

I.T.U. TRİGA MARK-II REAKTÖRÜNÜN

FREKANS CEVABININ ÖLÇÜLMESİ*

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Astr. Uzay Lis. Coşkun FIRAT

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Melih GECKİNLİ

Anabilim Dalı : Nükleer Uygulamalar

Haziran 1991

*Bu çalışma I.T.U. Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	ÖZET	i
	ABSTRACT	ii
	SEMBOLLER	iii
1.	GİRİŞ	1
2.	FREKANS CEVAP DENEYİ VE GEREĞİ	3
2.1	TRANSFER FONKSİYONU	5
2.2	TRANSFER FONKSİYONU İLE FREKANS CEVABI ARASINDAKİ BAĞINTI	6
2.3	ÇOK KULLANILAN BAZI GİRİŞ SİNYALLERİ	8
2.4	SIFIR GÜÇ TRANSFER FONKSİYONU.....	11
2.5	GERİ BESLEMELİ REAKTÖR TRANSFER FONKSİYONU.....	15
2.6	KARARLILIK (STABİLİTE).....	18
3.	REAKTÖR VE DENEY DÜZENEGİ.....	19
4.	DENEYLERİN YÜRÜTÜLMESİ.....	28
5.	SONUC VE TARTIŞMA.....	34
EK-1	BODE DİYAGRAMI.....	41
EK-2	NYQUIST DİYAGRAMI.....	44
	REFERANSLAR	
	TEŞEKKÜR	
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET.

Frekans dömeni tekniklerinin lineer sistem dinamiği üzerindeki çalışmalarında faydalı olduğu artık su götürmez bir gerçektir. Örneğin , sistem kararlılığı ve geribesleme etkilerini elde etmek mümkündür. Nükleer reaktörler , girişi küçük reaktivite pertürbasyonları , çıkışı da müteakip güç değişiklikleri olan bir lineer sistem olarak muamele görebilir.

Açık literatürde TRIGA korları üzerine rapor edilmiş hiç bir deney olmaması motivasyonu , bu çalışmada bir reaktivite salınımı kullanarak İ.T.Ü. TRIGA Mark-II reaktörü üzerinde frekans cevap deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler için , frekansı ve genliği ayarlanabilen ve mekanik olarak sürülen harici sinüsoidal reaktivite pertürbasyonunu sağlayacak bir mikro-kontrol çubuk imal edilmiştir. Mikro kontrol çubuğunun sürülmesi bir adım motor yardımıyla ve veri toplama işlemleri bir ADC kartı ile PC bilgisayar üzerinden yapılmıştır. Kontrol çubuğu için absorblayıcı olarak , dengeli olduğundan dolayı, İ.T.Ü. Kimya -Metalurji Fakültesinde bir laboratuvarda üretilmiş olan doğal izotopik zenginlikteki B₄C bileşiği kullanılmıştır.

Ölçümler , 0.02 , 4 ve 200 kW güç seviyelerinde 0.002-2 Hz. frekans aralığında yapılmıştır.

Sonuç olarak , aşağıdaki gözlemler kaydedilmiştir:

- 0.02 kW güç seviyesinde alınan sonuçlar , 6-gruplu nokta reaktör kinetik denklemlerinden elde edilen sıfır güç frekans cevabını çok yakından takip etmektedir.

- 4 kW güç seviyesinde , çalışılan frekans aralığında , geribesleme etkisi kazanç eğrisinde net olarak görülmüyor.

- 200 kW güç seviyesinde geribesleme etkisinin DC değeri $1.5c/\%P$ olarak ölçülmüştür.

- Ölçülmüş transfer fonksiyonunun Nyquist analizi , reaktör mutlak kararlılığını açıkça göstermiştir.

- Güç-reaktivite geribesleme etkisini , zaman sabiti 0.16 sn. olan birinci dereceden bir modelle ifade etmek mümkün olmaktadır.

FREQUENCY RESPONSE TESTS IN TRIGA REACTOR

ABSTRACT:

Frequency domain techniques proved to be very useful in the study of the linear dynamics of systems, e.g. the system stability and feedback effects can be evaluated. Nuclear reactors can be treated as a linear system with small reactivity perturbations as input with subsequent power changes as output.

In this work, which was motivated by the lack of any reported tests on TRIGA cores in the open literature, frequency response method was applied to ITU TRIGA reactor using a reactivity oscillator. The amplitude of the reactivity perturbation was such that it induced power oscillations with an amplitude of 10% in the prompt jump frequency range. Measurements were conducted in the frequency interval of 0.002-2 Hz. at 0.02, 4 and 200 kW reactor power levels.

As for the evaluation of the results of the experiments the following observations were made:

- Results at 0.02 closely follow the anticipated zero power reactor response which derives from point reactor kinetic equations with six delayed neutron precursor groups;

- At 4 kW, within the studied frequency range, the effects of feedback are not clearly visible on the gain curve;

- At 200 kW, DC gain of the reactivity feedback effect is measured as 1.5 c / % Power;

- Nyquist analysis of the measured transfer function clearly confirmed the absolute stability of the reactor with respect to power-reactivity feedback effects;

The power-reactivity feedback effect is proposed to be a first order model with a time lag of 0.16 sec.

SEMBOLLER

s	Laplace operatörü
s^{-1}	Ters Laplace Operatörü
δp	Reaktivite Pertürbasyonu
$S_I(s)$	Bir Linear Sistemin Girişinin Laplace Transformu
$S_O(s)$	Bir Linear Sistemin Çıkışının Laplace Transformu
$G(s)$	Bir Linear Sistemin Frekans Transfer Fonksiyonu
s	Laplace Değişkeni , $s=\sigma+j\omega$
ω	Açısal Frekans (rad/sn)
$ G(j\omega) $	Transfer Fonksiyonunun Genliği
$\phi(\omega)$	Transfer Fonksiyonunun Faz Açısı (derece)
$G_o(s)$	Geri Beslemesiz Sistem Transfer Fonksiyonu
$H(s)$	Geri Besleme Transfer Fonksiyonu
$n(t)$	Nötron Yoğunluğu (Güç seviyesiyle orantılıdır)
$\delta n(t)$	Nötron Yoğunluğundaki Pertürbasyon

1. GIRIS

Nükleer sistemlerde frekans cevap testinin değeri yıllar önce anlaşılmıştır. Deneyler stabilite marjinlerinin bulunması ve teorik dinamik modellerin kontrolü için yapılmaktaydı.

Önceki bütün deneylerde sistemi uyarmak için sinüsoidal reaktivite pertürbasyonları kullanılmaktaydı . Bu yaklaşım , frekans cevabının temel tanımının direkt bir ifadesini sağlar. Deney ekipmanları çok pahalı ve o kadar dayanıklı değildi. Buna rağmen, bir dizi mükemmel deney yapılmıştır.

1960'ların ilk zamanlarında, periyodik binary (iki seviyeli) giriş sinyalleri de dahil alternatif deney prosedürleri frekans cevabı ölçümleri ve darbe cevabı ölçümleri için reaktörlerde ilk defa kullanılmıştır. Bu süre zarfında ölçümlerin çoğunda, sahte-rastgele iki seviyeli sekanslar (pseudo - random binary sequence-PRBS) kullanılmıştır. Güç reaktörlerinde PRBS ile yapılan deneylerin osilatör deneylerine göre üstün olan iki özelliği vardır:

- 1-Bir çok reaktörde iki seviyeli girişler, kontrol cubuğu gibi standart aletlerle yapılabilir.
- 2-Sinyal, tek bir deneyle bir dizi frekansta frekans cevabının alınmasını sağlayan bir çok harmonik içerir.

PRBS tanınıp kullanıldıktan sonra diğer iki ve üç seviyeli sinyaller (ki PRBS'ye göre daha avantajlılar) geliştirildi.

Frekans cevap ölçümleri , aynı zamanda, reaktivite darbeleri veya adımları gibi nonperiyodik girişlerle de yapılabilir. Bunlar, aynı zamanda, basit aletlerle ve tek bir deney ile bir dizi frekansta frekans cevabının alınabilmesini sağlar. Fakat bu tip sinyallerde iyi bir doğruluk payı elde edebilmek için gerekli olan yüksek bir sinyal-gürültü oranına erişmek olanağı yoktur.

Sistem çıkışındaki doğal istatistikî dalgalanmaların (gürültü) analizi yardımıyla da sistem dinamiği hakkında bir bilgi alınabilir. Eğer frekansa bağlı istatistikî giriş fonksiyonu biliniyorsa, frekans cevabının genliği ve fazı belirlenebilir. [1]

Bu çalışmada ITU TRIGA Mark-II reaktöründe yürütülen frekans cevap testlerinin sonuçları sunulmaktadır. Bu deneyler için, frekansı ve genliği ayarlanabilen ve mekanik olarak sürülen harici sinusoidal reaktivite pertürbasyonunu sağlayacak bir mikro kontrol çubuğu imal edilmiştir. Mikro-kontrol çubuğunun sürülmesi bir adım motor yardımıyla ve veri toplama işlemleri bir ADC kartı ile PC bilgisayar üzerinden yapılmıştır. Kontrol çubuğu için absorblayıcı olarak, İ.T.Ü.'nün Kimya Metalurji Fakültesindeki bir laboratuarda üretilmiş olan doğal izotopik zenginlikteki B₄C bileşiği, dengeli olması nedeniyle kullanılmıştır. Deneyler nötron detektörü devresindeki elektronik kısıtlamalar nedeniyle 0.002-2 Hz. arasında ve 0.02, 4, 200 kW güç seviyelerinde yapılmıştır.

Sonuç olarak, sıfır güçte geri beslemesiz ve daha yüksek güç seviyelerinde ise geri beslemeli reaktivite-güç transfer fonksiyonları, kazanç-frekans ve faz açısı-frekans diyagramları olarak verilmiştir; kararlılık marjları incelenmiştir. Ayrıca 200 kW güç-reaktivite geri besleme transfer fonksiyonu da hesaplanmış, Nyquist diyagramı incelenerek reaktörün kararlı olduğu anlaşılmıştır. Bu güçte geri besleme değeri ≈ 1.5 cent/%P olarak ölçülmüş ve geri besleme transfer fonksiyonu tek zaman sabiti olan bir ifade göstermiştir.

Bu verilerden hareketle reaktör için bir sıcaklık-reaktivite geri besleme modeli ve bir nonlinear dinamik modelin parametrelerini çıkarmak mümkündür. Ancak bu konular çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

2. FREKANS CEVAP DENEYİ VE GEREĞİ

Frekans cevap metodu, genellikle sinüsodal girişlere lineer veya lineerleştirilmiş bir sistemin sadece kararlı cevabını belirleyerek geçicileri (transient) bulma sorununu saf dışı eder.

Pratikte mümkün olduğunca komponentler ayrı düşünülür; frekans cevabı, her bir bileşenin giriş ve çıkışından iletilen sinüsoidal uyarımın genliği ve açısındaki kayma ile tanımlanır. Bu cevap, değişik frekanslı ve değişik formu sinyaller ile elde edilebilir. Fakat en çok kullanılan sinyal biçimi, kolaylığı açısından, "sinüs"tür. Sinüs formu işaretler frekans jeneratörleri ile kolayca elde edilirler. Öte yandan, bu işaretlerle sistem üzerinde deneme yapmak ve ölçüm sonuçlarını doğru bir biçimde saptamak olanağı da vardır. Sistemlerin incelenmesinde frekans cevap testi uygulamanın birçok kolaylığı vardır: Giriş sinyallerini sistemde transfer eden fonksiyon hakkında hiç bir bilginiz olmasa bile sadece frekans cevabını kullanarak Nyquist Diyagramı (Bkz. Ek-1) ile kararlılık sorunu incelenebilir. Eğer sistem lineer değilse, sisteme eklenecek bir başka eleman yardımı ile kararlılık sağlanabilir. [5]

Frekans cevap metodunun basitliği, bütün bir problemin birkaç ufak adımlara bölünerek çözülmesinden ileri gelir. En başta bir komponent tek bir sinüs dalgasının iletilmesi ile tanımlanır. Bir deney yapıldığında, bütün transientler kaybolana kadar ölçüm yapılamaz. Bundan sonra komponent, giriş ile çıkış arasındaki faz kaymasından ve bu dalgaların (giriş ve çıkış) genliklerinin oranı ile tanımlanır.

Bir dinamik sistemde sıralı iki komponent varsa, birinin çıkışı diğ erinin girişi olur. Sinüs dalgasının toplam faz kayması tek tek faz kaymalarının toplamından; genlik oranı ise tek tek genlik oranlarının çarpımından ibarettir. [2]

Frekans cevap deneyi modern güç reaktörlerinin güvenliğini ve performansını sağlamak açısından çok önemli bir rol oynar. Deneyin ana hareket noktaları :

- 1- Çalışma koşullarında değişikliklere sebep olan sistemin stabilite marjini ve bu marjindeki eğilimi ölçmek,
- 2- Teorik çalışmalarda kullanılan katsayıları ve matematiksel modelleri kontrol etmek,
- 3- Kontrol parametrelerini uyumlu kılmak için gerekli bilgiyi

sağlamak,

4- Garantili bir güvenlik içinde sistemin cevaplarını önceden tahmin etmek için gerekli teorik modelleri uygulayabilecek bilgileri sağlamak.

Şimdiye kadar yapılan bir dizi frekans cevabı ölçümlerinde, bir sinüsoidal giriş sağlayan osilatör metodu kullanılmaktaydı. Bu prosedür özel ve pahalı donanım gerektiriyordu. Şimdilerde, osilatör metodunun dezavantajlarını taşımayan ve daha iyi bilgi sağlayan alternatif metotlar geliştirilmiştir.

Güç reaktörlerinde testlerin uygulanması için bir dizi kriter vardır :

- 1- Testler, enaz maliyetle en çok yarar getirecek şekilde yapılmalı,
- 2- Testler bir komponentin bozulmasına yada scram'e neden olacak biçimde olmamalı,
- 3- Deney süresi mümkün olduğunca kısa olmalıdır,
- 4- Sonuçlar çabuk ve kolay açıklama getirilebilecek kadar uygun olmalıdır. [1]

Reaktör frekans testlerinde genellikle gürültü ve/veya dış uyarım yöntemleri kullanılır. Gürültü yöntemi yüksek frekans bölgesinde iyi sonuç vermektedir - ki bu bölgeye sıfır güç ani sıçrama (PJ-prompt jump) olayı neden olur. Ayrıca normal çalışma sırasında yapılması ve özel cihazlar gerektirmemesi avantajları arasında verilebilir. Dış uyarım yöntemi ise, termal geribeslemenin etkin olduğu düşük frekanslarda yüksek bir sinyal gürültü oranı sağladığı için daha yararlıdır, ancak yürütülmesi daha zahmetli ve zordur. [1], [6]

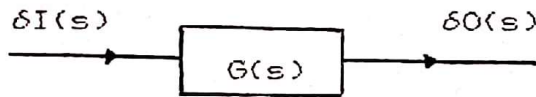
Literatürde rapor edilen frekans testleri, genellikle, hızlı reaktörler ve BWR ler üzerinde yapılmıştır. TRIGA reaktörleri üzerinde ise Penn State ve Kansas State üniversitelerinde bazı eski tarihli çalışmalar vardır. [10], [11]

Burada sunulan çalışma, I.T.U. TRIGA Mark-II reaktörü üzerinde yürütülmüş olup, öncelikle tasarımı değişen yeni kor'un ölçülmemiş ancak var olduğunu sezindiğimiz kararlılığının incelenmesini ve uzun vadede ise kurulan nonlinear modeller için gerekli parametrelerin bulunmasını amaçlamaktadır. [7], [8]

2.1. TRANSFER FONKSİYONU

Bir dinamik sisteminin her bir komponenti nadiren 2. dereceden büyük de olabilen bir diferansiyel denklem ile gösterilir. Bir transfer fonksiyonu, bir lineer sistemin çıkışının Laplace transformunun , girişinin Laplace transformuna bölümü ile tanımlanır. Ayrıca bu yapılırken bütün başlangıç koşullarının sıfır olduğu varsayılır.

Bir sistemin transfer fonksiyonu o sistemin dinamiğiyle ilişkilidir. Bir transfer fonksiyonu sadece lineer ve kararlı (sabit parametrelili) bir sistem için tanımlanabilir. Zamanla değişen sistem olan kararsız sistemlerde bir veya daha fazla, zamana bağımlı parametre olduğundan Laplace transformasyonu da faydasız olur. [1], [2], [3]



Sekil - Bir Transfer Sisteminin Blok Diyagramı

Transfer fonksiyonu genellikle,

$$G(s) = \delta O(s) / \delta I(s)$$

olarak yazılır. Burada $s = \sigma + j\omega$ Laplace değişkenidir. Örneğin,

$$dO/dt = -3O + 4I$$

ile tanımlanan sistemin transfer fonksiyonunu bulalım. Bu bir lineer sistem olduğundan dolayı dengeden sapma denklemi, değişkenlerin tam değerleri için geçerli olan denklemle aynıdır. Bu yüzden şöyle yazılabilir;

$$d\delta O/dt = -3\delta O + 4\delta I$$

Şimdi Laplace transformunu alırsak ;

$$s\delta O(s) = -3\delta O(s) + 4\delta I(s)$$

$$\implies (s+3)\delta O(s) = 4\delta I(s)$$

Transfer fonksiyonu, $G(s) = \delta O(s) / \delta I(s) = 4 / (s+3)$ olarak bulunur.

2.2 TRANSFER FONKSİYONU İLE FREKANS CEVABI ARASINDAKİ BAĞINTI

Frekans cevabı genellikle bir fiziksel değerdir. Aşağıdaki gibi bir lineer sistem düşünelim ve bu sistemin kararlı olduğunu varsayalım. Sisteme, $I(t) = I_0 \cos(\omega t)$ şeklinde bir harmonik giriş sinyali uygulayalım. Sistem lineer olduğu için çıkış da bir sinüsoidal sinyal olur ve ek harmonikler oluşmaz. Bununla beraber giriş ile çıkış arasında ;

- i- Faz farkı
- ii- Genlik farkı

ortaya çıkar.

Sisteme uygulanan giriş işareti , sistemde geçici olay (transient) oluşmasına neden olur. Sistem kararlı olduğu için geçici olay sönüktükten sonra , sürekli sinüsoidal bileşen kalır. [5] Bu girişin Laplace transformu ;

$$\mathcal{L}\{I(t)\} = \frac{I_0 \cdot s}{s^2 + \omega^2} \quad (2.1)$$

olur. Bir sistemin $G(s)$ toplam transfer fonksiyonu iki polinomun oranı ile ifade edilebilir.

$$G(s) = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad (2.2)$$

$G(s)$, transfer fonksiyonu olmak üzere çıkış ;

$$O(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ G(s) \cdot \frac{I_0 \cdot s}{s^2 + \omega^2} \right\} \quad (2.3)$$

$$= \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{A_1}{s + j\omega} + \frac{A_2}{s - j\omega} + \frac{A_3}{s - p_1} + \dots \right\}$$

şeklinde elde edilir. Burada p_1, p_2, \dots $G(s)$ 'in kutuplarıdır. Böylece

$$O(t) = A_1 e^{-j\omega t} + A_2 e^{j\omega t} + A_3 e^{p_1 t} + A_4 e^{p_2 t} + \dots \quad (2.4)$$

olur. Bir kararlı sistem için bütün p_1 -lerin negatif gerçekte kısmı vardır. Sistemi kararlı varsaydığımız için $\exp(p_1 t)$ içeren bütün terimler sönecektir ve sürekli-durum için sadece iki terim kalacaktır. Bu durumda çıkış ;

$$O(t) = A_1 e^{-j\omega t} + A_2 e^{j\omega t} \quad (2.5)$$

olacaktır. A_1 ve A_2 katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanır :

$$A_1 = \frac{I_0 \cdot s}{s - j\omega} \cdot G(s) \Big|_{s = -j\omega} = \frac{I_0}{2} G(-j\omega) \quad (2.6)$$

$$A_2 = \frac{I_0 \cdot s}{s + j\omega} \cdot G(s) \Big|_{s = j\omega} = \frac{I_0}{2} G(j\omega)$$

Böylece çıkış ;

$$O(t) = \frac{I_0}{2} G(-j\omega) e^{-j\omega t} + \frac{I_0}{2} G(j\omega) e^{j\omega t} \quad (2.7)$$

$$= I_0 |G(j\omega)| \frac{e^{-j\omega t} e^{-jZ_0(j\omega)} + e^{j\omega t} e^{jZ_0(j\omega)}}{2}$$

$$= I_0 |G(j\omega)| \cos(\omega t + Z_0(j\omega)) \quad (2.8)$$

Burada $I_0 |G(j\omega)|$ çıkışın genliği, $\phi = Z_0(j\omega)$ da çıkışın faz açısıdır. Son eşitlik bize kararlı, lineer ve zamandan bağımsız bir sisteme bir harmonik giriş sinyali uygulandığında, sürekli durumda, giriş ile aynı frekansa sahip fakat genliği $|G(j\omega)|$ oranında fazı ϕ olan harmonik bir çıkış sinyali alındığını anlatıyor. [3]

2.3 COK KULLANILAN BAZI GIRIS SINYALLERI

Giris sinyalleri periyodik ve nonperiyodik olarak ayrilabilir. Bir sistemin cevabının kontrolünde kullanılan standart periyodik giris sinyalleri :

- 1- PRBS (Sahte-Rastgele Iki-seviyeli Sekans)
(Pseudo-Random Binary Sequence)
- 2- n Sekans (sıralı)(n-sequence)
- 3- PRTS (Sahte-Rastgele Uc-seviyeli Sekans)
(Pseudo-Random Ternary Sequence)
- 4- MFBS (Cok Frekanslı Iki-seviyeli Sekans)
(Multi-Frequency Binary Sequence)
- 5- Kare Dalga

Nonperiyodik giris sinyalleri de :

- 1- Güç serileri fonksiyonu $r = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots$
- 2- Birim adım (step) fonksiyonu $r = u(t)$
- 3- Birim rampa fonksiyonu $r = t \cdot u(t)$
- 4- Birim parabol fonksiyonu $r = t^2 \cdot u(t)$
- 5- Darbe fonksiyonu $r = \delta(t)$
- 6- Gürültü [Ref.4]

A-PERİYODİK GİRİŞ SİNYALLERİ

PRBS, aynı anda bir dizi harmonik frekanstaki frekans cevabının ölçülmesinde kullanılan üstün düzeyli ilk periyodiktir. Bir dizi nükleer reaktör deneylerinin yanı sıra, distilasyon kolonlarında, petrol rafinerilerinde, ısı değiştiricilerinde, buharlaştırıcılarda, buhar üreteçlerinde, dizel motorlarda, makina elemanlarında, elektrik fırınlarında, kağıt ve çelik değirmenlerinde yapılan deneylerde kullanılmıştır. PRBS antisimetrik değildir. Bu yüzden antisimetrik sinyaller ile oluşan nonlineer kontaminasyonlara karşı çözücü bir tandansı yoktur.

PRTS nin en büyük özelliği, nonlineer etkilere karşı büyük çözücülüğünün olmasıdır. Çünkü, PRTS antisimetriktir.

MFBS , şekli kullanıcıya bağlı olan bir spektrum ile üretilir.

Sürekli seviyeli, periyodik bir multifrekans sinyali, seçilen harmonik frekanslardaki sinüsoidlerin lineer toplamından elde edilir :

$$I(t) = \sum_{i=1}^N a_i \sin(\omega_i t)$$

N : sinüsoid sayısı

a_i : seçilmiş genlik (i -inci sinüsoidin)

ω_i : harmonik frekans

Basit bir multifrekans sinyalini , bilinen sistem araçları ile oluşturmak zor idi.

Kare dalgalar, iki seviyeli (binary) giriş sinyalleri kullanılarak en kısa sürede tek bir frekansta en iyi sonucun alınacağı ve sinüsoidal girişin uygun olmadığı deneylerde çok faydalıdır. [1]

B-NONPERİYODİK GİRİŞ SİNYALLERİ

Periyodik olmayan işaretleri (darbe , rampa gibi) sisteme girdilemek daha kolaydır.

DARBE DENEYLERİ : Bir giriş sinyali olarak tek bir darbe (single pulse) kullanılarak bir çok reaktörde ve bir çok kimyasal işlem ekipmanında frekans cevap deneyi yapılmıştır. En basit darbe şekli kare darbedir.

Nonperiyodik sinyallerle yapılan deneylerden elde edilen sonuçları düzeltmek için tek yol bir çok deneyden alınan sonuçların ortalamasını almaktır. Bu prosedürü uygulamak zor olabilir çünkü, her bir deney için aynı başlangıç koşullarına ulaşmak zor olabilir.

ADIM DENEYLERİ : Frekans cevabı, girişte bir adım değişikliği yapılarak da elde edilir. Step (adım) girişten sonra, çıkış (sıfır da dahil) bir sabit değere gelebiliyorsa bir adım giriş kullanılabilir. Diğer bir deyişle , sıfır frekansta , frekans cevap kazancı sonlu olmalıdır.

Başlangıç değerine geri dönmeyen bir fonksiyonun Fourier transformu belirlenemez. Bir step deneyinde, sıfır frekansta sonlu ve sıfırdan farklı kazançlı bir sistemin çıkışı başlangıç değerine geri dönemez . Çıkışın ve girişin türevlerinin Fourier transformlarının oranı sistemin " frekans cevabı " nı verir. [1]

2.4 SIFIR GÜC TRANSFER FONKSİYONU

Nükleer reaktörler için standart hesaplamaya kinetik denklemlerin uzaydan bağımsız formlarını tanımlamakla başlanır. Uzaydan bağımsız nötron kinetik denklemleri ;

$$\frac{dn}{dt} = \left[\frac{\rho - \beta}{l} \right] n + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i \quad (2.10)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i}{l} n - \lambda_i C_i \quad (2.11)$$

şeklindedir. Burada,

n : nötron yoğunluğu (güç seviyesiyle orantılıdır)

ρ : reaktivite

β : toplam gecikmiş nötron kesri

l : nötron üretim zamanı

λ_i : i-inci grup gecikmiş nötron öncüsü bozulma sabiti

C_i : i-inci grup gecikmiş nötron öncüsü konsantrasyonu

β_i : i-inci grup gecikmiş nötronlar için gecikmiş nötron kesri

Diferansiyel denklemde (ρ, n) gibi iki değişkenin çarpımı bulunduğundan, denklem ρ girişi- n (veya P , güç) çıkışı için nonlineerdir. Lineerizasyon yapıldıktan sonra $G_0(s)$ sıfır güç transfer fonksiyonu,

$$G_0(s) = \frac{\delta n/n_0}{\delta \rho} = \left[sl + \beta - \sum_{i=1}^6 \frac{\lambda_i \beta_i}{s + \lambda_i} \right]^{-1} \quad (2.12)$$

olarak elde edilir. [1], [13], [15]

Burada n_0 kararlı durum nötron yoğunluğudur. Gecikmiş nötron parametreleri, transfer fonksiyonunun teorik hesabı için gereklidir.

²³⁵U yakıtlı bir reaktör için sıfır güç cevap fonksiyonu Sekil 2.4.1 de veriliyor. [1]

Genellikle transfer fonksiyonunun yaklaşık hesabı için, gecikmiş nötronlar tek etkin grup olarak ele alınır. Bunun için $G_0(s)$ sıfır güç transfer fonksiyonu şöyledir :

$$G_0(s) = \delta n / n_0 \delta p = [(s+\lambda)] / [s(s+\lambda+\beta/l)] \quad (2.13)$$

Burada λ ortalama bozulma sabitidir ve değeri $\approx 0.1 \text{ sn}^{-1}$ dir.

Sıfır güç transfer fonksiyonu, geri besleme etkisi olmadan bulunan transfer fonksiyonudur. [3]

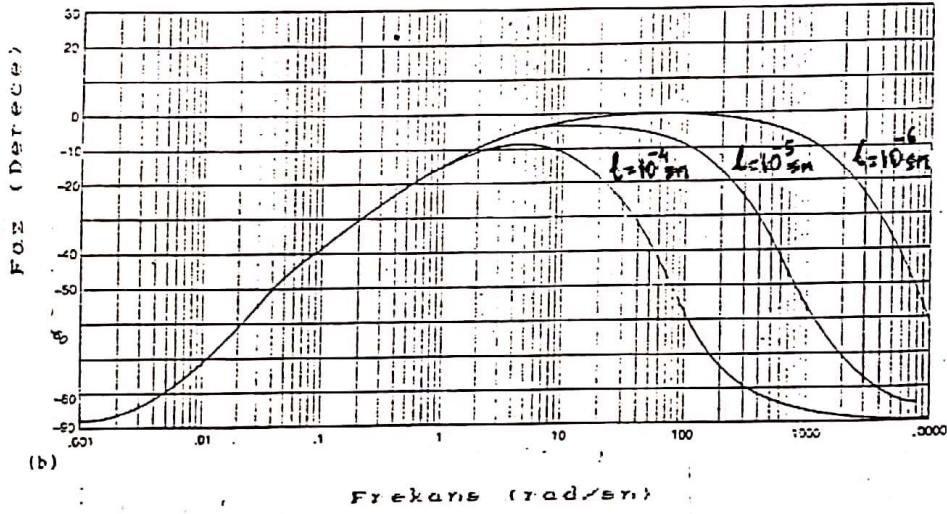
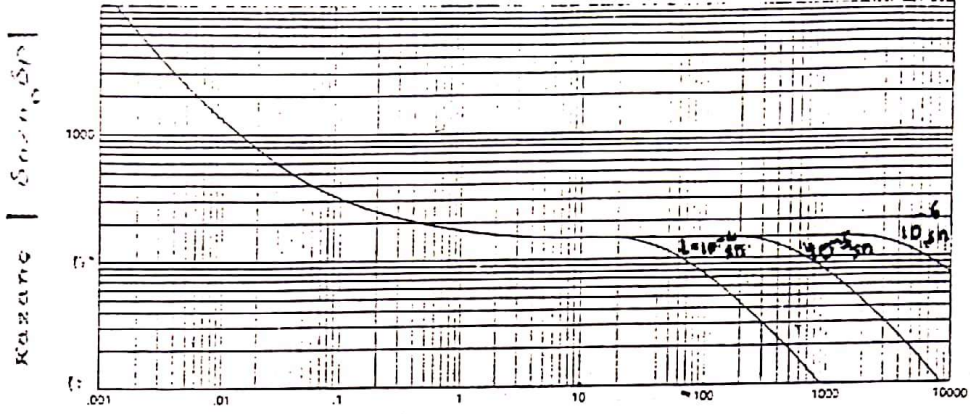
Tek etkin gruplu gecikmiş nötronlar ile elde edilen bir sıfır güç transfer fonksiyonunun genliği ve fazı Sek.2.4.2 ve Sek.2.4.3 de veriliyor.

Genlik eğrisindeki köşe frekansları denklemdaki λ ve β/l değerlerinden ileri gelmektedir. Şeklin platosu ani sıçrama bölgesine denk düşmektedir ve genlik değeri $1/\beta$ değerindedir.

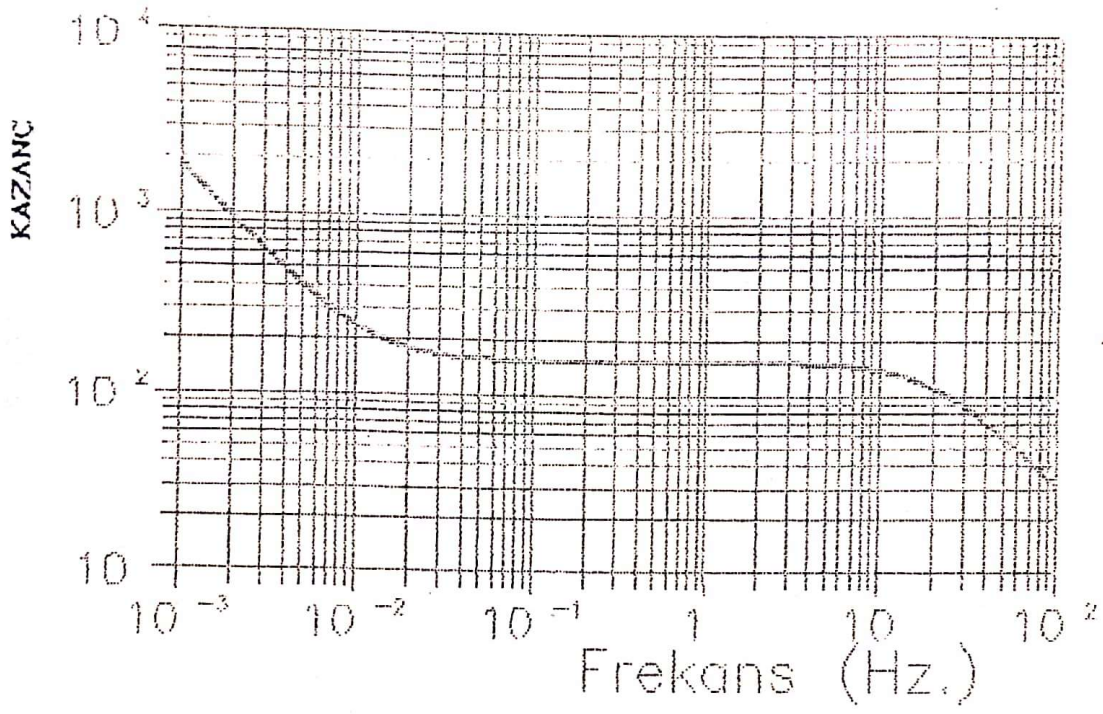
TABLO - I [Ref.1]

Gecikmiş Nötron Parametreleri

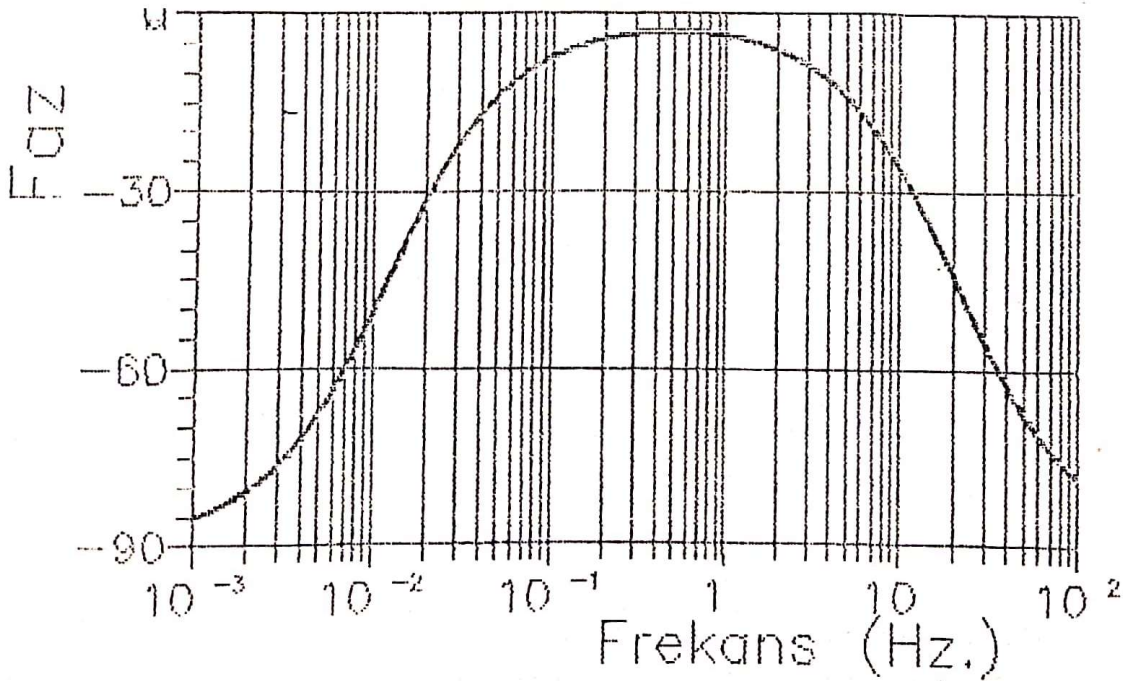
IS	β	i	yarı ömür (sn)	$\lambda_i, \text{sn}^{-1}$	β_i
U^{235}	0.0065	1	55.72	0.0124	21.10 ⁻⁵
		2	22.72	0.0305	142.10 ⁻⁵
		3	6.22	0.111	127.10 ⁻⁵
		4	2.30	0.301	257.10 ⁻⁵
		5	0.61	1.13	75.10 ⁻⁵
		6	0.23	3.00	27.10 ⁻⁵



Sekil 2.4.1 ^{235}U yakıtlı bir reaktör için sıfır güç cevap fonksiyonunun (farklı L değerlerine göre)
a- Genliği b-Fazı



Sekil 2.4.2 Tek gruplu nokta reaktör sıfır güç transfer fonksiyonu genliği



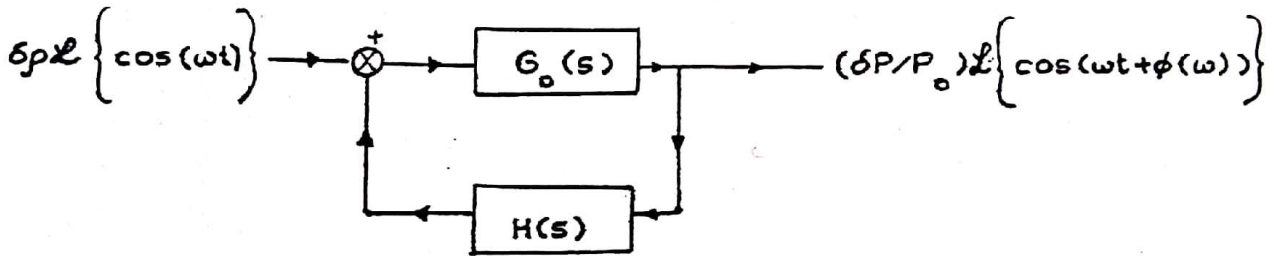
Sekil 2.4.3 Tek gruplu nokta reaktör sıfır güç transfer fonksiyonu fazı

2.5 GERİ BESLEMELİ REAKTÖR TRANSFER FONKSİYONU

Sıfır güçlü reaktörler, çıkışın girişi etkilemediği reaktörlerdir. Ancak sıcaklık artmaya başlayınca çıkış girişi etkilemeye başlar.

Moderatör ya da soğutucunun faz değiştirmesi ile boşluk meydana gelir (yoğunluk değişir), etkin kesitleri değişir. Bu nedenle de reaktöre pozitif veya negatif bir reaktivite ithali olur ki, bunlar makroskopik değişimlerdir. Doppler etkisi vs. ise mikroskopik değişimlerdir.

Aynı durum, basıncın değişmesiyle de olur fakat, etkisi az olduğundan daha ziyade sıcaklık etkisi gözönüne alınır. Giriş daha ziyade reaktivite, çıkış ise güçtür.



Şekil 2.5.1 Geribeslemeli Sistem Transfer Fonksiyonu

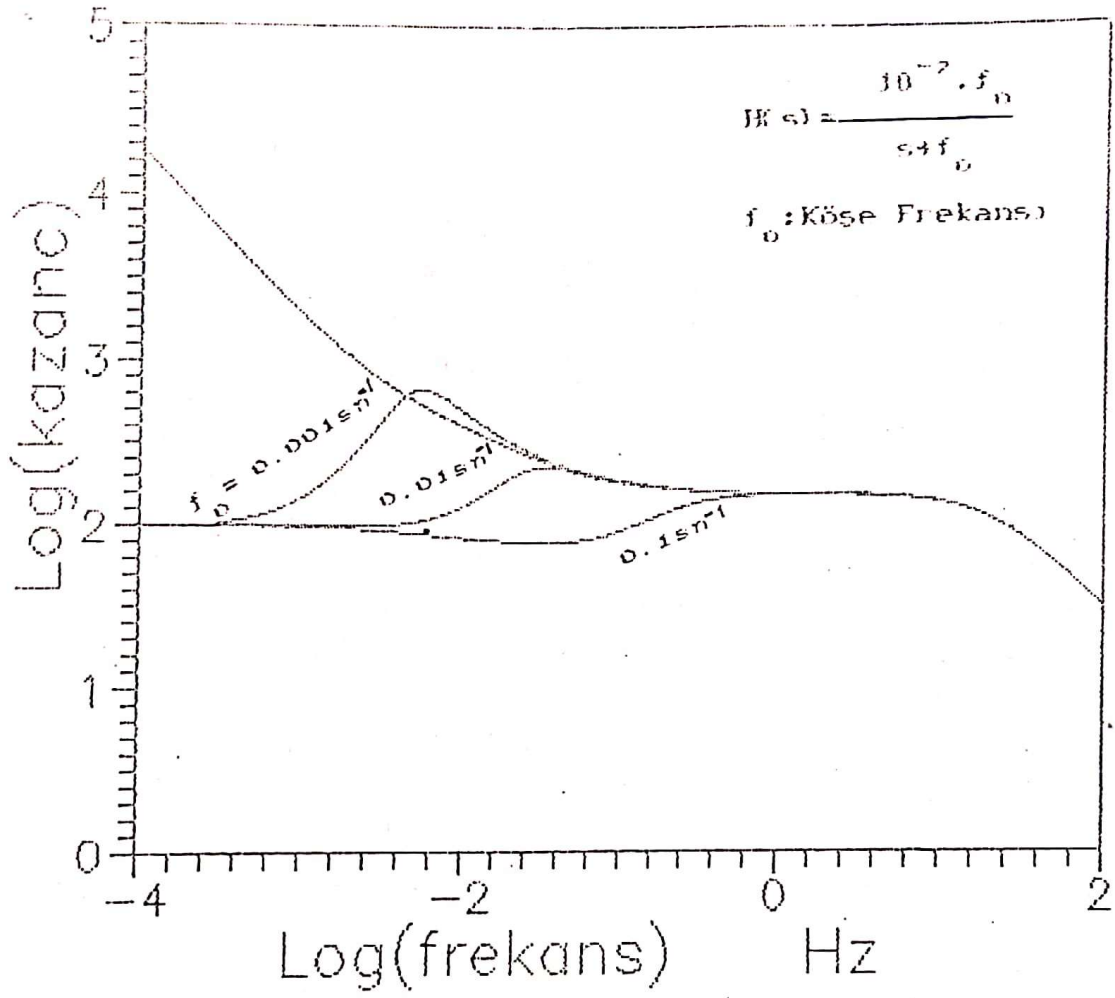
$H(s)$ güç - reaktivite geribesleme transfer fonksiyonu olmak üzere reaktör transfer fonksiyonu ;

$$G(s) = G_o(s) / [1 + G_o(s)H(s)] \quad (2.14)$$

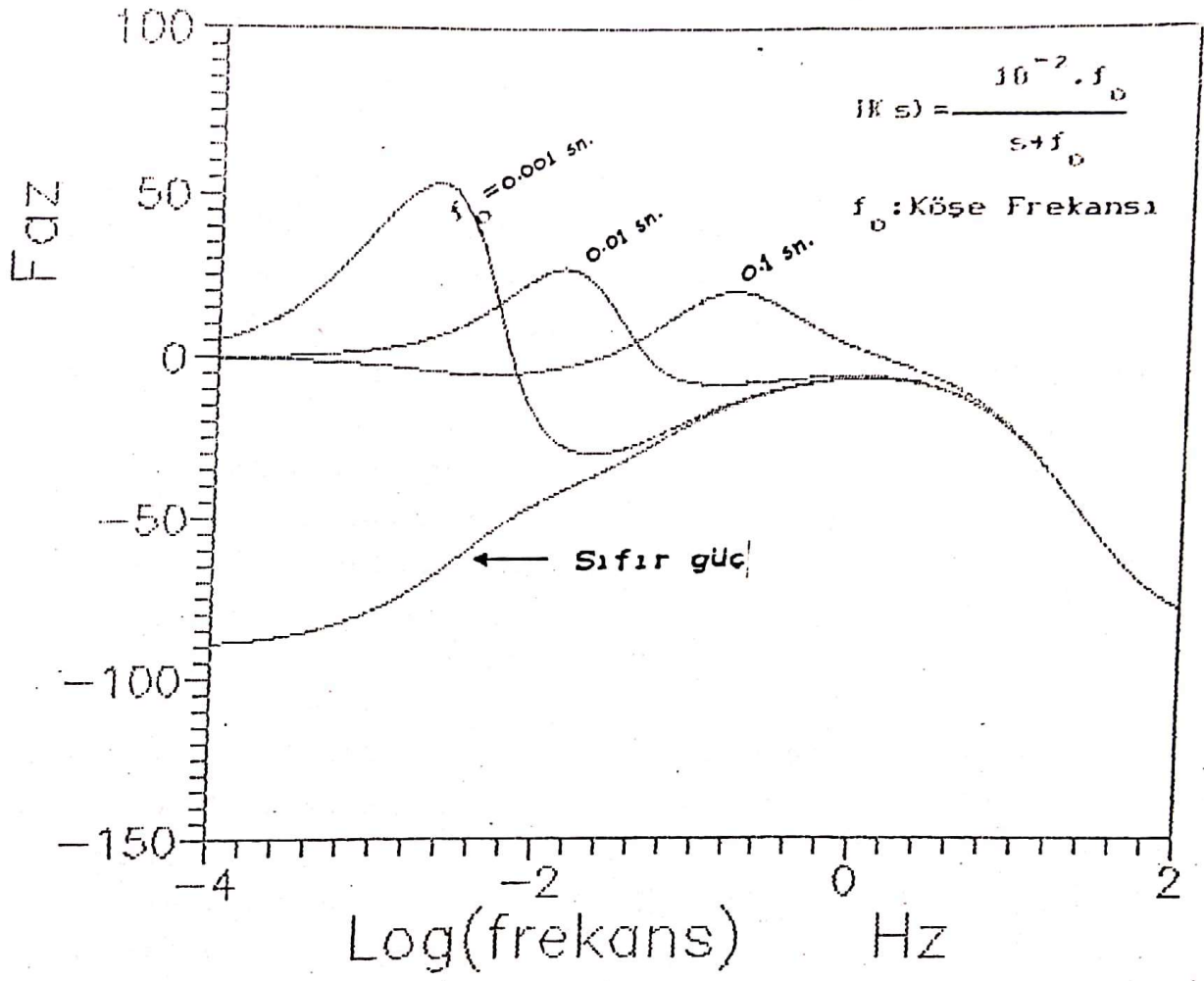
olur. Yukarıdaki reaktivite giriş, güç çıkış şemasına göre, $G(s)$ reaktör transfer fonksiyonunun genliği $|G(j\omega)| = \delta P / (P_o \delta p)$ ve fazı $\angle G(j\omega) = \phi(\omega)$ deneysel olarak ölçülebilir.

Özellikle yüksek frekanslardaki ani sıçrama (PJ) bölgesinde transfer fonksiyonunun genliği $|G(j\omega)| = 1/\beta$ olur. Sıfır güç transfer fonksiyonunun faz açısı değişimi -90° den -90° ye, yüksek güçlerde ise 0° den -90° ye olur.

Şekil 2.5.2 de sıfır güçlü ve geri beslemeli reaktör transfer fonksiyonunun genliği, Şekil 2.5.3 de ise faz eğrisi görülmektedir.



Sekil 2.5.2 Sıfır güçlü ve geri beslemeli reaktör transfer fonksiyonunun genliği



Sekil 2.5.3 Sıfır güçlü ve geribeslemeli reaktör transfer fonksiyonunun fazı

2.6 KARARLILIK (STABILITE)

Frekans cevap metodu, genellikle, sınırsızdal giriş sinyallerin kararlı hal durumları esasına göre temellenmiştir.

Bir sistemin girişine uygulanan bütün sınırlı giriş sinyalleri için çıkışı da sınırlı kalıyor ise, sistem "kararlıdır." denir. Bu tanım, sistemin giriş ve çıkışına göre verilmiştir. durum değişkenlerine göre verilmemiştir.

Kararlı bir sistem uyarılmadıkça harekete geçmez ve bir sinyal ile uyarıldığında ise harekete geçer ve uyarma kalkınca eski durumuna gelir. [2]. Yani reaktörde, $\delta p + 0$ olunca $\delta n + 0$ olur.

Stabilite için gerek ve yeter koşulu; sistemin $1+G_o(S)H(s)$ karakteristik denkleminin köklerinin hepsinin de, Nyquist düzleminde (Bkz. Ek-2), s-düzleminin sol yarısında bulunması gerekir. Başka bir deyimle, kararlılık için gerek ve yeter koşul; karakteristik denklemin s-düzleminin sağ yarısında hiç bir kökü olmaması gerekir. [5]

Özel bazı testler için sistemin kararlı olup olmadığı önemli olmayabilir. Fakat ölçümler için sistemin kararlı olup olmadığı kesinlikle test edilmelidir. Dahası, operatörler, kararlılığın etkilenebileceği sistem karakteristikleri hakkında mutlaka bilgi sahibi olmak zorundadırlar. Kararlılığı etkileyebilecek sistem karakteristiklerine örnek olarak şunlar sayılabilir :

i- Yakıt kompozisyonu : Burn-up, fisyon ürünleri birikmesi ve yeniden yükleme (yakıt değiştirme) sebebiyle kompozisyon değişebilir.

ii- Moderatör kompozisyonu : Bazı PWR reaktörlerinde, zehir konsantrasyonlarının çözülmesiyle kompozisyon değişebilir.

iii- Kontrol elemanları konsantrasyonu ve yerleştirimi,

iv- Kalbin ısı transferi karakteristikleri : Bunlar, radyasyon etkisiyle ve ısı transferi yüzeylerinin kısmi olarak bozulmasıyla değişebilir.

v- Isı değiştiricisi ısı transferi karakteristikleri : Isı transferi yüzeylerinin kısmi olarak bozulmasıyla değişebilir.

iv- Kontrol mekanizması karakteristiklerindeki değişimler... [1]

3. REAKTÖR VE DENFY DÜZENEĞİ

TRIGA koru, paslanmaz çelik parflı 60 adet %20 zenginleştirilmiş UO_2 (ZrH_2) yakıt elemanından oluşur ve toplam 2.5 kg. kadar ^{235}U içerir. Reaktör kontrolü üç adet çubuk ile sağlanır. Normal çalışma sırasında konsoldaki güç kanallarına işaret, geniş bölge (10^{-8} - 10^{+2}) gamma fotonlarına karşı kompanse edilmiş fisyon odasından ve iki adet güvenlik kanalı dedektöründen gelmektedir. Yakıt elemanlarının birinin ortasına yerleştirilmiş olan bir adet termo-eleman çiftinden sıcaklık sinyali alınmaktadır. Bu termo-eleman çiftinin zaman sabiti ileride yapılacak bir seri deneyle belirlenmelidir.

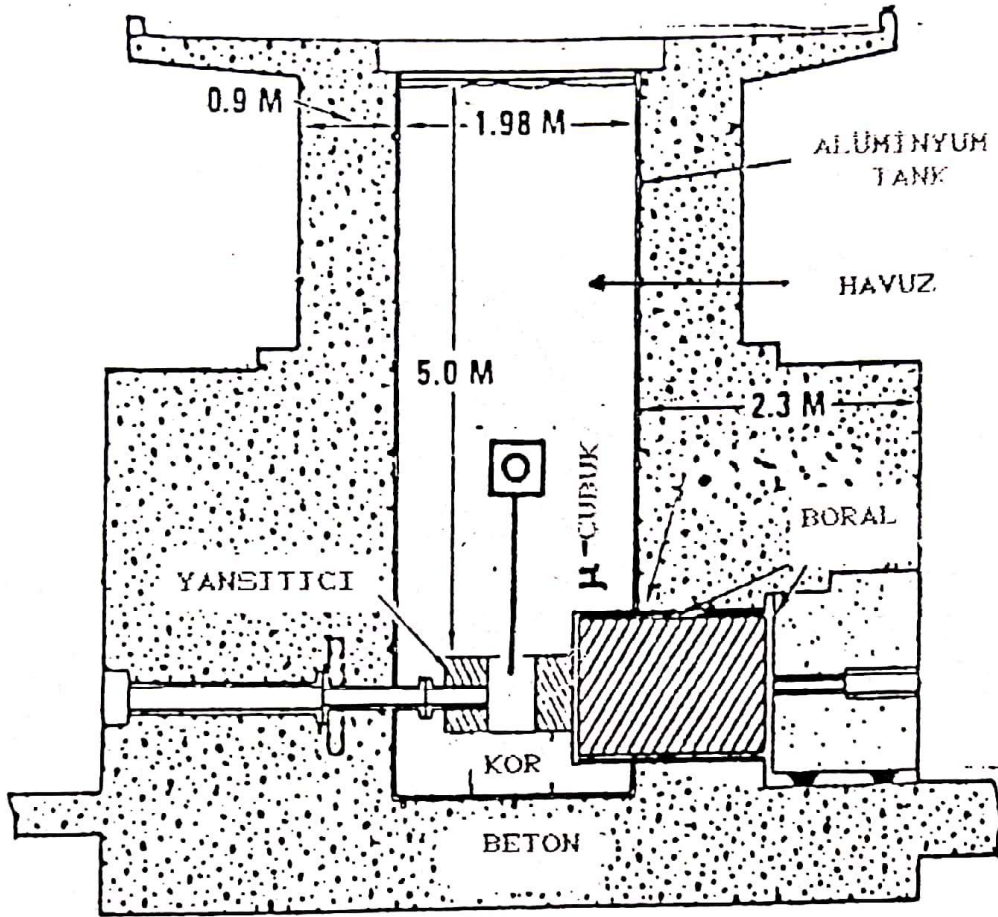
Şekil 3.1 de reaktör havuzunun ve Şekil 3.2 de ise kor'un düzenleme şeması verilmiştir.

Sinüsoidal reaktivite uyarımları, özel olarak tasarlanan ve imal edilen bir "mikro-kontrol çubuğu" düzeneği yardımıyla sağlanmıştır. Mikro-kontrol çubuğu düzeneğinin reaktör içindeki konumu şematik olarak Şek.3.1 ve Şek.3.3 de veriliyor Çubuk alüminyum borudan imal edilmiş olup içi absorblayıcı olarak doğal zenginlikteki ($19^{10}B$) B₄C bileşiği tozu ile doldurulmuştur. Çubuğa düşey doğrultuda, bir adım motoruna bağlı krank mekanizması yardımıyla en fazla 2 cm. genlikte olmak üzere basit sinüsoidal hareket yaptırılmaktadır. Çubuğu 0-5 Hz. aralığında sürmek olanaklıdır. Çubuğun eylemsizliğini azaltmak için boyunu mümkün olduğu kadar kısa tutmak gerekmektedir; bu nedenle çubuk ve diğer mekanik aksam tek parça olarak paslanmaz çelikten imal edilmiş olan su-geçirmez bir kutunun içine monte edilmiştir. Bu mekanizma, Şekil 3.5 ' te gösterilmektedir. Şekil 3.6 ve 3.7 bu kutunun değişik pozisyonlarını göstermektedir. Manyetik parçaları nadir toprak elementleri içeren motoru nötron alanından uzak tutmak için kor'un yaklaşık 1m. üzerinde duracak şekilde tasarımı yapılmıştır. Mikro-kontrol çubuğunun yerleştirilmesi için en uygun yer olarak merkezdeki ışınlama deliği seçilmiştir. Reaktivite uyarımının verilen frekanstaki sinüsoidal yakın olması ve nonlineerlik nedeniyle daha yüksek frekanslı harmonikler içermemesi için mikro-kontrol çubuğunun aktif bölgesinin kor içindeki konumunun bulunması dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Bu amaçla daha önce yapılmış olan bir çalışma

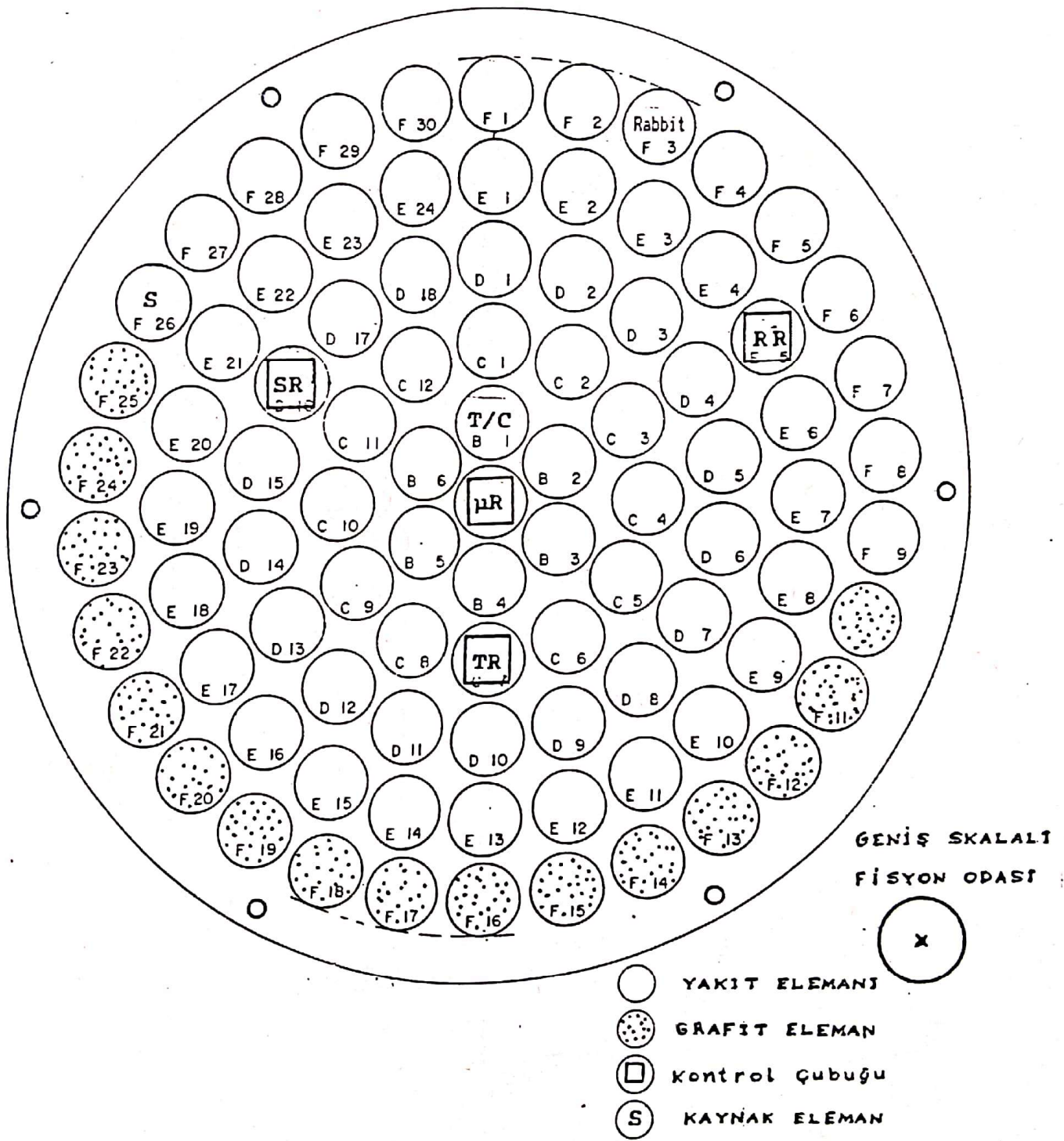
referans olarak alınmıştır.(21).

Şekil 3.4 de verilen grafik,az miktarda absorblayıcı olarak asit borik içeren ufak ve kısa bir çubuğun konuma bağlı olarak reaktivite etkisini vermektedir.Bu grafiğe göre , üst plakanın 22 ile 28 cm. altındaki bölgede absorblayıcının etkisi , mesafe ile lineer olarak değişmektedir.

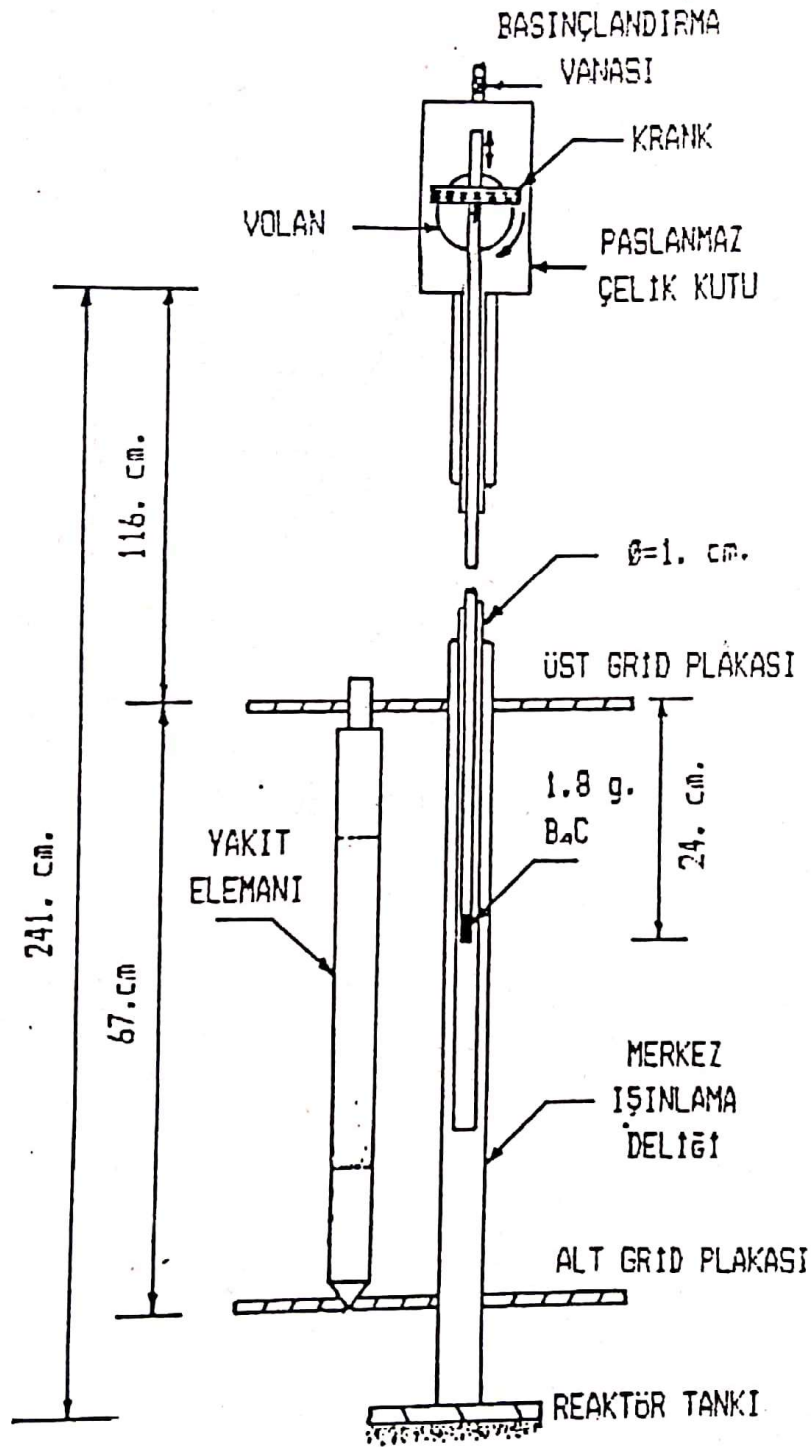
Mikro çubuk alt ölü noktada iken reaktör kritik yapılırsa ve kontrol çubuğu üst ölü noktaya getirilerek,reaktörün asimptotik periyodu ölçülürse,sinüsoidal reaktivite girişinin genliği kalibre edilebilir.Yapılan periyot deneyinde bu genlik yaklaşık olarak 5 cent olarak tahmin edilmiştir.



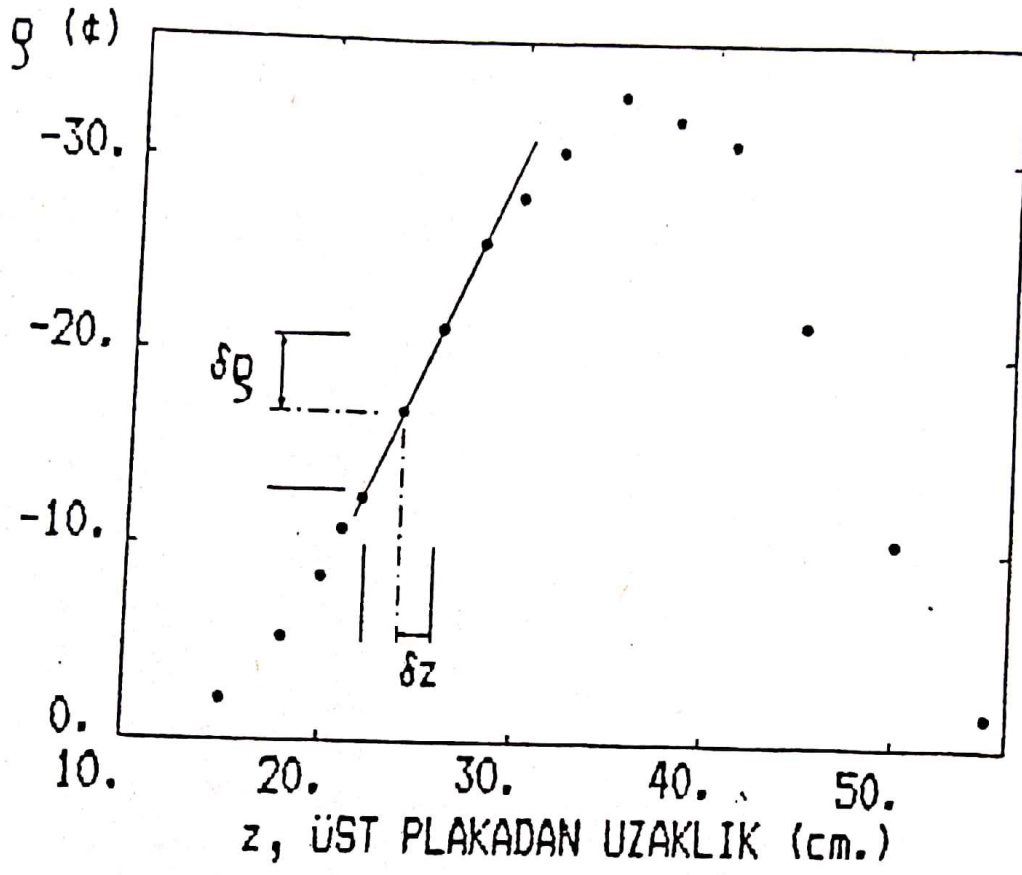
Sekil 3.1 İ.T.U. TRIGA Mark-II Reaktör Havuzu içinde μ -cubugun konumu



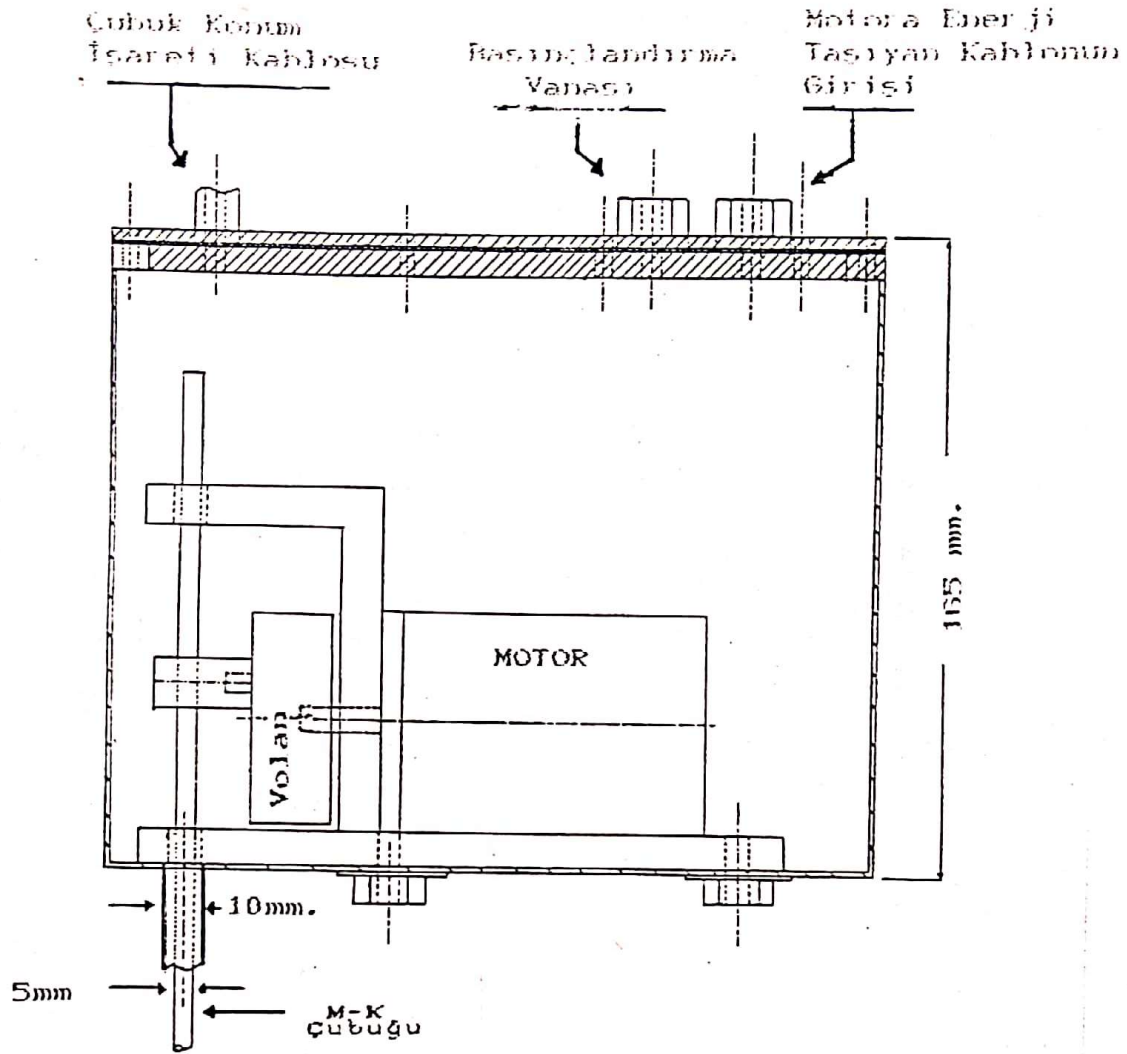
Sekil 3.2 İ.T.U. TRIGA Mark-II Reaktörü Kor Düzeni



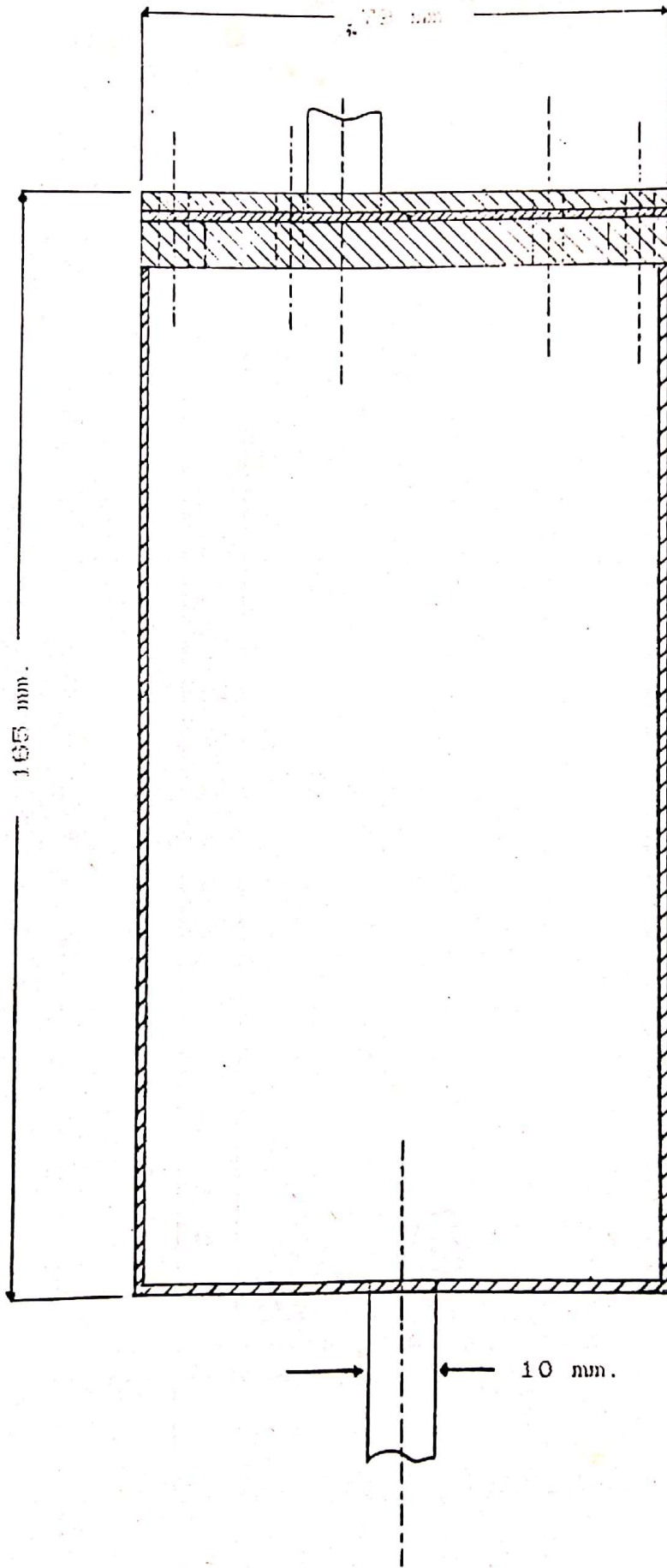
Sekil 3.3 Mikro-Kontrol Çubuğu Düzenegi



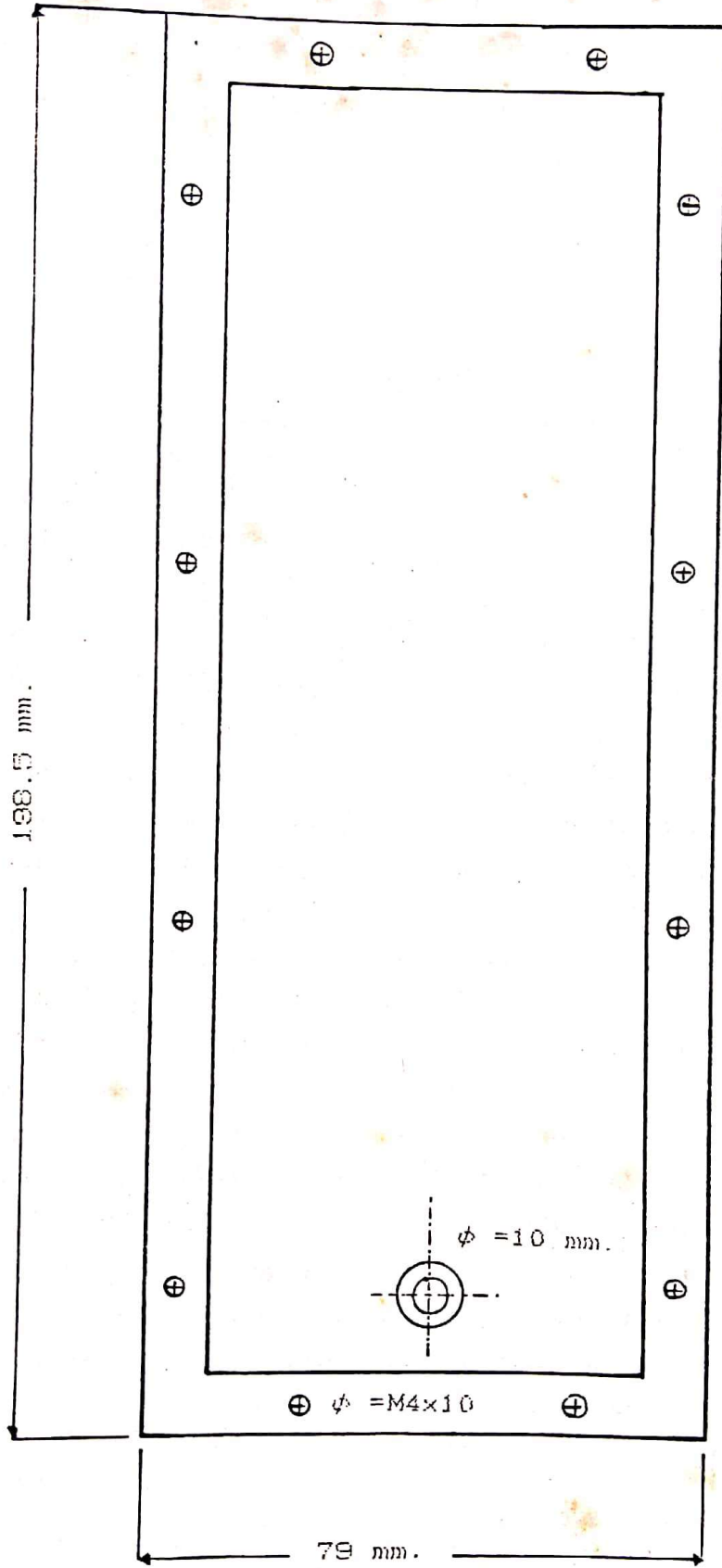
Sekil 3.4 İçinde absorblayıcı olarak asit borik olan cubuğun konuma bağılı olarak değişen reaktivite etkisi [9].



Sekil 3.5 Paslanmaz Çelik Kutunun İçine Monte Edilmiş Olan μ -kontrol Çubuğu Mekanizması



Şekil 3.6 Paslanmaz Çelik Kutunun Enine Kesiti



Şekil 3.7 Paslanmaz Çelik Kutunun Üstten Görünüşü

4. DENEYLERİN YÜRÜTÜLMESİ

Deneyler 0.02,4 ve 200 kW güç seviyelerinde yapılmıştır [12]. 75 centlik reaktivite uyarımı ana sığrama (P1) bölgesinde güçte maksimum %10 luk bir değişim sağlar ; bu durum reaktörün tam güçte de test edilmesini mümkün kılar. Adım motor 400 darbe ile bir tur atmaktadır. Bu darbeler bir frekans jeneratöründe üretilmektedir. Çubuğun üst ölü noktaya vardığı an bir manyetik röle (encoder) yardımıyla veri sistemine bildirilmektedir.

Deneyler süresince güç için geniş bölgeci füzyon odasının ön yükselticisinin DC dönüşünün bir Keithley akım yükselticiden geçirildikten sonra örneklenen işareti kaydedilmiştir. Ön yükselticiden alınan DC-dönüş işareti, darbelerin integrasyonundan elde edilmektedir. QBasic sürücüsü olan 12 bitlik bir ADC (Analog Sayısal Dönüştürücü) kartında her bir örnekleme 0.5 ms. de yapılmaktadır. DC-dönüşü, yakıt sıcaklığı ve mikro-çubuk (encoder) işaretleri her salınım periyodu içinde ortalama 100 adet olmak üzere örneklenmiştir. Şekil 4.1 ,2 , 3 , ve 4 de çeşitli güç seviyelerinde ve frekanslarda alınmış güç işaretleri görülmüyor. Güç işaretlerinin gürültü seviyesi çok düşük olduğu için genlik ve faz değerlendirmeleri doğrudan yapılmıştır. Yani herhangi bir işaret işleme yöntemi kullanılmamıştır.

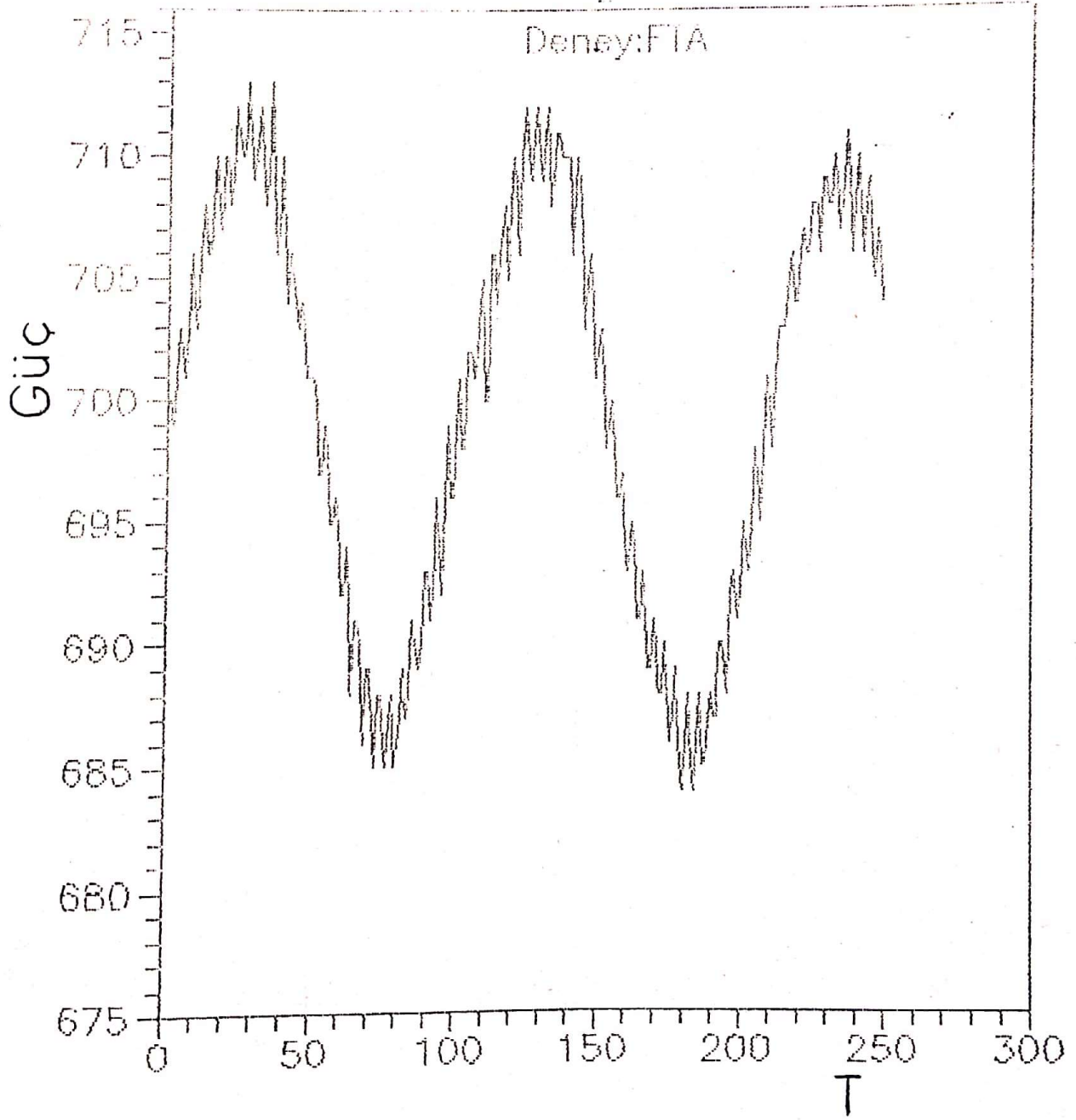
Önyükselticinin konsoldaki log ve lineer güç kanalı tarafından kullanılan doğrudan çıkışının değerlendirilmesi ise özel yöntemler gerektirmektedir. Konsoldaki güç kanalı yüksek güç seviyelerinde ise istatistiksel "Campbelling" yöntemi ve düşük güç seviyelerinde ise sayım yöntemi uygulanmaktadır.

Deneylerde tank suyu sıcaklığının etkisinin çok yavaş olacağı düşünülerek dış soğutucu devresi çalıştırılmamıştır. Ancak bu durum çok düşük frekanslarda sürekli deney rejiminde güçte kaymaya neden olmaktadır.

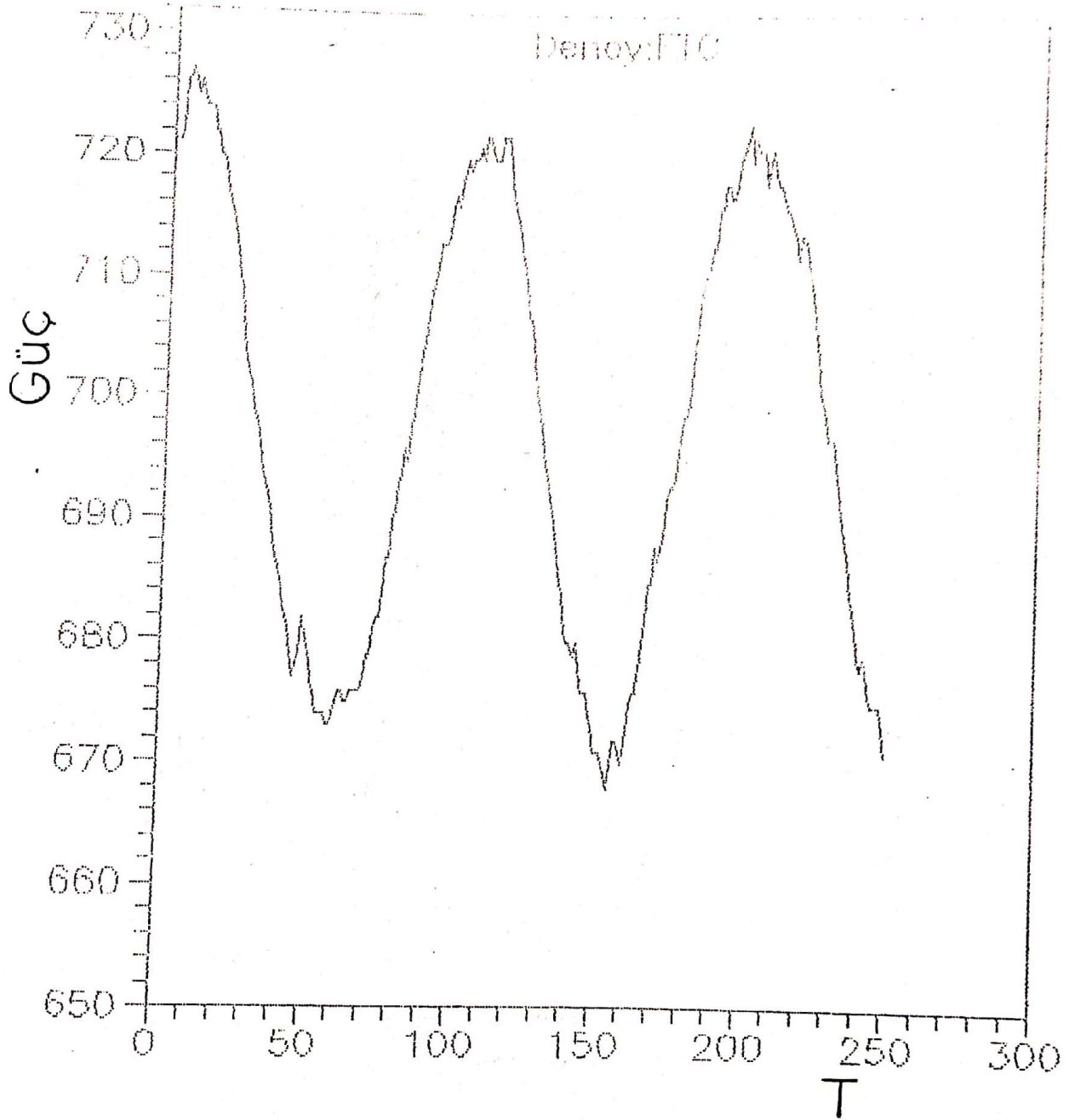
TABLO - 2

Deney Sonuçları

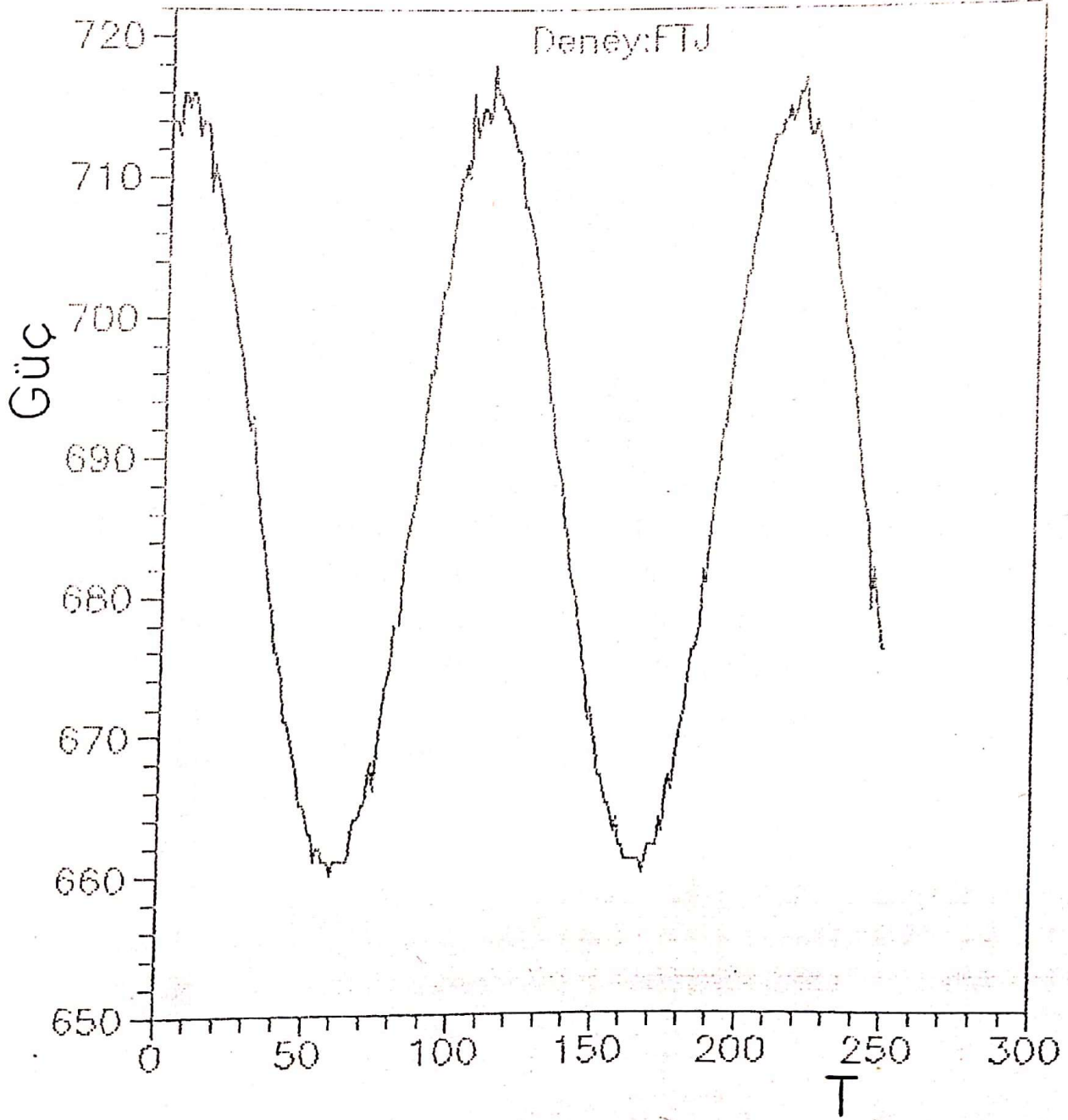
EXP. FTR	(F) KW.	f Hz.	BP/(FP)	KAZANÇ BP/(FP).δg	Log(f) (f Hz.)	Log(B)	ξ'	BRANŞLEME St.e.	AÇIKLAMALAR
1	0.02	0.0022		792.	-2.66	2.9			Konsoldan güç kanalı
2	0.02	0.0067		395.	-2.17	2.6			" " "
3	0.02	0.0224		250.	-1.65	2.4			" " "
4	0.02	0.067		160.	-1.2	2.2			log(1/β)=2.2
5	0.02	0.223		160.	-0.7	2.2			" " "
6	0.02	0.415		102.	-0.4	2.0			" " "
7	0.02	***							" " "
8	0.02	***							" " "
9	0.02	***							" " "
10	0.02	1.86		28.	0.27	1.5			" " "
11	0.02	***							" " "
A	0.02	1.84	0.02	62.	0.27	1.79	86.±3.4	0.00516	DC Return+ Keithley amp.
B	0.02	0.69	0.032	99.	-0.16	2.0	60.±2.7	0.0106	" " " "
C	0.02	0.25	0.04	123.	-0.60	2.1	38.±3.7	0.0404	" " " "
D	0.02	0.23	0.04	123.	-0.63	2.1	33.5±4.2	0.0486	" " " "
E	0.02	0.086	0.048	146.	-1.07	2.2	35.±3.2	0.101	" " " "
F	0.02	0.024	0.067	213.	-1.62	2.3	33.±8.3	1.002	" " " "
G	0.02	0.0023	0.234	707.	-2.64	2.85	49.±8.4	10.095	" " " "
H	4.	1.86	0.026	85.	0.27	1.9	67.±3.3	0.0052	" " " "
I	4.	0.29	0.039	122.	-0.54	2.1	20.±2.5	0.021	" " " "
J	4.	0.235	0.043	132.	-0.63	2.12	28.±3.5	0.0403	" " " "
K	4.	0.075	0.05	150.	-1.125	2.2	*	*	Analog veri
L	4.	0.0078	0.124	352.	-2.11	2.55	22.5±3.3	0.196	Veriler yetersiz
M	200.	0.0077	0.045	139.	-2.11	2.14	23.±3.3	1.02	" " " "
N	200.	0.00215	0.022	99.	-2.67	2.0	23.±4.6	5.014	" " " "
P	200.	0.485	0.04	123.	-0.314	2.1	43.±3.6	0.02	" " " "
Q	200.	0.236	0.04	132.	-0.63	2.12	25.±3.6	0.04	" " " "
R	200.	1.87	0.031	97.	0.272	1.98	75.±3.6	0.00518	" " " "
S	200.	0.072	0.055	171.	-1.14	2.23	38.±3.2	0.101	" " " "
T	200.	0.215	0.042	131.	-0.67	2.13	37.4±3.4	0.044	" " " "
U	200.	0.0	0.0347	107	-	2.03	*	*	Konsoldan



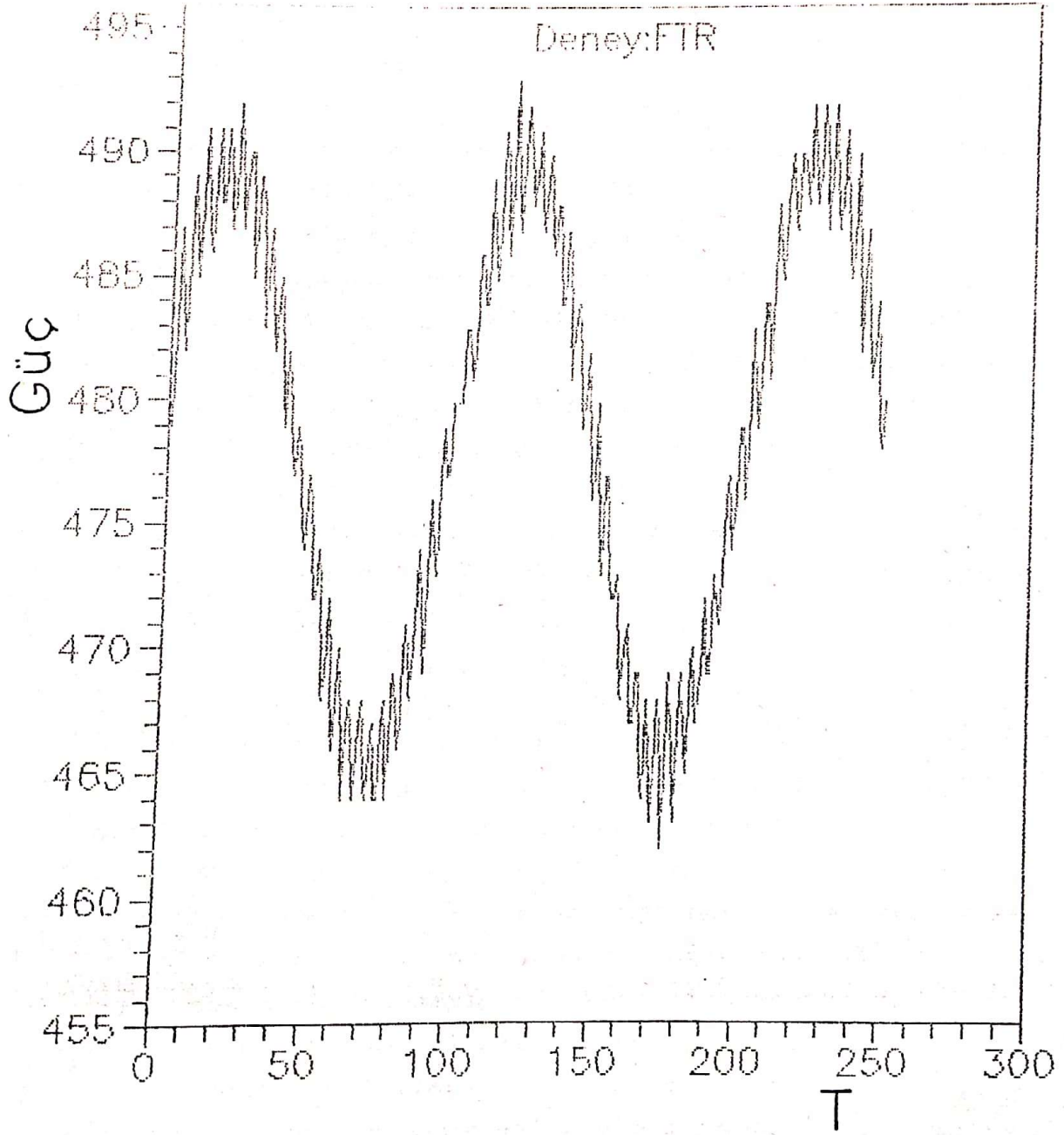
Şekil 4.1 0.02kW ve 1.84 Hz.de güç değişimi
(Güç skalası keyfi olarak seçilmiştir.Zaman skalası ise örnek sayısını gösterir)



Sekil 4.2 0.02kW ve 0.25 Hz.de güç değişimi



Şekil 4.3 4kW ve 0.235 Hz. de güç değişimi



Şekil 4.4 200kW ve 1.87 Hz. de güç değişimi

5. SONUC VE TARTISMA

Deneylerin sonucu olarak elde edilen reaktivite-güç transfer fonksiyonlarının genlikleri Şekil 5.1 de faz açıları da Şekil 5.2 de verilmiştir.

Şekil 5.1 de verilen 0.02 ve 4 kW düşük güç seviyelerindeki genlik değerleri analitik sıfır güç transfer fonksiyonu genliğini takip etmektedir. 200 kW da ise kuvvetli geribesleme etkisi kolaylıkla görülebilir. 4 kW da geribesleme etkisini izleyebilmek için daha düşük frekans bölgelerine inmek gerekir. Faz açısının saptanması genliğin ölçülmesine göre daha zor olduğu için hataların da büyük olması beklenir. DC-dönüşündeki filtreleme sebebiyle ≈ 1 Hz. den sonra deneyin sonuçlarında bozulma görülmektedir. 0.02 kW sonucunun sıfır güce uyduğu görülüyor. 4 kW ve 200 kW sonuçları da beklendiği gibi frekans sıfıra yaklaştıkça faz farkları da 0° ye yaklaşmaktadır.

200 kW ve 0.02 kW (sıfır güç) güç seviyelerinde elde edilen transfer fonksiyonlarından ($G(s)$ ve $G_0(s)$) yararlanarak geribesleme transfer fonksiyonu ,

$$H(s) = \frac{1}{G(s)} - \frac{1}{G_0(s)} \quad (5.1)$$

olarak elde edilir. Kompleks-aritmetik işlemlerle elde edilen 200kW daki $H(s)$ geribesleme transfer fonksiyonunun genliği Şekil 5.3a da fazı da Şekil 5.3b de verilmiştir. Şekil 5.3a da görüldüğü gibi geribesleme 0.01 Hz. (0.06 rad/sn) civarında bir köşe frekansına sahiptir. Faz açılarının belirlenmesindeki zorluktan ileri gelen hata köşe frekansının net olamayışıyla kendini göstermektedir.

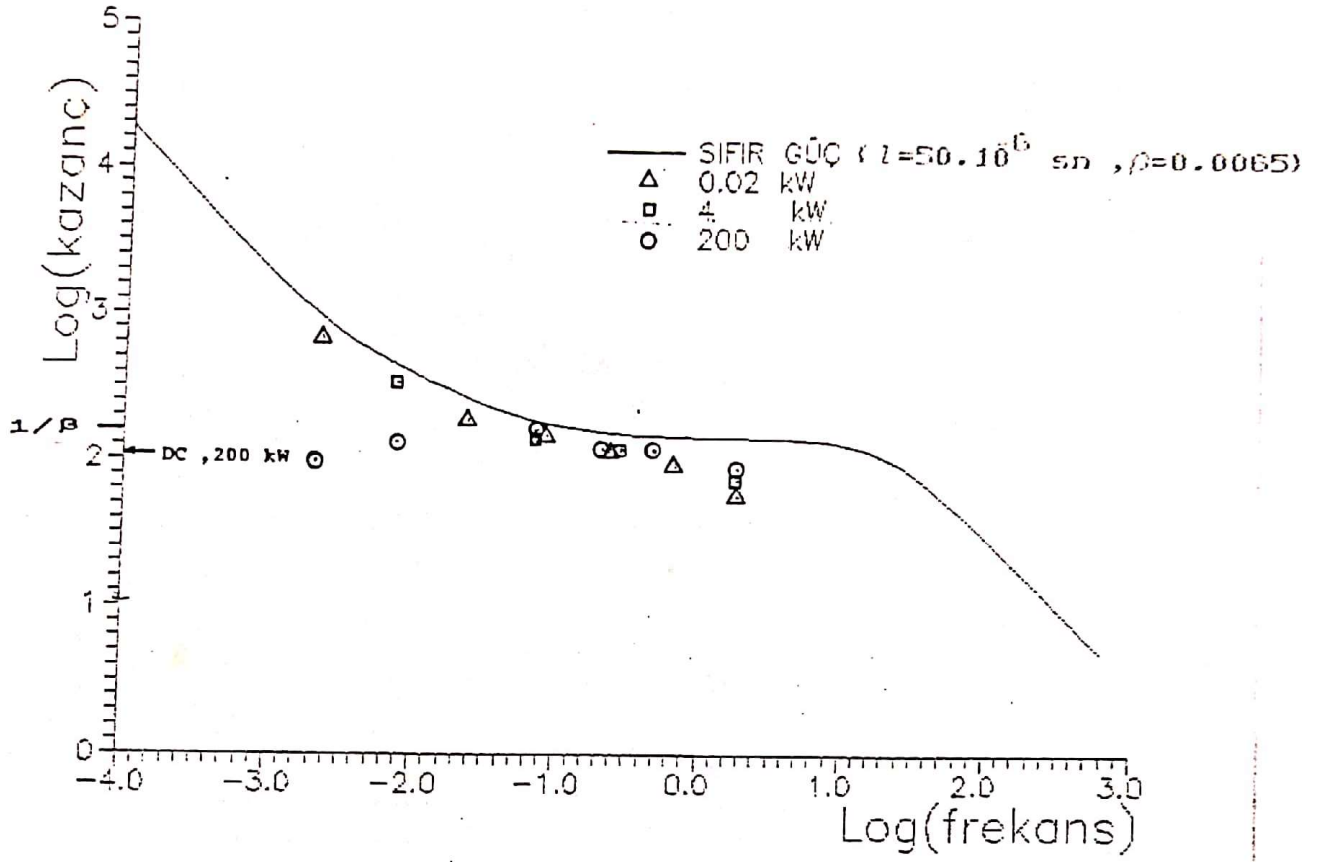
Reaktör transfer fonksiyonunun kazanç eğrilerinden görüldüğü gibi deney sonuçları ≈ 1 Hz. e kadar uyumlu ve tutarlıdır. Ancak daha yüksek frekanslarda gözlenmesi gereken ani sıçrama (PJ) olayı kaybolmakta ve bu durum güç arttıkça daha kötü olmaktadır. Bu durum örneklenen güç işaretinden ileri gelmektedir. Yüksek frekanslar için deneylerin , önyükselticinin [12] gürültülü ham işareti örneklenerek tekrarlanması gerekmektedir. 200kW da güç geribeslemesinin DC için değeri ≈ 1.5 cent/%P olarak ölçülmüştür.

Reaktör sisteminin kararlılık analizi için, reaktör açık devre , $G_0(s)H(s)$, transfer fonksiyonundan yararlanılarak Nyquist Diyagramı çizilmiştir. Şekil 5.4 Nyquist diyagramı , $w=0^+$

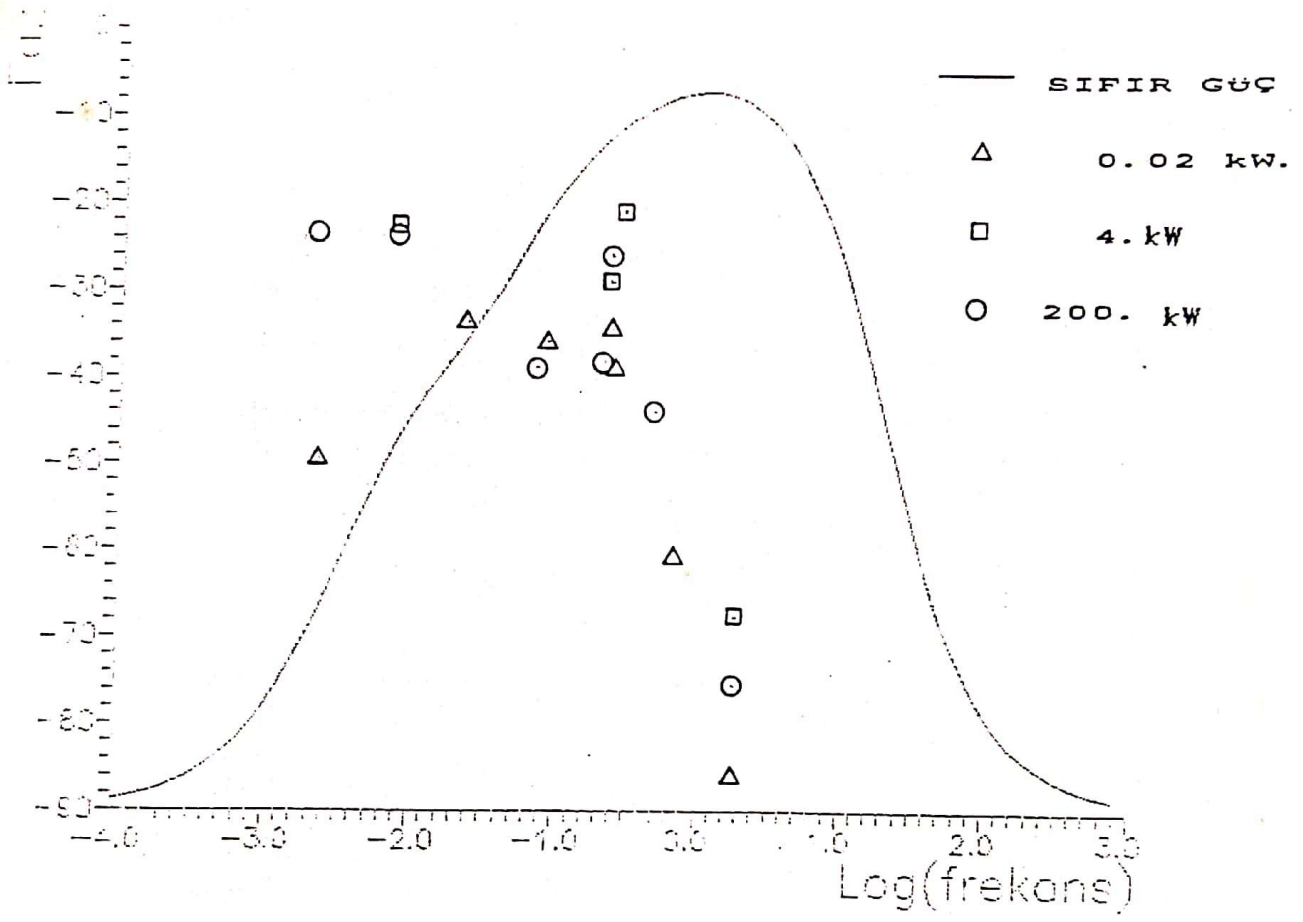
için $(-j\omega)$ değerine gitmekte , $\omega \rightarrow +\infty$ için ise $(0,0)$ noktasına soldan yaklaşmaktadır, diğer bir ifade ile reaktör kararlıdır. Bu Nyquist diyagramı tek bir kutbu (zaman sabiti) olan geribesleme transfer fonksiyonu ile sıfır güç transfer fonksiyonunun çarpımı $G_o(s)H(s)$, şeklinde ifade edilir. Deneyden elde edilen sonucu karşılaştırmak için tek bir zaman sabitli geribesleme transfer fonksiyonu için Nyquist diyagramı Şekil 5.5 de verilmiştir.

$\omega \rightarrow 0^+$ için $G_o(j\omega)$ ve $G(j\omega)$ nin asimptotik değerleri kullanılarak deneyle ölçülerek bulunan Nyquist diyagramı ekstrapole edilebilir. Güç reaktivite geribesleme transfer fonksiyonu olarak önerilen birinci dereceden modelin zaman sabiti uygun seçilerek , modele ait Nyquist diyagramı ile , deneyden bulunan Nyquist diyagramlarının $\omega \rightarrow 0^+$ için asimptotik olarak çakışmaları sağlanmıştır. Bu şekilde bulunan zaman sabiti 0.16 sn. dir ki, bu değer diğer reaktörlere göre çok küçük olup , reaktörün doğal olarak kendinden kararlı ve güvenilir olmasını sağlamaktadır.

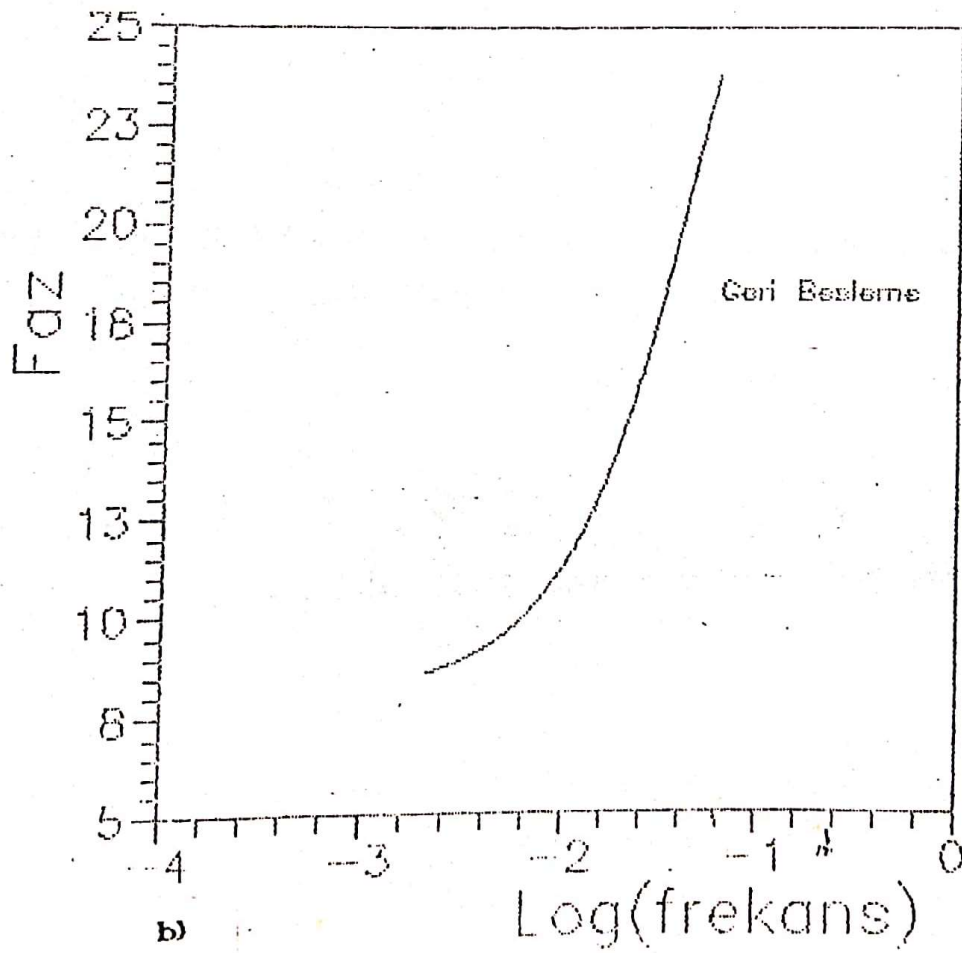
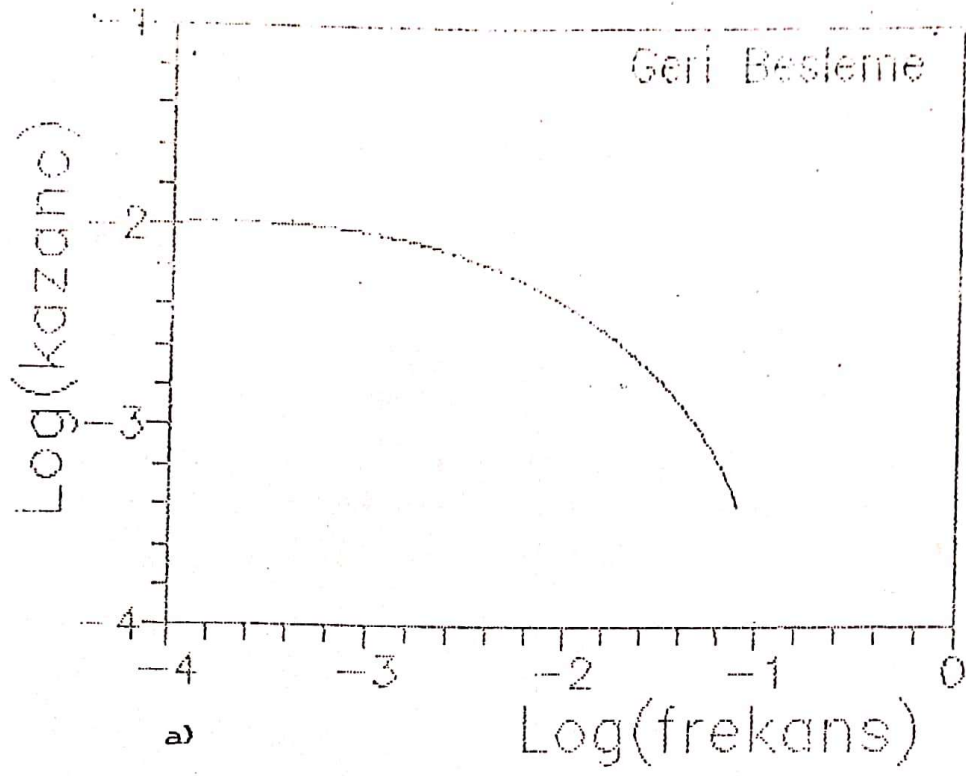
İlerisi için öneriler: Deneyleri , kullanılan kor dışı fisyon odasının filtrelenmemiş ham sinyalini örnekleyerek veya kor içine yeni bir nötron detektörü yerleştirilerek tekrar etmek gerekir. Mekanik olarak 5 Hz.e (32 rad/sn.) kadar çıkılabildiğine göre bu çalışmadaki frekans bölgesini aşmak mümkün olacaktır ve Nyquist diyagramı $(0,0)$ etrafında daha iyi ve net olarak elde edilecektir. Bu durumda güç-reaktivite geri beslemesi sağlıklı bir şekilde modellenenebilir. Ayrıca sıcaklık-reaktivite frekans transfer fonksiyonu da bulunabilir.



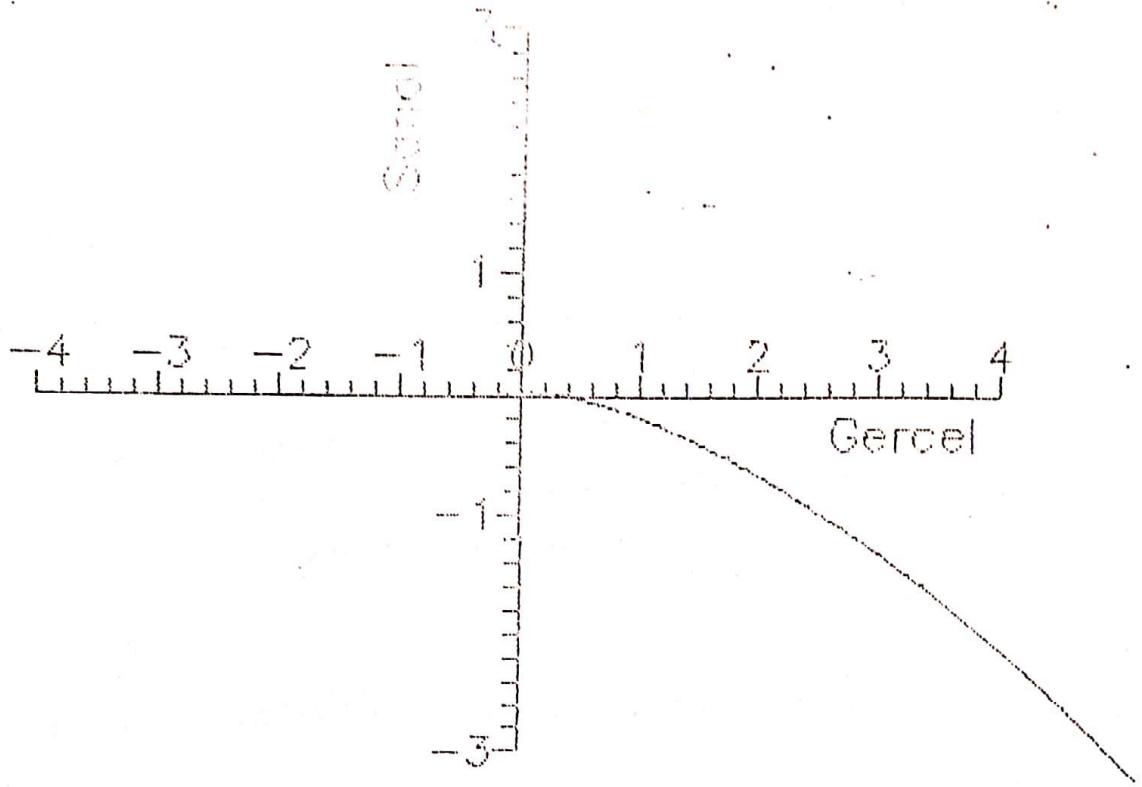
Sekil 5.1 Transfer Fonksiyonlarının Genlikleri



Sekil 5.2 Transfer fonksiyonlarının Fazları

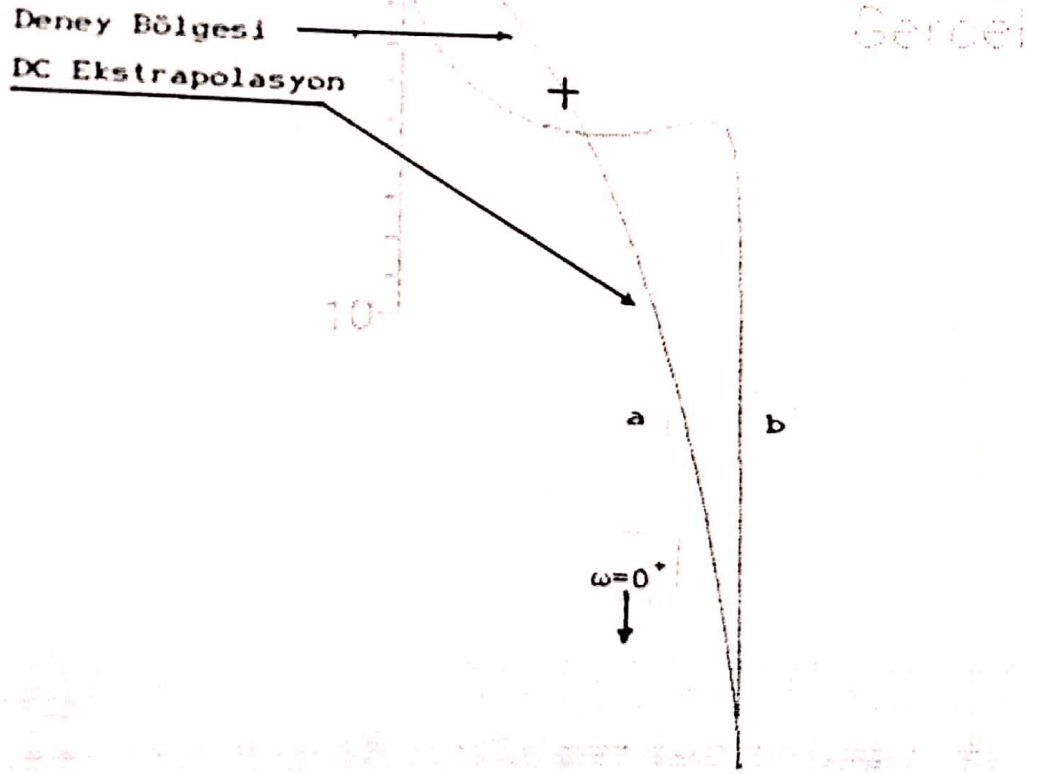


Sekil 5.3 200kW' ta Geri Besleme Transfer Fonksiyonunun
a-Genliği b-Fazı



Sekil 5.4 200kW da Sistem Kararlılığı İcin $G_o(s)H(s)$ in Nyquist Diyagramı

$$H(s) = \frac{0.0628}{s + 6.28}$$



Sekil 5.5 Tek Zaman Sabitli Geri Besleme Ve 200 kW Transfer Fonksiyonları İçin Nyquist Diyagramı

a : Deney sonuçlarına göre DC ekstrapolasyonu ile çizilen diyagram

b : Önerilen geribesleme modeli ile çizilen diyagram

$\omega \rightarrow 0^+$ iken her iki eğri çakışmaktadır.

BODE DİYAGRAMI

Lineer , zamanla değişmeyen bir kontrol sisteminin sinüsoidal çalışmada yada girişin sinüsoidal bir sinyal olması halinde giriş ve çıkış sinyalleri oranının $s=j\omega$ konarak ;

$$\frac{O(j\omega)}{I(j\omega)} = \frac{G(j\omega)}{1+G(j\omega)} \quad (1)$$

biçiminde yazıldığını biliyoruz.

Bode diyagramı, $20 \log_{10} |O(j\omega)/I(j\omega)|$, genlik ve faz açısı fonksiyonlarını ordinat eksenini doğrusal taksimatla ve absis eksenini taksimatını ise $\log_{10} \omega$ 'ya göre alarak çizilen diyagramdır. Otomatik kontrol sistemlerinin incelenmesi ve tasarımı için doğrudan doğruya analitik bir yöntem kullanma olanağı yoktur. Bu nedenle belli bazı matematik model ve modellerin çözümü ile tutulacak inceleme ve tasarım yolları çetin ve çaprasık olabilir. İşte bu hallerde frekans domeni davranışı ve Bode diyagramı kullanılır.

Açık devre transfer fonksiyonu,

$$G(s) = \frac{s+\lambda}{ts(s+\beta/D)} \quad (2)$$

olarak verilen tek gruplu nokta reaktör kinetik denklemlerinden elde edilen transfer fonksiyonunun Bode diyagramını çizelim.

$\lambda=0.077$ ve $\beta/t=130$ olmak üzere desibel olarak genlik ifadesi ;

$$20 \log_{10} |G(j\omega)| = 20 \log_{10} |j\omega + 0.077| - 20 \log_{10} |j\omega| - 20 \log_{10} |j\omega + 130|$$

yada

$$20 \log_{10} |G(j\omega)| = 20 \log_{10} (\omega^2 + 0.005929)^{1/2} - 20 \log_{10} \omega - 20 \log_{10} (\omega^2 + 16900)^{1/2}$$

dir.

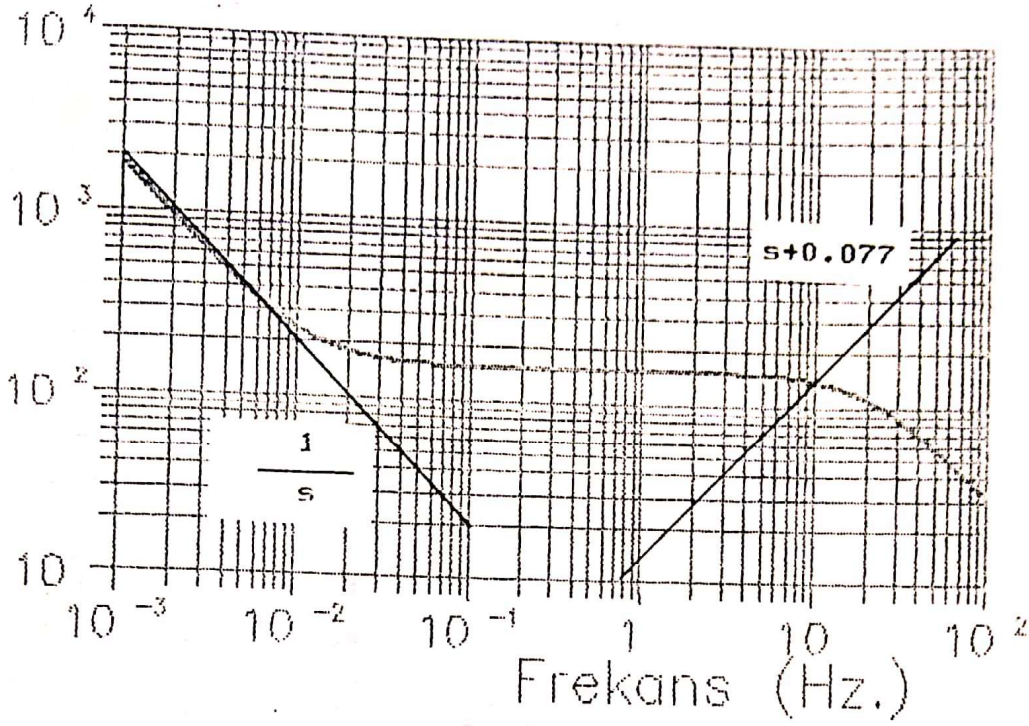
Terimler ayrı ayrı çizilerek toplam genlik ifadesi elde edilir.

Aynı fonksiyonun aç1 bağıntısı,

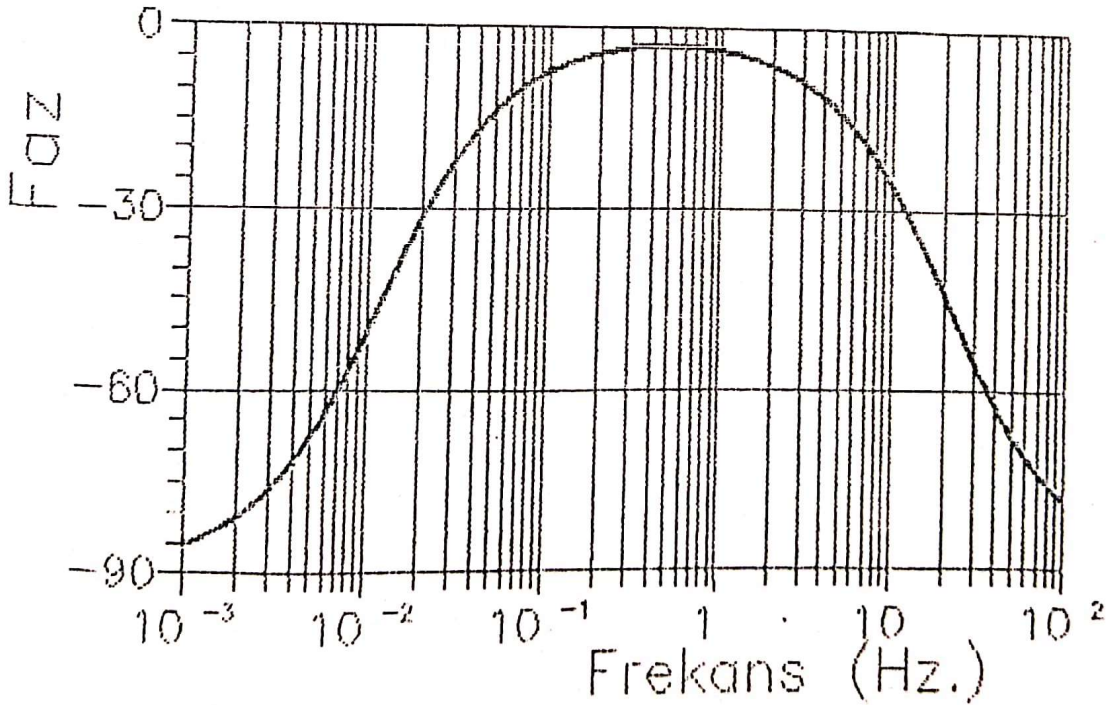
$$\phi \{GH(j\omega)\} = \tan^{-1}(\omega/0.077) - 90^\circ - \tan^{-1}(\omega/130)$$

olur.

Herbir terimin genlik ifadesi Şekil 1. de , faz eğrileri de Şekil 2. de gösteriliyor.



Sekil 1. Tek gruplu nokta reaktör sıfır güç transfer fonksiyonu genliği



Sekil 2. Tek gruplu nokta reaktör sıfır güç transfer fonksiyonu faza

NYQUIST STABİLİTE KRİTERİ

Nyquist kararlılık kriteri , açık devre transfer fonksiyonu $G_o(s)H(s)$ nin, s alanındaki yer eğrisinden hareketle bir sistemin kararlı olup olmadığını belirleyen grafik bir yöntemdir. Nyquist kriteri , transfer fonksiyonlarında e^{-Ts} gibi gecikme elemanlarının olması halinde de geçerlidir. Bundan başka , Nyquist kriteri , sistemin elemanları ya da açık devre transfer fonksiyonlarının analitik olarak belli olmaması fakat, bunların deneysel olarak frekans cevabının elde edilmesi halinde de uygulanabilir.

Kararlılık için gerek ve yeter koşul, karakteristik denklemin köklerinin hepsinin de s düzleminin sol yarısında bulunmasıdır. İşte bu nedenle , s düzleminde tüm sağ yarım s düzlemini örtecek kapalı bir eğri çizilir. Eğri üzerinde s 'nin değer alması saat ibresinin tersi yönde olur. Z sağ s düzlemindeki sıfırların sayısı olmak üzere, kararlı bir sistem için $Z=0$ olur. N , $1+G_oH(s)$ yer eğrisinin başlangıç (sıfır) noktasını saat ibresinin tersi yönde çevreleme sayısı, P kutuplarının sayısı olmak üzere $N=Z-P$ dir. $Z=0$ için $N=-P$ dir.

$G_o(s)H(s)$, $1+G_oH(s)$ yer eğrisinin sola doğru bir birim kaydırılması ile elde edilir. Kararlı bir sistemde N , $1+G_o(s)H(s)$ nin $0+j0$ başlangıç noktasını, $G_oH(s)$ nin de $-1+j0$ noktasını çevreleme sayısı olup kutuplarının sayısına eşit olması gerekir.

Bu kritere Nyquist Kriteri ve $G_o(s)H(s)$ veya $1+G_o(s)H(s)$ yer eğrisine de Nyquist Yolu denir. [5]

NYQUIST KRİTERİNİN UYGULANMASI

Kararlılık analizi sırasında 3 farklı grupta karşılaşılabılıriz :

(1) $-1+j0$ noktası hiç çevrelenmiyorsa; $G_o(s)H(s)$ 'nin sağ- s düzleminde kutbu olmaması durumunda sistem kararlı, aksi halde kararsızdır.

(2) $-1+j0$ saat dönüşünün tersine çevreleniyorsa, sistem ancak, sağ- s düzleminde çevreleme sayısı kadar kutup olması durumunda kararlı, aksi halde kararsızdır.

(3) $-1+j0$ noktası saat yönünde çevreleniyorsa, $Z \neq 0$ yani $N \neq 0$ ise sistem kararsızdır.

Tek grupta nokta reaktör kinetik denklemlerinden elde edilen transfer fonksiyonuna uygulanan Nyquist Kriteri Şekil 1 de gösterilmiştir. Buna göre böyle bir reaktör sistemi "kararlıdır".

REFERANSLAR

- [1] KERLIN T.W., "Frequency Response Testing in Nuclear Reactors"
Department of Nuclear Engineering
The University of Tennessee, Knoxville, Tennessee
Academic Press (1974)
- [2] EVANS W.R., "Control System Dynamics"
McGRAW-HILL BOOK COMPANY INC. (1954)
- [3] DORF R.C., "Modern Control Systems"
University of Santa Clara
ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY (1970)
- [4] D'AZZO J.J., "Feedback Control System Analysis and Synthesis"
Second Edition
McGRAW-HILL KOGAKUSHA LTD. (1965)
- [5] SARIOĞLU M.K., "Otomatik Kontrol Sistemleri II "
I. T. U. Elektrik-Elektronik Fakültesi
Ofset Baskı Atelyesi (1988)
- [6] SANDA T., MAKIDO M., OTANI H., SANO K., YAMAMOTO H., TAMURA S.
"Transfer Function Measurements in JOYO by Pole
Oscillator Method "
*Osaka Engineering Center, Power Reactor and Nuclear
Fuel Development Corp. (1981)*
- [7] GECKINLI Melih, vd., "Nonlinear Dynamics of ITU TRIGA Reactor"
I. T. U. Nükleer Enerji Enstitüsü
I.T.U. Elektronik ve Kontrol Sistemleri Araştırma Projesi
Son Rapor (1989)

- [8] HORNYIK K., WYMAN M.E., "Study of the Dynamics of TRIGA Type Reactor" in "Reactor Dynamics and Control"
HETRICK D.L., WEAVER L.E., eds., *Proc. of the Symposium on Nuclear Engineering at the University of Arizona, Tucson*
(1966) p-457
- [9] URLA S., "İ.T.U. TRIGA Reaktöründe Önem Fonksiyonu Ölçümleri"
İ.T.U. Nükleer Enerji Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi (1983)
- [10] BEESON C.L., "Measurement of the Zero Power Transfer Function of the Kansas State University TRIGA Mark-II Reactor"
Kansas State University (1966)
- [11] SUBKI M., "Measurement of Power Coefficients of Penn State Nuclear Reactor"
Penn State University (1965)
- [12] İ.T.U. TRIGA Log Defteri
Kayıt Tarihleri : 5,8 ve 11 Nisan 1991
- [13] HETRICK D.L., "Dynamics of Nuclear Reactors"
The University of Chicago Press (1971)
- [14] LEWINS J., "Nuclear Reactor Kinetics"
Pergamon Press (1978)
- [15] FIRAT C., CEÇKİNLİ M., "TRIGA Reaktör Dinamiği: Frekans Cevap Testleri"
V. Ulusal Nükleer Bilimler Kongresi, İZMİR
22-24 Mayıs 1991

TESEKKÜR

Tez konumu veren ve çalışmalarım sırasında karşılaştığım güçlüklerin çözülmesi için değerli katkılarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof.Dr.Melih GEÇKİNLİ'ye şükranlarımı arz ederim.Ayrıca , konumuza ilgi gösteren ve katkıda bulunan Sayın Prof.Dr.Şarman Gençay'a , deneylerin yürütülmesine yardım eden Sayın Yrd.Doç.Dr.Erdinç Edgü'ye , Ars.Gör.Filiz Baytaş'a , reaktör işletme ekibinden Ars.Görevlileri,Tayfun Büke ,Altuğ Şişman ve operatör M.Genceli'ye ve Kimya-Metalurji laboratuvarlarında ürettiği B₄C 'den temin eden Prof.Dr.A.Tekin'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ö Z G E Ç M İ S

1965 yılında Usküdar-İstanbul 'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Kartal-İstanbul 'da tamamladı. 1983 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümüne kaydoldu. Buradan dereceye girerek mezun olduktan sonra 1987 ' de İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsüne kaydoldu.