

İkinci ankraj pylonunun yük- seklği	33 »
Nakiller SCA :	
Toplam çap	43 mm.
Çelik kısım	91 X 2,85 »
Alüminyum kısım	78 X 2,85 . »

Hesapla bulunan kopma gerilmesi	104 ton
Müsaade edilen azamî cer	38 »
Sun'î adadaki pylonun ağırlığı	197 »
İkinci atlama pylonunun ağırlığı	189,5 »
Birinci ankraj pylonunun ağırlığı	65,8 »
İkinci ankraj pylonunun ağırlığı	31,7 »

Senkron makina akım diyagramının çizimi, statik ve dinamik stabilite sınırlarının tâyini

Muzaffer CANAY
Doç. - Y. Müh.

Bu yazıda en genel hali ile senkron makinaların akım diyagramı ele alınacak ve bunun çizimi için çok basit bir konstrüksiyon verilecektir. Ayrıca statik stabilite ve dinamik stabilite sınırlarının tâyini için çizim yolları gösterilecek ve bütün hesap PER - ÜNİT sistemi üzerine bina edilecektir. PER - ÜNİT hesap sistemi malûm olduğu üzere zamanımızda haklı bir kıymet kâzanmış bulunmaktadır.

1 — Senkron makinaların vektör diyagramı :

Akım diyagramına geçmeden önce böyle bir diyagramın izahını kolaylaştıran ve çizim esaslarını veren bazı bağlantılan senkron makina vektör diyagramından çıkarmamız gerekiyor. Senkron makinaların en genel hali ile kapsayan bir vektör diyagramını Şekil: 1 de görülmektedir. Bu diyagramdan aşağıdaki tanınmış ifadeler kolaylıkla yazılabilir.

d - eksenini için

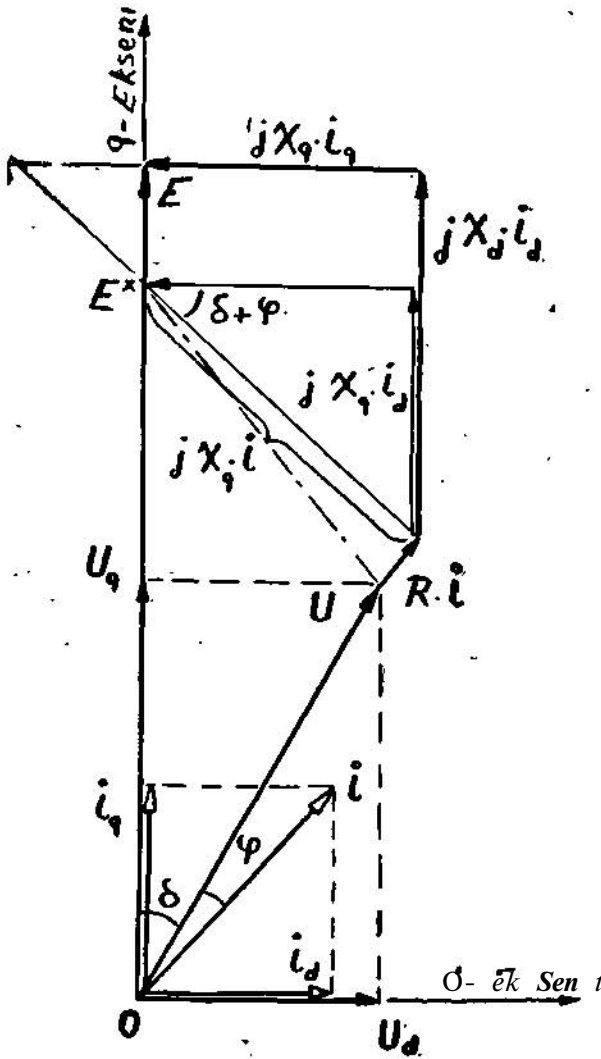
$$- U \sin \delta = - X_q i_q + R \cdot i_d \quad (1a)$$

q - eksenini için

$$E - U \cos \delta = R \cdot i_q + X_d i_d \quad (1b)$$

İki dik eksen sistemi içerisinde yazılmış olan bu eşitliklerden maksadımıza uygun hiç bir akım diyagramı çıkartılamaz. Zira bir akım diyagramında i_d ve i_q gibi akım komponentleri yerine i hat akımının kendisinin bulunması gerekir, i Akımının ölçülebilmesi ve bir mâna ifade etmesi yanında i_d ve i_q komponentleri pratik mühendislikte hiç bir m.Ş. na taşınmazlar.

Şimdilik kabul edelim ki, şekildeki E vektörü yerine E^* zahiri elektromotor kuvveti verilmiş olsun: Aynı şekilden görüldüğü üzere bu durumda



ŞEKİL : 1

$$\vec{E}^* - \vec{U} = Z_q \cdot \vec{i} \quad (2)$$

vektörel denklemleri yazılabilir. E^* Vektörü makinanın, ikaz durumu ile belli olmuş olsaydı, malûm olduğu gibi bu ifadeye dayanarak basit bir daire diyagramını inkişaf ettirmek imkân dahilinde idi Yuvarlak rotorlu türbo generatörlerde bu eşitliğe benzer basit, bir ifadenin yazılabileceği ve orada E^* yerine E gibi bilinen bir büyüklüğün, meydana çıkacağı ilk nazarda akla gelirse de, şunu, hatırlatmak isteriz ki, bu cins generatörlerde dahi X_d ve X_q reaktansları arasında ikaz sargısı oluklarından dolayı bazı hallerde ihmal, edilemeyecek, bir fark mevcuttur (bak. Tablo : 1). Dolayısıyla türbo generatorler için dahi, benzer tarzda yazılacak (2) ifadesi her zaman maksada kafi gelmeyecektir.

Biraz evvel belirttiğimiz gibi makinanın ikaz akımı E vektörünün şiddetini tâyin ettiğinden bir akım diyagramı çizimi için E^* ile E arasındaki bağlantının kolay anlaşılır ve kullanılabilir bir şekilde formüle edilmesi gerekmektedir. Şekil: 1 den iki büyüklük arasında

$$E^* = E - (X_d - X_q) \cdot i_d \quad (3)$$

bağlantısı olduğu görülür. Bunun S yük açısına bağlı bir şekilde ifade edilebilmesi için i_d akım komponentinin (1) denklemlerinden çözümlenerek burada yerine yerleştirilmesi gerekir. (1) Denklemleri iki bilinmeyenli bir denklem grubu olup basit bir işlemle çözümlerse aşağıdaki ifadeler bulunur:

$$i_q = \frac{X_d}{A \cdot \cos \alpha d} U [e \sin \alpha d + \sin (5 - \alpha d)] \quad (4)$$

$$i_d = \frac{X_q}{A \cdot \cos \alpha q} U [e \cos \alpha q - \cos (5 - \alpha q)]$$

Her iki ifade de kısaltma olarak aşağıdaki notasyonlar kullanılmıştır:

$$e = \frac{E}{U} \quad T_{g \circ d} = \frac{R}{X_d} \quad (4 a)$$

$$A = R^2 + X_d \cdot X_q \quad T_{q \circ q} = \frac{R}{X_q}$$

i_d Akım komponentinin bu değeri (3) denkleminde yerine konursa :

$$E^* = E - (X_d - X_q) \frac{X_q}{A \cos \alpha q}$$

$$U [e \cos \alpha q - \cos (5 - \alpha q)]$$

ve buradan :

$$E^* := e [1 - (X_d - X_q) \frac{X_q}{A}] U + (X_d - X_q) \frac{X_q}{A} U \frac{\cos (5 - \alpha q)}{\cos \alpha q} \quad (5)$$

elde edilir.

İfadeleri bundan sonra yukarıdaki karışık halleri ile kullanmamak için senkron makinelerin R dirençini ihmal edeceğiz. Fakat aşağıda verilecek yol benzer tarzda R dirençini göz önünde bulundurarak da tatbik edilebilir. Buna rağmen R , makinanın diğer X_d ve X_q değerleri yanında çok küçük kaldığından (bak. Tablo : 1), işlenen hata daima çizim hatasından daha küçük çıkacaktır, dolayısıyla R dirençini ihmal etmek tavsiye edilir.

Yukarıda yapılan kabul ile (5) denklemini

$$E^* = e \frac{X_q}{X_d} U + (1 - \frac{X_q}{X_d}) U \cos S$$

basit şeklini alır ve bunun da her iki tarafı $X_q = Z_q$ ile bölünerek

$$\frac{E^*}{X_q} = e \frac{U}{X_d} + (\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d}) U \cos S \quad (6)$$

sonuç ifadesi elde edilir. Bize $\frac{E^*}{X_q}$ büyüklüğünü basit bir şekilde veren bu ifade bir akım diyagramı için, artık (2) eşitliğinin başka bir yazış şekli olan

$$\frac{\vec{E}^*}{X_q} - \frac{\vec{U}}{X_q} = \vec{i} \quad (7)$$

ile birlikte kullanılacak hale gelmiştir.

2 — Senkron makina akım diyagramlarının çizimi:

Son (7) eşitliğine göre sabit $\frac{U}{X_q}$ vektörel büyüklüğünü apsis eksenini üzerinde alır $\frac{E^*}{X_q}$ vektörünü ilâve edecek olursak i akım vektörünü elde etmiş oluruz. Şekilde bu durum gösterilmiştir.

$\frac{U}{X_q}$ Vektörü işaretlendikten sonra uçtan itibaren 8 açısı ile beliren E ve E^* doğrultusu üzerinde E^* büyüklüğünü almakla çalışma noktası bulunmuş olacaktır. OB vektörü çekilen akı-

$$X_{d,q} \text{ (pu olarak) } c = X_{d,q} \text{ (Ohm olarak) } \frac{P_n}{U_n^2} \quad (8)$$

Aşağıda senkron makinaların bazı karakteristik değerlerine ait bir tablo verilmiştir.

Daire diyagramının çiziminde santralin U gerilimi birim olarak alınmalıdır. Takat için ise vaziyete göre ya diyagramı çizilen generatörün takati veya toplam santral takati birim olarak seçilir. Bu durumda yeni bir baz sistemi ortaya çıkmıştır ve dolayısıyla kendi nominal sistemlerinde verilen bütün büyüklüklerin yeni sisteme ircası gerekir. Bu irca ameliyesinde, (8) formülünden kolaylıkla çıkartılabilecek olan aşağıdaki ifade kullanılır:

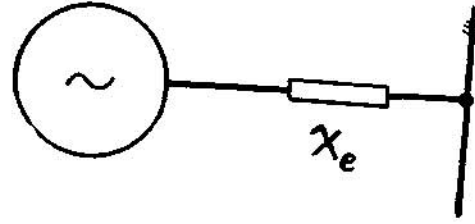
$$X, \text{ (pu) } = X_2 \text{ (pu) } \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \frac{P_1}{P_2} \quad (9)$$

Biraz evvel, akım diyagramı santraldaki bir generatör için çıkartılacak ise U santral geriliminin birim olarak alınmasını tavsiye etmiştik. Birkaç gruptan ibaret veya çok büyük taktaki bir enerji şebekesi ile çalışan santrallarda sabit tutulan U bara gerilimi ile generatörün uç gerilimi arasında bir fark mevcuttur. Bu fark generatör ile bara arasında mevcut uzun bağlantı elemanları (bazan transformatörler de bu arada olabilir) üzerinden akan i yük akımının gerilim düşümünden dolayı meydana gelmektedir. (Şekil: 4). Kısacası sabit tutulan gerilim, generatörün uç gerilimi olmayıp Xe reaktansından sonraki bir gerilimdir. Dolayısıyla böyle bir santralda çalışan generatörün akım diyagramı çiziminde

$$\begin{aligned} X_d &= X_{d \text{ gen.}} + X_e \\ X_q &= X_{q \text{ gen.}} + X_e \end{aligned} \quad (10)$$

reaktanslarının kullanılması ve buradaki Xe reaktansının da tabii ki seçilen sistemde tâyin edilmiş bulunması lâzım gelir. Eğer grubun karakteristikleri santralda, arada Xe reaktansı mevcut olarak tâyin edildiyse bunlar aşikâr ki aranan Xd ve Xq dır ve grup için fabrikası tarafından verilen Xd ve Xq dan biraz büyük birer kıymettedirler.

Şekil: 3 te Xd = 1,4 pu, Xq = 0,825 pu değerlerini havi çıkık kutuplu bir senkron makina için tam olarak çizilmiş bir akım diyagramı görülmektedir. Ekseriler daima pu olarak



Şekil: 4

işaretlenmiş olup, okunan değerler;

takat ise :

P (MVA) (diyagram için seçilen) ile,

akım ise :

$P/\sqrt{3}U$ (kA) ile,

gerilim ise :

U (kV) (diyagram için seçilen) ile

çarpılarak fizikî boyut ve büyüklüklerine çevriliirler. Misal olarak Şekil: 3 teki «B» noktasını ele alalım. Bu diyagramın 50 MVA ve 10 kVluk bir generatör için çizildiğini kabul edersek;

takatin 0,5 pu veya $0,5 \times 50 = 25$ MW pozitif,

0,17 pu \gg $0,17 \times 50 = 8,5$ MVAR kapasitif,

akımın 0,525 pu $3 \gg$ $0,525 \times 2,89 = 1,52$ kA, EMK'nın 1,0 pu $J \gg$ $1,0 \times 10 = 10$ kV

olduğunu buluruz.

3 — Statik stabilite sınırının tâyini:

Senkron makinaların statik stabilite sınırı

$$\frac{dp}{ds} > 0$$

eşitsizliği tâyin eder. Malûm olduğu üzere (p (6) fonksiyonunun kip takati veren, yani maximum tepe noktasına tekabül eden $5 \max dp$

kıymetini aşan 6 değerleri için $\frac{dp}{ds} < 0$ dır

ve dolayısıyla çalışma stabil değildir. Buradan anlaşıldığı üzere E = sabit olarak çizilen çalışma noktalarının geometrik yeri eğrisinde p eksenine göre maximum takatli tepe noktaları statik stabilitenin sınırını belirtirler. (O,Z eğrisi). «O,Z» Statik stabilite sınırının

TABLO : 1

Makina	Senkron makina karakteristikleri				R	Xq/Xd		
	Xd	Xd'	Xd''	Tf (Sec)			Td' (Sec)	Td'' (Sec)
Türbo gen	1,6-2,2	0,25-0,3	0,15-0,2	4-8	0,6-1	0,02-0,04	0,002-0,008	0,8-0,9
Çıkı* kut.	0,9-1,6	0,3-0,4	0,2-0,35	3-7	0,8-2	0,01-0,08	—	0,66-0,7
Syn motor.	1-1,5	0,25-0,5	0,15-0,35	2-3,5	0,5-1,5	0,01-0,02	—	0,6-0,8

çizim yoluyla tayıni gayet kolay olup, kullanılacak konstrüksiyon şekilde açıkça görülmektedir.

4 — Dinamik stabilite sınırının tayıni:

Bu kısa yazımızda dinamik stabilite esaslarına kadar inmek mevzu dışına çıkmak olacağından burada sadece alışılmış ve çok kullanılan kabuller altında tanınmış olan dinamik stabilite sınırının çizim yoluyla tayıni vereceğiz. Malûm olduğu üzere dinamik stabiliteyi alakalandıran olaylarda rotorun dönen alana nazaran olan izafi hareketinde sür'at oldukça fazladır. Bunun neticesi, d - ekseninde mevcut ikaz sargısının mağnetik akısı aynı devrenin Tf gibi çok büyük zaman sabitinden dolayı kolayca değişmez. Dolayısıyla bu durumda d - eksenindeki Xd reaktansı yerine Xd' reaktansı kaim olur.

Kayma hızının artması ile Xd reaktansında olabilecek bütün değişiklikler Xd' nin senkron makina teorisinden tanınan,

$$\frac{1}{X_d(j\omega)} = \frac{1}{X_d} + \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) \frac{j\omega T_d'}{1 + j\omega T_d'}$$

$$+ \left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'} \right) \frac{j\omega T_d''}{1 + j\omega T_d''}$$

fonksiyonunda görülebilir. Burada s, rotorun alana nazaran olan izafi hareketindeki kaymayı, Td' ve Td'' ise pu. olarak yerleştirilecek olan zaman sabitlerini göstermektedir.

(T(pu) = 2_u . T(sec) dir).
Meselâ Td' = 0,8 sec. ve Td'' = 0,02 sec. değerlerini havi bir senkron makinanın; s = 0,0005 gibi çok yavaş hareketlerinde;

$$\frac{1}{X_d(j\omega)} = \frac{1}{X_d} + \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) \frac{j 0,0125}{1 + j 0,0125}$$

$$\text{takriben} = \frac{1}{X_d}$$

ve s = 0,02 gibi hızlı hareketlerinde;

$$\frac{1}{X_d(j\omega)} = \frac{1}{X_d} + \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) \frac{j 5}{1 + j 5}$$

$$\text{takriben} = \frac{1}{X_d'}$$

olduğu bu eşitlikten de görülebilir.

Kısacası: ana hatları ile statik stabiliteyle dinamik stabüite arasındaki tek fark, formüllerde statik stabilitedeki Xd yerine dinamik stabilitede -Xd' ün gelmesidir. Böylece aynı muhakeme ve usulleri kullanmak suretiyle, Şekil:

3 te görüldüğü gibi O_n O_o noktalarından geçen daire yerine bu sefer O_o O_o notalarından geçen bir daire elde ederiz Bu daire üzerine kurulacak Pascal limasollan artık sabit ikaz yerine sabit akı geometrik yer eğrileri aduu alırlar. Sabit akı kabulü ile ortaya çıkan bu linw.ollann maximum aktif tåkata tekabül eden, Z' noktalarından geçen O, Z' eğrisi statik stabilite bahsinde açıklanan sebeplerle dinamik stabilite sınırın olmuş olur. Bu O, Z' eğrisinin tayıni O_o Z eğrisinin "aynı olup, konstrüksiyoji şekilde açıkça görülmektedir.



§ 4-12 Haziran 1958 tarihinde 'Paris'te \$ Jtoplanan CIGRE (Milletlerarası Büyük Elektrik Şebekeleri Konferansı) na memleketimizden CIGRE Türk MiUi Komitesi sekreteri Ord. Prof. Cabir Hamdı Sepen, Doç. Y. Müh. Muzaffer özkaya,, Sanayi Vekâleti \$ Enerji Dairesi Plânlama Şubesi Müdür Muşaviri Y. Müh. Necati Türkeri, E. İ. E. İdare-\$ sinden Y. Müh. Emel Baykal ve Kuzeybatı Anadolu Elektrik İstihsal ve Tevzi Müessesesi Şebeke İşletme Müdürü Y. Müh. Eşref Erkmen katılmışlardır. Konferansa Ord. prof. Y. Müh. Cabir H. Sepen bir tebliğ vermiş, Doç. Y. Müh. Muzaffer özkaya'nın bir Alman profesörü ile müştereken hazırladığı tebliğ Alman Mi'li Komitesinin tebliğleri meyannında da zikredilmiştir.

Konferans, kayda değer teknik gelişmelerden başka enerji nakil gerilimi ile ilgili olarak da kararların prensipleriyle kabul etmiştir.

İ Avrupa ve Amerikada büyük bir ilgi gören <tu teklif üzerine çok yüksek gerilimli (Extra High Voltage) elektrik şebekelerinin planlanması ele alınmıştır. Avrupada Fransa, İsviçre. İtalya ve Almanyada 380 kV luk şebekeler plânlanmış, Fransada ise bu gerilimlerde kullanılacak cihazlar imal ve inşa edilmişler, 380 kV liik ilk çok yüksek gerilimli elektrik şebekesi (443 km hava hattı ve 3 trafo merkezi) 15 Mart 1958 den beri işletmeye girmiştir. Amerika'da ise 750 kV a kadar gerilimde enerji nakledecek bir sistemin planlaması ele alınmıştır. Amerikanın belli başlı elektrik endüstrisi firmalarından < General Electric Co., Alcoa ve daha başka firmalar bu proje için çalışmalarını birleştirmişler-

