

## TURBOJENERATÖR PARAMETRELERİNİN DENEYSEL YÖNTEMLER İLE ELDE EDİLMESİ

N.Süha BAYINDIR

E.Ü.Mühendislik Fakültesi, KAYSERİ

### ÖZET:

Güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre ve aşırı yükleme gibi dengesiz çalışma koşulları, turbojeneratörleri kararsız çalışmaya sürükler. Bu koşullar altında çalışan bir turbojeneratörün geçiş davranışının analizinde eşdeğer devre modelleri kullanılır. Bu çalışmada, eşdeğer devre parametrelerinin elde edilmesinde kullanılan kısa devre ve frekans tepki yöntemleri incelenmiştir. Kısa devre ve frekans tepki deneylerinin uygulanması ve parametrelerin deney sonuçlarından elde edilmesi anlatılmıştır. Frekans tepki ve kısa devre yöntemleri ile elde edilen parametrelerin kullanıldığı simülasyonların sonuçları irdelenerek, parametre çalışmalarının eksik yönleri ve bunların giderilmesi üzerinde durulmuştur.

### DETERMINATION OF TURBOGENERATOR PARAMETERS USING EXPERIMENTAL METHODS

#### SUMMARY:

Turbogenerators are forced to instability due to the unbalanced working conditions, such as short circuit and overloading, which occur in power systems. In the analysis of the transient behaviour of a turbogenerator which operate under these conditions, the equivalent circuit models are used. Short circuit and frequency response methods of obtaining the equivalent circuit parameters are investigated in this work. The application of tests and the derivation of parameters from test results are described. The results of the simulations using the parameters obtained by the frequency response and short circuit methods are discussed and the deficiencies of parameter studies are highlighted together with possible solutions.

#### **1- GİRİŞ**

Modern turbojeneratör tasarımında kilogram başına düşen çıkış gücü giderek artırılmakta ve bunun sonucunda turbojeneratörlerin kararlılık sınırları giderek zorlanmaktadır. Bu nedenle jeneratörlerin, sistem arızaları sırasındaki, geçiş rejimi davranışlarının doğru olarak modellenmesi

daha da önem kazanmaktadır. Modellenmenin doğruluğu ise turbojeneratörün eşdeğer devre parametrelerinin hassas olarak elde edilmesine bağlıdır.

Turbojeneratörlerin eşdeğer devre parametreleri yakın bir geçmişe kadar sadece kısa devre deneylerinden elde edilmekteydi. 1970'lerden günümüze kadar frekans tepki yöntemi üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu makalede her iki deneysel yöntemin uygulama tekniği açıklanmakta ve yöntemlerin aksak yönleri vurgulanarak, alınması gereken önlemler üzerinde durulmaktadır. Kısa devre ve frekans tepki modelleri ile gerçekleştirilen sistem arızaları simülasyonları karşılaştırılarak, günümüzde turbojeneratör parametrelerinin elde edilmesinde frekans tepki yönteminin tercih edilmesinin nedenleri açıklanmaktadır.

## 2- EŞDEĞER DEVRE PARAMETRELERİ

Turbojeneratörlerin sürekli ve geçiş davranışları Park'ın 2 eksen modeli denklemleri ile tanımlanır [1].

$$v_d = p\phi_d + w\phi_q + R_a I_d \quad (1)$$

$$v_q = -w\phi_d + p\phi_q + R_a I_q \quad (2)$$

$$T_e = \frac{w_0}{2} (\phi_d I_q - \phi_q I_d) \quad (3)$$

Bu denklemde

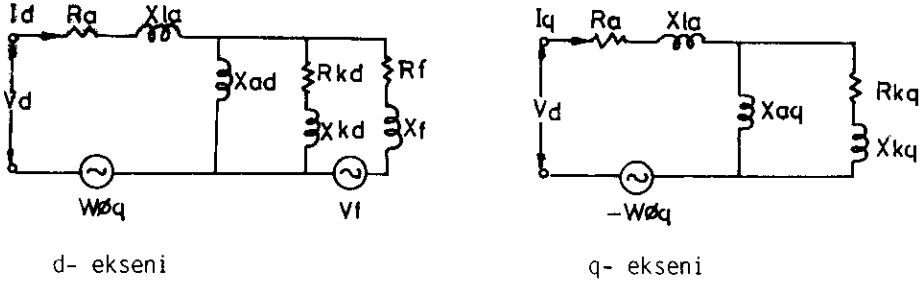
$$\phi_d = L_d(p)I_d + G(p)v_f \quad (4)$$

$$\phi_q = L_q(p)I_q \quad (5)$$

olarak tanımlanır. Burada  $p = d/dt$  diferansiyel operatörüdür.

Turbojeneratörlerin sistem arızaları durumundaki davranışlarının bilgisayar simülasyonlarında (1), (2) ve (3) denklemleri çözülerek, akım

ve yük açısı osilasyonları elde edilmektedir. d- ve q- eksenli gerilim ve akımları arasındaki ilişki Şekil 1'deki eşdeğer devreler üzerinde gösterilir [2].



Şekil-1: Turbojeneratör eşdeğer devreleri

### 3- PARAMETRELERİN KISA DEVRE DENEYLERİNDEN ELDE EDİLMESİ

#### 3.1- Analitik Yaklaşım:

Üç fazlı bir kısa devre arızası sırasında stator akımı salınımlarının sönüm bileşeni, (1) ve (2) denklemlerinin çözümünden

$$I_a = \frac{V_p}{X_d} + \left( \frac{V_p}{X_d'} - \frac{V_p}{X_d} \right) e^{-t/T_d'} + \left( \frac{V_p}{X_d''} - \frac{V_p}{X_d'} \right) e^{-t/T_d''} \quad (6)$$

ifadesi ile belirlenir. Bu ifadedeki  $X_d'$ ,  $X_d''$  değerleri, eşdeğer devrenin geçiş ve ön geçiş reaktanslarıdır. Kısa devre arızasının uygulanmasından hemen sonraki kısa bir süre içerisinde stator akımı çok hızlı değişimler gösterir. Öngeçiş rejimi denilen bu çalışma bölgesinde rotor içerisinde endüklenen eddy akımlarının sönümlenme etkisi, eşdeğer devre üzerinde  $R_{kd}$  ve  $X_{kd}$  elemanları ile gösterilir. Değişimlerin çok hızlı olduğu öngeçiş rejiminde reaktanslar dirençlere göre çok büyük olacağından, dirençleri ihmal ederek stator terminallerinde hesaplanan d- ve q- eksenli öngeçiş reaktansları

$$X_d'' = X_{1a} + \frac{X_{ad}X_fX_{kd}}{X_{ad}X_f + X_{ad}X_{kd} + X_{kd}X_f} \quad (7)$$

$$X_q'' = X_{1a} + \frac{X_{aq}X_{kq}}{X_{aq} + X_{kq}} \quad (8)$$

bulunur. Başlangıçtaki hızlı değişimlerden sonraki geçiş rejimi sırasında eddy akımlarının etkisi ihmal edilebilir ve **bu durumda d- eksen**i eşdeğer devresindeki  $R_{kd}$  ve  $X_{kd}$ 'den oluşan damper kolu açık devre edilir. Böylece d- eksen geçiş reaktansı (dirençler ihmal edilerek),

$$X_d^i = X_{1a} + \frac{X_{ad}X_f}{X_{ad} + X_f} \quad (9)$$

elde edilir. Geçiş rejimi sırasında etkili olan eleman, alan reaktansıdır. q- eksen eşdeğer devresinde alan kolu olmadığından, bu eksen için geçiş reaktansı tanımlanamaz.

(6) denklemindeki  $T_d^i$  ve  $T_d''$  değerleri, stator uçları kısa devre iken, eşdeğer devreden elde edilen geçiş ve öngeçiş zaman sabitleridir. Öngeçiş zaman sabiti,  $R_{kd}$ 'nin uçlarından görülen reaktansın  $R_{kd}w_o$  terimine olan oranı ile

$$T_d'' = \frac{1}{w_o R_{kd}} \left( X_{kd} + \frac{X_{ad}X_{1a}X_f}{X_{ad}X_{1a} + X_{ad}X_f + X_{1a}X_f} \right) \quad (10)$$

belirlenir. Geçiş zaman sabiti ise, damper kolu açık devre edildiğinde,  $R_f$ 'nin uçlarından görülen reaktansın  $R_f w_o$  terimine olan oranı ile

$$T_d^i = \frac{1}{w_o R_f} \left( X_f + \frac{X_{ad}X_{1a}}{X_{ad} + X_{1a}} \right) \quad (11)$$

elde edilir.

Kısa devre arızasının meydana gelmesinden uzun bir süre sonra jeneratör

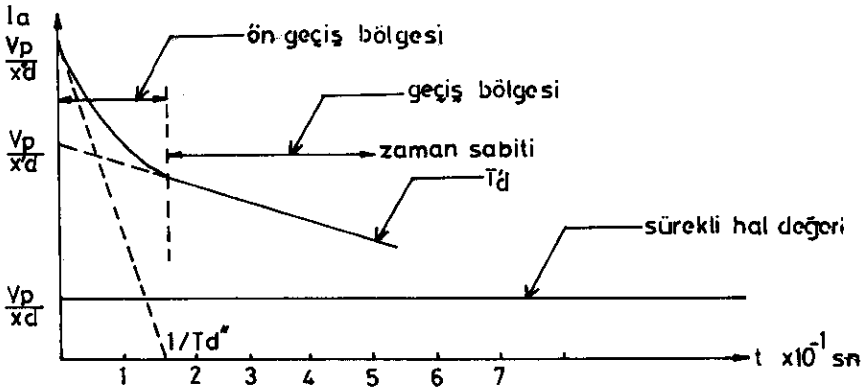
sürekli rejim çalışmasına geçer ve bu durumda alan sargılarından geçen akımın değişimleri sıfır olacağından, eşdeğer devredeki alan kolu da açık devre edilir. Böylece eşdeğer devrenin sürekli rejim reaktansı (senkron reaktans)

$$X_d = X_{1a} + X_{ad} \quad (12)$$

olur. (12) denklemindeki stator kaçak reaktansı ( $X_{1a}$ ), tasarım hesaplarından veya açık devre ve sıfır güç faktörü deney sonuçlarına uygulanan Potier yöntemi ile elde edilir [3].

### 3.2- Deneysel Tekniği ve Ölçümler:

Turbojeneratör anma gerilim ve hızda yüksüz olarak çalışmakta iken, stator fazlarının üçünü birden kısa devre ederek yapılan deney sonuçlarından, d- eksenli eşdeğer devre parametrelerini elde etmek mümkündür. Kısa devre deneyi sırasında stator akımı salınımları, grafik çiziciler ile kaydedilir. Bu salınımların sönüm bileşeni Şekil 2'de gösterilmiştir. Geçiş ve öngeçiş reaktansları ( $X_d'$ ,  $X_d''$ ) ile zaman sabitleri ( $T_d'$ ,  $T_d''$ ) bu sönüm eğrisinin analizinden elde edilir. Ayrıca senkron reaktansın sürekli hal değerini de bu eğriden elde etmek mümkündür.



Şekil-2: Stator akımının sönüm bileşeni

Şekil 2'deki stator akımı sönüm bileşeninin analitik ifadesi (6) denklemi ile verilir.  $t=0$  anında  $I_a = V_p/X_d''$  olduğuna göre, kısa devreden hemen önce ölçülen stator gerilimi  $V_p$  ile, kısa devreden hemen sonra ölçülen ilk stator akımının oranından  $X_d''$  reaktansı elde edilir. Öngeçiş bölgesindeki sönüm eğrisine  $t = 0$  anında çizilen teğet doğrunun t-eksenini kestiği nokta  $T_d''$  zaman sabitini verir.

Öngeçiş salınımlarının sönümlenip geçiş bölgesine girildiği bölgede (6) denkleminin son terimi ihmal edilebilir. Bu durumda geçiş bölgesi eğrisinin  $t = 0$  anına doğru çizilen uzantısının  $I_a$  eksenini kestiği değeri  $I_a = V_p/X_d'$  olur. Bu ifadede ölçülen  $I_a$  ve  $V_p$  değerlerini yerleştirerek  $X_d'$  reaktansı elde edilir.  $T_d'$  zaman sabiti ise, geçiş rejimi eğrisinin ölçülen zaman sabitine eşittir.

Geçiş salınımlarının da tamamen sönümlendiği sürekli hal durumunda (6) denkleminin 2. terimi de ihmal edilebilir. Bu durumda sürekli hal stator akımı  $I_a = V_p/X_d$  olduğuna göre, ölçülen sürekli hal akımı ve  $V_p$  değerleri kullanılarak  $X_d$  reaktansı elde edilir.

Kısa devre deneylerinden ölçülen  $X_d$ ,  $X_d'$ ,  $X_d''$ ,  $T_d'$ ,  $T_d''$  değerleri ile anma frekans  $\omega_0$  ve tasarımda hesaplanan kaçak reaktans  $X_{l_a}$  değerleri (7)-(12) denklemlerine yerleştirilir. Bu denklemler Newton Raphson veya benzeri bir iterasyon yöntemi ile çözümlenerek bilinmeyen eşdeğer devre parametreleri ( $R_f$ ,  $R_{kd}$ ,  $X_{ad}$ ,  $X_f$ ,  $X_{kd}$ ) elde edilir.

Kısa devre deneylerinde rotor d-ekseni pozisyonunda olduğu için, bu deneylerden q-ekseni parametreleri hakkında veri elde etmek mümkün değildir. q-ekseni parametrelerini elde etmek için bazı özel deneyler yapmak gerekir. Bu deneylerde jeneratör anma gerilim ve akımda çalışmakta iken magnetik alan q-ekseni pozisyonuna getirilir. Stator uçları aniden açılarak akımın sıfıra düşürüldüğü sırada kaydedilen rotor gerilim ve akım sönüm eğrilerinden  $X_q$ ,  $X_q''$  ve  $T_{q0}''$  elde edilir. q-ekseni parametreleri de ( $X_{aq}$ ,  $R_{kq}$ ,  $X_{kq}$ ) (8), (13) ve (14) denklemlerinin iterasyon yöntemi ile çözümlenmesinden bulunur.

$$X_q = X_{la} + X_{aq} \quad (13)$$

$$T''_{qo} = \frac{1}{\omega_o R_{kq}} (X_{aq} + X_{kq}) \quad (14)$$

#### 4- FREKANS TEPKİ YÖNTEMİ

##### 4.1- Genel:

Frekans tepki yöntemi ile turbojeneratörlerin parametrelerinin elde edilmesi 1970'lerden bu yana gelişmekte ve güç sistemlerinin kararlılık çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır [4]. Bu metod ile, makina hareketsiz halde iken stator sargıları değişken frekanslı bir sinyal ile uyarılmakta ve (4), (5) denklemlerindeki operasyonel endüktans ve transfer fonksiyonlarının frekansa göre değişimleri ölçülmektedir. Rotor d- veya q- eksenini pozisyonuna getirilerek her iki eksenin parametrelerine ilişkin verileri elde etmek mümkündür.

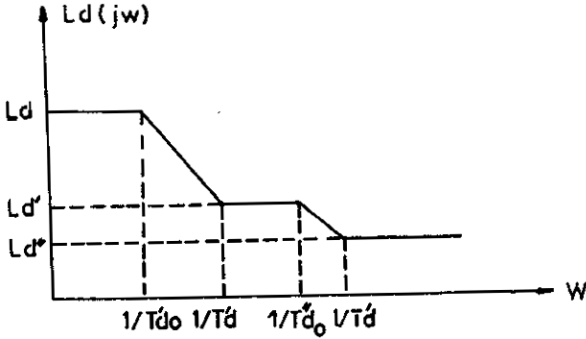
Turbojeneratörlerin dengesiz koşullar altındaki geçiş ve öngeçiş rejimleri sırasındaki elektromagnetik alan dağılımları, frekans tepki deneylerinde, statora değişken frekanslı bir sinyal uygulayarak temsil edilebilir. Operasyonel endüktans ve transfer fonksiyonları frekansın birer fonksiyonu oldukları için bu özellikleri çeşitli frekanslarda doğrudan ölçmek mümkündür.

Frekans tepki deneylerinde ölçülen tipik bir operasyonel endüktans fonksiyonu asimtotik eğrisi Şekil 3'de gösterilmiştir. Deney verilerine uyabilecek genel bir rasyonel fonksiyon olur. Dengesiz koşullardaki magnetik

$$L_d(j\omega) = - \frac{(1 + j\omega T'_d)(1 + j\omega T''_d)}{(1 + j\omega T'_{do})(1 + j\omega T''_{do})} \quad (15)$$

alanın hızlı değişimler gösterdiği öngeçiş rejimi Şekil 3'deki yüksek frekans bölgesine karşı gelir. Yüksek frekans asimtotlarının köşe frekansları ise öngeçiş rejimi açık ve kısa devre zaman sabitlerinin tersine ( $1/T''_{do}$ ,  $1/T'_d$ ) eşittir. Değişimlerin yavaşladığı geçiş rejimi, alçak fre-

kans bölgesinde temsil edilir. Alçak frekans asimtotlarının köşe frekansları da geçiş rejimi açık ve kısa devre zaman sabitlerinin tersine ( $1/T'_{do}$ ,  $1/T'_d$ ) eşittir.



Şekil-3: Operasyonel endüktans asimtotik eğrisi

#### 4.2- DeneY Tekniği:

Rotor hareketsiz halde iken yapılan frekans tepki deneyleri Şekil 4'deki deney düzeneği üzerinde gerçekleştirilir. Sayısal transfer fonksiyonu analizörünün çıkışından alınan değişken frekanslı zayıf sinyal, amplifikatör ile yükseltilerek, stator sargılarına uygulanır. Deneyler amplifikatörlerin akım sınırlamaları yüzünden anma akımın %1'i civarında, 0.001 Hz'den 200 Hz'e kadar olan frekans sahasında yapılır.

Rotor q- eksenine üzerine getirilerek yapılan deneylerde stator gerilim/akım oranının genlik ve fazı sayısal transfer fonksiyonu tarafından ölçülür. Bu deneyde ölçülen stator gerilimi, faz geriliminin 3/2 katına eşit olduğu için, ölçüm değerleri ile q- eksenine empedans fonksiyonu arasındaki bağıntı

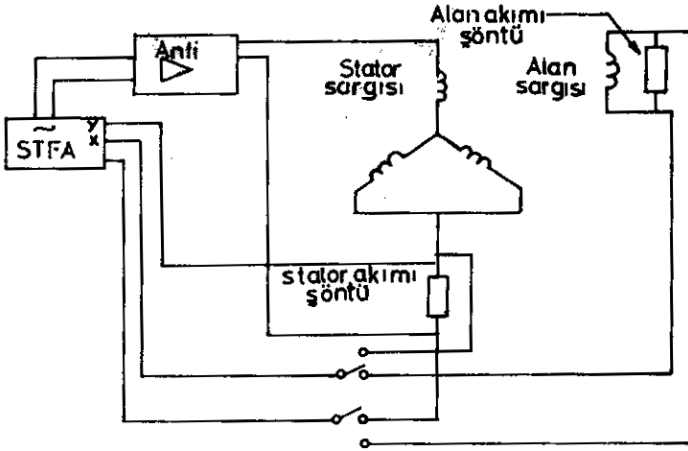
$$(2/3)V_s/I_s = R_a + j\omega L_q(j\omega) \quad (16)$$

olur. (16) denkleminde stator direncinin doğru akım değerini yerleřtirilerek



$L_d(j\omega)$  elde edilir.

d- ekseni deneylerinde empedans ölçümlerinin yanısıra rotor ve stator akımları arasındaki transfer fonksiyonu ( $G_f(j\omega) = I_f/I_s$ ) ölçümleri yapılır.



Şekil-4: Frekans tepki deney düzeneği

#### 4.3- Parametrelerin Elde Edilmesi:

Deneylerde ölçülen endüktans değerlerine en uygun fonksiyon, eğri uydurma metodları ile elde edilir. Çok alçak ve çok yüksek frekanslarda sabit değerlerle yaklaşan endüktans fonksiyonu ölçüm değerlerine

$$L_d(j\omega) = L_d \frac{(1 + j\omega T_d') (1 + j\omega T_d'')}{(1 + j\omega T_{d0}') (1 + j\omega T_{d0}'')} \quad (17)$$

rasyonel fonksiyonu uydurulabilir.

(17) denklemindeki zaman sabitlerini elde etmek için çeşitli yöntemler uygulanabilir 5,6 . Bunlar içerisinde en sık kullanılanları en küçük kareler ve minimaks yöntemleridir. Herhangi bir frekansta ölçülen değer ile yaklaşım fonksiyonu değeri arasındaki hata

$$f(j\omega) = L_d(j\omega) - L_{d\ddot{o}}(j\omega) \quad (18)$$

olsun. Burada  $L_d(j\omega)$  yaklaşım fonksiyonu değeri,  $L_{d\ddot{o}}(j\omega)$  ise ölçüm değeridir. En küçük kareler yöntemine göre minimize edilecek hata fonksiyonu

$$E(T'_d, T'_{do}, T''_d, T''_{do}) = \int_w |f(j\omega)|^2 \quad (19)$$

olur. Minimaks yönteminde ise yaklaşım fonksiyonu ile ölçüm değerleri arasındaki maksimum sapma, minimize edilecek hata fonksiyonu olarak alınır. Her iki yöntemde, hata fonksiyonunun zaman sabitlerine göre türevi alınıp sifıra eşitlenerek

$$\frac{\partial E}{\partial T'_d} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial T'_{do}} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial T''_d} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial T''_{do}} = 0 \quad (20)$$

denklemlerinin çözümünden  $T'_d$ ,  $T''_d$ ,  $T'_{do}$  ve  $T''_{do}$  zaman sabitleri elde edilir.

$T'_{do}$  ve  $T''_{do}$ , Şekil 1'deki d- ekseni eşdeğer devresinin uçları açık devre iken elde edilen

$$T'_{do} = \frac{1}{\omega_0 R_f} (X_f + X_{ad}) \quad (21)$$

$$T''_{do} = \frac{1}{\omega_0 R_{kd}} \left( X_{kd} + \frac{X_f X_{ad}}{X_f + X_{ad}} \right) \quad (22)$$

geçiş ve öngeçiş zaman sabitleridir.

Operasyonel endüktansın çok alçak frekanslarda aldığı değer senkron endüktansa ( $X_d/w_0$ ) eşittir. Buradan elde edilen senkron reaktans ve (20) denklem setinin çözümünden bulunan zaman sabitleri (10), (11), (12), (21) ve (22) denklemlerine yerleştirilir. Bu denklemlerin iterasyon ile çözümünden eşdeğer devre parametreleri elde edilir.

### 5- KISA DEVRE VE FREKANS TEPKİ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Geleneksel kısa devre deneyleri gerçek çalışma koşullarında yapılması özelliğine rağmen, bu deneylerin uygulamasının emniyetli olmaması ve eşdeğer devre parametreleri hakkında yeterli veri elde edilememesi göz önüne alınarak, son yıllarda turbojeneratör parametreleri frekans tepki yöntemi ile elde edilmektedir. Frekans tepki yönteminin başlıca avantajları şöyle sıralanabilir:

- Deneylerin kurulması ve uygulanması daha ucuz ve kolay olup, şaftı döndürmek için büyük güçlere ihtiyaç yoktur.
- Kısa devre deneylerinden elde edilemeyen q-ekseni parametrelerini bu deneylerden elde etmek mümkündür.
- Ölçümler hem stator hem de rotor sargılarında yapılarak, eşdeğer devre parametreleri hakkında daha detaylı ve güvenilir veriler elde etmek ve geliştirilmiş eşdeğer devre modelleri kurmak mümkündür.
- Kısa devre deneylerinden elde edilen parametrelerin doğruluğu tek bir sönüm eğrisinin grafiksel analizine bağlı olduğu için hata oranı büyüktür. Frekans tepki deneyleri geniş bir frekans sahasında yapıldığı ve parametreler daha hassas nümerik indirgenme metodları ile elde edildiği için hata oranı en aza indirgenmektedir.

Frekans tepki yöntemi bu avantajlarına rağmen mükemmel değildir ve bazı aksak yönleri vardır. Bunlar:

- Deneylerde stator sargılarına uygulanan değişken frekanslı akımın en büyük değeri %1 anma akım civarında olduğu için, magnetik doyumun parametreler üzerindeki etkileri doğru olarak tahmin edilememektedir.

b) Deneyler rotor hareketsiz halde iken yapıldığı için, dönme hareketinin parametreler üzerindeki etkilerini gözlemek mümkün değildir.

Frekans tepki deneylerinden elde edilen parametreleri, normal çalışma koşullarındaki magnetik doyuma göre ayarlayabilmek için bazı düzeltme faktörleri kullanılmıştır [7]. Ancak çok düşük akım seviyelerindeki doğrusal olmayan mıknatıslama özelliğine bağlı olan parametreleri bu şekilde normal çalışma noktası değerlerine dönüştürmek mümkün değildir.

Frekans tepki deneylerinde kullanılan akım seviyesini yükseltebilmek için, turbojeneratörün doğrusal olmayan özelliklerini taşıyan, ölçeklenmiş, statik bir analog model geliştirilmiştir [8]. Bu model üzerinde yapılan deneylerde anma akımın % 20'sine çıkılarak gerçek çalışma koşullarına daha yakın değerler elde edilmiştir. % 1 ve % 20 anma akımda yapılan deneyler karşılaştırıldığında, frekans tepki karakteristiklerinde % 10 civarında bir değişme olduğu görülmüş ve magnetik doyumun etkisinin ihmal edilemeyecek düzeyde olduğu kanıtlanmıştır.

## 6- TURBOJENERATÖRLERİN GEÇİŞ REJİMİ DAVRANIŞLARININ SİMÜLASYONU

Kısa devre ve frekans tepki yöntemleri ile elde edilen parametrelerin doğruluğu, bu parametreler kullanılarak yapılan geçiş rejimi simülasyonlarının, arıza deneyleri ile karşılaştırılması sonucunda belirlenir.

Çeşitli ülkelerden katılan 12 araştırmacı kuruluş kendilerine sunulan kısa devre parametrelerini kullanarak, Norhfleet [9] arıza deneylerini bilgisayar üzerinde simüle etmişlerdir [10]. Simülasyonların doğruluğunu değerlendirmekte kriter olarak kullanılan maksimum yük açısı salınımı sadece 4 araştırmacı tarafından  $\pm 10^0$ 'lık bir hata ile tahmin edilebilmiş ve genellikle ölçüm değerlerinden daha küçük değerler bulunmuştur. Bunun nedeni, yük açısı salınımları üzerinde önemli etkisi olan, q- eksen parametrelerinin başlangıçta doğru olarak tesbit edilememiş olmasıdır. Araştırmacılardan bir tanesi kendilerine verilen geçiş zaman sabitinin 4 katını kullanarak genelde deney sonuçlarına en yakın değerleri elde etmiştir. Bu da kısa devre deneylerinden bulunan geçiş zaman sabiti-

nin gerçek değerinden çok kısa olduğunu göstermektedir.

MIT-EPSEL model güç sistemi üzerinde yapılan arıza deneylerinin simülasyonunda frekans tepki parametrelerinin kullanıldığı modellerin, kısa devre modellerinden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [11]. Ayrıca q- eksenini devresine ek bir damper kolu eklendiğinde yük açısı osilasyonlarındaki sönümlenin daha iyi tahmin edilebildiği belirtilmiştir.

555 MVA'lık bir turbojeneratörün arıza deneylerinin simülasyonunda kısa devre modelinin, rotor osilasyonlarını aşırı derecede sönümlendiği, buna karşın frekans tepki modelinin bu osilasyonları daha iyi simüle ettiği görülmüştür [12].

## 7- SONUÇ

Turbojeneratör parametrelerinin deneysel olarak elde edilmesinde, frekans tepki yöntemi kısa devre yöntemine göre daha emniyetli ve ucuz olmasının yanı sıra q- eksenini parametreleri hakkında da veriler sağlar. Ancak frekans tepki deneylerinin düşük akım seviyelerinde yapılması magnetik doyumu parametreleri üzerindeki etkisinin incelenmesine engel olmaktadır. Magnetik doyumun, parametreleri % 10 civarında etkilediği göz önüne alındığında, bu konuda daha hassas çalışmaların yapılması gerektiği görülmektedir. Frekans tepki yönteminin diğer dezavantajı da dönme hareketinin parametreleri üzerindeki etkisinin ihmal edilmesidir.

Arıza deneylerinin simülasyonlarında, frekans tepki modelleri, kısa devre modellerinden daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunda en önemli etken, q- eksenini parametrelerinin ve zaman sabitlerinin, frekans tepki modellerinde gerçek değerlerine daha yakın olmasıdır.

## KAYNAKLAR

- 1- Park R.H., "Two-reaction theory of synchronous machines",  
Trans. Amer.Inst.Elect.Engrs.,(1929),48, pp. 716-730.
- 2- Adkins B., Harley R.G., "The general theory of a.c.machines",  
Chapman Hall, (1975)

- 3- Hindmarsh J., "Electrical machines and their applications", Pergamon Press, (1970)
- 4- Manchur G.L., et.al., "Generator models established by frequency response tests on a 555 MVA machine", IEEE Trans., (1972), PAS-91, pp. 2077-2084.
- 5- Jones N.B., "New method for identification and synthesis of linear systems from frequency response data" Proc. IEE, (1970) 117, pp. 1021-1025.
- 6- Mallick J.A., "The applicability of frequency response measurements to turbogenerator modelling", M.Sc. thesis, MIT, (1975).
- 7- Coultres M.E., Watson W., "Synchronous machine models by standstill frequency response tests", IEEE Trans., (1981), PAS-100, pp.1480-1487
- 8- Bayındır N.S., "Turbogenerator frequency response characteristics: Investigation of a static scale model by experimentation and field computation", PhD thesis, University of Newcastle upon Tyne, (1982).
- 9- Shackshaft G., Neilson R., "Results of stability tests on an underexcited 120 MW generator", Proc IEE, (1972), 119, 2 , pp. 185-188.
- 10- Chorlton A. Shackshaft G., "Comparison of accuracy of methods for studying stability Northfleet exercise", Electra, (1969), No. 23, pp. 9-49.
- 11- Umans S.D., et.al, "Modelling of solid rotor turbogenerators-Pt. I-II" IEEE Trans., 1978, PAS-97, pp.269-277.
- 12- Dandeno P.L., Kundur P., "Stability performance of 555 MVA turbogenerators-Digital comparison with system operating tests", IEEE Trans., (1974), PAS-93, pp. 767-776