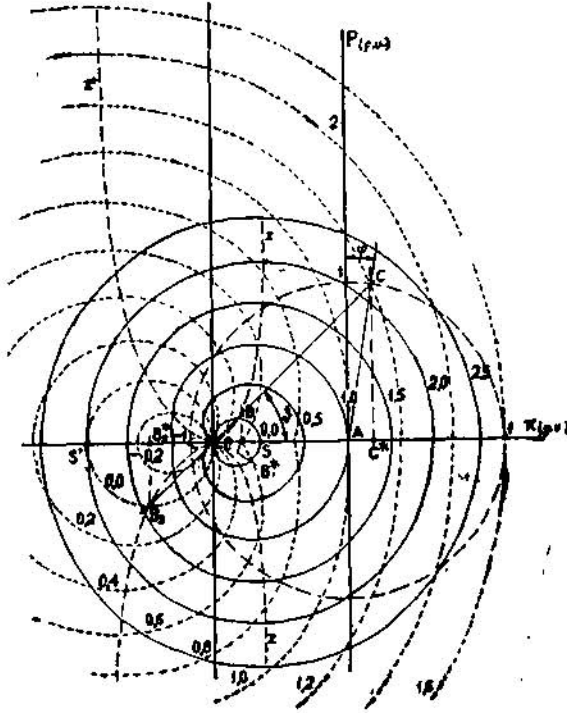


# Suni Statolite ile Senkron Makinelerin Çalışma Sahasının Genişletilmesi

Yazan:  
R. NOSER

Çeviren:  
Nihat TATLAN  
Y. Müh. - E. E. İ.

Bir Senkron makinesinin çalışma sahasının sınırlanması iki ayrı noktâ nazara göre mümkündür. Makineden tam manası ile istifade için bir ölçek de teşkil eden birinci sınır, termik zorlanma, yani, münferit parçaların kabili tecviz aşın ısınması ile verilmiştir. Bu sınır umumî olarak aşın ikazla veya çok zayıf ikazla çalışma için cari olabilir. Çalışma sahasını sınırlayan ikinci görüş ise Makinenin Stabilitesine ve böylece makinenin işletme emniyetine dayanmaktadır. Bu ikinci sınır çok kuvvetli kapasitif yüklerde meydana çıkar ve normal durumdaki senkron makinelerde termik esaslara dayanan sınırdan daha dar olur.



Şaîl: < Çıkık kutupla sankran makinenin genel diağramı

Bu sebepten kapasitif yüklenmelerde normal senkron makinelerden tam manası ile istifade edilemez. Fakat Yüksek Gerilim Şebe-

kelerinde generatör veya kompanzatör olarak çalışan generatörün kapasitif olarak da termik sınırına kadar yüklenmesi şart koşulur.

Burada bir senkron makineyi kapasitif halde de işletme emniyetine halel getirmesizin termik sınıra kadar yükleyebilmenin çarelerini araştıracağız, önce Senkron makinenin genel diyagramında stabilite sınırını tetkik edelim Şekil 1 çıkık kutuplu ve sabit gerilimli bir senkron makinenin diyagramını gösteriyor. Koordinat, eksenleri,, dik olarak Aktif takat P ve yatay olarak reaktif takat TI alınır Koordinat sisteminin başlangıç noktası A dır. Kalın çizilmiş eğriler sabit ikazda C işletme noktasının geometrik yerleridir. Paskal helezonunun bazdaresi olan OS daireresi aynı zamanda ikaz akımının sıfır değerindeki geometrik yerdir. Dairenin çapı,  $X_d$  ve  $X_q$  değerlen makinenin senkron reaktansının enine ve boyuna bileşenlerim verdiğine göre aşağıdaki uzunluklarla belirir.

$$AS = \frac{-U^2}{X_d} \text{ ve } AO = \frac{-U^2}{X_q}$$

Böylece AS ve AO uzunlukları ikazın sıfıra eşit olduğu anda bir defa, kutup tekerleği açısının teta = 0° ve bir defa da teta = 90° deki tam kapasitif belirtirler. Nokta nokta çizilen Paskal helezonları, boyuna eksendeki sabit rotor akısında y, çalışma noktasının geometrik yerlerini verirler. Aynı zamanda 0 = 0 için, geometrik yer olan, bu Paskal eğrilerinin bazdaresinin çapı OS',  $X_d$ , boyuna eksendeki transient reaktansı göstermek üzere, aşağıdaki uzunluklarla çıkar:

$$OA = \frac{-U^2}{X_a} \text{ ve } AS^1 = \frac{-U^2}{X_a^*}$$

Burada AS<sup>1</sup> uzunluğu, eğer makine ikazsız olarak teta = 0° kutup tekerleği açısında şebekeye bağlanmışsa, alınan transient reaktif takati verir.

Bu diyagramda teorik, statik stabilite sınırını gösterilmiştir. OZ eğrisi sabit ikazda İe

ve  $OZ^1$  eğrisi sabit Rotor akısında  $y_d$  statik stabülte sınırını belirtir. Pratik İşletmede senkron makinenin çalışma sahası, eğer hususi tedbirler alınmamışsa teorik statik stabilite sınırına kadar getirmemelidir; zira burada işletme emniyeti çok küçük olur. Bu esnada az bir gerilim düşümü veya küçük bir darbe makinenin devreden çıkmasını intaç ettirir. Bu sebepten teorik stabilite sınırından muayyen bir miktar aşağıda çalışmak icab eder.

Bir makinede ikazın ayar edilmemesi halinde teorik stabilite sınırı  $OZ$  eğrisidir. Bu eğri küçük aktif takat darbelerinde,  $I_c = 0$  ikaz dairesine doğru kayar. Fakat ikazı ayar etmeden çalışmada emniyet noktası nazarından dairenin iç kısmı yasak bölgedir. Burada ikaz negatiftir. Şebekedeki bir arızadan dolayı negatif ikazlı makine devreden çıkar, zira kutup tekerleği  $180^\circ$  ters olarak kayıp senkronizme geldiğinden başlangıçtaki negatif ikaz ters kutup tekerleği durumunda pozitif olarak belirir. Bunu müteakiben ani olarak reaktif takat azalması, ikazın çalışma vaziyetinden tamamen ters değere geçmesi ve bunun neticesi birden bire gerilim yükselmesi işletme personeli için anlaşılmasız bir hâdise olur ve ciddi zararlara sebebiyet verir. Buna göre ikazsız, kabili tecviz en büyük kapasitif

$U^2$  takat—olur. Fakat normal bir senkron ma-

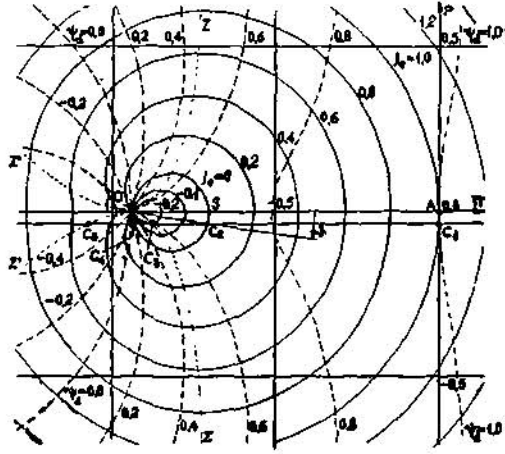
kinede boyuna eksandeki senkron reaktans 1,2 ile 1,6 arasında olduğundan maksimum kapasitif takatta normal takatin 60 - 85 % si olur. Makineyi nominal takata kadar kapasitif yükleyebilmenin ilk ve en çok kullanılan usulü senkron reaktansı 1 değerinden küçük yapmaktır. Bunu temin için hava aralığı büyütülür, bu büyütme ise kutup tekerleği üzerindeki ampersarımların artmasını icab ettirir.

Bu sebepten kutup tekerleği büyür, dolayısıyla bütün makine büyür. Böylece senkron reaktansın küçülmesi ağır ve pahalı makinelere sebebiyet verir.

Senkron makinelerin çalışma sahalarının genişletilebilmesi için ikinci bir imkân da ikazlarının seri ayarlanabilmeleridir. Seri bir gerilim regülatörü sayesinde statik stabilite sınırı  $OZ$  nin üstüne çıkar ve  $OZ^1$  sınırına yaklaşır. Aynı şekilde muayyen bir negatif ikaza da müsaade eder. Emniyet gözetilerek negatif ikaza, çalışma noktası en fazla dairenin ortasına gelecek kadar müsaade edilir.

Eğer özel ayar sistemleri vasıtası ile, stabilite ve çalışma emniyeti  $OZ^1$  stabilite sınırına kadar bütün sahadan faydalanabilmek

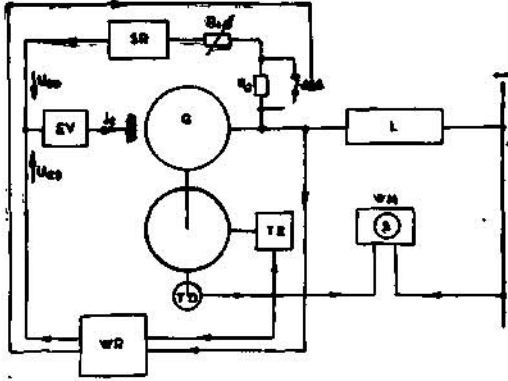
mümkün olursa, böylece normal bir senkron makineyi normal takatına kadar kapasitif yükselmek kabil olurki, bu vaziyette  $X_c$  l'den küçüktür. Bu şartları tahakkuk ettirecek ayar sistemleri, yük açısı fonksiyonu ve onun zamana tabi seyrindeki ayarlamadır. Açının fonksiyonundaki ayarlama bizzat statik stabiliteyi kuvvetlendirir ve yanlış bir senkronizasyona mani olur. Buna mukabil açının zamana bağlı fonksiyonundaki ayar ise dinamik stabiliteyi mükemmelleştirir.



Şekil : 2 — Çıkık kutuplu Senkron Makinenin genel diyagramı  $C_1, C_2$  doğrusu bir senkron kompansemanın 3,5 % aktif takatta çalışma noktalarının geometrik yeri.

Yük açısı fonksiyonundaki özel ayarlama durumunu kavrayabilmek için şekil 2 yi tetkik edelim. Diyagramda misal olarak, 3,5 % sabit aktif takata havi kompanseman olarak çalışan senkron makinenin çalışma noktalarının geometrik yeri olarak  $C_1, C_2$  doğrusu gösterilmiştir. Şimdi kapasitif yükün artması ile lüzumlu ikaz akımının seyrini takip edelim.  $C_1$  noktasında ikaz boşta çalışmaya ikazına eşit olup ve böylece reaktif takat sıfıra eşit olur. Artan kapasitif takatla ikaz akımı küçülmek zorundadır.,  $C_2$  noktasında değeri sıfıra, eşit, sonra negatif olur, stabilite sınırı  $OZ$  üzerindeki  $C_1$  noktasına gelir; burada negatiftik maksimum had alır; bundan sonra tekrar sükunetle yükselir.  $C_1$  noktasında ikaz akımı tekrar sıfır olur ve  $OZ^1$  stabilite sınırı üzerindeki  $C_1$  noktasına kadar pozitif yönde artmakta devam eder. Görüldüğü gibi, doğru  $O$  noktasına ne kadar yakın geçiyorsa, yani aktif takat mutlak değeri, ne kadar küçükse; gerekli ikaz artmasında okadar kuvvetlidir. Kutup tekerleği açısının, teta seyrini takip edecek olursak,  $C_2$  noktasına kadar küçük kaldığını, bundan sonra  $C_1$  noktasına, kadar yavaşça yükseldiğini ve bu noktadan itibaren

küçük takat değişmelerinde; doğrunun o noktasından uzaklığı ne kadar küçükse o nisbette sür'atle yükseldiğini görürüz. İkazın sür'atle yükselişi kutup tekerleği açısının sür'atle yükselişle bağımlıdır. Böylelikle, kutup tekerleği açısını ölçmek ve bununla bağımlı ikazın ilâve bileşkesini belirtmek kolaylaşır. Brown - İloveri Firması açının fonksiyonuna giren ikazın eşdeğer ayarını muhtelif araştırmalarla hesaplamıştır.



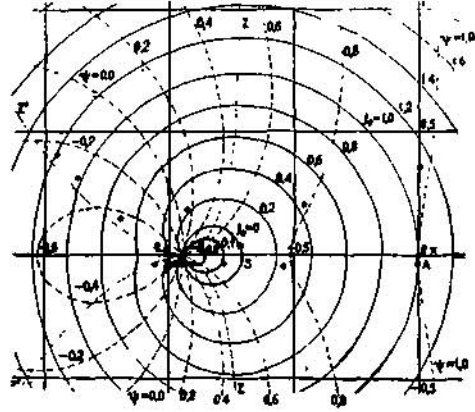
Şekil: 3

Bir açığa bağlı ayarlı generatörün prensip şeması.

Şekil 3 bu iş için kurulan montaj şemasını gösteriyor. Generatör G havai hat L üzerinden sonsuz büyük bir şebekeye bağlanıyor. T Türbin, TR ise iki fazlı yardımcı generatör TD vasıtası ile devri ölçen Türbin regülatörüdür. Generatörün ikazı normal ikaz zaman sabitesini haiz ikaz yükselticisi EV vasıtası ile olur. İkaz iki bileşke toplamından teşekkül eder. Birinci bileşke  $U_{cu}$  gerilim regülatörü SR tarafından ayarlanır. İkinci bileşke  $U^{t,}$  açığı regülatörü WR vasıtası ile ayarlanır. Bu, normal bir regülatörün özel şekilde bağlanarak generatör uç gerilimi ile kutup tekerleği arasındaki açıyı ölçmesi sayesinde temin edilir.  $R_1$  direnci gerilimi istenilen sabit değere ayarlamaya ve  $R_2$  ise eğer generatör devreden çıkarsa tekrar senkronizmi kolaylaştırmaya yarar. WM ise kutup tekerleği ile sonsuz büyük şebeke arasındaki açıyı ölçen bir açı ölçme aletidir.

Şekil 4 generatörün statik olarak ölçülen işletme noktalarından bazılarını gösteriyor. Görüldüğü gibi açının fonksiyonundaki ikaz makineyi ikinci stabilite sınırına  $OZ'$  ne kadar bütün çalışma sahasında stabilize eder. Çekinmeden stabil kutup tekerleği açısı  $165^\circ$  ye kadar çıkabilir. Motor olarak çalışmadan generatör olarak çalışma sahasına geçiş hiç bir ilâve tesisat ve tertibat almadan mümkündür.

Yalnız statik araştırmalar işletme emniyetini garantileyemezler. Bu sebepten bir ke-



Şekil: 4

Bir açığa tâbi ayarlı Senkron Makinenin ölçülen statik stabil işletme noktaları.

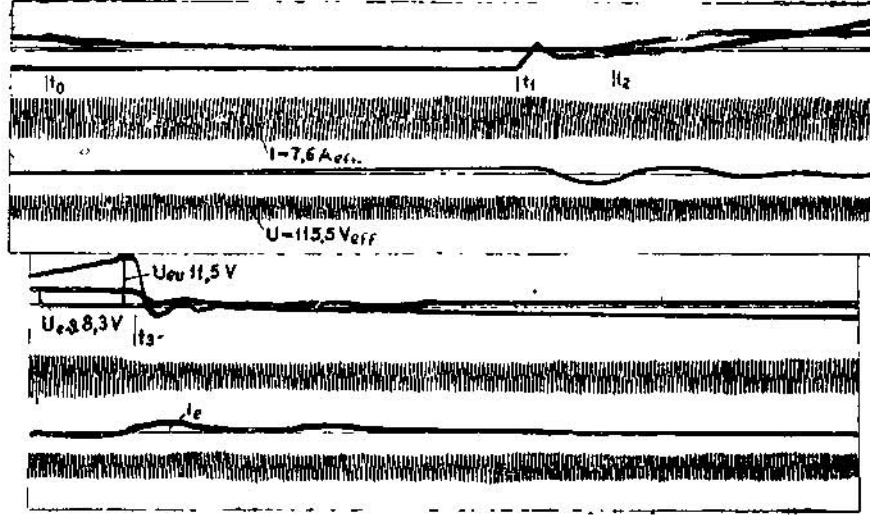
rede senkron makinenin arıza esnasındaki durumunu tetkik etmek icab eder. Şekil 5 generatörün devreden çıkması esnasındaki osillogramları gösteriyor. Burada her iki bileşen  $U_{cu}$  ve  $U_{t,}$ , stator akımı I, ikaz akımı  $I_e$  ve uç gerilimi U verilmiştir. Altında açı ölçen aletinde değerleri belirtilmiştir. Senkron makine stabil olarak  $87^\circ$  elk. açısı ile çalışıyor. Generatörü devreden çıkarmak için  $t_0$  anında açığa bağlı bileşeni  $U^{t,}$ , kaldırılır (devreden çıkarılır). Gerilim regülatörü artık tek başına makineyi zaptedemez. Makine devreden çıkar. t, anında açı, gerilim regülatörünün gerilimi sabit değerde tutabilmesi ve böylece senkronizmi kolaylaştırması için  $180^\circ$  ye çıkar. Bu esnada halâ açığa tabi eşdeğer bileşen devre haricidir.

Regülatörün sabit tutması icab eden gerilimin yükselmesine rağmen kutup tekerleği, aksi polarite ile senkronize olabilmesi için  $237^\circ$  dereceye kadar kaymakta devam eder ve sonra geriye salınır, t, zaman noktasında açığa bağlı bileşen  $V^{t,}$  tekrar devreye girer ve kutup tekerleğini tekrar eski durumuna koymaya zorlar, t, anında gerilim regülatörünün başlangıç sabit gerilim değerini otomatikman elde ettiği  $0^\circ$  açısına erişilir. Böylece makine birkaç sönümlü salmından sonra stabilize olur ve gayet normal bir şekilde gerilim regülatörünün empoze ettiği yükü üzerine alır. Bu tecrübe açığa bağlı ikazın ne kadar mühim olduğunu gayet sarıh gösteriyor. Bu eşdeğer ikaz olmasa idi generatör devreden çıkacak ve ters polarite ile senkronize olacaktı. Bu vaziyet dahilinde makineyi devreden çıkarmak ve yeni baştan senkronize etmek mecburiyeti hasil olacaktı, buda şebeke işletmesi için mühim bir arıza tevhit eder. Bu şekildeki kutup tekerleği fonksiyonunun ayar mekanizması senkron konpanzatorlerde şarttır.

Belki biraz teorik olan ve ilk tecrübelerden istifade edilerek yapılan ikinci deney, senkron makinenin açı fonksiyonundaki ikazın ayan vasıtası ile kafi hakimiyetini ispat eder.

Şekil 6 bu tecrübenin ossiogramını gösteriyor. İkazı devre harici edilmiş bir generator;

nunu icra edecek şekilde gerilim polaritesi aksı yöne döner. Arızadan sonra gerilim fonksiyonundaki bileşen lüzumlu negatif değeri elde etmekteki rolünü oynamakta devam ettiği halde, açığa bağlı bileşen sıfır değere döner. Bu araştırmalar gösteriyor ki açı fonksiyonundaki eşdeğer ayar yalnız normal işlet-



Şekil: 5

- $t_0$  :  $\dot{U}_{e-tell}$  elle devre dışı  
 $t_1$  : teta =  $180^\circ$  elle  $B_2$  (Şekil 3) Otomatik devreye giriş  
 $t_2$  : U elle devreye giriş  
 $t_3$  : e-teta  
teta =  $360^\circ$ , =  $0^\circ$ ,  $R^2$  (Şekil 3) Otomatik devre dışı

$t_0$  anında, zati ikazı tevlit eden, bir boşta çalışan hatta bağlanıyor. Bu esnada kutup tekerleğinin remenansı negatiftir. Zati ikaz rejiminden dolayı gerilim yavaşça yükselir.  $t_2$  anında normal gerilim regülâtörü devreye sokulur, polarite remenansı negatif olduğundan, regülâtör ters ayar yapar ve zati ikaz rejimini kuvvetlendirir.  $t_4$  anında açığa tabi eşdeğer bileşen devreye sokulur. Össiogramda görüldüğü gibi açı regülâtörü hemen tesirini gösterir ve gerilim regülâtörü normal fonksiyo-

næ durumunda değil, aynı zamanda vukua gelen arızalarda da duruma hakim olur.

Son olarak dinamik stabilitenin mükemmelleştirilmesi için kutup tekerleği açısının zamana tabi seyir fonksiyonunun eşdeğer (özel) ayarını kısaca görelim. Senkron makinenin hareket differansiyel denklemlerine seyir fonksiyonu eşdeğer ayan ithal edilirse görülür ki esas amortisman kısımları büyür. Makinenin bu suni amortisman sayesinde dinamik stabilitesi; teorik ve pratik statik stabi-



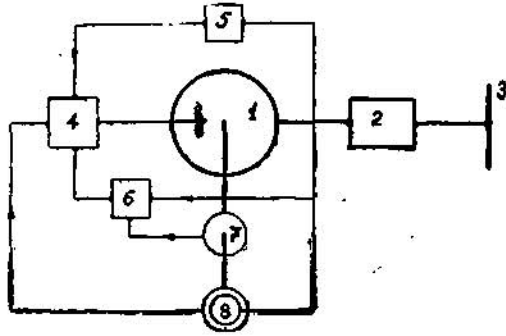
Şekil : 6

Kutup tekerleğinin başlangıç remenansı negatif olan zati İkazlı hatta bağlı generator

- $t_1$  den  $t_2$  : natürel zati ikaz  
 $t_1^9$  : Gerilim regülâtörü devreye giriyor  
 $t_2$  : Ters yönde çalışan gerilim regülâtörü vasıtası ile kuvvetlenen zati ikaz,  
 $t_2$  den  $t_3$  : Açı regülâtörü devreye giriyor  
 $t_3^1$  : Açı regülâtörü vasıtası ile polarite düzeliyor, gerilim, gerilim regülâtörü vasıtası  
 $t_3^a$  den sonra : ile sabit değerinde stabilize oluyor, açığa bağlı bileşen sıfır oluyor  
 $t_3$

lite sınırları arasındaki emniyet sahası nazara alınmayacak kadar mükemmelendirilebilir. Bunu muhtelif memleketlerde yapılan araştırmalar teyid etmektedir.

Şekil 7: Brown - Boveri Firmasının tecrübeleri için yaptığı montaj semasını gösteriyor. Bu bağlama açısı fonksiyonundaki ayar montajının aynıdır. Yalnız burada muayyen anlardaki kaymayı ölçen ve bununla ikazın üçüncü bileşenini temin eden bir ölçü aleti 8 kullanılıyor. Bu montajda ölçü ile teorinin

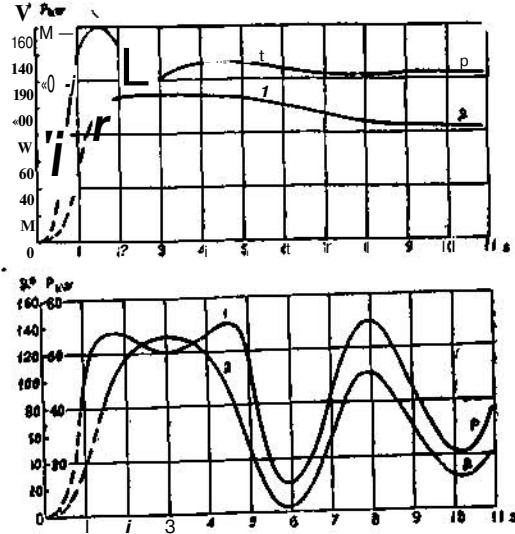


Şekil 7. Açılma fonksiyonu ayarlı bir generatörün prensip şeması, 1 generatör, 2 hat, 3 sonsuz büyük şebeke, 4 ikaz, 5 gerilim regülatörü, 6 açısı regülatörü, 7 tabageneratörü, 8 kayma ölçme aleti.

mutabakatını teinin için ataletsiz bir ikaz amplifikasyonu kullanılıyor. Normal işletme hallerinde ikaz ızgara kumandalı bir redresör veya bir normal ikaz makinesidir.

Şekil 8. Bu deneylerden elde edilen iki ossilogramı gösteriyor. Her iki ossilogramda da aktif takatin ve kutup tekerleği açısının zamana bağlı seyri görülüyor. Üstteki ossilogram kaymaya bağlı eşdeğer ikazın devrede olması, aşağıdaki ossilogram devrede olmadığı hale aittir.

Her iki haldede makine boşta çalışırken ani olarak üstteki 63 KW ile, alttaki ise 40 EW ile yükleniyor. Eşdeğer ikazsız bu darbe 40 KW dan büyük olamazda Aksi halde generatör devreden çıkardı. İki ossilogram arasındaki fark hakikaten şayanı hayrettir. Takat açısı seyir fonksiyonu eşdeğer ikaza havi olduğu hallerde, amortisman, titreşim rejimi hemen hemen aperiodyk seyredecek kadar kuvvetli olur.



Şekil: 8. Yük darbesinde bir generatördeki yük açısı ve aktif takat P seyri.  
a - İkazı kaymaya eşdeğer ayarlı AP = 63 kW  
b - İkazı kaymaya tabi eşdeğer ayarsız AP = 40 kW

Bu eşdeğer ikazsız hallerde uzun hatların sebep olduğu çok zayıf amortisman açıkça görülür. Üstteki ossilogramda yük darbesi alttakinden 58 % fazla olmasına rağmen erişilen maksimum açı 110° elk. olur. Halbuki eşdeğer ikazsız halde küçük bir darbede 130° elk'e kadar çıkar. Bu her iki halin mukayesesi, açının zamana tabi seyir fonksiyonundaki ayarın dinamik stabilite üzerindeki tesirinin ehemmiyetini göstermeğe kâfidir.

Hülasaten takat açısı fonksiyonundaki eşdeğer ikaz sabit rotor akışı  $\theta_a$  için statik stabiliteyi ikinci, stabilite sınırına kadar garantiler senkron makineye yalnız normal işletme anında değil aynı zamanda vuku bulacak arızalarda da hakim olur. Kısa devreler esnasında makinenin transient durumuna ve diğer regülatörlerin çalışma sistemlerine tesir icra etmez. Normal bir senkron makineden bu eşdeğer ikaz sayesinde işletme emniyetini sarsmaksızın termik olarak tamamen istifade edilir.

Büyük kapasitif yüklere maruz senkron makineler, için de yine bu eşdeğer regülasyon sayesinde, pahalı ve ağır özel konstrüksiyonlardan kaçınılmış olur.