



$$\left(\frac{1}{x_d''} - \frac{1}{x_d'}\right) \frac{P}{P + \beta d_2} \quad (68)$$

Burada  $p_{d1}$  ve  $(j\omega)$  denklemin pay denkleminin negatif kökleridir (bu demektirki  $P_{d1}$  ve  $(3\omega)$  pozitif sayılardır),  $\omega d$  ise boyuna eksenindeki transient reaktansdır\*. Yine 62 paydasının negatif köklerini  $a_{d1}$  ve  $a_{d2}$  Ue gösterirsek, bu taktirde denklem 62'yi şu şekilde yazabiliriz:

$$\frac{(p + \beta d_1)(p + \beta d_2)}{(p + a_{d1})(p + a_{d2})} \quad (69)$$

Şimdi denklem 62 ile 68 in mukayesesinden :

$$x_d' = x_d \frac{\beta d_2 - \beta d_1}{\alpha_{d1} \alpha_{d2} - \beta d_1 \left(1 + \frac{x_d''}{x_d}\right)} \quad (70)$$

Resim denklemi 68 den zaman denklemine geçildiği taktirde:

$$\mathcal{L}^{-1} \left[ \frac{1}{s} \left( -\frac{1}{s} + \frac{1}{s + a_{d1}} + \frac{1}{s + a_{d2}} \right) \right] = f^*(t) + \left( \frac{1}{x_d''} - \frac{1}{x_d'} \right) \frac{1 - e^{-a_{d1}t}}{a_{d1}} + \frac{1 - e^{-a_{d2}t}}{a_{d2}} \quad (71)$$

Bu denklem her çeşit hale tekabül eden rejimin hesabında boyuna eksenin zamana bağlı değişimini,  $P_{d1}$  ve  $P_{d2}$  değerlerinin tersleri de transient zaman sabitesini ve subtransient (başlangıç) zaman sabitesini verir:

$$\frac{1}{\beta d_1} = T_d', \quad \frac{1}{\beta d_2} = T_d''$$

Enine eksen için denklem 63 den :

$$y \lll = *J \frac{p + \beta q}{P + a_9} \quad (72)$$

Aynı yoldan :

$$\frac{1}{x_q(p)} = \frac{1}{x_q} + \left( \frac{1}{x_q''} - \frac{1}{x_q'} \right) \frac{p}{p + \beta q} \quad (73)$$

ve buradan :

$$\mathcal{L}^{-1} \left[ \frac{1}{x_q(p)} \right] = \frac{1}{x_q} + \left( \frac{1}{x_q''} - \frac{1}{x_q'} \right) \frac{1 - e^{-\beta q t}}{\beta q} \quad (74)$$

Enine eksen subtransient zaman sabitesi:

9 "j

### III — SENKRON MAKİNEDE KISA DEVRE

Şimdiye kadar yapılan hesaplara misâl olmak üzere ve aynı zamanda teknik mânası büyük olan kısa devre hali ele alındı. Bu misal Laible'nin daha evvel belirtilen tanınmış kitabından aynen alınmıştır. Böylece aynı zamanda elektrik makinelerinin en mühim konularından biri olan senkron makinede kısa devre rejimi de etüt edilmiş olacaktır.

Kısa devre esnasında ikaz gerilimi ve devir sayısı sabit olsun :

$$I_s^* / M' I_s^* I_s^* \quad (75)$$

Kısa devreden evvel makine boşta çalışsın, o halde : Yük akımı geçmediğinden ve stasyoneer durumda amortisman sargularından akım geçmediğinden :

$$I_{d0} = I_{q0} = I_{s0} = I_{a0} = 0 \quad (76)$$

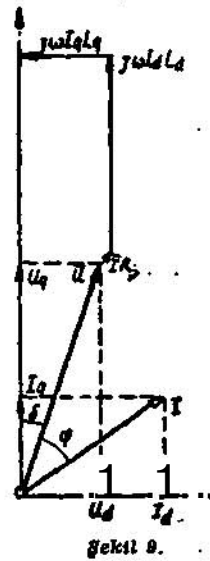
Bu 75 ve 76 eşitliklerini toplum denklemlerde yerine korsak veya senkron makine vektör diyagramını nazarı itibara alırsak şekil 19) (burada umumî olması için yük durumu çizilmiştir, boşta çalışma halinde 8 açısı sıfır olacaktır) den hemen aşağıdaki 77 bağıntıları gözükecektir :

$$\left. \begin{aligned} U_{d0} &= -\psi_{q0} = 0 \\ U_{q0} &= -\psi_{d0} = I_{s0} \end{aligned} \right\} \quad (77)$$

Hesapları kısaltmak için stator direnci ihmal edildi. Bu vaziyette kısa devreye tekabül eden denklemler :

$$\left. \begin{aligned} \tilde{U}_d &= 0 = -p(\tilde{\psi}_d + I_{s0}) + \tilde{\psi}_q \\ \tilde{U}_q &= 0 = -p\tilde{\psi}_q - \tilde{\psi}_d \end{aligned} \right\} \quad (78)$$

Buradan hemen  $\tilde{\psi}_d$  ve  $\tilde{\psi}_q$  değerleri çıkarılabilir :



Şekil 9.

$$\tilde{y}_d = -\frac{p^2}{p^2+1} \cdot I_{E0} ; \tilde{y}_q = \frac{p}{p^2+1} \cdot I_{E0} \quad (79)$$

Laplace transformasyonları bahsinde verilen tablo 1 den hemen bu denklemlere tekabül eden orjinal fonksiyonlar bulunur :

$$d = I_{E0} \cos t, \quad y_q = I_{E0} \sin t \quad (80)$$

Buradan görülmüştür ki her iki akı titreşimleri aynı amplitüdü taşıyan olup birbirinden 90 derece kaymıştır. Eğer stator direnci nazarı itibara alınmış olsa idi bu titreşimler bastırılmış olacaktı. Şimdi 79 eşitliklerinden ilkinin denklem 60 da ye-

Büyük makinelerde  $p_{d1}$  ve  $(3_{d1})$  küçük değerler aldığından  $l$ 'in yanında ihmal edilebilirler. Bu taktirde 82 denklemi şu şekli alır :

$$\begin{aligned} i_d \approx I_{E0} & \left[ \frac{1}{x_d} + \left( \frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) \cdot e^{-\beta_{d1} t} + \right. \\ & \left. \left( \frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) e^{-\beta_{d2} t} - \frac{1}{x''_d} \cos t \right] \quad (83) \end{aligned}$$

Aynı yolları takiple  $i_q$  akımı da çıkar :

$$\left. \begin{aligned} \tilde{y} &= I_{E0} \frac{p}{p^2+1} \cdot i^* \cdot q(p) \\ \tilde{i}_q &= I_{E0} \frac{p}{p^2+1} \cdot \frac{1}{X_s(p)} \end{aligned} \right\} \quad (84)$$

Buna göre :

$$\begin{aligned} i_q &= I_{E0} (\cos t) * \left[ \frac{1}{x_q} + \left( \frac{1}{x'_q} - \frac{1}{x_q} \right) \cdot e^{-\beta_{q1} t} \right] \\ &= I_{E0} \int_0^t \cos(t-\tau) \cdot \left[ \frac{1}{x_q} + \left( \frac{1}{x'_q} - \frac{1}{x_q} \right) \cdot e^{-\beta_{q1} \tau} \right] d\tau \\ &= I_{E0} \frac{1}{x_q} \sin t + \left( \frac{1}{x'_q} - \frac{1}{x_q} \right) \cdot \frac{1}{1+\beta_{q1}^2} (\sin t + \beta_{q1} \cos t - \beta_{q1} e^{-\beta_{q1} t}) \quad (85) \end{aligned}$$

rine koyalım ve 75, 76 başlangıç şartlarından dolayı :

$$\tilde{d} = \tilde{d}_0 + \tilde{d}_1 + \tilde{d}_2 + \tilde{d}_3 \quad (81a)$$

veyahut :

$$\tilde{i}_d = I_{E0} \frac{1}{(p^2+1) \cdot x_d(p)} \quad (81b)$$

Bu eşitliği şu şekilde yazabiliriz :

$$\tilde{i}_d = I_{E0} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{p}{p^2+1} \cdot \frac{1}{x_d(p)}$$

Burada  $\frac{1}{p^2+1}$  ve  $\frac{1}{x_d(p)}$  resim fonksiyonlarının orjinal fonksiyonlarını biliyoruz, bu iki fonksiyona katlama kaidesini tatbik ederiz :

veyahut, eğer  $\beta_{q1}$  değeri  $l$ 'e nazaran ihmal edilirse:

$$i_q \approx I_{E0} \cdot \frac{1}{x_q} \sin t \quad (86)$$

Her iki 83 ve 86 denklemlerini 25 denklemlerinde ilk eşitliğe korskak :

(Devamı arka sayfada)

$$\begin{aligned} i &= I_{E0} (\sin t) * \left[ \frac{1}{x_d} + \left( \frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) \cdot e^{-\beta_{d1} t} + \left( \frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) \cdot e^{-\beta_{d2} t} \right] \\ &= I_{E0} \int_0^t \sin(t-\tau) \left[ \frac{1}{x_d} + \left( \frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) \cdot e^{-\beta_{d1} \tau} + \left( \frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) \cdot e^{-\beta_{d2} \tau} \right] d\tau \\ &= I_{E0} \left[ \frac{1}{x_d} (1 - \cos t) + \left( \frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) \frac{1}{1+\beta_{d1}^2} (e^{-\beta_{d1} t} - \cos t + \beta_{d1} \sin t) + \right. \\ & \quad \left. + \left( \frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) \cdot \frac{1}{1+\beta_{d2}^2} (e^{-\beta_{d2} t} - \cos t + \beta_{d2} \sin t) \right] \quad (82) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
i_o &= i_g \cos(t + \alpha_0) - i_g \sin(t + \alpha_0) \\
&= I_{Eo} \left\{ \left[ \frac{1}{x_d} + \left( \frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-\beta_{d1} t} + \left( \frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) e^{-\beta_{d2} t} \right] \cos(t + \alpha_0) \right. \\
&\quad \left. - \frac{1}{x'_d} \cos t \cdot \cos(t + \alpha_0) - \frac{1}{x''_d} \sin t \sin(t + \alpha_0) \right\} \\
&= I_{Eo} \left\{ \left[ \frac{1}{x_d} + \left( \frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-\beta_{d1} t} + \left( \frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) e^{-\beta_{d2} t} \right] \cos(t + \alpha_0) - \right. \\
&= I_{Eo} \left\{ \left[ \frac{1}{x_d} + \left( \frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-\beta_{d1} t} + \left( \frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) e^{-\beta_{d2} t} \right] \cos(t + \alpha_0) \right. \\
&\quad \left. - \frac{1}{2} \left( \frac{1}{x'_d} + \frac{1}{x''_d} \right) \cos \alpha_0 - \frac{1}{2} \left( \frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x''_d} \right) \cos(2t + \alpha_0) \right\} \quad (87)
\end{aligned}$$

Denklemin ilk üç terimi, frekansı generatörün devir sayısına tekabül eden ve amplitüdü başlangıç  $\frac{I_{Eo}}{x_d}$  değerinden nihai değere  $\frac{I_{Eo}}{x_d}$  doğru azalan

bir alternatif akımı belirtirler  $I \frac{1}{x_d}$  den  $\frac{I_{Eo}}{x_d}$  değerine azalma çok küçük zaman sabitesi ile  $T_d = \frac{1}{\beta_{d1}}$  çok hızlı;  $I_{Eo} \frac{1}{x''_d}$  den  $\frac{I_{Eo}}{x''_d}$  değerine azalma  $T_d = \frac{1}{\beta_{d2}}$  zaman sabitesi ile oldukça yavaş geçer. Hızlı olarak kaybolan kısma  $I_{Eo} \left( \frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-\beta_{d1} t}$

kısa devre akımının Subtransient kısmı ve buna tekabül eden zaman sabitesine  $T_d = \frac{1}{\beta_{d1}}$  subtransient zaman sabiti denmektedir. Daha yavaş seyreden kısma kısa devre akımının Transient bileşeni ve buna ait zaman sabitesine  $T_d = \frac{1}{\beta_{d2}}$  transient zaman sabiti adı verilir. Geri kalan akım kısmı  $I_{Eo} \frac{1}{x_d}$  ise devamlı kısa devre akımıdır.

$$T_o = \frac{2 x''_d x'_d}{r \cdot (x''_d + x'_d)}$$

elde edilir.

Denklemin 87 de son terim çift frekanslı alternatif akımdır. Bu akımın amplitüdü sabit kalmayıp, doğru akım bileşeni gibi  $T_a$  zaman sabitesi ile söner. Amortisman sargıları uygun seçilmiş makinelerde  $x''_d = x'_d$  olduğundan bu bileşen çok küçüktür. Buna karşılık amortisman sargısız veya kısmi amortisman sargılı generatörlerde bu bileşen mühim bir yekûn tutar.

Kısa devre tam stator sargı eksenine ile kutup tekerleği ekseninin çalıştığı anda ( $u=0$ ) vukua gelirse, bu taktirde bütün alternatif bileşenler maksimum değerlerini alacaklar, doğru akım bileşeni de en büyük değerinde  $\frac{I_{Eo}}{2} \cos \alpha_0$  olacaktır. Kısa devre akımının denklemi bu vaziyette :

$$\begin{aligned}
i_o &= I_{Eo} \left[ \frac{1}{x_d} + \left( \frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x_d} \right) e^{-\beta_{d1} t} + \left( \frac{1}{x''_d} - \frac{1}{x'_d} \right) e^{-\beta_{d2} t} \right] \cos t \\
&\quad - \frac{I_{Eo}}{2} \left( \frac{1}{x'_d} + \frac{1}{x''_d} \right) \cos \alpha_0 - \frac{I_{Eo}}{2} \left( \frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x''_d} \right) \cos 2t
\end{aligned}$$

Alternatif akım kısmına tekabül eden  $\frac{I_{Eo}}{2} \left( \frac{1}{x'_d} + \frac{1}{x''_d} \right) \cos \alpha_0$  terim, büyüklüğü kısa devre  $\frac{I_{Eo}}{2} \frac{1}{x''_d}$  anına ( $\alpha_0$ ) bağlı bulunan doğru akım bileşenidir. Buna kısa devre akımının Asimetrik bileşeni de denmektedir. Aslında bu bileşen sabit kalmayıp denklemin 87 de görüldüğü gibi  $T_a$  zaman sabitesi ile exponansiyel olarak söner.  $T_a$  sabitesi burada ihmal edilen dirence tabidir; bu dirence olmayıp fakat her an  $x''_d$  ve  $x'_d$  ye nazaran küçük kaldığı kabul edilirse, bu taktirde :

Diğer bir sınır değerinde, kısa devre anında kutup tekerleği ekseninin stator eksenine dik

$\left( \alpha_0 - \frac{\pi}{2} \right)$  olması halindedir. Bu taktirde alternatif

akım bileşenleri sıfırdan başlar ve doğru akım bileşeni tamamen ortadan kalkar. Bu halde tekabül eden akım :

$$i_0 = I_0 \left[ \frac{1}{x_d} + \left( \frac{1}{x_d} - \frac{1}{x_q} \right) e^{-\frac{t}{T_d}} + \left( \frac{1}{x_d} - \frac{1}{x_q} \right) e^{-\frac{t}{T_q}} \right] \cdot \sin \omega t - \frac{I_0}{2} \left( \frac{1}{x_d} - \frac{1}{x_q} \right) e^{-\frac{t}{T_d}} \sin 2\omega t$$

Bu halde akım daha başlangıç anından itibaren simetrik olarak seyreder.

## LİTERATÜR

### I — Laplace transformasyonları

Kari Willy Wagner : Operatorenrechnung und Laplace'sche Transformation (Almanca)

Johann Barth Verlag — Leipzig 1950

Teknik misalleri havi olması kitabın kıymetini bir misli daha arttırmaktadır.

Gustav Doetsch : Anleitung zum praktischen Gebrauch der Laplace - Transformation (Almanca)

L. Oldenburg München 1956

Yaarın aynı mevzu ile ilgili bir kaç eseri daha varsa da, bu kitap Laplace transformasyonlarını kısa zamanda kavrayabilmek için en elverişli olanıdır.

Brüderling : Laplace transformation und Elektrische Ausgleich - Vorgänge (Almanca)

Braun - Karlsruhe 1961

Hesap kaidelerini kısaca veren bir çok pratik misalleri havi küçük bir el kitabıdır.

### II — Park transformasyonları

Th. Libe : Die Theorie der Synchronmaschine (Almanca)

Springer Verlag 1952

Yamız bazı kısımları ihtiva etmekle beraber hemen hemen bu kitabın özetlenmiş şeklidir. Kitap ayrıyeten daha bir çok misalleri ihtiva eder.

Kurt Bonfert : Betriebverhalten der Synchronmaschine (Almanca)

Springer Verlag 1962

Siemens baş mühendis olan Bonfert bu kitabı bilhassa işletmeciler ve senkron makine projeleri yapanlar için hazırladı. Kitabın ikinci kısmı tamamen Park transformasyonlarına hasredilmiştir. Bu kısımda bilhassa zaman sabiteleri ve kaçaklara ait katsayılar teknik problemlere kolayca tatbik edilecek şekilde formüle edilmiştir. Birinci kısımda ise diğerleri meyanda bilhassa makinede dinamik ve statik stabilite eğrilerinin ve ikaz hunin hesabını tam olarak vermektedir.

Kovacs - Racz : Transienten Vorgänge in Wechselstrommaschinen (Almanca)

Akademie der Wissenschaften — Budapest 1959

Birinci cilt senkron makinelerle aittir, ikinci cilt asenkron makinelerde geçici rejimi veren yegane kitaptır.

Th. Bödefeld - H. Sequenz : Elektrische Maschinen (Almanca)

Springer Verlag 1962

Bu altıncı baskıda Park transformasyonları kısaca özetlenmiştir.

C. Concordia : Synchronous Machines (İngilizce)

New - York 1951

Wenikow - Shukow : Ausgleichvorgänge in elektrischen Systemen (Almanca)

Verlag Technik Berlin (Doğu) 1956

Bu kitapta yalnız generatöre ait geçiş rejimi değil, aynı zamanda şebekedeki geçiş rejimi de ele alınmıştır. Böylece kitap şebekede dinamik stabilite, kısa devre, frekans değişmesi v.s. gibi hallerin hesaplanmasına ait basitleştirilmiş, pratik metotları da vermektedir.

## MÜHENDİS ARANIYOR

Kayseri Belediye Sızır Hidro Elektrik Santral İşletmesi'nde çalışmak üzere Elektrik Yüksek Mühendis veya Mühendisi alınacaktır.

İsteklilerin Kayseri Belediyesine müracat etmeleri ilân olunur.