilim darbesi u kalın çizgiden sıfır değeri gösteren kalın noktalı çizgiye iner. Şekildeki formül akım darbesini verir. Şekilde sağ yukarıda gerilim regülâtörünün mevcut olmadığı durumda kısa devre akımının seyri görülmektedir. Burada önce hızlı seyreden bir e fonksiyonu ile transient değere erişen $X_j(t) =$ subtransient değeri ve buna bağlı olarak düşen akım, transient değerden yavaş seyreden bir üssel fonksiyonla nihai sürekli değere erişir. Kısa devre akımı da buna tekabül edecek şekilde düşmekte devam eder. Burada ilâve edilmesi icap eden kısa devre doğru akım bileşeni (her fazda farklı değerde) şekilde gösterilmemiştir. Ekseriya bu bileşen subtransient geçiş kadar hızlı söner.

Burada tam olarak düşünülürse u nun X_d' ne bölünen değeri tam resimde gösterilen nokta olmayıp; yavaş seyreden üssel fonksiyonun uzatıldığı takdirde zaman eksenini kestiği noktadır.

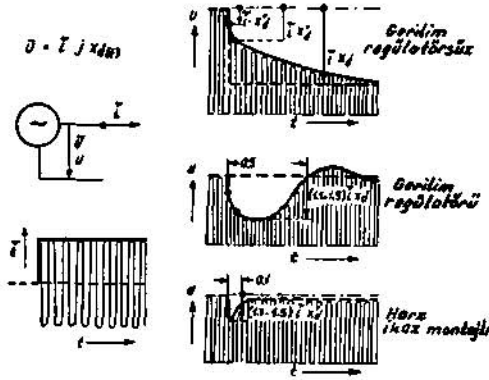
Yukarıdaki şeklin sağ yukarıdaki kısma devre alternatif akım geçiş seyri esnasında ikaz geriliminin sabit kaldığı tasavvur ediliyor. Hakikatte ise generatörler ani tesir eden gerilim regülâtörleri ile teçhiz edildiklerinden, eğer bu gerilim regülâtörü gerilimin ani olarak düştüğü-

nü fark ederse derhal ikaz gerilimini yükseltmeğe çalışır. Fakat yükselen ikaz ile sürekli kısa devre akımı da artar. O halde gerilimi ayar edilen bir makinede kısa devre akımı monoton olarak azalmaz, bilâkis muayyen bir zaman sonra, regülâtörsüz seyre tekabül eden eğriden ayrılır ve yükselmeğe başlar. Fakat pratikte bu yükselmeye vakit kalmadan şalter açar.

Bu son anlatılan seyir, sabit gerimli generatörler adı verilen makinelerde Harz ikaz montajı vasıtasıyla daha çabuk olur.

Reaktanslar ve zaman sabiteleri yardımı ile âni yüklenmelerden doğacak gerilim değişmelerini hesaplamak oldukça kolaydır.

Görüldüğü gibi generatörde direnç daha ziyade endüktif mahiyet arzettiğinden endüktif akımın meydana getirdiği gerilim düşümü mühimdir. Bu sebepten burada reaktif güç darbesinin meydana getirdiği gerilim seyrini görelim :



Şekil : 7 — Yüksüz makinenin reaktif güç darbesinde gerilim seyri.

Şekilde sol sütunun alt tarafında görüldüğü gibi generatör önce yüksüz durumda bilâhare bir endüktif akım darbesi ile yükleniyor. Akım darbesi generatörde başlangıçtaki klemens geriliminden düşülecek olan $u = i \cdot X_d$ gerilim düşümünü meydana getirir. İç direnç X_d zamana bağlı olarak seyrettiği için klemens gerilim zarfında (şekilde sağ yukarıda) görüldüğü gibi seyreder. Darbeden hemen sonra subtransient reaktans kendini göstereceğinden, buna göre gerilim doğrudan doğruya $i \cdot X'_d$ kadar düşer. Buradan gerilim düşmesi hızlı olarak $i \cdot X'_d$ ye kadar ve bundan da yavaş olarak $i \cdot X_d$ ye, yarı sürekliliğe varır.

İlk geçiş rejimi saniyenin yüzde biri civarındadır. Bu zamanın tam değeri amortisman sargılarının imalâtına bağlıdır; iyi bir amortisman yavaş bir geçiş rejimini verir. İkinci geçiş seyri birkaç saniyenin içinde olur. Bu zamanda önce makinenin yapısına, nominal güce ve makinenin kısa devre oranına bağlıdır.

Gerilimi ayar edilen makinede gerilimin sürekli değeri bütün geçici rejimlerden sonra tekrar eski değerini alır. Burada transient değere kadar seyir ayarsız makinedekinin aynıdır; bundan kısa bir an sonra gerilim yükselmeğe başlar ve ayar değeri civarında titreşime başlar. Harz bağlanmasında eski gerilim değerine saniyenin onda bir ile onda üçü arasında erişilir. Modern gerilim regülâtörlü makinelerde ayar zamanı 0,5 ile 1 saniye arasındadır.

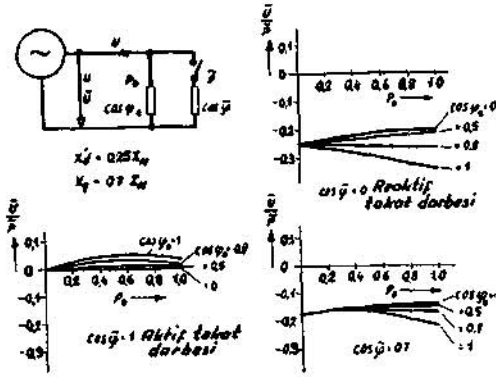
Boşta çalışan makinelere endüktif akım darbesi iki sebepten ideal haldir: Birincisi pratikte bir yükdarbesi her zaman $\cos f = 0$ da olmayabilir, ikincisi makine yük darbesine uğradığı zaman herhangi bir şekilde ön yüke malik olabilir. Bu vaziyetlerde stator akı darbesi artık tam boyuna eksende olmayıp muayyen bir açıya maliktir.

Umumiyetle denir ki, ön yüklü makinelere yük darbesi geldiğinde gerilim düşümü daha azdır. O halde önceden yüklenmiş makinelerde durum daha iyidir. Aşağıdaki izahat da bunu teyit edecektir :

Makine önceden yüklü olsun. Bir darbe yükünün gelmesi ile gerilim biraz düşecektir. Bu düşük gerilimde ön yük (darbeden evvelki yük) eskisinden daha az akım çekecektir, dolayısıyla gerilimin daha fazla düşmesi ön yüksüz hale nazaran daha az olacaktır.

Fakat buna karşılık eğer yük darbesi makinenin enine eksenine de rastlarsa, bu takdirde enine senkron reaktans da kendini gösterecek ve bu, boyuna transient reaktanstan büyük olacaktır, dolayısıyla gerilim düşmesi daha büyük olacaktır. Buna ilâveten ön yük ve darbe yükünün toplamının meydana getirdiği gerilim düşümünün doğrudan doğruya açını durumunu da nazarı itibare* almak lâzımdır. Görülüyor ki vaziyet oldukça karışıktır.

Ön yükün hakikaten gerilim durumunu düzelttiğini veya kötüleştirdiğini görebilmek için, Siemens'ten Dr. Rumpel ile müştereken muayyen bir makine için yaptığımız hesapların sonuçları şeklinde görülmektedir. Burada değişen ön yükte akım ve gerilim değişmesi sonuçları eğriler halinde tesbit edilmiştir. Ordinat eksenini gerilim değişmesi, apsis eksenini de ön yükü (nominal yüke irca edilmiş olarak) göstermektedir. Şekilde sağ yukarıda yalnız endüktif yük darbesi nazarı itibare alınmıştır. Buradaki eğri huzmesinden en alttakini ele alırsak (ki burada ön yük tam endüktif) görülüyor ki ön yük gerilim düşmesini düzeltiyor. Diğerleri bunun aksini göstermektedir. Ön yük $\cos f = 1$ eğrisine yükselen ön yükleme ile gerilim düşmesi artmaktadır.



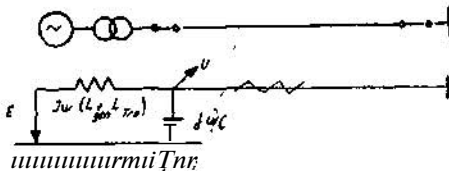
Şekil • 8 — ön yükün transient gerilim değişmesine tesiti

Cos f = 0,7 yük darbesinde gerilim düşmesi az olup, ön yüke bağlılığı aşağı yukarı Cos f = 0 halindeki gibidir. Fakat yük darbesi sadece aktif yük ise bu takdirde oldukça tuhaf bir durum hasil olmakta, gerilim yük darbesinde hatta biraz yükselmektedir. Bu durum bilhassa ön yük omik ve makine nominal gücünün yarısına eşitse daha çok kendini göstermektedir.

Burada dikkat edilirse şekilde yalnız X_d ve X_q değerleri verildi, X_d değeri yazılmadı zira ön yükü de nazarı itibare almamıza rağmen transient darbe seyriinde senkron reaktansın boyuna bileşeni hesap formüllerinden düştü. Bu demektir ki bir yük darbesi esnasında gerilim değişmesine senkron boyuna reaktansın tesiri az olmaktadır.

YÜK ATMALAR

Umumiyetle söylenebilir ki yük atmaların, yüklenmelerden farkı yalnız denklemlerde değerlerin ters işaretler olmasıdır. Yalnız ani yük atmadan sonra kapasitif bir artık yükün kalması halı çok kritik bir durum arzettiğinden bunun ayrıca hesaplanması gerekir. Bu hal uzun bir hat üzerinden besleme yapan veya büyük kablo şebekelerini besleyen generatörlerde gözükür. Uzun hattın sonundaki şalter herhangi bir sebeple açtığı vakit, boşta çalışan hattın mey-



Şekil : 9

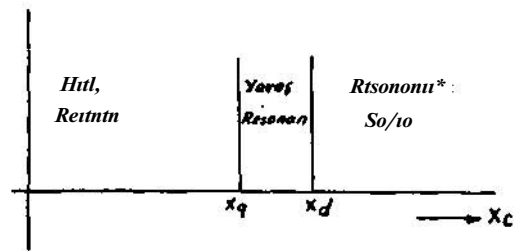
dana getirdiği kapasitif yükün generatör tarafından karşılanması gerekmektedir. Böylece makinenin indüktivitesi L ile hattın kapasitesinin C sen bağlanması neticesi eğer C kâfi derece büyükse bu takdirde seri bir Rezonans devresi meydana gelecektir. Bu durumda gerilim kuvvetle titreşime başlayacaktır.

Yük atma neticesi genratörün devir sayısı yükselmesi (su santrallerinde normal frekansın % 20 sine çiiar) neticesi frekans büyür. Dolayısıyla frekansla orantılı olan kapasitif yük de artacak ve rezonansa gelme daha da kolaylaşacaktır.

Zatî rezonansa hangi C değerinde varılacağını bilmek için frekanstan başka generatörün beş reaktansından hangilerinin etkili olacağını bilmek gerekir. Esasında bütün reaktanslar etkilidir ve hiç bir reaktans değerinde rezonansa gelinmemelidir. Fakat kritik olanı büyük reaktanslardır, zira bu reaktanslarda küçük kapasiteler dahi rezonansa erişmeğe kâfi gelmektedir. Bu beş reaktanstan en büyüğü boyuna senkron reaktans olduğundan eskiden bu reaktans bir sınır teşkil ediyordu. Fakat şimdi seri çalışan gerilim regülâtörleri ile sınır enine senkron reaktans değerine, kadar indirildi. Özet olarak, hattın kapasitesi X_d den dolayısıyla X_q den büyükse rezonans tehlikesi varit olmayacak, eğer $X_d > X_c > X_q$ arasında ise yavaş bir rezonans mümkün olacak, buna da hızlı çalışan bir gerilim regülâtörü ile mâni olmak kabil olacaktır. Tabii burda yukarıda söylenildiği gibi yük atmadan dolayı devir sayısı yükselmesi de nazarı itibare alınır :

$$n \cdot X_d > \frac{X_c}{n} > n \cdot X_q$$

olması lâzımdır. Eğer kapasite X_q değerinden küçükse zatî rezonans o kadar hızlı seyrederek ki buna hiç bir regülâtörle müdahale etmek mümkün olamaz.



Şekil : 10

Pratik olarak kapasitif yükün makine gücüne eşit olması kritik sınır alınır.

(arkası gelecek sayıda)