

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

MECMUASI

Yıl: 2 - Sayı: 17-18

Mayıs - Haziran 1958

Senkron makinalarda statik stabilite sınırının hususî tertiplerle arttırılması imkânları

Muzaffer CANAY
Doç. Y. Müh.

Bu yazıda senkron makinalardaki statik stabilite sınırı ve bunun genişletilebilmesi imkânları incelenmiştir. Son kısımda elde edilen imkânın ne şekilde hakikatlaştırılabileceği ve bu yönde 7 MVA İlk bir generatörde yapılan tecrübenin neticeleri verilmiştir.

1 — Giriş:

Malûm olduğu üzere senkron generatörler şebekelerin ihtiyacı olan aktif ve reaktif tákatları aynı zamanda verebilen makinalardır. Fakat, şebekenin reaktif takat ihtiyacı bazan senkron grupların istenilen aktif tákati vermeleri halinde karşılanamıyabilir. Bu hal iki şekilde teşekkül edebilir.

1. Aşın endüktif takat ihtiyacında (düşük Cos θ)

2. Bir ucu açık uzun hatların veya böyle hatların çok ufak güçlerle beslenmesi halinde büyük kapasitif yüklerin teşekkülünde.

Her iki halde de istenilen aşın aktif tákatin verilebilmesi, reaktif takat ihtiyacını kompanse edecek senkron kompensatörlerin yardımı ile mümkündür. Senkron kompensatörlerde kapasitif takat ikaz küçüldükçe artar

ve ikaz sıfır iken $\frac{1}{d}$ p.u değerine varır. Bu

değer umumiyetle senkron kompensatörün nominal takatı 1 p.u (birim takatı Per-Unit) den küçüktür. Meselâ $X = 1,5$ p.u (% 150)

olan bir makinada azamî kapasitif takat 0,67 p.u yi geçemez. Görülüyor ki bu senkron kompensatör kendi nominal tákatından an-

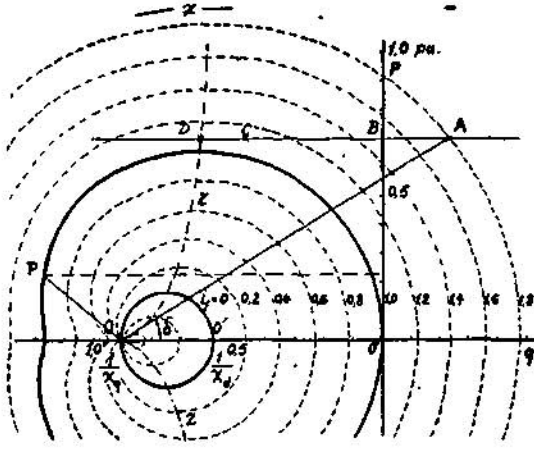
cak % 33 daha eksigini verebilmektedir. Bu takati arttırmak, ilerde senkron makinanın diyagramında göreceğimiz üzere ancak yük açısını büyütme, şimdi bilinen statik stabilite sınırını (OZ) genişletmekle kabildir. Muhtelif çalışma şartları altında generatörün, normal statik sınırın belirten & kritik (maksimum aktif tákata tekabül eden yük açısı) in üzerinde bir yük açısı ile çalışması zarureti hasıl olabilir. Bu hal ise aşın bir kapasitif takat ihtiyacı neticesidir. İşte bu iki zaruret ve bilhassa senkron kompensatörler hali bu problemin, yani & kritikten büyük yük açılan altında, statik stabilitenin mevcut olmadığı bir sahada stabilitenin teessüs edilebilmesi imkânlarının araştırılmasına sebep olmuştur. Aşikâr ki bu şekilde statik stabilitenin genişletilmesi generatörlerin dinamik stabilitelerini arttıracaktır. Bu durum problemin normal senkron generatörler için olan önemini bir kat daha yükseltiyor.

2 — Senkron makinaların daire diyagramları :

Şekil 1 de normal bir senkron makinanın per unit sisteminde çizilmiş bir daire diyagramı görülmektedir. Endüktif takat eksenini

$\frac{1}{d}$ ve $\frac{1}{q}$ noktalarında kesen birim daire,

senkron makinanın ikazsız durumuna tekabül eder. Her bir ikaz durumunda \bar{E} e.m.k. vektörünün ucunun geometrik yeri malûm olduğu üzere bu daire etrafında birer Pascal limasonundan ibarettir. Bunların çizimi



ŞEKİL: 1

basit geometrik yollarla mümkündür. Daire diyagramındaki ÖZ eğrisi statik stabilite sınırını teşkil eder. Gerek motor ve gerekse generatör halinde OZ eğrisinin sağında kalan bir çalışma noktasına tekabül eden işleme stabildir. Yani, şekilde 0,7 p.u aktif takat altında A noktasında çalışan bir generatörden icabı halinde aynı aktif takat D noktasına kadar **BD** kapasitif takati ile verilebilir. Fakat D noktasını biraz aşınca artık generatörün stabil çalışması imkân dahilinde değildir. Senkron kompansator halinde ise negatif bir ikaz ve bununla ilgili regülatörler göz önüne alınmazsa kapasitif takat $O'Q''$ den büyük olarmayacaktır. İşte burada esasları verilecek olan açı regülatörü vasıtasıyla OZ eğrisinin solunda kalan bir noktada, dahi stabil çalışmayı teessüs ettirebileceğiz, ve bu suretle evvelce bahsettiğimiz gibi senkron makinaların anı yük darbelerindeki dinamik stabilite sınırı da fazlasıyla artmış olacaktır.

3 — Stabilite kriteriyumu ve normal Stabil bölge:

Bir senkron generatörün stabil çalışabilmesi şartı, p generatörün şebekeye verdiği aktif

tif takati ve δ da generatörün yük açısını göstermesi ile aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{dP}{d\delta} > 0 \quad (1)$$

Generatörün verdiği aktif takat p nin δ yük açısı ile olan münasebeti, şekil 2 de çizilen vektör diyagramından kolaylıkla çıkartılır. İç direncin ihmal edilmesi halinde (Büyük generatörlerde $r = 0,003$ ile $0,005$ p.u arasında değişir) q - eksenindeki

$$E - U \cos \delta = X_d \cdot I_d \quad (2)$$

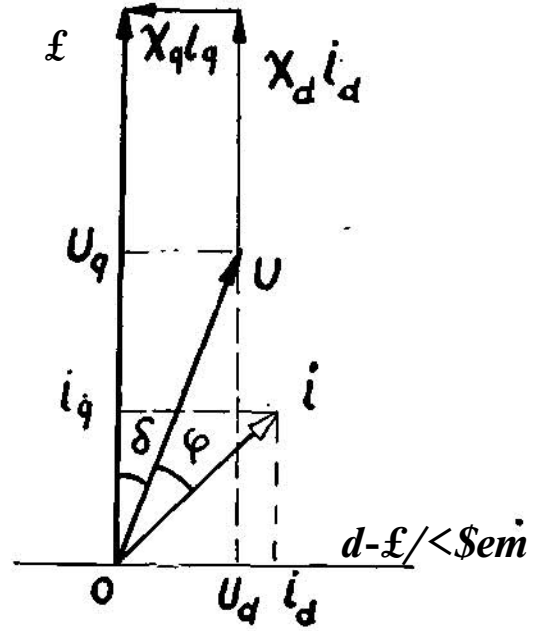
ve d - eksenindeki

$$U \sin \delta = X_q \cdot I_q \quad (3)$$

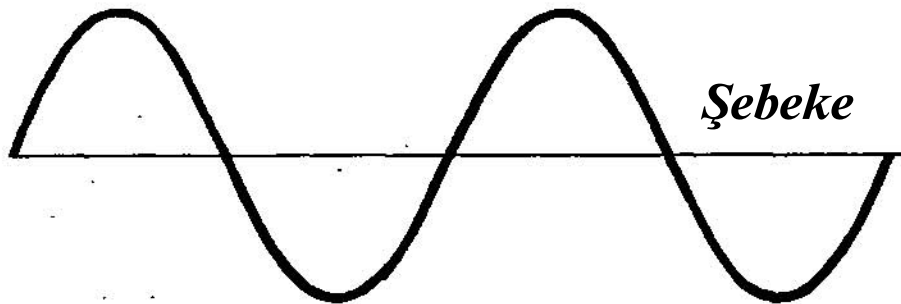
gerilim denkleminin çözümü ile stator akımının her iki eksenindeki bileşenleri olan I_d ve I_q

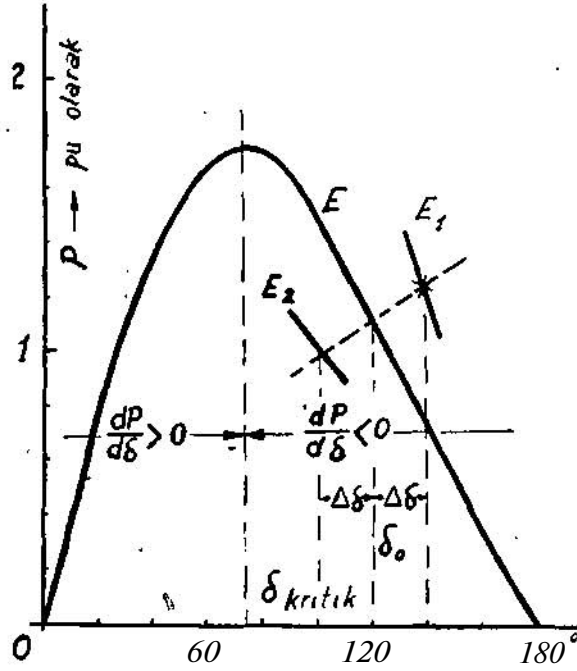
akımları bellidir. Bunlar takat ifadesinde

$$P = U_d I_d + U_q I_q \quad (4)$$



ŞEKİL: 2





ŞEKİL : 3

(Birim hesap sisteminde moment ve aktif taktat ifadeleri birbirinin aynıdır.) Yerlerine konursa :

$$P = \frac{EU}{X_d} \sin 8 + \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2 8 \quad (5)$$

bilinen ifadesi elde edilir. (Şekil: 3)

P (S) fonksiyonuna U gerilimi ve ikaz sabit ve yük açısı değişmesinin pratik bakımdan ikaz akımını değiştirmeyecek kadar yavaş olması kabulleri altında (1) şartı tatbik edilirse, senkron generatorün ancak

$$0 < 5 < 5 \text{ kritik}$$

bölgesinde stabil olarak çalışabileceği görülür. Bu bölge en genel olarak şekil 1 deki daire diyagramında basit bir konstrüksiyonla çizilebilen OZ statik stabilite sınırının sağındaki alanıdır.

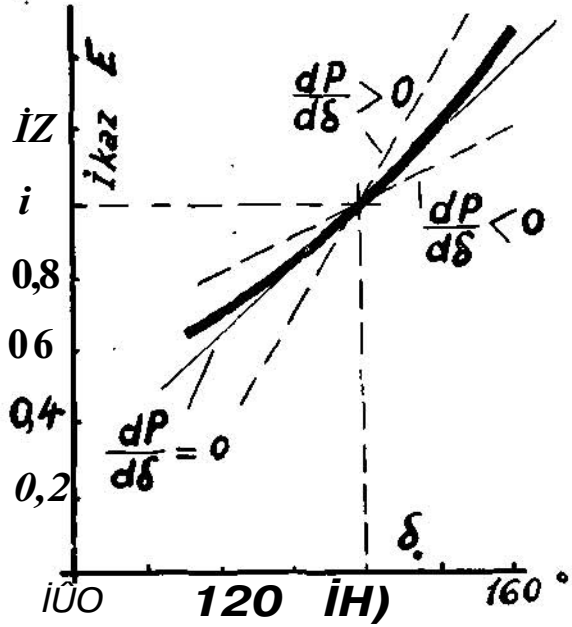
4 - Statik stabilite sınırının genişletilebilmesi imkânı :

Şebeke gerilimi U daima sabit kabul edildiğine göre, statik stabilite sınırının genişletilebilmesi imkânının sırf E nin seri ve gerekli olarak değiştirilebilmesine bağlı olduğu (5) eşitliğinden görülüyor. Enin ikazla teşekkülündeki zaman sabiti gibi problemleri bir tarafa bırakarak, buna δ nin bir fonksiyonu olarak bakalım. Bu kabul ile (5) eşitliğinde (1) şartını tatbik edersek

$$\frac{dp}{d\delta} = \frac{EU}{X_d} \cos 5 + U^2 \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cos 2 \delta + \frac{U}{X_d} \sin 5 \frac{dE}{d\delta} > 0$$

veya limit konumda;

$$\frac{EU}{X_d} \cos 5 + U^2 \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cos 2 \delta + \frac{U}{X_d} \sin 5 \frac{dE}{d\delta} = 0$$



ŞEKİL: 4

$$\frac{U}{X_d} \sin \delta + \frac{dE}{d\delta} = 0 \quad (6)$$

denklemin elde ederiz. Bu denklemin çözümü 1 şartını yerine getirecek olan E = f (6) fonksiyonlarının sınır ifadesini verir. Bu denklem ise tam olarak çözülemez. (6) ifadesinin yaklaşık çözümü için S_n gibi bir noktada bulunduğumuzu (δ₀ > S kritik) ve S_n dan çok ufak olan inhirafları göz önüne alalım. Son eşitlik bu takdirde yaklaşık olarak

$$E \cos \delta + U \frac{X - X_d}{X_q} \cos 2 S_n + \sin 5 \frac{dE}{d\delta} = 0 \quad (6a)$$

şeklinde birinci dereceden sabit katsayılı bir diferansiyel denklem haline gelir. Bunun çözümü

$$E = a + b e^{-\cot \delta \cdot t} \quad (7)$$

tarzında olup burada

$$a = \frac{X_d - X_q}{X_q} U \frac{\cos 2\delta_n}{\cos \delta_n} \cdot v_e$$

$$b = [E_0 - a] e^{\cot \delta \cdot t}$$

sabit birer katsayıdır.

(6) eşitliğinin yaklaşık çözümü olan bu sınır ifadesi şekil 4 de $\delta_n = 140'$ noktası için çizilmiştir. Yapılan kabul dolayısı ile eğrinin $S_n = 140$ noktasındaki teğeti hakiki eğriye çok yakındır. Bu teğet sınır teğettir. Bundan

daha küçük eğimli eğrilerde $\frac{dp}{d\delta} < 0$ büyük-

lerde ise $\frac{dp}{d\delta} > 0$ dir.

S_n noktasında bulunan generatörün ikazının

$$E = E_0 k (5 - S_0) + E_0 \quad (8)$$

olarak S yük açısı ile lineer değiştirilebildiğini kabul edelim Rotorun statik stabiliyetindeki hareketinin oldukça yavaş olması neticesi, ikaz devresinin T_f zaman sabitinin hadisede hiç bir rolü olmadığı kabul edilebilir. Fakat hakikatte bunun göz önüne alınması icab ederse de burada detaya girmeyeceğimizden bundan vazgeçiyoruz Şekil 4 den kolayca görülebileceği üzere k katsayısı kâfi derecede büyük seçilmek suretiyle $\delta = \delta_n$ noktasında

statik bölgede $\left(\frac{dp}{d\delta} > 0\right)$ bulunmak im-

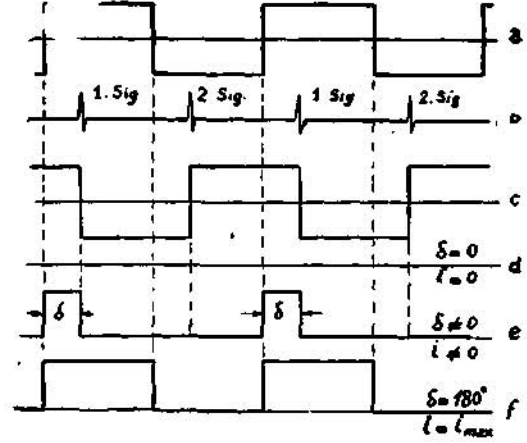
kânı vardır. Böylece k katsayısı $S < 180'$ olmak üzere $0 < S < S_n$ arasındaki bir bölgenin statik stabilitesine uygun olarak tayin edilebilir.

Statik stabilitenin bu şekilde temin edilebileceğini daha basit olarak şekil 3 teki $p = f(5)$ eğrisinden de görebiliriz. Normal olarak $E = \text{Sabit}$ kabulündeki $p = f(S)$ eğrisinde

S_0 noktasında $\left(\frac{dp}{d\delta} < 0\right)$ olduğundan statik stabilite mevcut değildir. Bu

noktadan gayet küçük ileri ve geriye olan

uzaklaşmalarda artık E_n sabit kalmayıp E_1 ve E_2 ye değiştirilebildiğini düşünelim. O halde S_0 etrafındaki bir harekette hakiki $p = f(6)$ fonksiyon şimdi şekilde hat hat çizilen eğriye tekabül edecektir. Bu eğri üzerin-



ŞEKİL: 5

de $\frac{dp}{d\delta} > 0$ olduğundan generatör S_0 nok-

tasında statik çalışmasına devam edebilir (Şekil 3).

Bütün buraya kadar yapılan izah ve hesaplar senkron kompensatör hali içinde aşikâr ki caridir. Zira her iki hal arasında p takati ile δ açısının aynı zamanda negatif olmasından ve p nin küçük bir değer almasından başka hiç bir fark yoktur. Bu iki fark ise ya-

puan muhakemelerde ve $\frac{dp}{d\delta}$ ifadesinde hiç

bir şey değiştirmez İkazı (8) eşitliğine göre ayar eden cihazlara açı regülatörü adı verilir. Bu tarzda açı regülatörlerinin devreye girmesiyle senkron makinelerin statik çalışma sınırları genişletilebilmektedir.

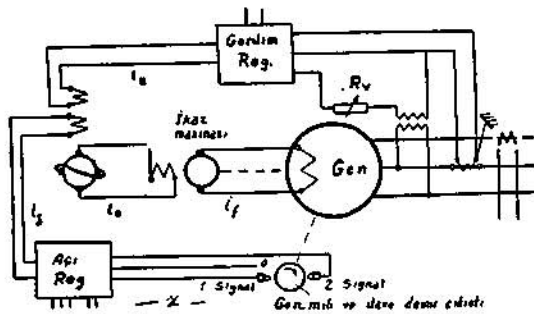
5 - Açı regülatörünün yapılışına kısa bir bakış :

Açı regülatörü biraz evvel izah ettiğimiz gibi makinaya S yük açısı ile orantılı bir ikaz temin edebilmelidir. Çok büyük generatörlerde 300 - 1200 Amper arasında değişen bu ikazı direkt olarak kendi şiddetinde elde etmek imkânsızdır. Bu yüzden 100 mA mertebesinde, S yük açısı ile orantılı bir akım Amplitudin vasıtası ile kuvvetlendirilerek kullanılır. V_k önce 100 mA mertebesindeki S yük açısı ile orantılı ayar akımının elektronik bir cihaz olan Açı regülatörü vasıtasıyla nasıl elde edildiğini kısaca görelim.

Şebeke geriliminin normal sinüs şekli doymuş bir magnetik devre vasıtasıyla şekil 5 de görüldüğü üzere (a) 4 köşe dalga haline getirilir. Bu dalga cihazda şebekeyi karakterize edecektir. Senkron makinanın miline bağlı magnetik bir çıkıntı şekil 6 daki gibi duran kısma rabtedilmiş magnetik pikaplar vasıtasıyla milin her bir dönüşünde 180° ara ile iki signal verir (b). Bu iki signal bir multivibratör devresinde 4 köşe dalga husule getirirler (c). Bu ikinci 4 köşe dalga Senkron makinanın kendisini karakterize eder. Her iki dalga bir karıştırıcı lâmbanın grilerine verilir. Her iki gri + olduğu müddetçe lâmba devresinden bir akım geçer. Farz edelim ki $\delta = 0$ olduğu bir durumda, en ko'ay olarak şebekeye ait 4 köşe dalganın kaydırılması ile her iki dalga üst üste getirilmiş olsun (Şekil 5 d) Şebekeye nazaran Senkron makina 8 kaymasını haiz ise (Şekil 5 e) karıştırıcıdan ancak δ açısı müddetince bir akım geçer. Geçen akımın bir periyottaki ortalama değeri şekillerden görüldüğü gibi S üe orantılıdır. Bu çok ufak akım âlet içinde elektronik bir kuvvetlendirici ile şiddetlenir. Böylece regülatörün a ve b uçlarından kondansatör ile düzeltilmiş 100 mA şiddetinde 5 ile orantılı bir akım çekilebilir.

6 — Açık regülatörünün gerilim regülatörü ile birlikte senkron makinaya tatbiki:

Şekil 6 da şematik olarak her iki regülatörün senkron generatöre bağlantısı gösterilmiştir. Açık regülatörü olmadan sırf gerilim regülatörü Amplidin üzerinden generatörün ikaz flinmını yaratan doğru akım dinamosunun ikazını besler. Bu halde gerilim regüla-



ŞEKİL: 6

törü generatörün esas ana ikazını temin edip ayarlayacaktır. Regülatörün ayarı o şekilde yapılmalıdır ki istenilen ana ikaz büyüklük ve işaretiyle yakın bir değerde işleme böl-

gelerinde elde edilebilir. Bilhassa kompan-

sator çalışması halinde $\frac{1}{X_d}$ ve $\frac{1}{X_q}$ noktala-

ndan geçen birim dairenin içine girilmek istendiğinde ana ikaz kendiliğinden negatif değerler alabilmelidir.

İkazın ikinci bir kısmı ise açık regülatörün çıkışındaki 5 yük açısı ile orantılı 100 mA mertebesinde olan I pilot akımı ile temin

6 edilir. Şemada detaya girilmemiş ve dolayısıyla zaman sabitlerini küçültmek v.s. gibi maksatlarla ithali zarurî cihazlar gösterilmemiştir. Kısacası böyle bir sistemle I_e ntur

$I_e = c (I_s + I_u)$ olarak elde edilebilmektedir. c Amplidin kazancıdır.

Verilen esaslar dahilinde 7 MVA lik bir türbo generatörde yapılan tecrübeler tam bir muvaffakiyet göstermiştir. Meselâ bir türbo generatörde S kritik = 90° olmasına rağmen bunun üzerinde 122, 135, 145 ve 156° yük açılarında 350 kW yük altında mükemmelen çalışabilmiştir. Aynı generatör kompensatör olarak çalıştırılmış ve bu halde 159 dereceye kadar gidilebilmiştir. Aşık ki bu sınır evvelce belirttiğimiz k kat sayısının gereği kadar büyük yapılabilmesine bağlıdır.

7 — Hülâsa:

Hususî tertipler vasıtasıie bir senkron makinanın malûm statik stabilite sınırının dışında çalışması imkân dahilindedir. Bu mesele de dayanılan prensip makinaya yük açısı ile orantılı ilâve bir ikazın verilmesi esasıdır. Açık regülatörü adını alan bu hususî cihazlar generatörlerin yük darbelerindeki dinamik stabilite sınırını genişletip stabil bir çalışmayı da garanti ederler. Fakat inkişaf halinde olan bu cihazlar henüz tam yapıları bulunmadıklarından tecrübe safhasından çıkıp sanayiye girmemişlerdir.

AZALARIMIZA

Mecmuamız, azalarımızın yazılan ile meydana getirilmektedir. Dalma yazılınıza yerimiz vardır. Her mevzuda telif ve tercüme makalelerinizi bekliyoruz. Mecmuamızın inkişafı yardımlarınızla kabildir.

NEŞRİYAT ENCÜMENİ