

TMMOB Makina Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi
III.Ulusal Ölçümbilim Kongresi 7-8 Ekim 1999 Eskişehir-Türkiye

ULTRASONİK DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN KARAKTERİZASYONU

Eyüp Bilgiç, Enver Sadıkhov, Baki Karaböce

Tübitak Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), P.K.21 41470 Gebze-Kocaeli TÜRKİYE
Tel: 262 646 63 55 E-mail: eyup.bilgic@ume.tubitak.gov.tr

ÖZET

Teknolojinin gelişmesi ile bilimsel alanda çok önemli bir yere sahip olan ultrasonik dönüştürücüler de geliştirilmiş; özellikle tıp alanında olmak üzere, endüstriyel çalışmalarda, sualtı akustiğinde ve tahribatsız muayenelerde yaygın ve etkili bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Kullanım sırasında herhangi bir sorunla karşılaşmamak ve amaca göre güvenilir sonuçlar elde etmek için kullanılan dönüştürücülerin karakterizasyonlarının bilinmesi gereklidir. Ultrasonik dönüştürücülerin tanımlanmasını veya dönüştürücünün karakterize edilebilmesini sağlayan, dönüştürücüye ait frekans ölçeğinde çalışma bölgesi, rezonans frekansı, etkin yayılım alanı ve çıkış gücü gibi parametrelerdir. Bu bildiri, UME Akustik ve Titreşim Laboratuvarı'nda ultrasonik dönüştürücülerin karakterizasyon çalışmaları sunulmaktadır.

Anahtar Sözcükler : Ultrasonik, dönüştürücü, karakterizasyon

1. GİRİŞ

En genel anlamıyla, ultrasonik dalga frekansı 50 kHz – 30 MHz aralığında olup [1], yüksek frekanslarda da (örneğin; 100 MHz) ölçümler gerçekleştirilir. Son tekniklerle frekans bölgesi 200 MHz – 2 GHz aralığı ile genişletilmiş ve 10^9 Hz frekansı, ultrasoniğin üst limiti olarak belirlenmiştir. Tüm dalga hareketlerinde ultrases hızı, genel olarak frekans ve dalgaboyundan hesaplanarak belirlenir. Tıbbi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan frekans aralığı 1-5 MHz olup, dalgaboyları metallerde milimetre seviyelerinde iken, suda 1 mm'den azdır. Bu nedenle ultrasonik dalgalar belli bir bölgeye yönlendirilerek kolaylıkla lokalize edilebilir, o bölgenin incelenmesindeki çözünürlük artmış olur.

Diğer dalga hareketleri ile karşılaştırıldığında ultrasonik dalgalar, uygulandıkları ortam sınırlarında değişiklik gösterirler. İki farklı akışkan ortam arasındaki sınıra uygulanan, ultrasonik enerji demeti, kırılma gözlenmesine rağmen, ilk ortamdan ikinci ortama geçer. Kalan enerji, ilk ortamın sınırından geriye yansır. Ortamın özelliği biliniyor ise, ortamdan geçen ve yansıyan ultrasonik enerji hesaplanabilir. İkinci ortam gaz (örneğin hava) ise, ortamın yoğunluk, dalga yayılma hızı parametrelerine bağlı olarak ortama geçen enerji ihmal edilebilir.

Ultrasonik dalgaların bilinen özellikleri, tıpta hastalıkların tanı, teşhis ve tedavilerinde, malzemelerin yapılarını ve kalınlıklarını belirlemedeki hasarsız testlerde, canlılar üzerine yapılan araştırmalarda oldukça faydalı bir araç olmuş ve görevleri bu dalgaları elektrik sinyaline veya elektrik sinyalini ultrasonik dalgaya çevirmek olan dönüştürücülerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Kullanıcının ve kullanılan ortamdaki nesnelerin hasar görmemesi,

canlılar için tehlike oluşturmaması açısından, dönüştürücüler ve sahip oldukları özellikler karakterize edilmelidir.

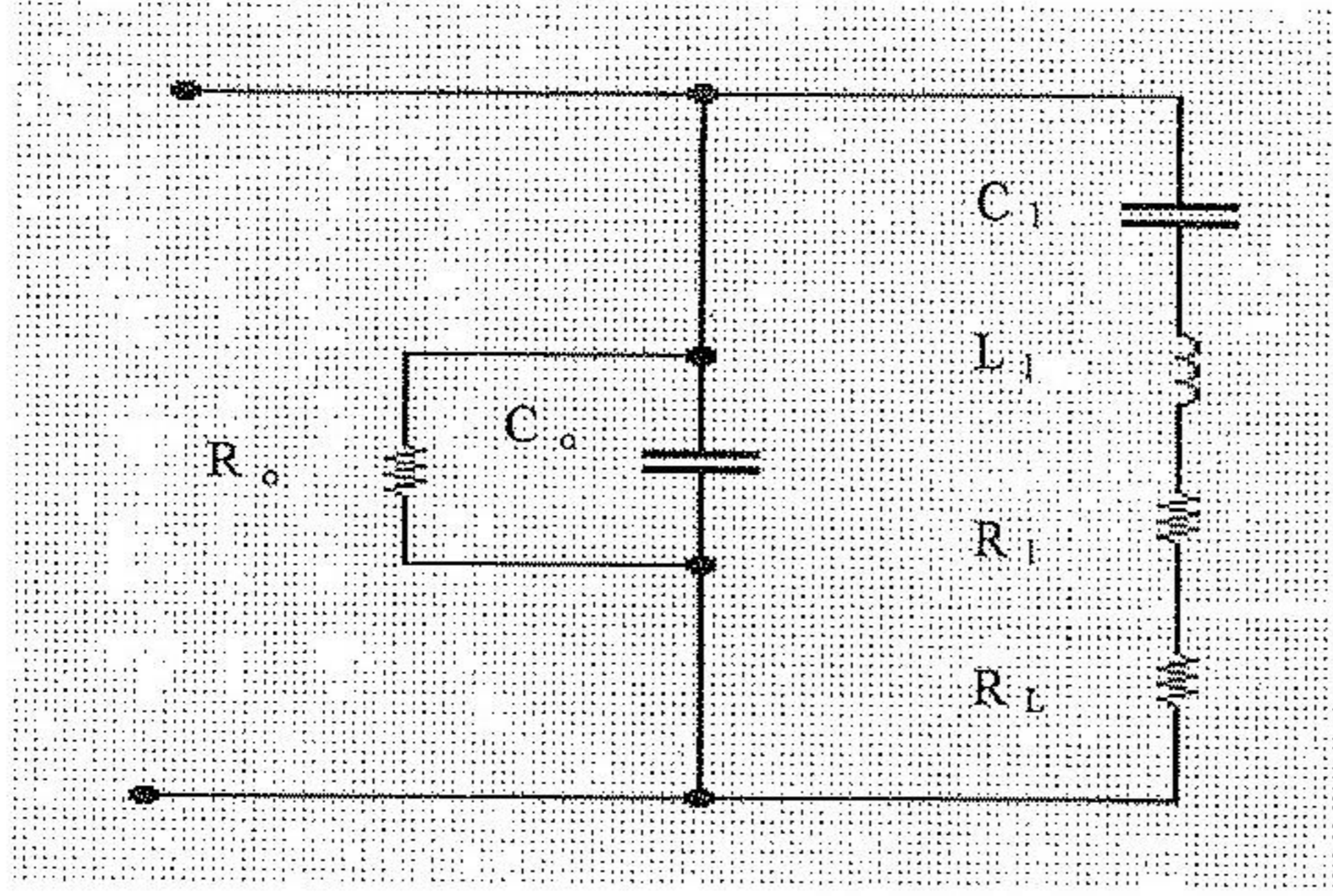
Bu amaçla TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), Akustik ve Titreşim Laboratuvarı'nda, geçtiğimiz yıldan itibaren başlatılmış olan, ultrasonik bir dönüştürücünün karakterize edilmesini sağlayan, dönüştürücüye ait frekans ölçeğinde çalışma bölgesi, rezonans frekansı, etkin yayılım alanı ve çıkış gücü gibi parametrelerin belirlenmesini sağlayacak çalışmalar sürdürülmekte olup, "Watt" bölgesinde çıkış gücüne sahip dönüştürücüler için "Zincirli Yüzer Hedef" düzeneği oluşturulmuş [2], rezonans frekansı belirleme çalışmaları gerçekleştirilmiş ve kullanılan örnek dönüştürücüler için rezonans frekansı ve çıkış gücü belirlenmiştir. Yine aynı düzenek için, ölçüm/kalibrasyon prosedürü oluşturulmuş ve Türkiye'nin bu tür ölçümlere olan ihtiyacını belirlemek için araştırma çalışmaları planlanmıştır.

2. DÖNÜŞTÜRÜCÜ YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

Ultrasonik dönüştürücülerin yapımında kullanılacak malzemelerin çeşitliliği ve bu dönüştürücülerin farklı problemler için kullanılıyor olması, endüstride aranan ve istenen tüm özelliklere sahip, tek tipte bir dönüştürücü üretilmemesinin bir sebebidir. Bu nedenle endüstride farklı amaçlarla, farklı özelliklere sahip dönüştürücü çeşitleri kullanılmaktadır. Bu dönüştürücüler, PVDF ve piezoelektrik malzemeden üretilenlerin yanı sıra, kapasitif özellikli olanlar da vardır. Sahip olduğu bazı özelliklerinden dolayı, laboratuvarımızda kullanmak üzere tercih ettiğimiz dönüştürücü piezoelektrik esastır.

2.1. PİEZOELEKTRİK DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Piezoelektrik etki ilk olarak 1880 yılında Curie kardeşler tarafından keşfedilmiş olup bir veya daha çok polar eksenli olan veya simetri merkezi olmayan kristallerde ortaya çıkar [3]. Piezoelektrik malzeme mekanik olarak sıkıştırıldığında malzemenin yüzeylerinde eşit fakat ters polariteli elektrostatik yük oluşur. Piezoelektrik etki tersinir olay olduğundan, malzemenin yüzeyleri arasında potansiyel fark uygulandığında malzemedeki mekanik deformasyon gözlenir. Malzemeye belli bir frekansı olan değişken gerilim uygulanırsa, malzemedeki mekanik değişim, potansiyel fark frekansında meydana gelir. Bu özelliklerinden dolayı piezoelektrik malzemeler hem alıcı hem de kaynak olarak kullanılırlar. Genel olarak piezoelektrik malzemeler, quartz kristali, lityum niobat, rochelle tuzu, amonyum dihidrojen fosfat (ADP) ve yaygın olarak kullanılan kurşun zirkon titan gibi seramiklerdir. Seramikler, suda çözünmediklerinden, mekanik olarak rochelle tuzu ve ADP'den daha dayanıklı olmaları ve herhangi bir formda üretilibilmeleri tercih sebeplerini oluşturan en büyük özellikleridir [4]. Şekil 1'de piezoelektrik bir dönüştürücünün elektriksel eşdeğer devresi [5] verilerek mekanik sistemin benzeştirmesi yapılmıştır.



Şekil 1. Piezoelektrik Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi Burada;

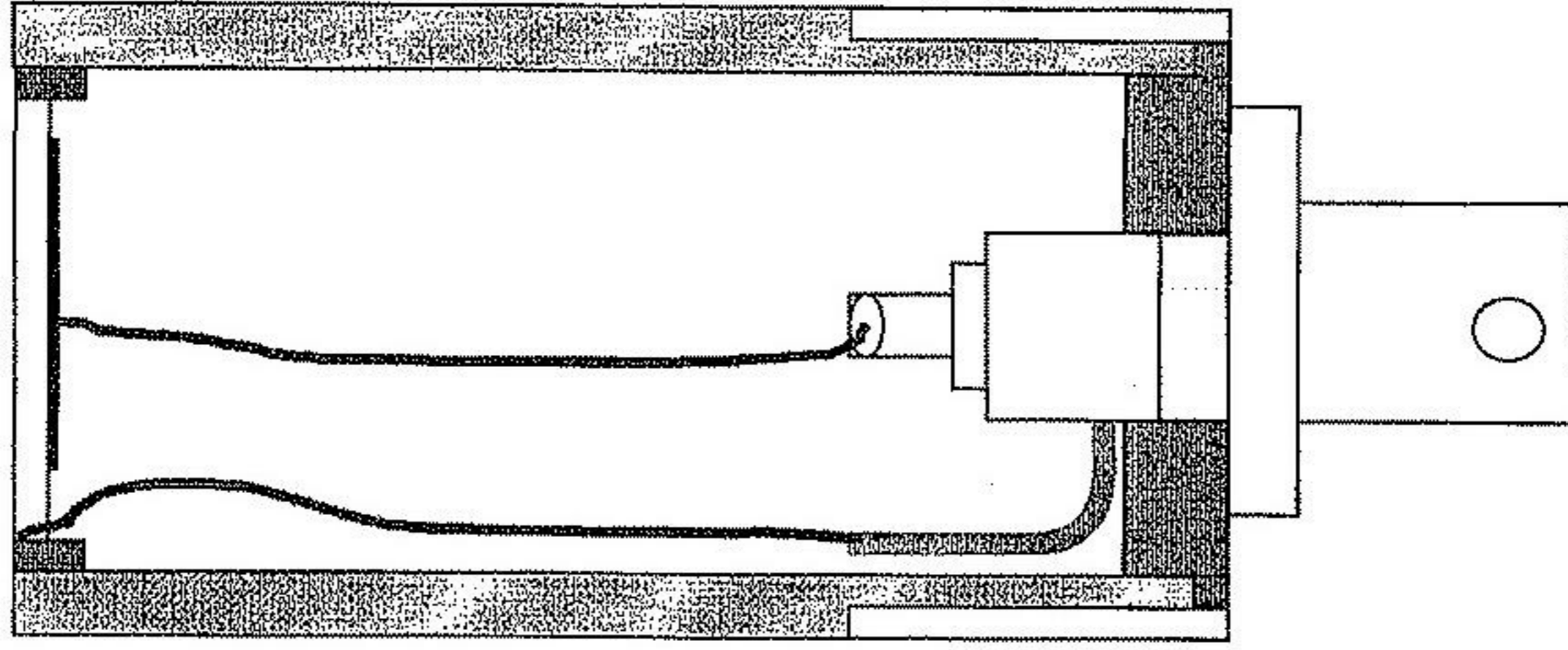
- C_0 : Titreşimlerin engellendiği durumlardaki kapasitans,
 R_0 : Dönüştürücünün dielektrik kayıpları $[2\pi f(C_0+C_1)\tan\alpha]^{-1}$,
 R_1 : Dönüştürücüdeki mekanik kayıplar,
 R_L : Akustik veya mekanik yük,
 C_1 : Malzemenin katılığı (rigidity),
 L_1 : Malzemenin kütlesi.

Yukarıdaki eşdeğer devredeki elektro-mekanik parametreler aşağıda M.K.S.A birimleri ile Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Elektro-Mekanik Parametreler

Elektriksel Parametreler	Mekanik Parametreler
Gerilim (Volt)	Kuvvet (Newton)
İndüktans (Henry)	Kütle (Kg)
Kapasitans (Farad)	Compliance (m/Newton)
Akım (Amper)	Parçacık Hızı (m/s)
Yük (Coulomb)	Yerdeğiştirme (m)
Empedans (Volt/Amper)	Empedans (Newton/m.s)

Referans standart olarak kullanılacak bir ultrasonik dönüştürücüde aranan başka özellik, kararlılığının uzun süreli olmasıdır. Dönüştürücü yapısında, kararlılığı sağlayacak kısımlar dikkatlice tasarlanmalıdır. Bu gereklilik, kararlı olmayan malzemelerin kullanılmasını önceden engelleyerek referans dönüştürücünün dizaynını basitleştirir. Şekil 2'de bir ultrasonik dönüştürücünün kesit görünüşü verilmiştir.



Şekil 2. Ultrasonik dönüştürücünün kesit görünüşü

Diğer bir önemli bir parametre ise dönüştürücünün piezoelektrik malzemesinin seçimidir. Dönüştürücü aktif elemanı olarak, çıkış gücü miliwatt bölgesinde olan dönüştürücüler için quartz genellikle tercih edilir [6]. Kullanım amaçlarına göre X ve Y kesimi quartz kristalleri vardır.

3. DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN KARAKTERİZASYON PARAMETRELERİ

Ultrasonik dönüştürücülerin karakterizasyonu, bir anlamda kalite kontrol olup, belirlenen akustik alan boyunca ölçülen zaman ortalamalı veya ileri doğru yayılan dalganın itme şiddetidir. Bu örneklerden anlaşılacağı gibi karakterizasyon kelimesi oldukça geniş bir anlam içermekte olup, elde edilmesi istenen bilgiler için bir standart belirlenmeli ve çalışmalar bu standarda göre yönlendirilmelidir.

Bir ultrasonik dönüştürücünün karakterizasyonunda, dalganın yayıldığı ortamın özellikleri ve uygulama sırasında maruz kaldığı yükleme oldukça önemlidir. Su gibi bir malzemenin kolayca elde edilebilir olması ve kolayca kullanıma hazır halde bulunması sebebiyle tercih edilmesinde başka bir etken, tıp alanında günümüzde hastalıkların teşhis ve tedavisi amacıyla insanlar üzerinde kullanılan bu dönüştürücüler için ortamın, çoğunluğu sudan oluşan ve homojen olmayan yumuşak insan dokuları ortamına benzetilmek istenmesi olmuştur.

Cihazların temel karakteristikleri üç parametrenin belirlenmesiyle ortaya çıkartılır. Bu parametreler [6] :

1. Hassasiyet (güç çözünürlüğü ve doğruluk)
2. Kararlılık (kısa dönem, uzun dönem)
3. Özgünlük (bir cihazın sadece ilgili parametreyi ölçebilme derecesi)'dir.

Dönüştürücülerin karakterizasyonuna yönelik diğer parametreler, IEC 1088 Standardında [7] tanımlanmış olup aşağıda kısaca değinilmektedir.

Dönüştürücüler genel olarak iki kategoriye ayrılırlar :

P Kategori Dönüştürücüler : Gaz ve sıvı ortamda akustik güç yayan dönüştürücüler.

A Kategori Dönüştürücüler : Katılara çeşitli işlem yapmak için tasarlanmış dönüştürücüler.

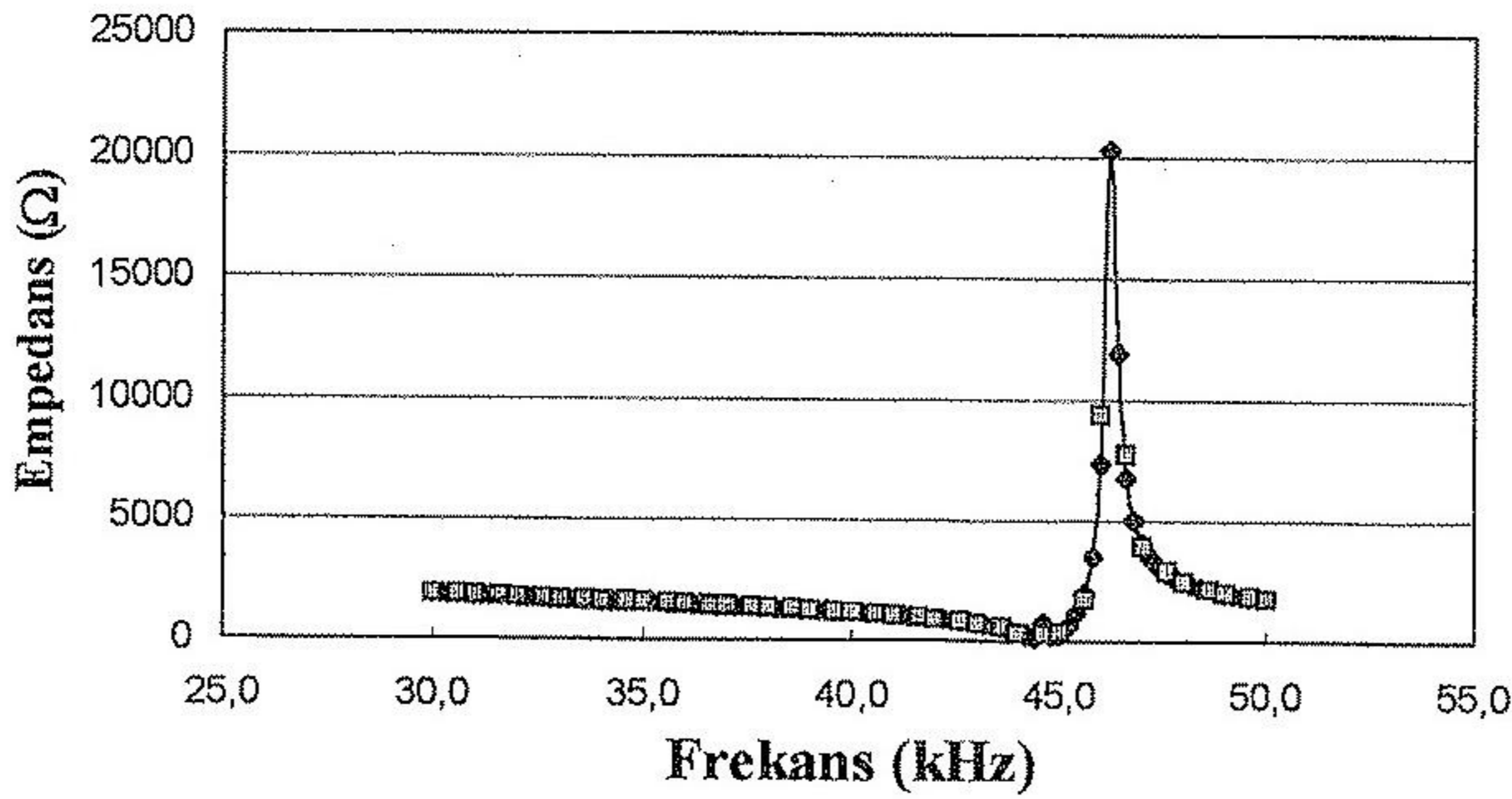
Bu sınıflandırmanın dışında dönüştürücülerin genel olarak elektriksel parametreleri şunlardır:

- Rezonans frekansı ve rezonansa dönüştürücünün elektriksel giriş gücü,
- Band genişliği ve kalite faktörü,
- Rezonans frekansındaki yerdeğiştirme genliği,
- “Yerdeğiştirme-voltaj” hassasiyeti,
- Akustik çıkış gücü,
- Elektroakustik verim,
- “Yerdeğiştirmenin Karesi-Güç” hassasiyeti,
- Resonastaki elektriksel empedans,
- Elektriksel admitans (sıkıştırılmış dönüştürücü)

Ultrasonik dönüştürücülerin karakterizasyonlarını gerçekleştirmek amacıyla UME Akustik ve Titreşim Laboratuvarı'nda RFB (Radiation Force Balance) tekniğinin kullanılacağı düzeneklerin oluşturulması planlanmış ve ilk aşamada “watt” bölgesinde çıkış gücüne sahip dönüştürücülerin karakterizasyonu için zincirli yüzer hedef düzeneği oluşturulmuştur.

4. UME AKUSTİK VE TİTREŞİM LABORATUVARINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Laboratuvarımızda ultrasonik dönüştürücünün rezonans frekansını belirlemek amacıyla bir çalışma yapılmış ve sistem yeterli olacak düzeyde başarıyla oluşturulmuştur. Ultrasonik dönüştürücünün karakterizasyonu için belirlemek istediğimiz parametrelerden biri dönüştürücünün rezonans frekansıdır. Yük olarak suyun kullanıldığı bir dönüştürücünün empedans - frekans tepkisini elde etmek için bir PC tarafından kontrol edilmiş empedans analizörü ve seviye kaydedici kullanılmıştır. Elde edilen empedans-frekans grafiğinden, dönüştürücünün rezonans frekansı belirlenmiştir. Örnek bir grafik aşağıda verilmektedir.



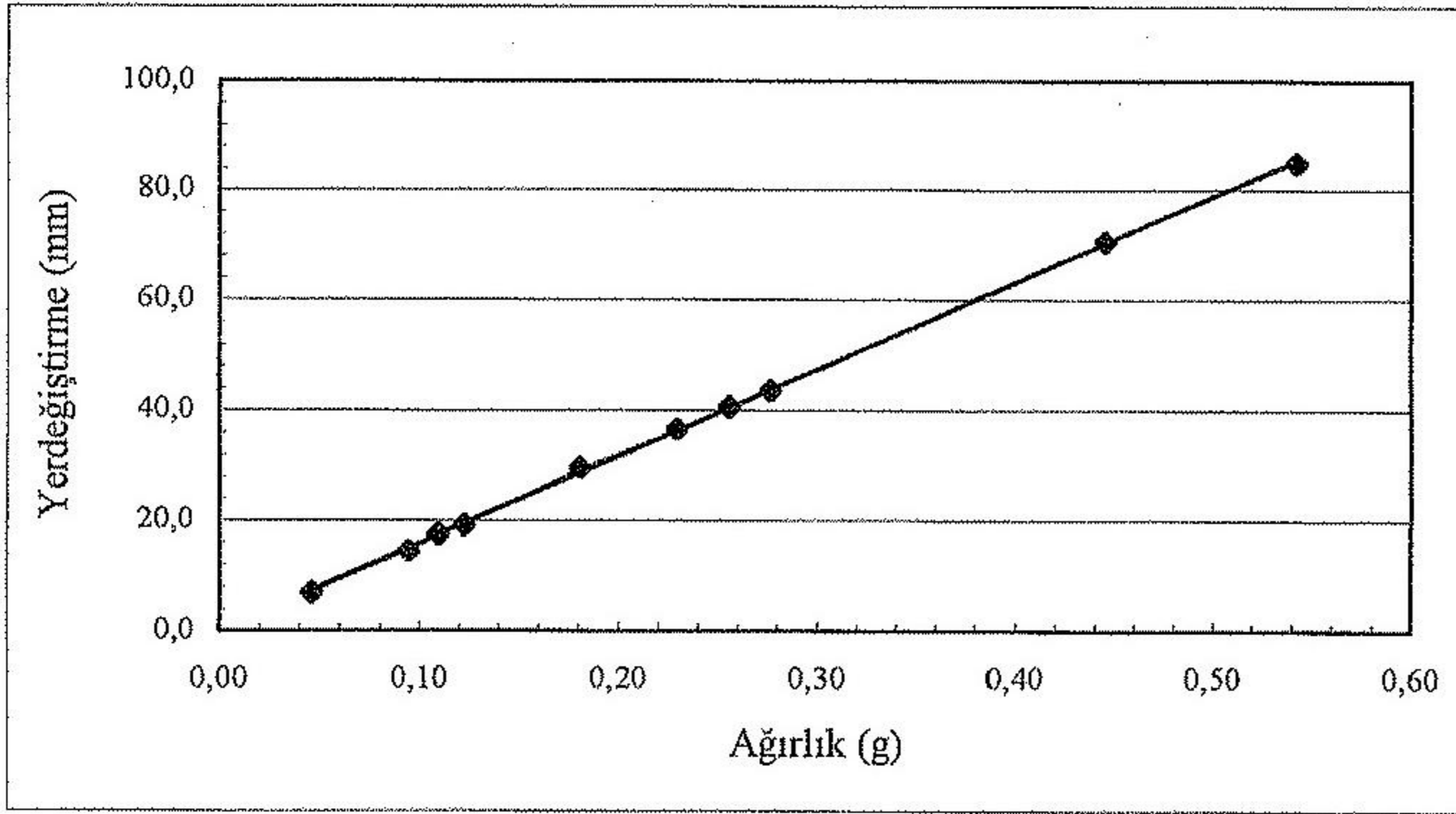
Şekil 3. Ultrasonik dönüştürücünün empedans-frekans tepkisi

Teknolojinin vazgeçilmez bir ürünü olan ultrasonik dönüştürücülerin özellikle tıp alanında yaygın olarak kullanılmaları sebebiyle karakterizasyonlarının ne ölçüde, ne anlamda önem taşıdığından bahsetmiş ve çıkış güçleri 10 Watt'a kadar olan ultrasonik dönüştürücüler için “Zincirli Yüzer Hedef Düzeneği” kullanıldığından bahsetmiştik.

Ultrasonik dalga, yansıtıcı özellikteki hedefe momentum transferi yoluyla bir radyasyon kuvveti uygular. Sistemin temel prensibi, hedefi yatay olarak dengeleyen ve ağırlığı bilinen zincirlerle, bahsedilen radyasyon kuvvetini ölçmeye dayanır.

Laboratuvarımızda oluşturulan düzenek ile, denge konumundaki hedef üzerine, herbirinin sudaki ağırlığı bilinen küçük kütleler koyarak meydana gelen yerdeğişmeler birer birer belirlendi ve sistemin ağırlık (mg : kuvvet) – yerdeğiştirme kalibrasyonu yapıldı. Ölçüm düzeneğinin kalibrasyon eğrisi Şekil 4’te görülmektedir.

Akustik çıkış gücü belirlenecek olan dönüştürücü, su içinde dengede bulunan yüzer hedefin üzerinde belirli bir mesafede konumlandı. Belirli bir uyarma gerilimi uygulanan dönüştürücü, dengede bulunan hedefin yerdeğiştirmesine sebep oldu.



Şekil 4. Yüzer Hedef ölçüm düzeneği için ağırlık-yerdeğiştirme tepkisi

Hedefin toplam yerdeğiştirmesi ölçüldü, bu yerdeğiştirmeye karşılık gelen kuvvet değeri ölçüm düzeneğinin kalibrasyon eğrisinden hesaplandı. Elde edilen kuvvet değeri aşağıdaki ifadede yerine konularak dönüştürücünün akustik güç değeri hesaplandı.

$$P = \frac{10^{-7} Fc}{2\cos^2\alpha}$$

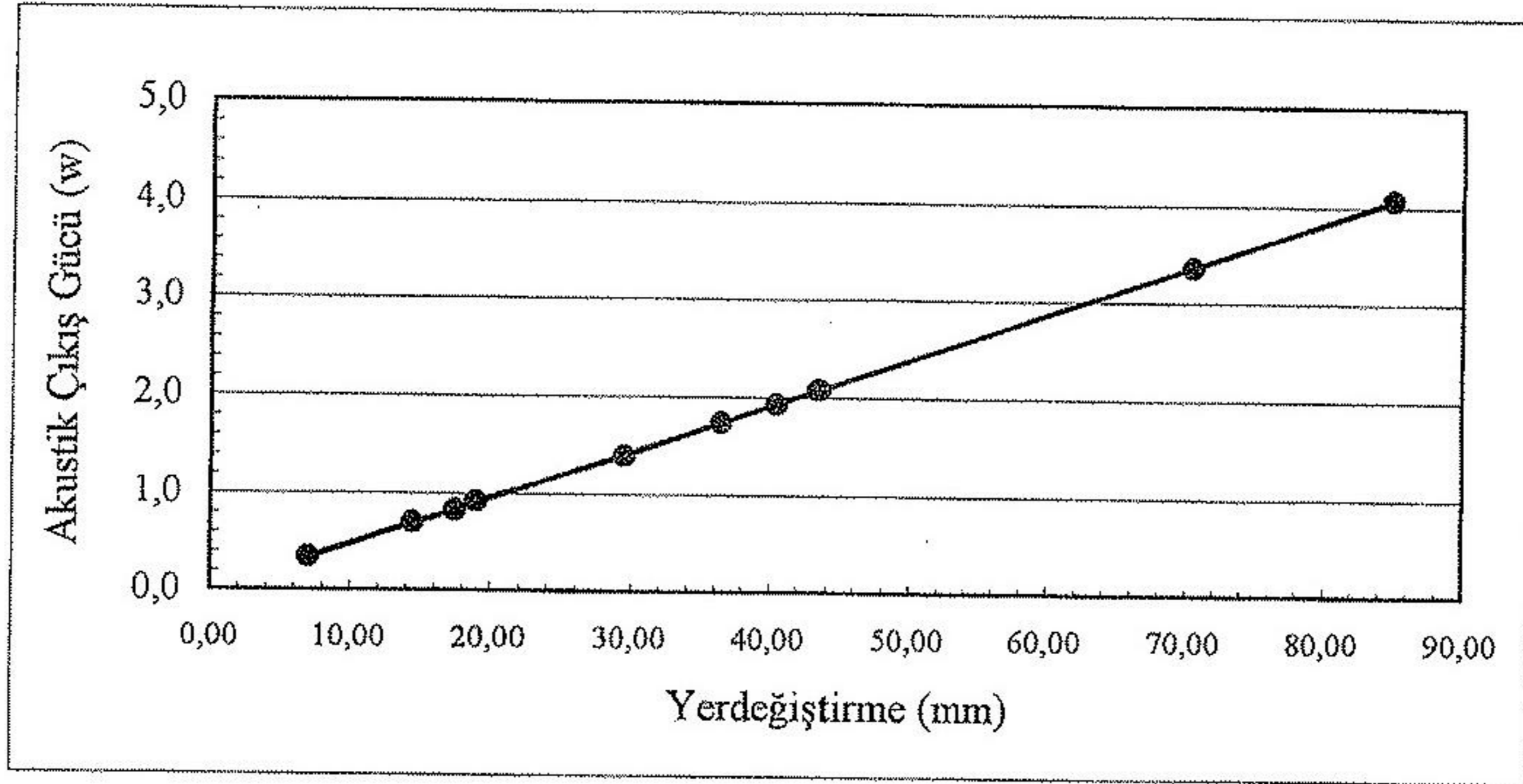
Burada

F(Dyne) : Düşey yönlü kuvvet

c (cm/s) : Ultrasonik dalganın su içindeki yayılma hızı

α : Hedefin yansıtıcı yüzeyinin normali ile ultrasonik dalga demeti arasında açı.

Dönüştürücüye ait güç - yerdeğiştirme tepkisi Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Dönüştürücüye ait akustik güç-yerdeğiştirme bağımlılığı

5. SONUÇ

Endüstride çok geniş olarak kullanılan ultrasonik dönüştürücülerin karakterizasyonu, kullanım alanlarına göre değişiklik arz etmektedir. Hasarsız test yapmak için kullanılan dönüştürücülerde önemli parametreler, ultrasonik dalga frekansın demetin yayılma açısı vb. önemli olurken su altı akustiğinde kullanılan hidrof fonların kararlılıkları, hassasiyetleri ve frekans tepkileri önemlidir. Benzer şekilde tıp alanında yaygın olarak kullanılan ultrasonografi cihazlarının çıkış güçleri, insan sağlığı hayati önem taşıyan diğer bir parametredir. UME Akustik ve Titreşim Laboratuvarı'nda yapılan bu ön çalışma ile ultrasonik dönüştürücülerin kısmen de karakterizasyonları yapılmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarla dönüştürücülerin elektroakustik verim gibi diğer elektriksel parametrelerinin ölçülmesi hedeflenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] E.B. Miller, D.G. Eitzen, Ultrasonic Transducer Characterization at the NBS, IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, Vol. SU-26, No.1, 1979, s.28-37
- [2] E. Bilgiç, F. Parlaktürk, E. Sadikhov, "Ulusal Ultrasonik Ölçeğinin Oluşturulması", 3. Ulusal Akustik Kongresi Bildiri Kitapçığı, İstanbul, 1997, s.56
- [3] J. Blitz "Fundamentals of Ultrasonics", Plenum Press, New York, 1967
- [4] Ir. H.A.J. Rijnja, "Modern Transducers, Theory and Practice", Underwater Acoustics and Signal Processing, 1981, s.225-242
- [5] Philips Data Handbook "Components and Materials – Piezoelectric Ceramics" Netherlands, 1976
- [6] M.C.Ziskin, P.A. Lewin" Ultrasonic Exposimetry", CRC Press, USA, 1993
- [7] IEC 1088 "Characteristics and Measurements of Ultrasonic Piezoceramic Transducers" 1991-09