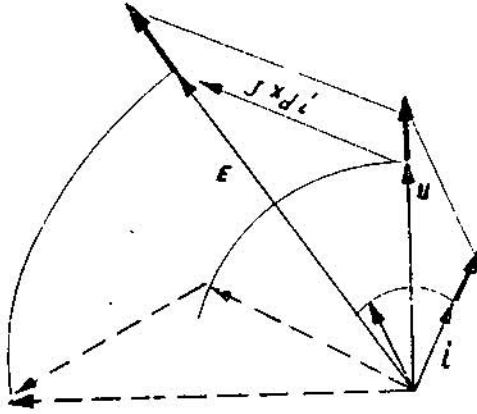


# Senkron Makinede Dinamik Rejim (\*)

Nihat YAYLAN  
Y. Müh.  
E. E. I. M.

## SALINIMLAR

Eğer makine kendi başına bir şebekeyi besliyorsa (Avrupa'da buna ada işletmesi adı verilmektedir) şekildeki diyagrama göre ikaz artırıldığı takdirde diyagram aşağı yukarı orantılı olarak büyüyecektir. Devir sayısı değeri değiştirilecek olursa kutup tekerleği eksenini hareket edecek, fakat bu pratik olarak bir şey ifade etmeyecektir, zira diğer vektörlerde bununla birlikte aynı hızla hareket edecektir ve böylece diyagram durumunu muhafaza edecektir.



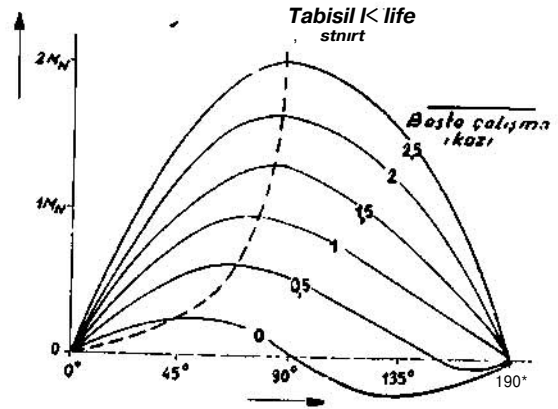
Şekil 11

Makine bir enterkonnekte şebekeyi (paralel işletme) besliyorsa durum daha başka olacaktır. Bilhassa bütün paralel çalışan makinelerin toplam gücü tetkik edilen makinenin gücünden çok büyükse vaziyet çok mühimleşir. Artık bu makinenin devir sayısı regülâtörünü değiştirmekle müşterek frekans değerine pratik olarak tesir etmek kabil olmaz. Gerilim için de aynı şey varittir; ikazı ne kadar değiştirirsek değiştirelim klemens gerilimini biraz aşağı indirebilir veya biraz yukarı çıkarabiliriz (bu şebekenin durumuna bağlı) fakat orantılı bir değişme artık düşünülemez.

İkaz yükseltildiği takdirde reaktif güç artırılmış olunur, eğer kutup tekerleği eksenini açarsak (yeni açığı büyültürsek) aktif akım artar. Fakat kutup tekerleği vektörünü açmak için bir kuvvete ihtiyaç vardır. Diyagram veya daha doğrusu makine bir torsiyon yayı gibidir; bir

kuvvetle çekilip bırakıldığı zaman eski durumuna hemen gitmez bir hayli titreşim, gidip gelmelerden sonra sükûnete erişir. İşte buna makine salınım yapıyor denmektedir. Bu salınımları daha yakından tetkik edelim :

Şekilde çok büyük bir şebeke ile, paralel çalışan bir çıkık kutuplu makinenin moment karakteristikleri verildi. Kutup tekerleği şebeke gerilimi vektörüne nazaran ne kadar çok açılırsa, hava aralığı momenti de ve aynı şekilde aktif güçte o kadar artar, veya aksi olarak: Makinenin şebekeye verdiği aktif güç arttıkça açı kayması da o nisbette büyür. Yalnız bu muayyen bir sınıra kadar olur; takat bu sınırı aştığı takdirde bir açı bağıntısı olmayacaktır; yani torsiyon yayı kopacak, bu demektir ki makine devreden çıkacaktır. Şekilde görüldüğü gibi makinenin dönme momenti karakteristiği ikaz durumuna bağlıdır. Yüksek ikazda eğriler yükselmekte ve devreden çıkma noktası hemen hemen



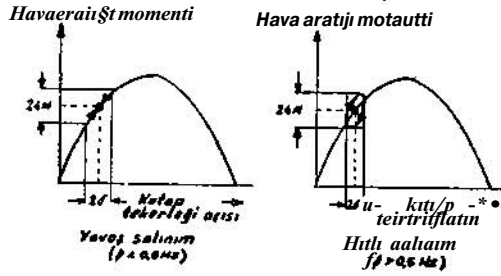
Şekil . 12

90° olmaktadır; düşük ikazlar da ise eğriler basıklaşmakta ve devreden çıkma noktaları küçük açı değerlerinde olmaktadır. Bu devreden çıkma noktalarından geçen eğri senkron makinenin stabilite sınırını verir. Türbogeneratörlerde moment eğrileri hemen, hemen sinüs fonksiyonları şeklinde olup, stabilite sınırı 90° dedir.

Dizel generatörlerinde veya pistonlu kompresörlerde olduğu gibi, milmomenti pulzasyonlu

(\*) 91 inci sayıdan devam.

ise bu takdirde moment karakteristiği üzerindeki çalışma noktası sabit olmayıp, ortalama yük momentine tekabül eden nokta etrafında cebri salınımlar yapar. Bu küçük titreşimleri hesap etmek için ortalama çalışma noktasında eğriye bir teğet çizilir. Bu teğetin eğimi açı başına momenti verir. Bu eğime makinenin senkronlayıcı katsayısı da denir. O halde görüldüğü gibi senkronlayıcı katsayı ortalama çalışma noktasına bağlıdır.

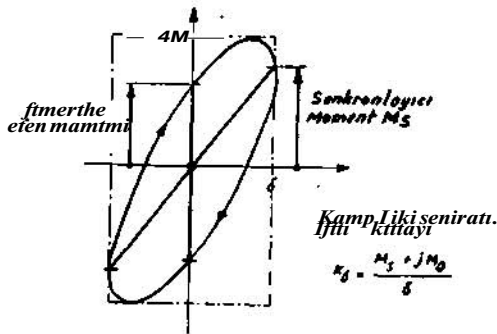


Şekil : 13 — Salımda hava aralığı momentinin seyri.

Bu şekilde bulunan senkronlayıcı katsayı ile 0,3 - 0,5 Hz'e kadar salınım frekanslarında oldukça doğru değerler elde edilebilir. Daha yüksek salınım frekanslarında durum değişir. Çalışma noktası artık karakteristik üzerinde veya yaklaşık hali veren teğet üzerinde gidip, gelme yapmaz, ortalama çalışma noktası etrafında bir elips üzerinde dönmeler yapmağa başlar.

Böyle bir elipsin nasıl ortaya çıktığını görebilmek için :

Kutup tekerleği açısı noktalı çizgilerle belirlenen sınırlar arasında zamana bağlı olarak sinüs şeklinde titreşir. Şimdi burada açı sapması ile orantılı aksi tesir momenti mevcuttur. Açının sıfırdan geçtiği yerlerde bu momentte sıfırdır. Burada ikinci bir moment daha vardır. Bu ikinci moment birinciye nazaran tam 90° faz kaymasına maliktir. Bu moment salınım darbesi sıfırdan geçerken, yani salınım sür'ati maksimum iken maksimumdur. O halde bu amortisman momentidir.

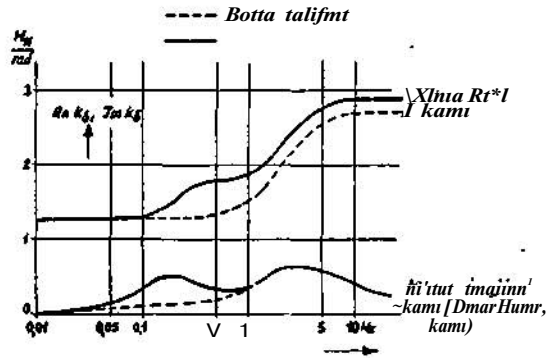


Şekil : 14

Nasıl moment karakteristiğinin teğeti vasıtası ile bir senkronlayıcı katsayı tarif edilebiliyorsa, benzer şekilde elipsten de bir kompleks senkronlayıcı katsayı tarif edilebilir. Reel kısmı ———— M.

layıcı katsayı tarif edilebilir. Reel kısmı ———— S aksi tesir eden moment kısmının eğimini, imajiner kısmında ———— M<sub>D</sub> amortisman momenti kısmına 8 tekabül eder.

Şekil kompleks senkronlayıcı katsayısının her iki kısmının seyri şematik olarak vermektedir. Buradan görülüyor ki çok düşük salınım frekanslarında amortisman yok ve senkronlayıcı bileşen statik moment karakteristiğindeki teğetten elde edilecek değere tekabül emektedir. Yükselen salınım frekansı ile senkronlayıcı bileşen de iki kademe halinde yükselir. Amortisman bileşeninde aynı kademe frekansında iki bölüm teşkil ederler. Bu durum aktif takatla yüklü bir makinede böyle olacaktır. Boşta çalışmada ve reaktif takatla yüklenme halinde kesik çizgide görüldüğü gibi kademeler ortadan kalkar. Bunu izah edelim. Bilindiği gibi yükselen salınım frekansı ile dinamik reaktanslar boyuna eksende iki kademe, enine eksende bir kademede tesirini gösterir. Boşta çalışmada enine eksen tesirli olup, aktif yükte buna boyuna eksende eklenir. Kutup tekerleği açısı ne kadar büyüksün boyuna eksenin tesiri o nisbetle fazla olur. Bu hal ikaz ve amortisman sargılarının bir neticesidir.



Şekil . 15 — Kompleks senkronlayıcı katsayının frekans geçiş fonksiyonu

Bu kompleks senkronlayıcı katsayısının frekans transfer fonksiyonu ile amortisman sargılarının hesaplanması ve tesbiti, gayet sıhatle mümkün olmaktadır. Bu metod yardımıyla Dr. Rumpel ile müştereken çıkardığımız optimum amortisman sargılarının hesaplanması hakkındaki kriteriyumu burada vermek isterdim, fakat okuyucuyu teorik denklemlere boğmak istemedim. Ayrıca yine aynı metodla senkron makinede enterpolasyon metodu ile hakiki statik stabilite eğrisinin

hesabı mümkün olmaktadır. Gine bu hesap yolu yardımı ile dizel generatörlerin optimum yol alma zaman sabitelerini ve  $GD^2$  lerini de hesaplamak kabil olmaktadır. Burada metodun enteresan bir tatbikatını da belirtmek gerekir:

Peru'da Lima şehri civarında Siemens Firmasının kurduğu bir gaz türbininde gurubun yol alması için generatörün frekans metodu ile kalkınması esnasında dizel generatörü bina ebatlarından tasarruf gayesi ile ana generatöre küple olarak monte edilmeyip binanın herhangi bir yerine yerleştirilmişti. Dizel generatörden ana generatöre kablolarla gidilmekte olup, ana generatörün ilk yol alma esnasında senkron motor olarak çalışmasını temin eden bu dizel generatör çok büyük salınımlar yapıp her defasında devreden çıkmıştır. Yukarıda bahsedilen metod yardımı ile yapılan hesaplarda gördük ki amortisman sargılarını değiştirmekle pek fazla bir fayda sağlanmıyor. Bunun üzerine dizel generatörü için şebeke yerine geçen kabloların dirençlerini değiştirmeyi düşündük. Buna benzer bir misali Laible kitabında ele almıştır. Yarı hesap, yarı grafik metodu ile hesapladığı bu misalde Leible generatörün şebekeye bağlandığı hattın reaktansını değiştirmiştir. Biz dirence bağlı senkronlayıcı katsayı ile dirence bağlı olmayan senkronlayıcı katsayısının  $kS_{(r)} - KS$  farkının belirli direnç değerlerinde sabit frekansma bağlı eğrilerini çıkardık ve böylece en uygun kablo direnci seçilmiş oldu. Yine bu metod yardımı ile dizel generatörlerde cebri frekans (pulsasyon frekansı) ve zafî frekans arasındaki tehlikeli rezonans durumu kolaylıkla incelemektedir.

#### D İ N A M İ K S T A B İ L İ T E

Bir generatör işletmenin icap ettirdiği bütün yük değişimlerinde zafî ikazlı salınımlar doğurmamalı veya devreden çıkmamalıdır. Bu iki şart «statik stabilite» anlamı ile tarif edilir.

Dinamik stabilite ise generatörün şebekede vuku bulacak bir arıza, meselâ bir kısa devrede, devreden çıkmadan çalışmaya devam etmesidir.

Bir makinenin sonsuz büyük  $M_r$  şebekeye bağlanmasında dinamik stabilitenin hesabı için eşit yüzey metodu oldukça kolay bir yol vermektedir. İki makinenin olması halinde hesap biraz daha komplikeleşir. Fakat şebeke bir çok generatörleri ihtiva ediyorsa, bu takdirde dinamik stabilite hesaplarını elle yapmak hemen hemen imkânsızdır. Burada karşılaşılabilecek lineer olmayan differansiyel denklemlerin çözümleri için modern hesap makineleri kullanılmaktadır. (Digital hesap makinesi, Anoloji aleti v.s.) Ayriyeten küçük senkron makinelerle de (5 kVA) tetkik edilecek şebeke teşkil edilip dinamik stabilite etüdü yapılmaktadır. Bu şekilde on makineli bir tertip Fransa'da E D F 'de mevcuttur.

#### STABİLİTENİN GERİLİM VE KUTUPTEKERLEĞİ AÇISI REGÜLÂTÖRÜ İLE DÜZELTİLMESİ

Daha evvel görüldü ki kutup tekerleği açısı tabîi stabilite sınırını aştığı takdirde generatör devreden çıkacaktır. Bu hal sabit ikazda kolayca vuku bulur. Fakat ikazı sabit tutmayıp, bilâkis artan kutup tekerleği açısı yükselip; düşen açı değerlerinde de alçaltırsak stabilite sınırının Öbür tarafında daha yüksek eğriler elde ederiz. Bu şekilde yükselen moment eğrileri ile büyük kutup tekerleği açılarında dahi statik stabilite mümkün olmaktadır.

İkazın kutup tekerleği açısına bağlı olarak değiştirilmesi oldukça kolaydır. Bunun için kutup tekerleği açısı devamlı olarak ölçülür. Ve bu ölçme değeri ile orantılı olarak ikaz ayarlanır.

Fakat hızlı çalışan gerilim regülâtörleri de stabilite sınırının arkasında muayyen bir saha içinde aynı şeyi yaparlar, meselâ eğer generatör ile şebekeye bağlantı noktası arasında bir trafo veya bir hat mevcut ise kutup tekerleği açısı büyümesi neticesi düşen klamens gerilimini gerilim regülâtörü ikazı yükseltmek sureti ile eski değerine çıkar.

Ayriyeten makinenin kendisinde yükselen bir eğri temin eder. Dinamik reaktanslarla elde edilen eğrilerde maksimum değer  $90^\circ$  nin oldukça üstündedir. Fakat transient reaktans ve buna ait ikaz akımının büyüklüğü devamlı işletmeyi stabilize edemeyecek kadar çabuk söner. Buna rağmen makinenin bu hususiyeti çok faydalıdır, zira makinenin hemen kendi kendine yardıma koşması regülâtöre zaman kazandırır.

Stabilite sınırının sun'i olarak artırılması aşağıdaki üç mühim işletme hallerinde kaçınılmazdır:

1 — Generatörün düşük ikazda çalışmasında:

En mühim olarak bu hal geniş kablo şebekelerini besleyen büyük şehir santrallerinin zayıf yükle işletme zamanında zuhur eder.

2 — Kompansatörün düşük ikazla reaktif katkı vermesi halinde:

Kutup tekerleği açısı regülâtörü vasıtası ile tabîi stabilite sınırından muayyen bir emniyet mesafesi kadar geride çalışmaya lüzum kalmaz ve böylece makineden düşük ikaz sahasında daha çok faydalanılmış olur.

3 — Küçük boşta çalışma kısa devre oranlı makinelerde:

Bilindiği gibi boşa çalışma kısa devre oranı küçüldükçe işletme sahası stabilite sınırından uzaklaşır.

Kutup tekerleği açısı ikazlı regülâtörler hakkında bir iki sene evvel yine Elektrik Mühendisliği dergisinde yazılar intişar etmişti.

EK

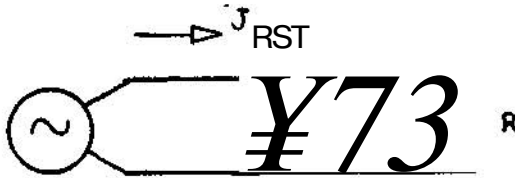
### ÖN YÜKLÜ MAKİNEDE YÜK DARBELERİNDE TRANSİENT GERİLİM DEĞİŞİMİ

Yazıda da belirtildiği gibi bir makinenin yüklenmesi halinde transient gerilim değişiminin büyüklüğü ön yüke bağlıdır. Burada en çok iki faktör rol oynar:

- 1 — Yük darbesinin gelmesi ile gerilimin düşmesi neticesi o zamana kadar makineye bağlı olan yük empedansı daha az akım çeker ve bunun neticesi geriliminin daha da düşmeğe devam etmesi önlenir
- 2 — Aktif ön yükte makinenin kutup tekerleği başta çalışma durumuna göre sapar, bu vasıta ile reaktif yük darbesinde de enine reaktans müessir olur.

Görülüyor ki birinci durum transient gerilim düşmesini azaltır, buna karşılık ikinci durum ekseri artırır. Bunlardan hangisinin daha ağır basacağı makine reaktanslarına, ön yüke ve yük darbesinin  $\cos \phi$  sine bağlıdır. Bu sebepten her zaman ön yükün transient gerilim düşmesini azalttığı söylenemez.

### TRANSİENT GERİLİM DEĞİŞİMİNİN HESABI



Şekil: 16

$$I_{RST} = \left[ \frac{1}{pL} + \frac{1}{R} \right] U_{RST} \quad (D)$$

$$pL I_{RST} = \left[ 1 + \frac{pL}{R} \right] U_{RST} \quad (2)$$

Park Transformasyonları

$$qU_{odg} = \left[ w \begin{matrix} \% \\ R \end{matrix} \right] U_{odg} \quad (3)$$

$$q = -w_n \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$-w_n L \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_o \\ u_d \\ u_q \end{bmatrix} = \frac{w_n L}{R} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_o \\ U_d \\ U_q \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$-L u_n I q = U_d - y I q L \cdot U_q \quad (6)$$

$$w_n L I d = U_q + \frac{w_n L}{R} U_d$$

Makine değerlerine irca edilince:

$$I q = -\frac{U_d}{x} + \frac{U_q}{r} \quad (7)$$

$$U_d = \frac{U_q}{x} + \frac{U_d}{r}$$

$$\frac{1}{x} = y \cdot r L = 2 \quad (8)$$

yazarsak:

$$\begin{aligned} i_q &= -y U_d + z U_q \\ i_d &= y U_q + z U_d \end{aligned} \quad (9)$$

9 denklemlerinde y ve z nin değişimlerinde darbe büyüklükleri (lineerize edildi):

$$\begin{aligned} \tilde{i}_q &= -\tilde{y} U_{d0} + \tilde{z} U_{q0} \\ \tilde{i}_d &= \tilde{y} U_{q0} + \tilde{z} U_{d0} \end{aligned} \quad (10)$$

Makinedeki Transient darbenin değeri:

$$\begin{aligned} \tilde{U}_d &= \tilde{i}_q \cdot x_q \\ \tilde{U}_q &= -\tilde{i}_d \cdot x_d \end{aligned} \quad OD$$

10 ve 11 denklemlerinden :

$$\bar{u}_d = V \frac{\bar{y} [-u_{d0}(1+y_0 x'_d) - z_0 x'_d u_{q0}] + \bar{z} [u_{q0}(1+y_0 x'_d) - z_0 x'_d u_{d0}]}{1+y_0(x_q+x'_d) + (y_0^2+z_0^2)x_q x'_d} \quad (12)$$

$$\bar{u}_q = -x'_d \frac{\bar{y} [u_{q0}(1+x_q y_0) - u_{d0} z_0 x_q] + \bar{z} [u_{d0}(1+y_0 x_q) + z_0 x_q u_{q0}]}{1+y_0(x_q+x'_d) + (y_0^2+z_0^2)x_q x'_d}$$

Ö: gerilim düşmesi  $\bar{u}_q$  ve  $\bar{u}_d$  nin toplamı olacaktır :

$$u_0 + \bar{u} = \sqrt{(u_{d0} + \bar{u}_d)^2 + (u_{q0} + \bar{u}_q)^2} \quad (13)$$

lineerize edilirse :

$$\bar{u} = \frac{u_{d0}}{u_0} \bar{u}_d + \frac{u_{q0}}{u_0} \bar{u}_q \quad (14)$$

12 ve 14 denklemlerinden :

$$\bar{u} = \frac{-\bar{y} [u_0 y_0 x'_d] + \bar{z} [u_0 z_0 x'_d - u_{d0} u_{q0} (x_q - x'_d)]}{u_0 [1+y_0(x_q+x'_d) + (y_0^2+z_0^2)x_q x'_d]} \quad (15)$$

veya aşağıdaki değerleri yazarsak .

$$\begin{aligned} p_0 &= u_0 z_0 & \bar{p} &= u_0 \bar{z} \\ q_0 &= u_0 y_0 & \bar{q} &= u_0 \bar{y} \end{aligned} \quad (16)$$

Buna göre denklem .

$$\frac{\bar{u}}{u_0} = \frac{-\bar{q} [q_0 x'_d x_q + u_{d0}^2 x'_d + u_{q0}^2 x'_d] - \bar{p} [p_0 x'_d x_q - u_{d0} u_{q0} (x_q - x'_d)]}{u_0^2 + u_0^2 q_0 (x_q + x'_d) + (p_0^2 + q_0^2) x'_d x_q} \quad (17)$$

$u_{d0}$  ve  $u_{q0}$  için :

$$u_{d0} = \frac{u_0 x_q p_0}{\sqrt{(u_0^2 + x_q q_0)^2 + (x_q p_0)^2}}$$

$$u_{q0} = \frac{u_0 (u_0^2 + x_q q_0)}{\sqrt{(u_0^2 + x_q q_0)^2 + (x_q p_0)^2}}$$

$\hat{u}$  Transient gerilim düşmesi

$\hat{b}$  Darbe gelmeden evvelki klâmens gerilimi

$u_{d0}$  Darbeden evvelki boyuna gerilim değeri

$u_{q0}$  Darbeden evvelki enine gerilim değeri

$p$  Yük darbesinin aktif kısmı

$q$  Yük darbesinin reaktif kısmı

$D$  Darbeden evvelki ön yükün aktif kısmı

$Q_0$  Darbeden evvelki ön yükün reaktif kısmı

$X_q$  Senkron enine reaktans

$X'_j$  Transient boyuna reaktans

Denklemler lineerize edildiğinden  $\bar{p}$  ve  $\bar{q}$  nin artan değerlerinde denklem 17 nin doğruluğu

azalacaktır. Nominal takat büyüklüğünde bir darbede hesap değeri tahminen % 10 bir hata verir