

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULTRASONİK UYARICI DİZİSİ VE GÜÇ ODAKLAYAN SÜRÜCÜ DEVRE
GERÇEKLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yavuz Erşat KABUKCU

Elektronik Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULTRASONİK UYARICI DİZİSİ VE GÜÇ ODAKLAYAN SÜRÜCÜ DEVRE
GERÇEKLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yavuz Erşat KABUKCU

504121378

Elektronik Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mürvet KIRCI

HAZİRAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504121378 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Yavuz Erşat KABUKCU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ULTRASONİK UYARICI DİZİSİ VE GÜÇ ODAKLAYAN SÜRÜCÜ DEVRE GERÇEKLEMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mürvet KIRCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ahmet ONAT**
Sabancı Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Metin Hüner
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**

Savunma Tarihi : **02 Haziran 2015**

Eşime ve Aileme,

ÖNSÖZ

Tezimi hazırlama aşamasında yardımlarını, bilgi ve ilgilerini eksik etmeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Mürvet Kırıcı'ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans boyunca almış olduğum burs desteği için TÜBİTAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, bu süreçte her zaman yanımda olan manevi desteğini hiç bir zaman esirgemeyen öncelikle eşim, Melike Erdoğan Kabukcu'ya ve tüm aileme çok teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Yavuz Erşat KABUKCU

Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Yöntem.....	2
1.2. Ultrasonik Üzerine Çalışmalar	3
2. ULTRASONİK UYARICILAR VE SÜRÜCÜ DEVRELERİ.....	7
2.1. Ultrasonik Dönüştürücüler	7
2.2. Sürücü Devreler	8
3. HESAPLAMALAR.....	11
3.1. Ultrasonik Dönüştürücülerde Yakın Alan Hesabı	11
3.2. Ultrasonik Dönüştürücü Dizileri	15
4. MATLAB UYGULAMALARI	19
4.1. Matlab_TAC Algoritması	21
4.2. Matlab Sonuçları	23
5. ÖLÇÜMLER	41
6. SONUÇ.....	49
KAYNAKLAR	51
EKLER.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

TAC	: Transducer Array Calculation
EMAT	: Electromagnetic Acoustic Transducer
HIFU	: High Intensity Focused Ultrasound
NDT	: Nondestructive Testing
SPL	: Sound Pressure Level

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1: Ultrasonik dönüştürücünün parametreleri	23
Çizelge 5.1: 400st100 ile yapılan ölçümler	43
Çizelge 5.2: 400st160 ile yapılan ölçümler	43
Çizelge 5.3: 400st100 ile yapılan ölçümler	43
Çizelge 5.4: 400st160 ile yapılan ölçümler	44
Çizelge 5.5: Apc90-4050 ve Apc90-4060 ile yapılan ölçümler	45
Çizelge 5.6: 400st100 ve 400st160 ölçüm sonuçları ile Matlab verilerinin karşılaştırılması	46
Çizelge 5.7: Apc-90-4050-60 ölçüm sonuçları ile Matlab verilerinin karşılaştırılması	46

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: EMAT ve Piezoelektrik Dönüştürücülerin Çalışma Prensipleri [13].....	8
Şekil 2.2: 40 KHz kullanılan birinci devre şeması	9
Şekil 2.3: 40 KHz için kullanılan ikinci devre şeması.....	9
Şekil 2.4: 80 KHz için kullanılan üçüncü devre şeması	10
Şekil 2.5: Tam dalga doğrultucu devre.....	10
Şekil 3.1: Ultrasonik dönüştürücüden dalga yayılımı	13
Şekil 3.2: Odak Bölgesi ve Huzme Çapı [19]	14
Şekil 3.3: Yayılma açısı [19]	14
Şekil 3.4: İkili Dönüştürücü Dizisi	15
Şekil 3.5: Üçlü Dönüştürücü Dizisi	16
Şekil 3.6: Dörtlü Dönüştürücü Dizisi	16
Şekil 3.7: Altılı Dönüştürücü Dizisi	17
Şekil 4.1: Matlab TAC uzak alan hesabı	19
Şekil 4.2: Matlab TAC yakın alan hesabı.....	20
Şekil 4.3: Yakın alan parametreleri	21
Şekil 4.4: Kaynak Geometrisi.....	22
Şekil 4.5: 400st100 dönüştürücüsü 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği.....	24
Şekil 4.6: 400st100 dönüştürücüsü 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği.....	25
Şekil 4.7: 400st160 dönüştürücüsü 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği.....	25
Şekil 4.8: 400st160 dönüştürücüsü 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği.....	26
Şekil 4.9: 400st100 ikili dizisi 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği.....	27

Şekil 4.10: 400st100 ikili dizisi 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği.....	28
Şekil 4.11: 400st160 ikili dizisi 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği.....	28
Şekil 4.12: 400st160 ikili dizisi 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği.....	29
Şekil 4.13: 400st100 ikili dizisinin ses genliği yarıya indirilerek 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	29
Şekil 4.14: 400st100 ikili dizisinin ses genliği yarıya indirilerek 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	30
Şekil 4.15: 400st160 ikili dizisinin ses genliği yarıya indirilerek 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	30
Şekil 4.16: 400st160 ikili dizisinin ses genliği yarıya indirilerek 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	31
Şekil 4.17: 400st100 üçlü dizisinin 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	32
Şekil 4.18: 400st100 üçlü dizisinin 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	32
Şekil 4.19: 400st160 üçlü dizisinin 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	33
Şekil 4.20: 400st160 üçlü dizisinin 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	33
Şekil 4.21: 400st100 dördü dizisinin 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	34
Şekil 4.22: 400st100 dördü dizisinin 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	35
Şekil 4.23: 400st160 dördü dizisinin 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	35
Şekil 4.24: 400st160 dördü dizisinin 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	36
Şekil 4.25: 400st100 altılı dizisinin 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	37
Şekil 4.26: 400st100 altılı dizisinin 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	37
Şekil 4.27: 400st160 altılı dizisinin 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	38
Şekil 4.28: 400st160 altılı dizisinin 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği.....	38
Şekil 4.29: Apc-90-4050 ölçümü.....	39
Şekil 4.30: Apc-90-4060 ölçümü.....	39

Şekil 5.1: Avisoft-SasLab Mikrofon.....	41
Şekil 5.2: Gerçeklenen devreler.....	42
Şekil 5.3: 400st100 Dizisi.....	42
Şekil 5.4: 400st160 Dizisi.....	43
Şekil 5.5: Gerçeklenen Devre	44
Şekil 5.6: Tam Dalga Doğrultucu Devre	44
Şekil 5.7: Ölçüm Düzenegi.....	45
Şekil B.1: Tekli Ölçüm Sonucu	60
Şekil B.2: İkili Ölçüm.....	61
Şekil B.3: Seri İkili Ölçüm	61
Şekil B.4: Üçlü Ölçüm.....	62
Şekil B.5: Dörtlü Ölçüm.....	62
Şekil B.6: Altılı Ölçüm.....	63
Şekil B.7: Tekli Ölçüm.....	63
Şekil B.8: İkili Ölçüm.....	64
Şekil B.9: Seri İkili Ölçüm	64
Şekil B.10: Üçlü Ölçüm.....	65
Şekil B.11: Dörtlü Ölçüm.....	65
Şekil B.12: Altılı Ölçüm.....	66
Şekil B.13: Tekli Ölçüm.....	67
Şekil B.14: İkili Ölçüm.....	67
Şekil B.15: Seri İkili Ölçüm	68
Şekil B.16: Üçlü Ölçüm.....	68
Şekil B.17: Dörtlü Ölçüm.....	69
Şekil B.18: Altılı Ölçüm.....	69
Şekil B.19: Tekli Ölçüm.....	70
Şekil B.20: İkili Ölçüm.....	70
Şekil B.21: Seri İkili Ölçüm	71
Şekil B.22: Üçlü Ölçüm.....	71
Şekil B.23: Dörtlü Ölçüm.....	72
Şekil B.24: Altılı Ölçüm.....	72
Şekil B.25: Yakın Alan Uzaklığından (5.9 cm) yapılan ölçüm.....	73
Şekil B.26: 9 cm'den yapılan ölçüm	74
Şekil B.27: 14 cm'den yapılan ölçüm	74

Şekil B.28: 20 cm'den yapılan ölçüm	75
Şekil B.29: 25 cm'den yapılan ölçüm	75
Şekil B.30: 9 cm'den yapılan Ölçüm	76
Şekil B.31: 12 cm'den yapılan Ölçüm	77
Şekil B.32: 14 cm'den yapılan Ölçüm	77
Şekil B.33: 20 cm'den yapılan Ölçüm	78
Şekil B.34: 25 cm'den yapılan Ölçüm	78
Şekil B.35: 35 cm'den yapılan Ölçüm	79
Şekil B.36: 50 cm'den yapılan Ölçüm	79

ULTRASONİK UYARICI DİZİSİ VE GÜÇ ODAKLAYAN SÜRÜCÜ DEVRE GERÇEKLEMESİ

ÖZET

Ultrasonik dönüştürücü, elektrik akımını ses dalgasına, ses dalgasını elektrik akımına dönüştüren elemana denir. Bu devre elemanı iki yönlü olarak çalışmaktadır. Bu çalışmada, ultrasonik uyarıcı tasarlanmak üzere, sadece sürücü devreden gelen elektrik akımını ses dalgasına çeviren ultrasonik dönüştürücüler kullanılacaktır.

Bu tez çalışmasında, ultrasonik dönüştürücüler kullanılarak istenilen frekansta elde edilen ultrasonik dalganın bir noktada odaklanarak basınç şiddetinin artırılmasını sağlayan, ultrasonik uyarıcı sistem tasarımı ve gerçekleştirilmesi anlatılmıştır. Ultrasonik uyarıcı devreler çok farklı alanlarda (uzaklık ölçümü, endüstriyel temizleme v.b.) çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise tasarlanacak devre ve uyarıcı dizi tasarımları ile tarım alanında böcek yönlendirme kovma uygulamalarında kullanılması düşünülmektedir. Bunun için öncelikle hangi frekansta çalışılacağına karar verilmiştir. Bu problem farklı frekanslarda farklı devrelerin tasarımını gerektirmiştir. Bundan dolayı çalışma frekansına uygun devre tasarımları bulunarak gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Devre tasarım çalışması yapılmadan önce, ultrasonik dönüştürücülerin etki alanı uzaklığı hesabı yapılmıştır. Bu hesaplamalardan sonra, tasarlanacak uyarıcıda kullanılacak ultrasonik dönüştürücü dizi modelleri karşılaştırılmasını yapmak amacıyla belirlenen dizi modelleri gerçekleştirilmeden önce MATLAB benzetim ortamında TAC uygulaması ile ultrasonik dönüştürücülerden yayılan dalga yapısı elde edilmiştir. Son aşama olarak, devre ve dönüştürücü dizileri gerçekleştirilerek ölçümleri yapılarak ve bu ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

İlk olarak, çalışmada her bir frekans farklı basınç değerleri için hangi ultrasonik dönüştürücülerin kullanılacağı ve dönüştürücünün çalışma frekansı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılacak dönüştürücü tipleri, 400st100, 400st160 ve 90-4050-60 seri numaralı ürünlerdir. Bu dönüştürücülerin merkez frekansı 40 KHz, 80 KHz 'dir. Sonrasında, bu çalışma frekansına uygun bu dönüştürücüleri sürebilecek sürücü devre belirlenmiştir. Bunun için üç adet farklı sürücü devre kullanılmıştır. Bu devreler aynı veya farklı frekanslarda farklı dönüştürücüleri sürmek ve elde edilecek değerlerini kıyaslamak için bu şekilde seçilmiştir. Sürücü devrelerin gerçekleştirilmesine geçmeden önce, kullanılacak dönüştürücülerin hangi prensibe göre dalga ürettiğini ve bununla ilgili ultrasonik dönüştürücülerin parametreleri ve etki alanı uzaklığı hesapları yapılmıştır. Bu hesaplamalar ışığında, yapılacak ölçüm uzaklığı ve dönüştürücünün ilgili parametreleri hesaplanmıştır.

Bunun yanında, yapılan gerçek ölçümler ile karşılaştırmak amacıyla, ultrasonik dönüştürücülerin oluşturacağı dalga modelini gösteren ve matematiksel olarak yapacağımız hesaplarında doğrulanacağı ortam olarak MATLAB_TAC (Transducer

Array Calculation) uygulaması kullanılmıştır. Burada, benzetim ortamında hangi dönüştürücü kullanılacaksa onun parametreleri girilerek istenilen etki alanı uzaklığı ve oluşacak maksimum güç elde edilecektir. Bu işlem diğer dönüştürücüler ve dizi tipleri için tekrarlanarak gerçekte yapılan ölçümler ile karşılaştırılma olanak sağlamıştır.

Son aşamada ise, devreler ve dönüştürücü dizileri belirlenerek ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler, çalışma frekansına, dönüştürücünün cinsine, dönüştürücü dizilerine ve yapılan ölçümlerin uzaklıklarına göre karşılaştırılmıştır. Bu ölçümler sonucunda elde edilecek verilerden hangi düzeneğin daha verimli çalıştığı belirlenecektir. Bu çalışmada sadece devre ve dizi tasarımları yapılmış ve 40 KHz ve 80 KHzlik devre gerçeklemeleri yapılmıştır. Diğer frekanslardaki uygulamalar ve uygulamada hangi devrenin daha iyi sonuç vereceği başka bir çalışmaya bırakılmıştır.

ULTRASONIC ACTUATOR ARRAY AND POWER FOCUSED DRIVER CIRCUIT VERIFICATION

SUMMARY

The ultrasonic transducer is a device that is converting the sound waves into electrical current and also, sound waves into electrical impulses. This circuit element works in two ways. In this study, to design an ultrasonic actuator, which converts an electric current to only the sound waves from the ultrasonic transducer drive circuit will be used. In this study, to design an ultrasonic actuator, the ultrasonic transducer which converts an electric current that came from the drive circuit to only the sound waves will be used.

In thesis study, the ultrasonic actuator system design and verification were explained with using ultrasonic transducer to obtain the desired frequency of the ultrasonic wave in order to increase the pressure intensity at a point focusing. Ultrasonic actuator circuits were used different areas (distance measurement, industrial cleaning etc.) for various purposes. It was thought that this circuit and the actuator array were designed for using in redirecting and firing the insects in agriculture applications in this study. For this reason, it was primarily decided to which the working frequency is. These problems had lead to the design of different circuits working with different frequencies. Therefore, the realizations of the optimum circuits in operating these frequencies were made. Before the circuit design study was conducted, the influence field distance of the ultrasonic transducer had been calculated. After these calculations, the purpose of comparing to the ultrasonic transducer array models using for the ultrasonic actuator design before they were verified, the emitted waveform of the transducers were obtained from the TAC application of MATLAB simulation medium. Finally, the circuits and the transducer arrays were realized, besides this, their measurements were done and they were evaluated before last section. In last part, the consideration and the comment about this thesis study and the results was done.

Initially, 400st100, 400st160 and Apc90-4050-60 serial number ultrasonic transducers were determined for using in the study. The operating frequencies of these transducers were over 40 KHz of three and 80 KHz in order. Afterwards, the driver circuits were appointed to drive the convenient circuits. For this purpose, three different driving circuits were used. Some of them operate in the same frequency and some of them operate in different frequency, by this way these different measurement values could be compared. Before the realization of the driver circuit, the working principle of the ultrasonic transducers which was emitted the wave and in relation to this the parameter of them and the calculation of the influence field

distance were established. According to this calculation, the other parameters of the transducer and the measurement distance were assessed.

The main parameter of transducers used in calculation and measurement is the natural focused zone distance named by near field which is depended on the working frequency and diameter of the transducer. This distance determines the boundary between the near field and the far field. If it is possible that measurement at this point, the results could be more satisfied. However, the near field distance of some transducers is too short to measure, so the measurements were made at the point in the far field.

Moreover, it is used the array types to generate more high power at a point than getting from single one. The 400st100 and 400st160 transducers were combined in six different array models and the two driven circuits. Firstly, it is worked by itself. Secondly, two separate circuits drove the transducers and they had a distance, $3\lambda/2$, between them. Thirdly, two transducers were driven by one circuit with connecting in series. Also, the distance between them is still $3\lambda/2$. Fourthly, they were driven by three separate circuits and also, they were stood in line with $3\lambda/2$ margin. In last two array models are square and rectangle of (3x2). The square model was existed with a pair of transducers connected in series to one driver circuit. They were positioned in $3\lambda/2$ distance. The transducers formed of rectangle also positioned in $3\lambda/2$ distance. In this array, each pairs of transducer were connected each other in series and a pair of them were driven by a circuit. The Apc90-4050-60-70 ultrasonic transducers were just measured by themselves without using in any array combination because of the lack of the number of driver circuit.

Additionally, MATLAB_TAC (Transducer Array Calculation) application which is shown the waveform of the ultrasonic transducers and verified the mathematical calculation was used in order to compare the real measurements. It is tried that the existent circular transducers are simulated in the TAC application although it calculates the pattern of the rectangular ones. The useful approximation was applied to cope up with this contradiction. After that, three different transducers' parameters and array types are entered the application in order, and get the near field distance and the maximum power was obtained at the required point from entering the parameters of which transducer is used in the application.

The last stage, the circuits and the ultrasonic transducer arrays were determined and the results of the transducer measurements were collected. The measurements were made with the AviSoft-SASLab listening media programme and a special microphone. The measurements were collected in 3 cm and 5 cm for 400st100 and 400st160 transducers as the near field distance of them are too short. Apc 90-4050-60 transducers were also measured in some different distances which included the near field distances. These measurements were compared each other according to the operating frequency, the type of the transducers, the array model and the measurement distance.

When the measurement results were compared, the first circuit were better stability at frequency response than the second circuits. Nevertheless, the higher power was obtained from the second circuit than first one. Mostly, the measurement from 3 cm

had higher volume than 5 cm measurements, because of the proximity to the transducers, yet, some array combinations, the wave from different transducers were absorbed each other, so the nearest result was lower than the farthest. Lastly, the 400st160 gave higher power when it was driven by first circuits. Additionally, when the second driver circuits worked with 400st100, it had given higher power at any array model.

After the measurement of 400st100 and 400st160, APC 90-4050-60 transducers' measurements were made at different distance. APC 90-4050's working frequency is 40 kHz and APC 90-4050's working frequency is 80 kHz. Both of them were driven by the same circuit which is emitted the wave in 80 kHz. In spite of the measurement of 400st100 and 400st160 in array, APC 90-4050-60 transducers were measured as a single in different distance. Firstly, APC 90-4050 was measured from near field distance. After that, the microphone was progressively put in farther from the transducer. These distances for APC 90-4050 were 5.9 cm, near field distance, 9 cm, 12 cm, 14 cm, 20 cm and 25 cm. These distances for APC 90-4060 were 9 cm, near field distance, 12 cm, 14 cm, 20 cm, 25 cm, 35 cm and 50 cm. The outcome of the near field measurements were more higher than the other distances' outcomes, on the other hand, the distance between the microphone and transducer was farther, the outcomes of the measurements were decreased in amplitude. Besides, the comparison of the transducer power by them, APC 90-4060 had a better performance than APC 90-4050 in the same distance measurement. This is because, APC 90-4060 has the matching frequency with driver circuits and it has more power than APC 90-4050. Therefore, the result of the measurements of APC 90-4050-60 with third circuit was supported to our thought about the near field distance of ultrasonic transducers and the obtained focused power.

In this study, not only the circuit and the arrays are designed but also the circuits of 40 KHz and 80 KHz are executed. The other frequency implementations and the decision which circuits give better values than the others are left to the future studies.

1. GİRİŞ

Ses, nesnelerin titreşiminden meydana gelen ve bir ortam içerisinde (hava, su vb.) bir yerden başka bir yere, sıkışma ve genleşmeler şeklinde ilerleyen bir dalgadır. Dolayısıyla ses, bir basınç dalgasıdır. Ses dalgaları, frekans aralıklarına göre farklı adlandırılmaktadır. İnsan kulağının işitebildiği sesin akustik frekans bandı 20 Hz - 20 kHz arasındadır. 20 Hz'in altında oluşan dalgalar infrasonik dalgalardır. Buna örnek deprem dalgalarıdır. 20 kHz üstündeki frekanslar ise ultrasonik dalgalar olarak isimlendirilir. Ultrasonik dalgalar frekansı 20 kHz'in üzerinde olan ses dalgalarıdır. Ultrasonik dönüştürücü (ultrasound transducer), piezoelektrik kristal malzeme kullanımı ile elektrik işaretini ses işaretine, ses işaretini elektrik işaretine çeviren elemandır. Ultrasonik dönüştürücü, sürücü devrenin sonuna yük gibi bağlanarak, devrenin ve elemanın izin verdiği frekansta yayın yapar ve böylece ultrasonik yayın yapan bir cihaz elde edilmiş olur.

Ultrasonik cihazların savunma sanayisinde, medikal görüntülemede ve endüstride önemli bir yeri vardır. İlk olarak, savunma sanayisinde en bilinen uygulama SONAR sistemleridir. Bu sistem denizcilikte, sualtı konum tespitlerinde kullanılmaktadır. İkinci en yaygın kullanım alanı tıbbi görüntülemedir. Ultrasonik dönüştürücülerden oluşturulan diziler ile geliştirilen tıbbi cihazlar gebelik kontrolü, hastalık teşhisi ve tedavisi gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sistemin diğer sistemlere üstünlüğü ses dalgalarını, elektromanyetik dalgalara göre daha düşük frekansların (daha az zararlı) kullanılmasıdır. Sonuncu alan ise, endüstride sıvıların homojen olarak karıştırılması işleminde sıvı yoğunluğunun, doluluk seviyesinin ve akışının ölçülmesi işlemleridir [1]. Bunun yanında sıvı içerisindeki üreyebilecek bakteri veya bunun gibi zararlıların yok edilmesi için ultrasonik dalgalar kullanılır. Bu işlemde ultrasonik dalgalar sıvı içerisinde kavitasyona neden olur bu yüksek basınçlı patlamalar da etrafındaki zararlıların yok eder. Ayrıca mücevher, cam gibi hassas ürünlerin yüzeylerinin temizlenmesinde ve hırsız alarmlarında ultrasonik cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlarda uygulanacak yüzeye ait rezonans frekansında sürücü devre tasarlayarak o frekansta çalışması sağlanır [2]. Bunun yanında daha fazla güç

aktarımı yapılabilmesi için ultrasonik dönüştürücülerin farklı dizilimleri ile buna bağlı istenen gücün odaklanması sağlanır. Frekansta ve dizi tipindeki farklılıklar ultrasonik cihazlardaki çeşitliği ve bu yönde yapılan araştırmaları arttırmaktadır.

Bu nedenle ortaya çıkan ultrasonik dönüştürücülere talebin fazla olması ve tercihen ucuz malzeme kullanılması dönüştürücü fiyatlarının düşmesini sağlamaktadır. Fakat ultrasonik dönüştürücülerin karmaşık yapısı dolayısıyla bu cihazları üretmek kolay değildir.

Tezin amacı çeşitli frekanslarda ve farklı çıkış güçlerinde ultrasonik işaret üreten devrelerin tasarımı ve gerçekleştirmesini yaparak, bu devrelerin çeşitli dizi tasarımları ile farklı ses basıncı şiddetleri elde etmektir. Bu amaca yönelik olarak tezde öncelikle bu alandaki yapılan çalışmalardan ultrasonik üzerine çalışmalar kısmında bahsedilmiştir. İkinci bölümde, tez çalışmasının temel elemanı olan ultrasonik dönüştürücülerin genel yapısı ile ilgili bilgi verilerek ve tasarlanan devre şeması incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise, ultrasonik dönüştürücülerin çalışma prensibine ilişkin yapılan hesaplamalar ve oluşturulacak dizi modelleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde, Matlab benzetim ortamında oluşturulan dizilerden çıkış gücü hesapları ve alan analizleri yapılmıştır alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde ise, gerçekleştirilen dizilerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve dördüncü bölümde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Son bölümde sonuçlar kendi içlerinde karşılaştırılarak ve yorumlanmıştır.

1.1. Yöntem

Çeşitli çıkış güçlerini elde edebilmek amacıyla öncelikle 40 kHz ve 80 kHz'de ultrasonik dalga uyaran sürücü devrelerin seçilmesi ve çeşitli dizi yapıları oluşturulması sağlanmıştır. Amaç farklı çıkış güçlerindeki dönüştürücülerle oluşturulacak devreler ile farklı ultrasonik güç seviyelerini veren devrelerin elde edilmesidir. Bu devrelerdeki ultrasonik dönüştürücü dizilerinin belirli bir noktaya odaklanma güçleri AviSoft-SASLab ortam dinleme programı kullanılarak bir mikrofon yardımı ile ölçülmüş ve bunlar belirlenmiştir. Bunun yanında MATLAB'in hazır uygulamalarından biri olan TAC kullanılarak belirlenen diziyi bu uygulamada oluşturup benzetim sonuçları elde edilmiştir. Böylece, gerçekte ve programda elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Bunun sonucunda yapılan ölçümlerin doğruluğu karşılaştırılmıştır.

1.2. Ultrasonik Üzerine Çalışmalar

Ultrasonik dalgalar birçok mühendislik dalında etkin olarak kullanılmaktadır. Deniz altı görüntülemeye SONAR, tıbbi görüntülemeye ultrason cihazları, endüstride Sonokimya alanında, mücevher ve cam temizleme ultrasonik dönüştürücülerin yaygın olan kullanım alanlarıdır.

Deniz mühendisliğinde su altı görüntüleme için en yaygın kullanılan araç SONAR'dır. Titanik'in batmasından sonra başlayan sualtı görüntüleme çalışmaları, 1. Dünya savaşı ile birlikte daha fazla artmıştır. İlk olarak pasif sonar olarak adlandırılan ve sadece cismin yaydığı ses dalgaların alınması ile cismin konumunun ve cinsinin belirlenmesine dayanır. Sonraki çalışmalarda ise cisimden yansıyan ses dalgalarının aralarındaki mesafeyi ölçen aktif sonar geliştirilmiştir [3]. Kullanılan dalga'nın frekansı tespit edilecek mesafeyi etkilediği için araştırmalar sonucunda teknolojinin de ilerlemesiyle 500 Hz'den 20 KHz'lere kadar çıkmıştır. Günümüzde ise hala deniz araştırmalarında ve deniz altı savunma teknolojilerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Günlük hayatta en fazla karşılaştığımız ultrasonik dalgaların uygulama alanı şüphesiz ki tıbbi alandır. Öncelikle hamilelik sürecinin görüntülenmesi üzerine ilk 1950'lerde başlanmıştır. Öncelikli olarak gebelik görüntülemesinde kullanıldıktan sonra diğer tıbbi görüntülemelerde, karın, kalp, damar, tiroit, meme, jinekolojik ve ürolojik tanı ve tedavisinde kullanılmıştır [4].

Ultrasonik dalgaların 3-10 MHz frekans aralığındaki bandı tanı ve tedavi amaçlı olarak medikal alanda uygulanmaktadır. Ses dalgalarının geçtiği ortamın yoğunluğundan etkilenecek ortamdaki hızı değişmektedir. Bu ortamın yoğunluğu ortamın karakteristik empedansını değiştirmekle birlikte dalga'nın geçişi sırasında yansımalar ve kırılmalar neden olur. İnsan vücudu düşünülecek olursa yoğunluk farklılıkları empedans farklarına neden olacak ve böylece bu empedans uyumsuzluğunun sonucunda ortaya çıkacak yansımaların ve iletimlerin ölçülmesiyle görüntüleme yapılabilir.

Bu ortam bilgisi kullanılacak olursa ultrasonik uygulamalarda kullanılan iki temel ölçüt vardır: iletim ve yansıma. İletim teknolojisi ultrason dalgalarının dokularda farklı emilimiyle ayırt edilmesine dayanmaktadır. Bu yöntemde emilimden kaynaklanan karanlık bölgeler olduğu için bu yöntemden vazgeçilmiştir. Yansıma

teknolojisi ise farklı akustik dirençlere sahip iki doku arasındaki sınırdan yansıma dalgası ile ifade edilmektedir. Tıbbi uygulamalarda bu teknoloji üzerinden ultrasonik görüntüler elde edilir [4].

Kullanılacak dalganın frekansı görüntülenecek bölgeye göre farklılık göstermektedir. Bunun temel nedeni frekans arttıkça görüntünün çözünürlüğü artarak daha küçük değişikliklerin fark edilmesini sağlarken ultrason dalgasının vücut içine girişi azalarak yüzeyde kalmaktadır. Örneğin, yetişkinlerde yapılan görüntüleme de 3-5 MHz yeterli iken çocuklarda görüntüleme yapılırken 5-7 MHz kullanılır [4]. Aynı şekilde, damar ve beyin görüntülemek için yüksek frekanslara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunu yanında bu cihazların geliştirilmesi için radyasyon gücüne bağlı olarak akustik güç ölçümleri üzerine çalışılmıştır [5].

Üçüncü olarak, endüstride sonokimya alanında da büyük güçte odaklama yapmak kullanılan sıvı içerisinde kavitasyon oluşturabilmek için önemlidir. Buna örnek olarak [6] ve [7]'deki çalışmalarda yüksek yoğunlukta odaklanmış ultrason (High Intensity Focused Ultrasound-HIFU) dizileri kullanılmıştır. HIFU ile dizi tipi değiştirilerek [6] ve frekanslara göre bir karşılaştırma yapılarak [7] odaklama gücü yükseltilmeye çalışılmıştır. Ultrasonik dönüştürücülerin oluşturduğu yüksek enerjili ultrasonik ses dalgaları sıvı içerisinde yüksek ve düşük basınçlı dalgalar meydana getirir. Düşük basınçlı dalga oluşumu sırasında, ultrasonik dalgalar küçük vakum baloncukları meydana getirirler ve bu baloncuklar daha fazla enerji taşıyamayacak hacme ulaştıklarında, yüksek basınçlı dalga oluşumu ortaya çıkar ve bu sırada içe doğru patlarlar. Bu olaya **kavitasyon** adı verilir. Aynı çalışma prensibi ile mücevher ve cam temizleme işlemleri için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Son olarak tarım alanı uygulamalarında kullanılmak üzere yine sıvı (su) içerisinde kavitasyon baloncukları meydana getirilerek patlamalar ile zararlıların yok edilmesi amaçlanır. Kavitasyon baloncuklarının patlaması ile ortamda oluşacak basınç ve sıcaklık değişimi hücre duvarının yapısını bozmaktadır. Ayrıca mikroorganizmanın çeşidine göre etkisi değişmektedir. Büyük hücreler, yüzey alanının büyük olması nedeniyle, kavitasyondan daha fazla etkilenmektedir. Sporlar ise ultrason dalgalarına çok dirençlidir. Bunların yanında bu dalgaların uygulama süresi, şiddeti, uygulama sıcaklığı ve gıdanın hacmi ve bileşeni etkilidir [8].

Uygulama alanları dışında ultrasonik dalgaların modellenmesi ve sürücü devreleriyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır [9]. Dönüştürücüden elde edilecek verimin artması bu çalışmaların en temel motivasyondur. Ultrasonik dönüştürücülerden yüksek güç elde edilebilmesi için sürücü devrenin dönüştürücünün rezonans frekansında yayın yapması gerekmektedir ve buna uygun devre tasarımı gerçekleştirilmelidir [10]. Bir başka çalışma ise, yapılacak işe göre belirlenecek rezonans frekansı için otomatik frekans kontrolü ile dönüştürücünün besleneceği gücü maksimum yapılmıştır [11].

Ses dalgalarını bir yerde odaklayabilmek için kullanılan yöntemlerden biri faz dizisi kullanmaktır. Bu yöntem hızlı ve doğru görüntülemeye olanak sağlar. Ultrasonik dönüştürücülerin faz dizisi oluşturarak oluşturacağı ses alanını kontrol etmesi ise her bir piezoelektrik elemana uygulanacak zaman gecikmesi ile istenilen alan ve odaklama gerçekleşir [12].

Sonuç olarak, bu çalışmalar ışında farklı yöntemler kullanılarak bir ultrasonik dönüştürücüyü sürmek üzere tasarlanan sürücü devre ve bu sürücü devreyle birlikte çalışacak dönüştürücü dizilerin oluşturulması hedeflenmiştir.

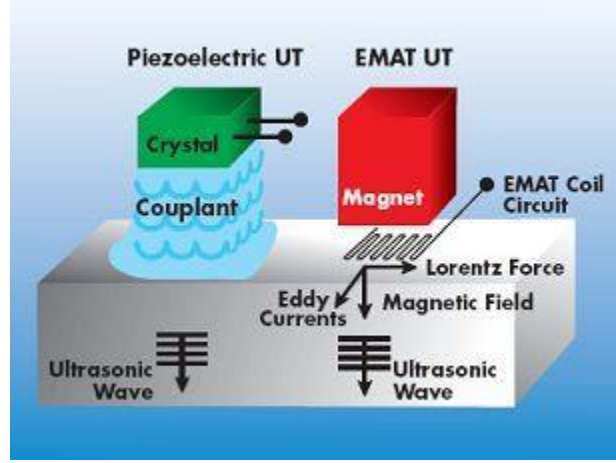
2. ULTRASONİK UYARICILAR VE SÜRÜCÜ DEVRELERİ

Bu bölümde, ultrasonik uyarıcı tasarımda kullanılacak ultrasonik dönüştürücüler ve bu dönüştürücülerin sürücü devreleri incelenecektir. Devre incelemelerine geçmeden önce alt bölümde ultrasonik dönüştürücüler hakkında kısa bir bilgi verilecektir. Ondan sonra, diğer alt bölümde ultrasonik dönüştürücüyü sürececek devrelerin incelemesi yapılacaktır.

2.1. Ultrasonik Dönüştürücüler

Bir ultrasonik sistemde, sistemin en önemli elemanı ultrasonik dönüştürücülerdir. Temel olarak en çok kullanılan iki tip ultrasonik dönüştürücü vardır. Bunlardan ilki elektromanyetik akustik dönüştürücülerdir (electromagnetic acoustic transducer-EMAT). EMAT, elektromanyetik mekanizmaları kullanarak temassız ses üretimi ve alımı yapar. EMAT temas veya malzeme gerektirmeyen bir ultrasonik tahribatsız test (ultrasonic nondestructive testing-NDT) yöntemidir çünkü ses doğrudan dönüştürücünün bitişindeki malzemenin içinde oluşur [13].

İkinci ve en sık kullanılan dönüştürücü tipi ise piezoelektrik dönüştürücülerdir. Piezoelektrik özelliği, (belirli kristaller; quartz gibi) malzemeye uygulanan mekanik basınç sonucunda, malzemenin elektrik alanını ya da elektrik potansiyel fonksiyonunu değiştirme yeteneğidir. Bu etki, malzemenin içindeki polarizasyon yoğunluğunun değişimiyle doğrudan ilgilidir. Böylece uygulanan gerilme (stress) malzemede bir elektriksel gerilim meydana getirir. Bu dönüştürücüler ultrasonik bantta her frekansta dalga üretilir, her ultrasonik enerji seviyesini algılayabilirler. Piezoelektrik dönüştürücülerin uygulama alanları, ultrasonik hız ölçümleri, tıbbi teşhis, balık algılama ve düşük yoğunluklu nemlendirme, temizlik ve yüksek yoğunluklu lehimleme işlemleridir. Bu tez çalışmasında da amaca uygun olmak üzere piezoelektrik dönüştürücü kullanılacaktır. EMAT ve piezoelektrik dönüştürücüler arasındaki yapı farkı da Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



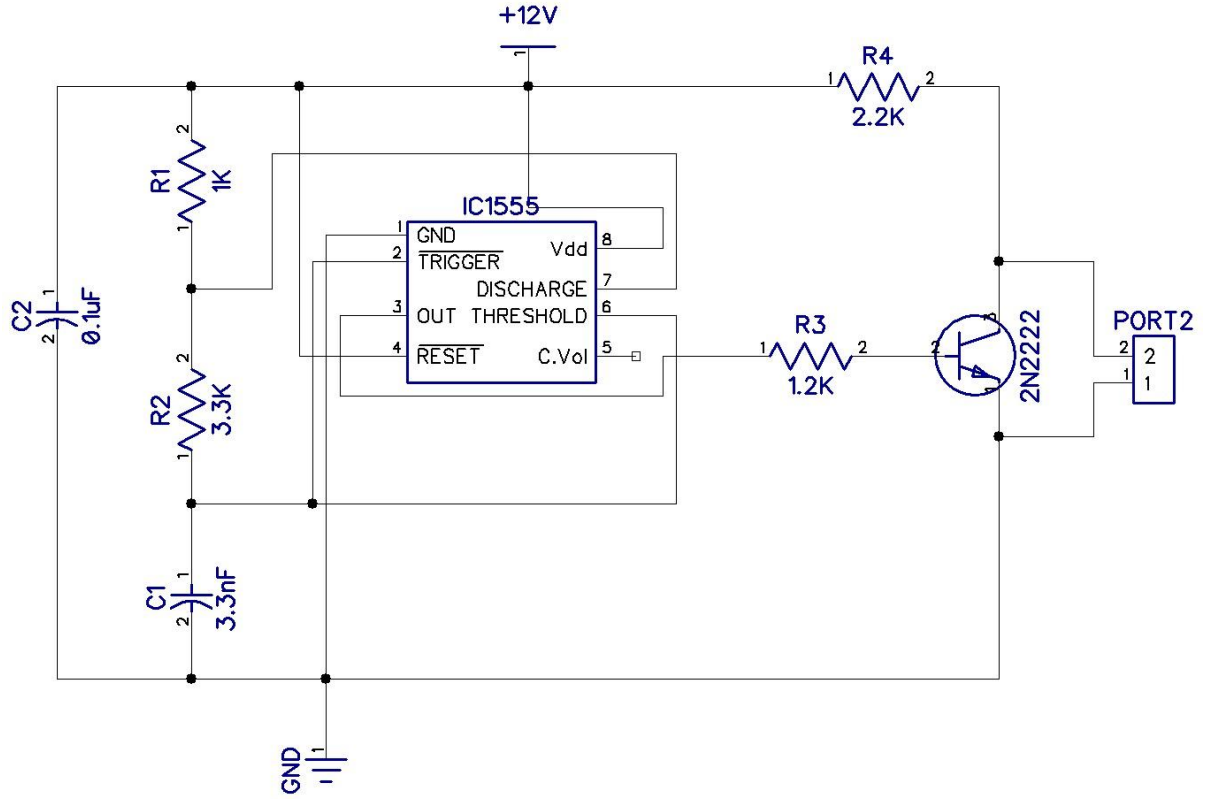
Şekil 2.1: EMAT ve Piezoelektrik Dönüştürücülerin Çalışma Prensibi [13]

Bu tez çalışmasında, Pro-Wave Electronics şirketinin 400ST100 ve 400ST160, ve APC International şirketinin 90-4050-60 seri numaralı dönüştürücüleri kullanılmıştır. Bu piezoelektrik dönüştürücülerin çalışma frekansları 40 KHz ve 80 KHz şeklinde değişmektedir. Bu dönüştürücüler ile ilgili ayrıntılı bilgiler EK-A'da verilmiştir.

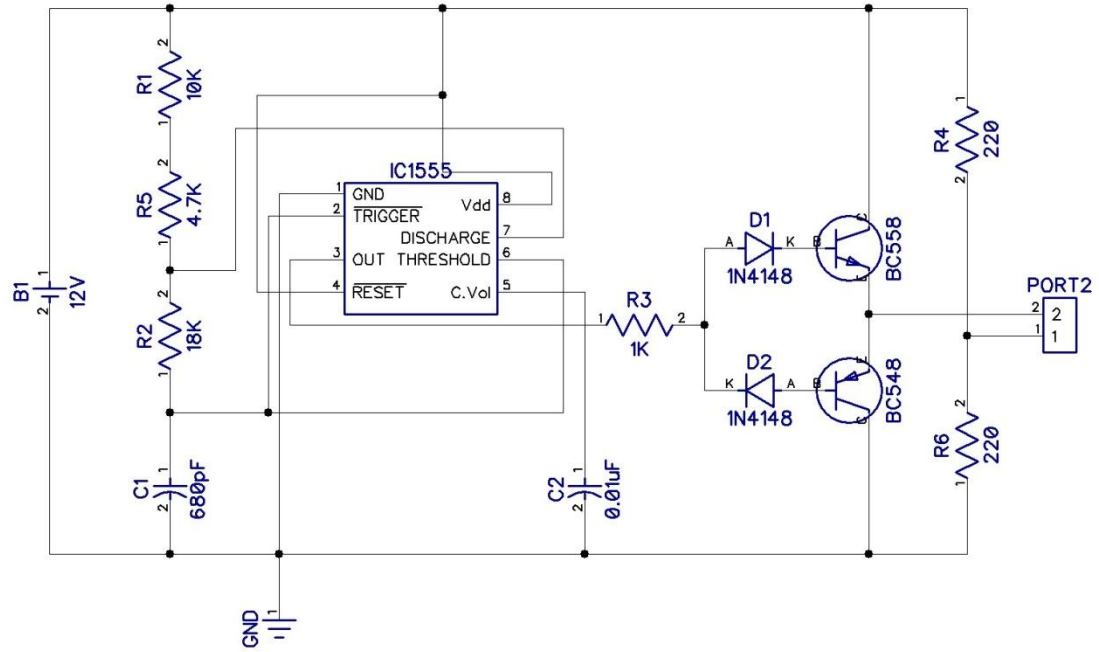
2.2. Sürücü Devreler

Sistemde kullanılacağı yere göre alıcı ve verici olmak üzere ultrasonik dönüştürücülerin görevleri değişebilir. Bununla birlikte içyapıları ve sürücü devreleri değişmektedir. Bu çalışmada sadece verici olarak kullanılacak bir uyarıcı sistem tasarlanacağı için bun uygun bir sürücü devre düşünülmüştür.

Sürücü devre seçimi yapılırken bu frekanslarda çalışacak bir devre olmasına dikkat edilecektir. Buna göre ilk olarak 40 KHz'de çalışacak [14] ve [15]'den alınmış devreler üzerinde amacımıza uygun olacak şekilde bir takım değişiklikler yapılarak Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'deki devreler elde edilmiştir.

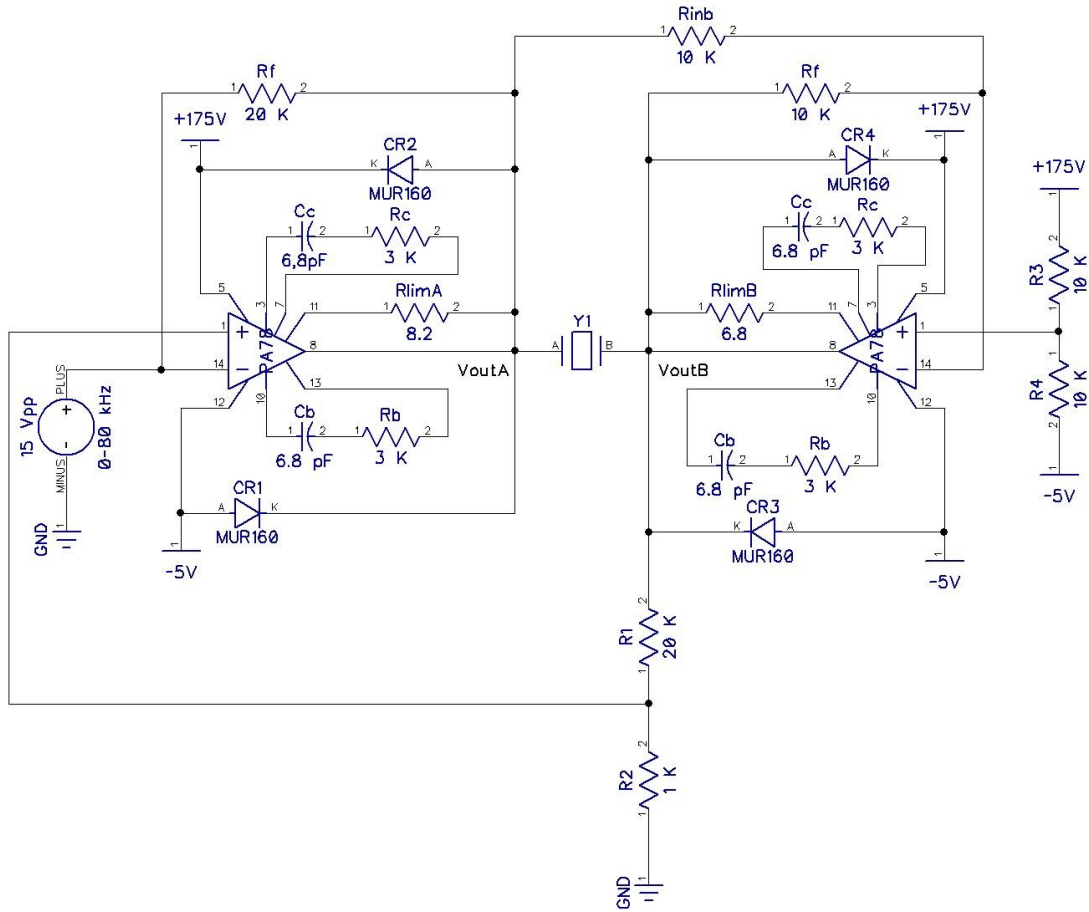


Şekil 2.2: 40 KHz kullanılan birinci devre şeması



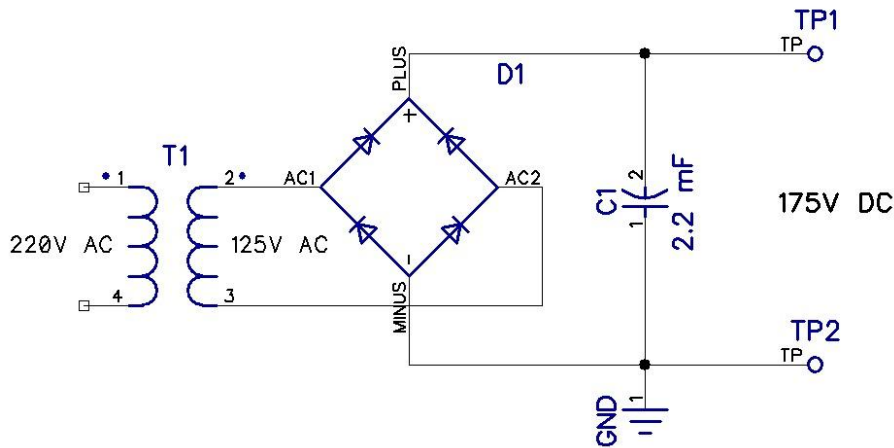
Şekil 2.3: 40 KHz için kullanılan ikinci devre şeması

İkinci olarak da 0-80 kHz arasında çalışan [16]'deki sürücü devresi kullanılacaktır.



Şekil 2.4: 80 KHz için kullanılan üçüncü devre şeması

Şekil 2.4'deki 175 V DC gerilimi elde etmek için 220V AC prizden alınan gerilimi 175 V'a çeviren Şekil 2.5'deki tam dalga doğrultucu devre yapılmıştır.



Şekil 2.5: Tam dalga doğrultucu devre

Bu devrelere 400st100, 400st160 ve APC-90-4050-60 dönüştürücüleri bağlanıp gerçekleştirilerek beşinci bölümde sonuçları ele alınacaktır.

3. HESAPLAMALAR

Ses, nesnelerin titreşiminden meydana gelen ve uygun bir ortam içerisinde (hava, su vb.) bir yerden başka bir yere, sıkışma ve genleşmeler şeklinde ilerleyen bir dalgadır. Dolayısıyla ses, bir basınç dalgasıdır. Ses dalgalarının tanımlamak için kullanılacak dört temel parametre vardır [17]. Bunlar;

- Dalga boyu (λ)
- Frekans (f)
- Hız (c)
- Yoğunluk

Bunlardan ilk üçü (1)'deki denklemdeki gibi birbirlerine göre ifade edilebilir.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

Frekans (f) kaynağa göre, hız (c) ortamın yoğunluğuna ve diğer fiziksel şartlara göre değişmektedir. Buna göre dalga'nın boyu belirlenecektir. Yapılacak uygulamalarda ultrasonik dönüştürücüler havaya yayın yapacağı için burada sesin havadaki yayılma hızı dikkate alınacaktır. Bu da (3.2)'de olarak alınmıştır.

$$c = 340 \text{ m/s} \quad (3.1)$$

Frekans değeri (f)'de ultrasonik dönüştürücünün çalışma frekansına göre değişiklik gösterecektir.

3.1. Ultrasonik Dönüştürücülerde Yakın Alan Hesabı

Bu bölümde, ultrasonik dönüştürücülerin çalışma prensibi ve oluşturduğu ses alanının hesaplamalarına yer verilecektir. Ultrasonik dönüştürücülerden yayılan dalga Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Önceki bölümde bahsedildiği gibi ses dalgaları bir basınç dalgasıdır ve bu dalga $p(x,t)$ ile gösterilmek üzere (3.3)'deki dalga denklemini sağlar. 't' zamanı, 'x' konumu, 'w' açısal frekansı ve " $p(x,t)$ " zamanda pozitif yönde ve konumda hareket eden zaman-harmonik ultrasonik dalgayı göstermek üzere, dalga denklemini çözmek için (3.4)'deki dalga önerilmiştir.

$$\frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial x^2} \quad (3.3)$$

$$p(x, t) = u(x)e^{-j\omega t} \quad (3.4)$$

Bu dalga denkleminin zamana göre türevi alındığında;

$$\frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial t^2} = (-j\omega)^2 u(x)e^{-j\omega t} = -\omega^2 u(x)e^{-j\omega t} \quad (3.5)$$

elde edilir. (3.3) denkleminde zaman türevi yerine (3.5)'deki eşiti yazılırsa $e^{-j\omega t}$ terim türevden aynen çıkacağı için eşitliğin iki tarafındaki terimler birbirini götürür ve $\omega/c = k$ dalga sayısı olmak üzere (3.6)'daki denklem elde edilir.

$$\frac{\partial^2 u(x)}{\partial x^2} = -\frac{\omega^2}{c^2} u(x) = -k^2 u(x) \quad (3.6)$$

(3.6)'yı sağlayacak $u(x)$ 'in eşiti (3.7) olup u_+ ve u_- karmaşık katsayıları dalganın ilk durumuna ve sınır koşullarına göre değer alır.

$$u(x) = u_+ e^{-jkx} + u_- e^{jkx} \quad (3.7)$$

Bu dalga modeline göre dalganın geliş yönüne göre bir terim yok edilir. Kaynağın $(-\infty \rightarrow \infty)$ yönde yayın yaptığını varsayarsak $u_+ e^{-jkx}$ terimi yok edilir ve ultrasonik dalganın son hali (3.8)'deki gibi elde edilir.

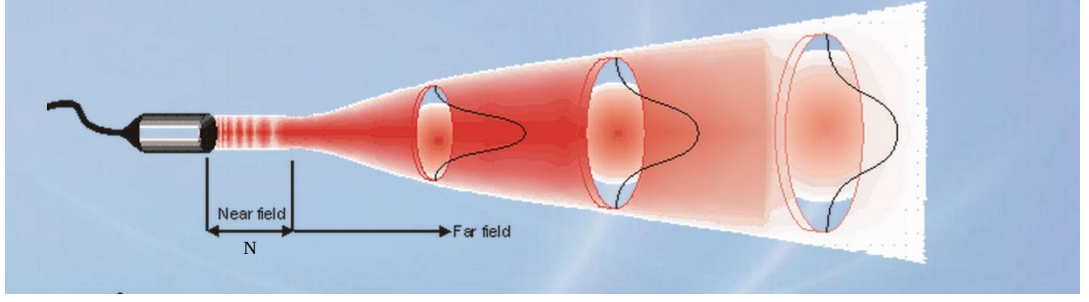
$$p(x, t) = u_- e^{j(kx - \omega t)} \quad (3.8)$$

Kartezyen koordinatlarda yazılan dalga denklemini küresel koordinatlarda yazacak olursak;

$$p(r, t) = \frac{u_-}{r} e^{j(kr - \omega t)} \quad (3.9)$$

dır.

Buna göre, kaynaktan çıkan ultrasonik dalganın ilk genliği u_- olmak üzere, ilerledikçe kaynaktan uzaklığı 'r' ile orantılı olarak genliği azalır. Bu noktada, dalganın basınç değerini incelemek için iki alana ayrılır. $kr \gg 1$ yani $r \gg \lambda/2\pi$ olduğu mesafe uzak alan olarak adlandırılır. Yakın alan ise, $r \ll \lambda/2\pi$ olarak ifade edilir [18].



Şekil 3.1: Ultrasonik dönüştürücüden dalga yayılımı

Yakın alanda ultrasonik dönüştürücüden yayılan dalgalar yüksek genlikte bulunur. Bu alanda dalgalar bir tepe ve bir çukurdan oluşmak üzere en son tepenin bulunduğu noktaya "yakın alan mesafesi" (N) adı verilir. Bu nokta ayrıca Fresnel bölgesi olarak da adlandırılmaktadır. Bu nokta yakın alanda dalgaların yoğunlaştığı mesafedir [19]. N, (3.10)'deki denklem ile D, dönüştürücünün çapı olmak üzere hesaplanır.

$$N = \frac{D^2}{4\lambda} \quad (3.10)$$

(3.10)'deki denklemde λ yerine (3.1)'deki eşitlik getirilerek yakın alan mesafesi frekans ve dalganın hızı cinsinden (3.11)'deki şekilde yazılabilir.

$$N = \frac{D^2 f}{4c} \quad (3.11)$$

Yakın alan mesafesini bulduktan sonra dönüştürücüyü tanımlamak için ses huzmesinin diğer parametreleri de kullanılabilir. Bunlardan ikisi huzme çapı (Beam Diameter-BD) ve odak bölgesidir (Focal Zone-F_Z).

- 6 dB darbe yankısı huzme çapına göre dönüştürücünün hassasiyeti belirlenir. Daha küçük huzme çapı, geri yansıyan daha yüksek enerji demektir. F, odak uzaklığı olmak üzere, bu uzaklık dönüştürücünün tipine göre dönüştürücünün odak uzaklığıdır. Düz yüzeyli dönüştürücülerde (Flat transducers) bu mesafe yakın alan mesafesine eşittir. Bu çalışmada kullanılacak olan dönüştürücüler de düz yüzeyli dönüştürücülerdir. Buna göre, [19]'da verildiği gibi huzme çapı (3.12)'deki denklem ile bulunur.

$$BD(-6 \text{ dB}) = \frac{1.02Fc}{fD} \quad (3.12)$$

$$F_Z = N * S_F^2 \left[\frac{2}{1 + 0.5 S_F} \right] \quad (3.13)$$

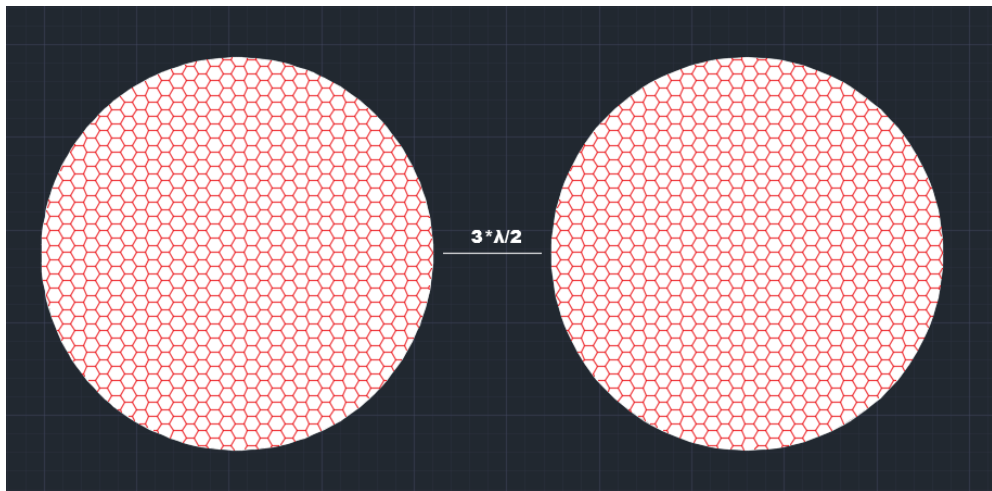

Böylece, bir ultrasonik dönüştürücünün çalışma parametreleri belirlenmiştir. Çalışmada bu parametreler kullanılmıştır.

3.2. Ultrasonik Dönüştürücü Dizileri

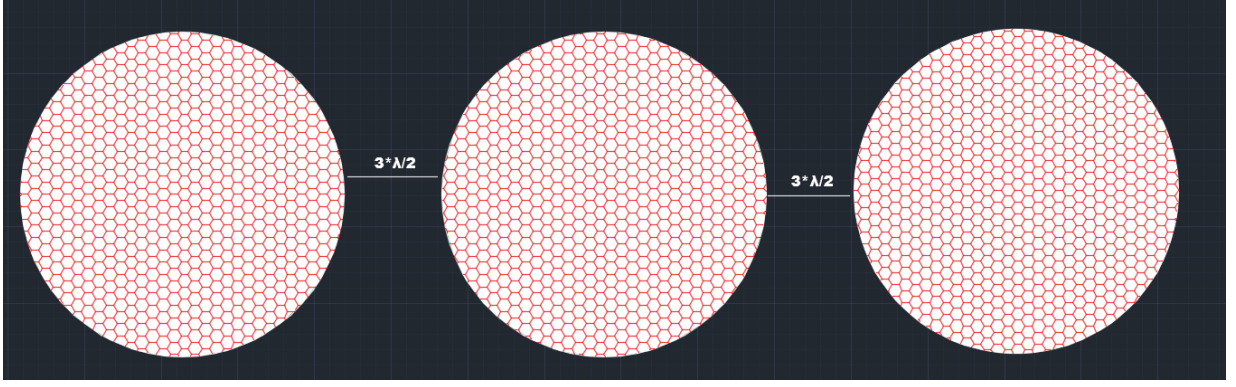
Ultrasonik dönüştürücüden yayılan ses dalgasının bir noktada daha yüksek güç odaklayabilmesi için birden fazla ultrasonik dönüştürücü kullanılır. Bu dönüştürücülerin sistematik olarak yerleştirilmesi ile bir takım diziler elde edilmiştir. Odaklanabilecek en yüksek güç değeri dönüştürücünün yakın alan mesafesinde elde edilir. Yakın alan mesafesi (3.4)'deki denkleme göre frekansa ve dönüştürücünün çapına bağlı bulunur. Buna göre, oluşturulacak diziler kullanılacak dönüştürücünün tipine ve çalışma frekansına göre farklı noktalarda odaklanır ve buna göre de ölçüm noktasının değişmesi gerekmektedir.

İlk olarak, 400st100 ve 400st160 dönüştürücüsüne ait diziler belirlenecektir. Bu iki ultrasonik dönüştürücünün çalışma frekansı 40 kHz olup, yayın yaptıkları açıklığın çapları sırayla 7,7 mm ve 13 mm'dir. Buna göre elde edilecek yakın alan mesafeleri (3.4) ile bulunur. İki dönüştürücü içinde yakın alan uzaklığı ölçüm yapılamayacak kadar dönüştürücünün yakınındadır.

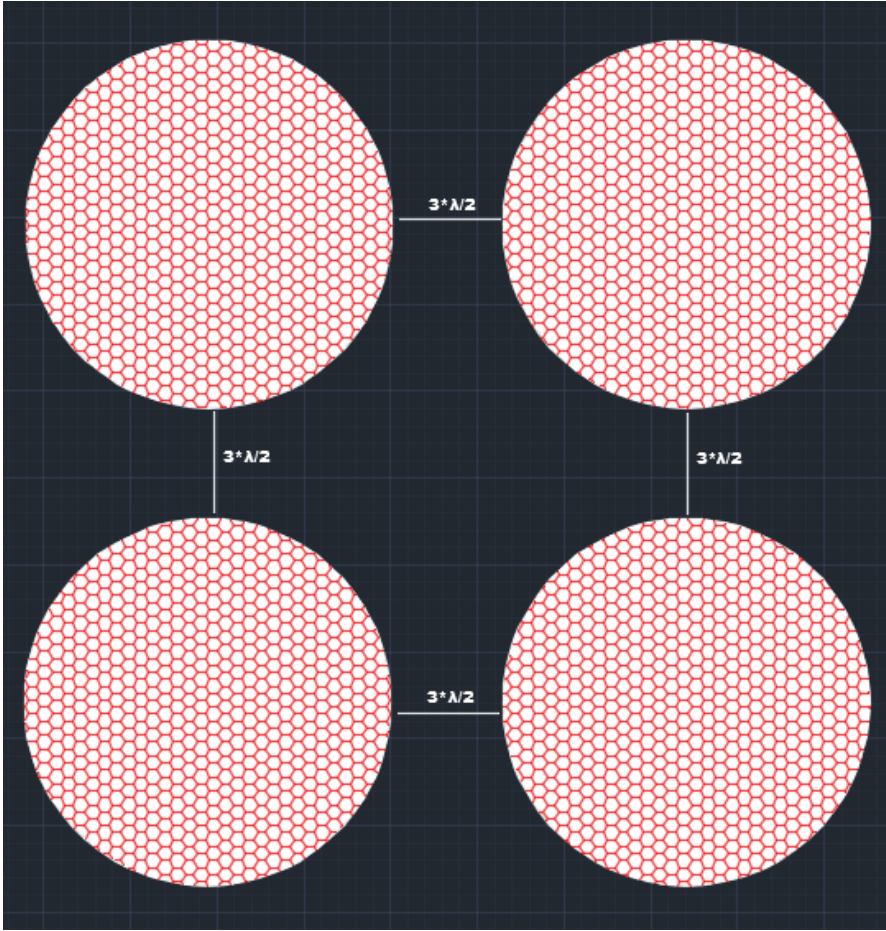
Dizi modelleri olarak öncelikle bu mesafelerden tek başına yayın yapan dönüştürücü dalgası ölçülmüştür. Sonrasında iki dönüştürücü arasında $\lambda/2$ 'nin tek katlarında mesafe bırakılarak yerleştirilecektir. Bu dizi modelleri Şekil 3.4-3.5-3.6-3.7'de gösterilmiştir. Bu diziler düz bir yüzü üzerinde kurulmuştur ve bu düzleme dik bir düzlemde yukarda bahsedilmiş mesafelerden ölçülmüştür.



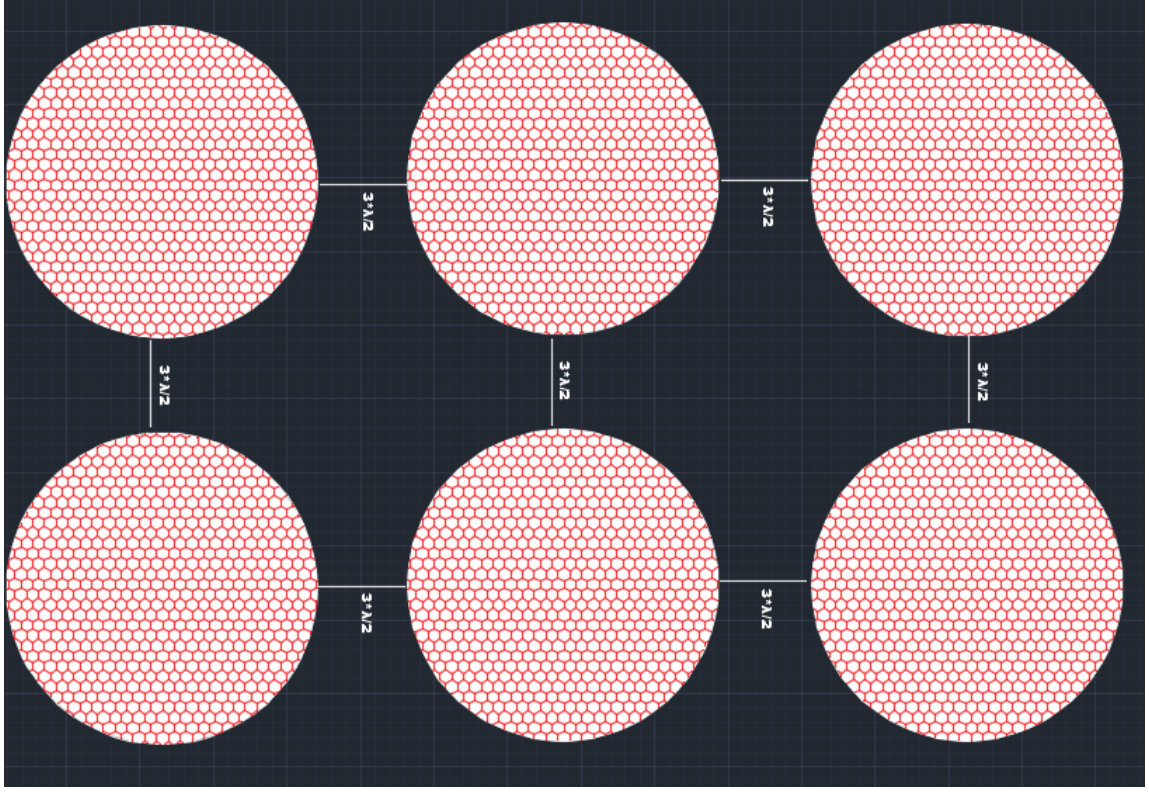
Şekil 3.4: İkili Dönüştürücü Dizisi



Şekil 3.5: Üçlü Dönüştürücü Dizisi



Şekil 3.6: Dörtlü Dönüştürücü Dizisi



Şekil 3.7: Altılı Dönüştürücü Dizisi

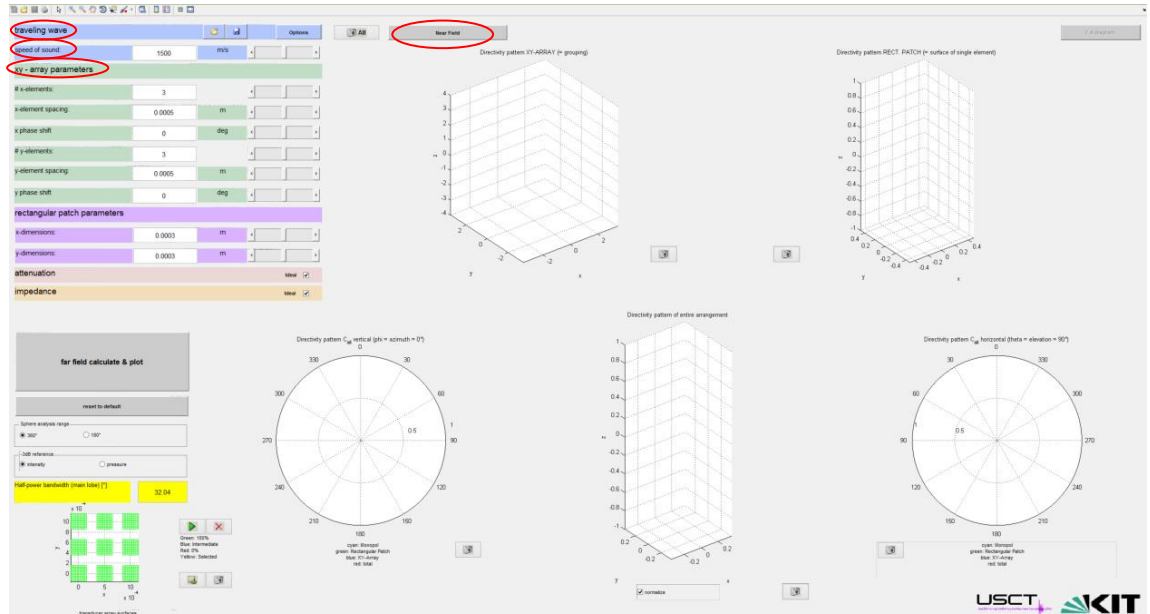
İkinci bir düzenek de 90-4050-60 dönüştürücüleri için kurulmuştur. Bu dönüştürücülerin çalışma frekansı sıra ile 40-80 KHz ve çapları da 45 mm ve 40 mm'dir. Bu değerlere göre elde edilecek yakın alan mesafeleri sırayla, 59-94 mm olarak bulunur. Bu dönüştürücüler için dizi yapılmamıştır. Onun yerine yakın alan mesafelerine göre bir takım ölçümler alınmıştır.

Bu dönüştürücü dizilerin Matlab sonuçları dördüncü bölümde; gerçek ölçümleri beşinci bölümde verilmiştir.

4. MATLAB UYGULAMALARI

Bu bölümde, ultrasonik dönüştürücü dizileri gerçeklemeden önce MATLAB-TAC programı kullanarak oluşturacağı alan elde edilmeye çalışılmıştır. Programın kullanılmasının amacı ideal ortamda oluşturulacak ultrasonik dizilerin huzme modellerini ve oluşan ses dalgası alanını elde etmektir. Bu program sayesinde, ultrasonik dönüştürücü dizileri gerçeklemeden önce ortam ve dönüştürücü parametreleri belirlenerek sistemin ne kadar verimli çalıştığı görülebilmektedir. Böylelikle, istenen sonuçları elde edebilmek için en uygun ortam ve dizi yapısı belirlenebilir. Ayrıca, programın kullanımı kolay olduğu için bu tez çalışmasında tercih edilmiştir.

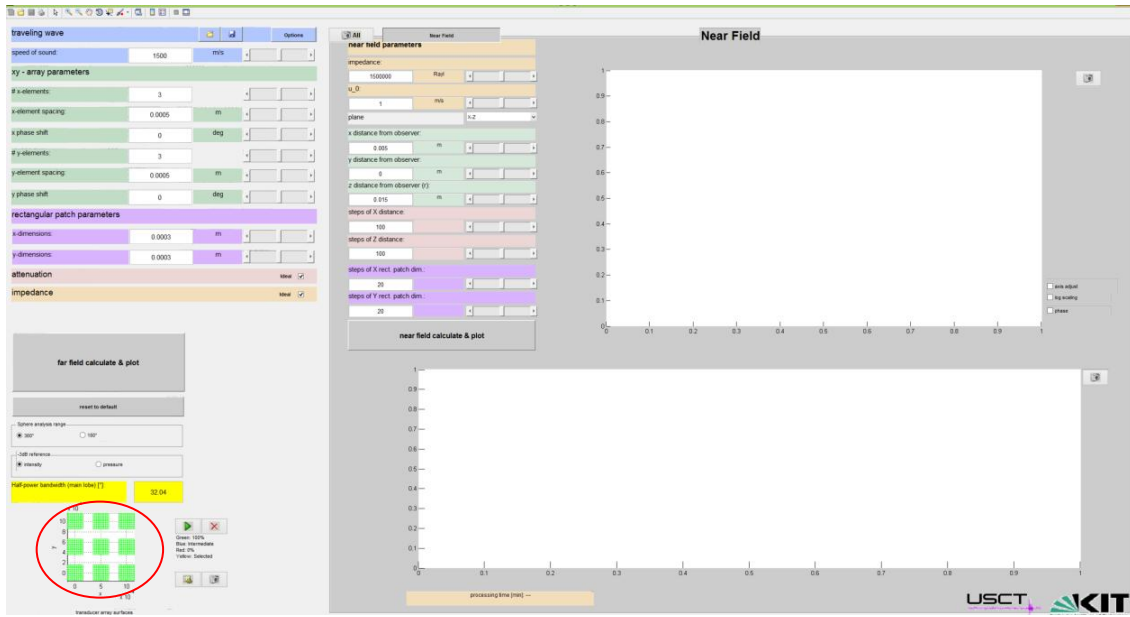
Program Şekil 4.1'deki ara yüzü kullanmaktadır.



Şekil 4.1: Matlab TAC uzak alan hesabı

Burada iki çeşit hesaplama yapılmaktadır. Birincisi ekranda gördüğünüz uzak alan hesabıdır. Uzak alan hesabında, oluşturulan dizinin yayınladığı dalganın huzme modeli elde edilir ve bu hesaplamada dalga huzmeleri yaklaşık olarak bulunur fakat ses alanına ait herhangi bir sayısal değer elde edilmez.

İkinci alan hesabı ise, Şekil 4.2'de görüldüğü gibi yakın alan hesabıdır. Çalışmada asıl değerlendirilecek alan bu yakın alan hesabıdır çünkü uzak alan hesabının tersine bu hesaplamalarda herhangi bir yaklaşık değer alınmamıştır. Öncelikle, "Travelling wave" kısmından istenilen dalga şekli girilerek dönüştürücülerin oluşturacağı dalga tipi belirlenir. Sonrasında, dalganın yayıldığı ortama göre ortamın özellikleri dalganın yayılma hızı, empedansı yazılır. Son olarak da, istenilen dizi biçimi için dizi parametreleri "xy-array parameter" kısmından girilir. Dizinin dönüştürücü sayısı, aralarındaki mesafeleri, dönüştürücünün büyüklüğü "xy-array parameter" kısmından ayarlanıp Şekil 4.2'de kırmızı daire içerisinde gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Matlab TAC yakın alan hesabı

Şekil 4.2'de kırmızı daire içerisinde gösterildiği gibi bu dönüştürücüler yuvarlak değil kareseldir, fakat kullanılacak dönüştürücüler dairesel olacağı için aynı yüzey alanını vermek üzere dairesel alanı karesel alana uygun bir şekilde (4.1)'deki gibi çevrilir.

$$\pi r^2 = x^2 \quad (4.1)$$

Böylece hesaplanacak alan istenilen dönüştürücünün oluşturacağı alan ile aynı olacaktır. Yakın alan hesabının doğru yapılabilmesi için ortamın empedansının, gözlem mesafesinin ve diğer parametrelerin düzgün seçilmesi gerekmektedir. Bu değişiklikler, Şekil 4.3'deki parametrelerde empedans değeri havanın empedansına eşit olacak ve diğer parametreler probleme uygun olarak yapılmıştır. Bu

parametrelerin neye göre seçildiğini ve bu uygulamanın nasıl programlandığından bir alt bölümde bahsedilmiştir.

The screenshot shows a software window titled 'Near Field' with a tab labeled 'All'. Below the title bar, there is a section titled 'near field parameters'. The parameters are organized into several rows, each with a text label, a numerical input field, a unit dropdown, and a directional arrow. The parameters are: impedance (340000, Rayl), u_0 (1, m/s), plane (X-Z), x distance from observer (0.035, m), y distance from observer (0, m), z distance from observer (r) (0.28, m), steps of X distance (150), steps of Z distance (150), steps of X rect. patch dim. (1), and steps of Y rect. patch dim. (1). At the bottom of the window is a button labeled 'near field calculate & plot'.

Şekil 4.3: Yakın alan parametreleri

4.1. Matlab_TAC Algoritması

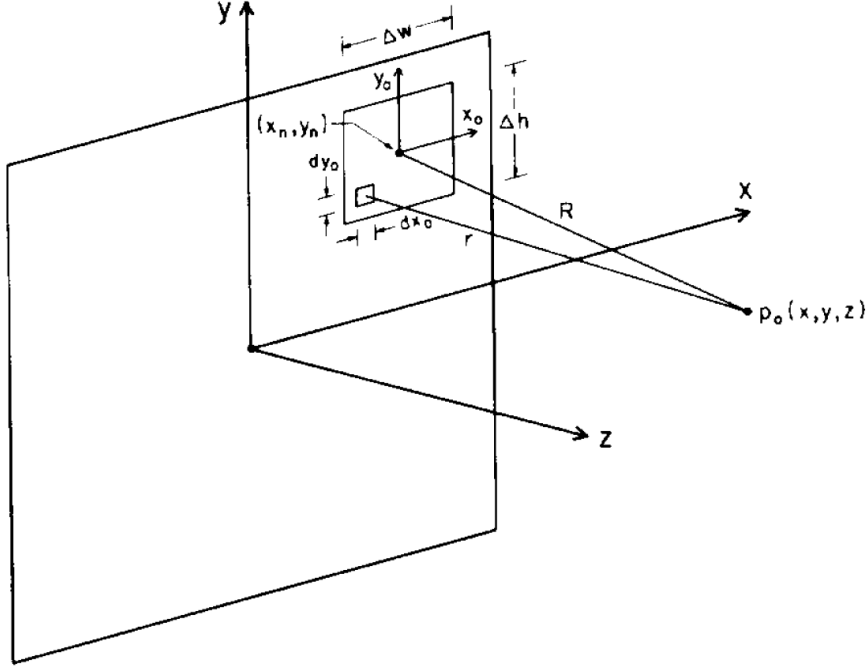
Bu uygulama, 1989'da K.Ocheltree tarafından yayınlanmış bir makaleye göre tasarlanmıştır [20]. Bu bölümde, kullanılan bu algoritma anlatılmıştır. Öncelikle, bu çalışmalar karesel bir dönüştürücünün bir noktada veya bölgede oluşturacağı alana ait ifadelerdir.

Ses kaynağından çıkan sesin bir noktada oluşturduğu ses basınç alanının genliği, p_0 , (4.2)'deki gibi bulunur [20].

$$p_0 = \frac{j\rho c}{\lambda} \int_S u \frac{e^{-(\alpha - jk)r}}{r} dS \quad (4.2)$$

Bu integral k dalga sayısı, c ses hızı, α sönümlenme katsayısı ve r alan noktası ile ışıyan yüzeyin arasındaki uzaklık olmak üzere, ışıyan bölgenin yüzey alanı S, üzerinden alınır. Bu yüzey alanı karesel olup bunun için $S=\Delta A$ olarak değişken değiştirilmiştir. Şekil 4.4de gösterildiği gibi bu yüzeyi en de ve boyda N parçaya bölerek integrali sayısal hale getirecek olursak (4.3) elde edilir [20].

$$p_0 = \frac{j\rho c}{\lambda} \sum_{n=1}^N u_n \int_{-\Delta h/2}^{\Delta h/2} \int_{-\Delta w/2}^{\Delta w/2} \frac{e^{-(\alpha-jk)r}}{r} dx_0 dy_0 \quad (4.3)$$



Şekil 4.4: Kaynak Geometrisi

r uzaklığı (4.4), R uzaklığı ise (4.5) ile ifade edilmiştir. (4.5)'de $(x-x_n)=x'_n$ ve $(y-y_n)=y'_n$ yazılarak yeni bir şekil alır. $R \gg x_0$ ve $R \gg y_0$ olup, $R/r \approx 1$ 'e durumu ortaya çıkar ve buna göre üstel terim düzenlenerek en son (4.6) daki ses basınç alanı elde edilir [20].

$$r = \sqrt{z^2 + (x - x_n - x_0)^2 + (y - y_n - y_0)^2} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{z^2 + (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2} \\ &= \sqrt{z^2 + x_n'^2 + y_n'^2} \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} p_0 &= \frac{j\rho c}{\lambda} \sum_{n=1}^N \frac{u_n}{R} \frac{e^{-(\alpha+jk)R}}{R} \cdot \int_{-\Delta h/2}^{\Delta h/2} \exp\left((\alpha+jk) \frac{x_n' x_0}{R}\right) dx_0 \\ &\quad \cdot \int_{-\Delta w/2}^{\Delta w/2} (\alpha+jk) \frac{y_n' y_0}{R} dy_0 \end{aligned} \quad (4.6)$$

Bu denklem çözülürken bir takım kabuller yapılmıştır. Bunlara göre de bazı koşullar ortaya çıkmıştır. Bu koşul, z, z doğrultusundaki mesafe, F ayırıklaştırma katsayısı olup, Δw ve Δh için (4.7)'de verilmiştir [20].

$$\Delta w \leq \sqrt{\frac{4\lambda z}{F}} \quad (4.7)$$

Bu koşula göre programda birkaç katsayı değiştirilerek (4.6)'daki denkleme göre istenilen ses basınç alanı oluşturulur. Ayrıca bu koşulla, elde edilecek yakın alan mesafesi frekanstan bağımsız hale gelmiştir[20].

4.2. Matlab Sonuçları

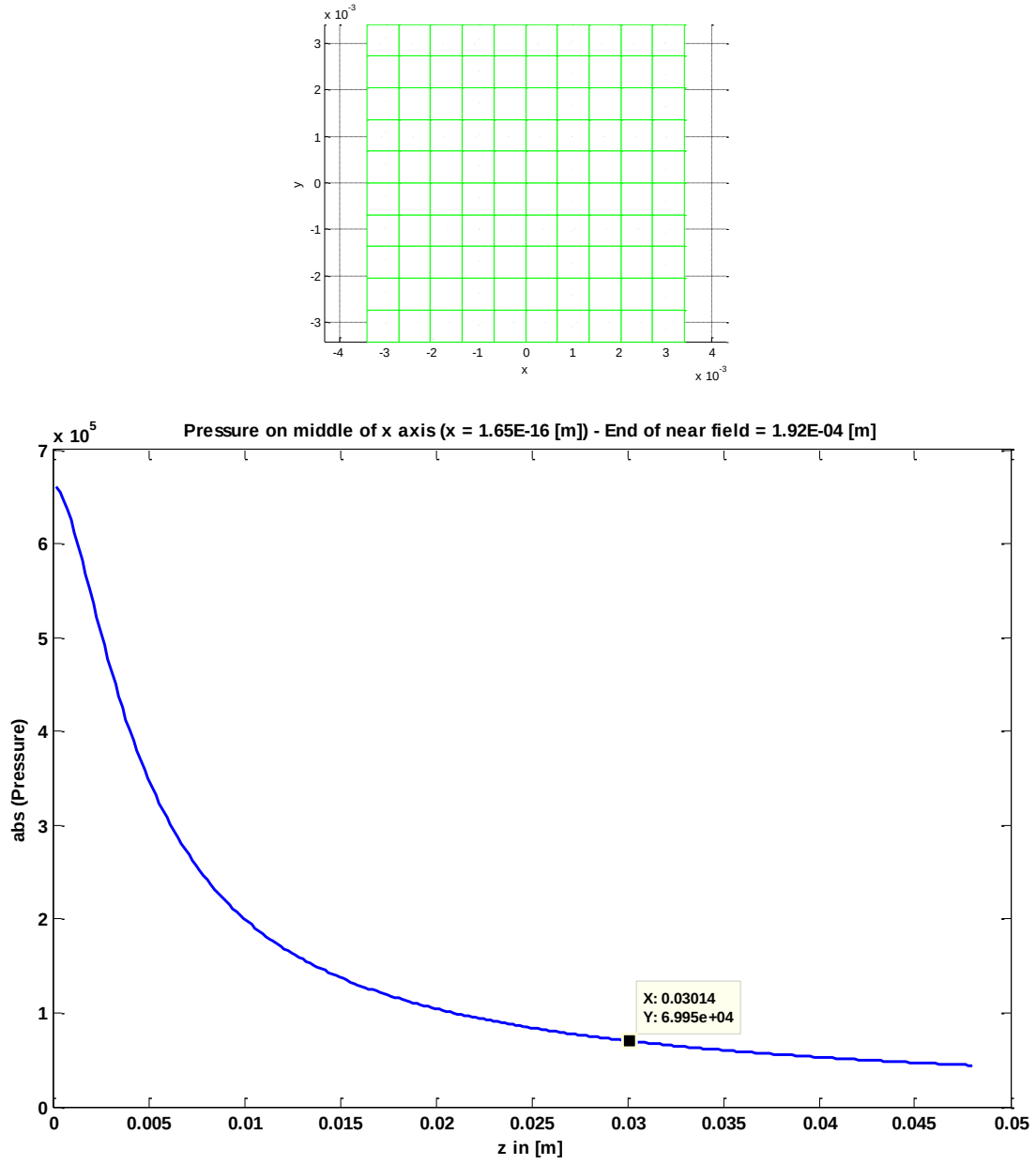
Kullanılacak dönüştürücülerin ilgili parametreleri aşağıdaki Çizelge-1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Ultrasonik dönüştürücünün parametreleri

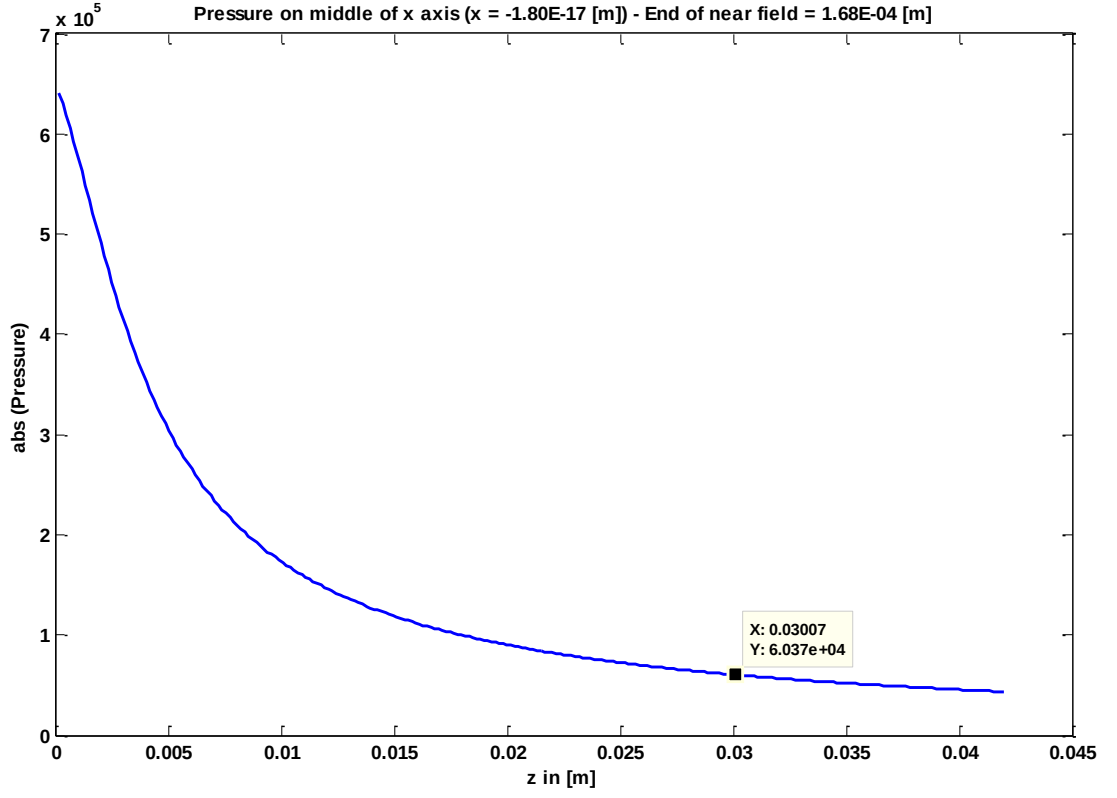
Dönüştürücü Modeli	Devre	c(m/s)	f (KHz)	D (mm)	λ (mm)	N (mm)
400st100	1. Devre	340	43	7,70	7,91	1,87
400st100	2. Devre	340	37	7,70	9,19	1,61
400st160	1. Devre	340	43	13,00	7,91	5,34
400st160	2. Devre	340	48	13,00	7,08	5,96
Apc90-4050	3. Devre	340	40	45,00	8,50	59,56
Apc90-4060	3. Devre	340	80	40,00	4,25	94,12

400st100 ve 400st160 dönüştürücülerinin, Çizelge 4-1'deki sıra ile ilgili parametreleri programa girilmiştir. Fakat grafiklerde elde edilecek yakın alan uzaklıkları frekanstan bağımsız olacağı için Çizelge 4-1'deki değerler ile aynı olamayabilir.

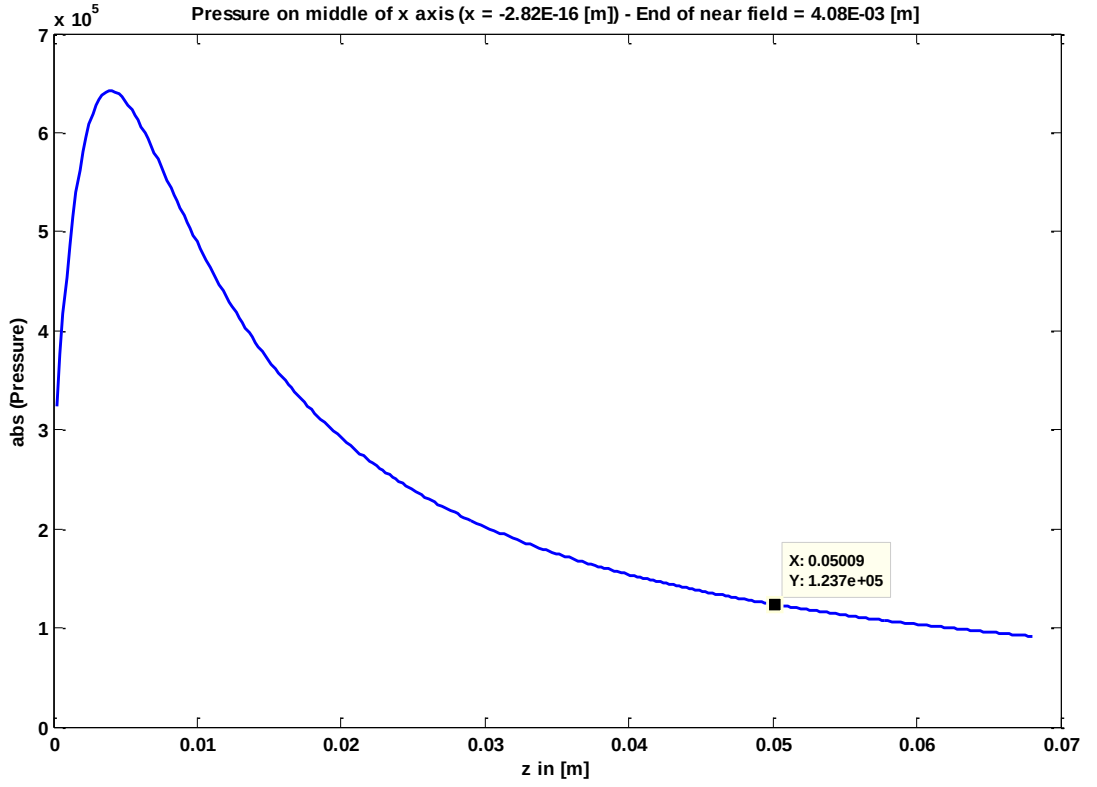
İlk olarak, dönüştürücüler tek olarak ölçülmüştür ve Şekil 4.4-4.7'deki sonuçlar elde edilmiştir. Burada, gerçekte ölçüm yapılacak noktalara göre sonuç değerleri grafiklerde belirtilmiştir.



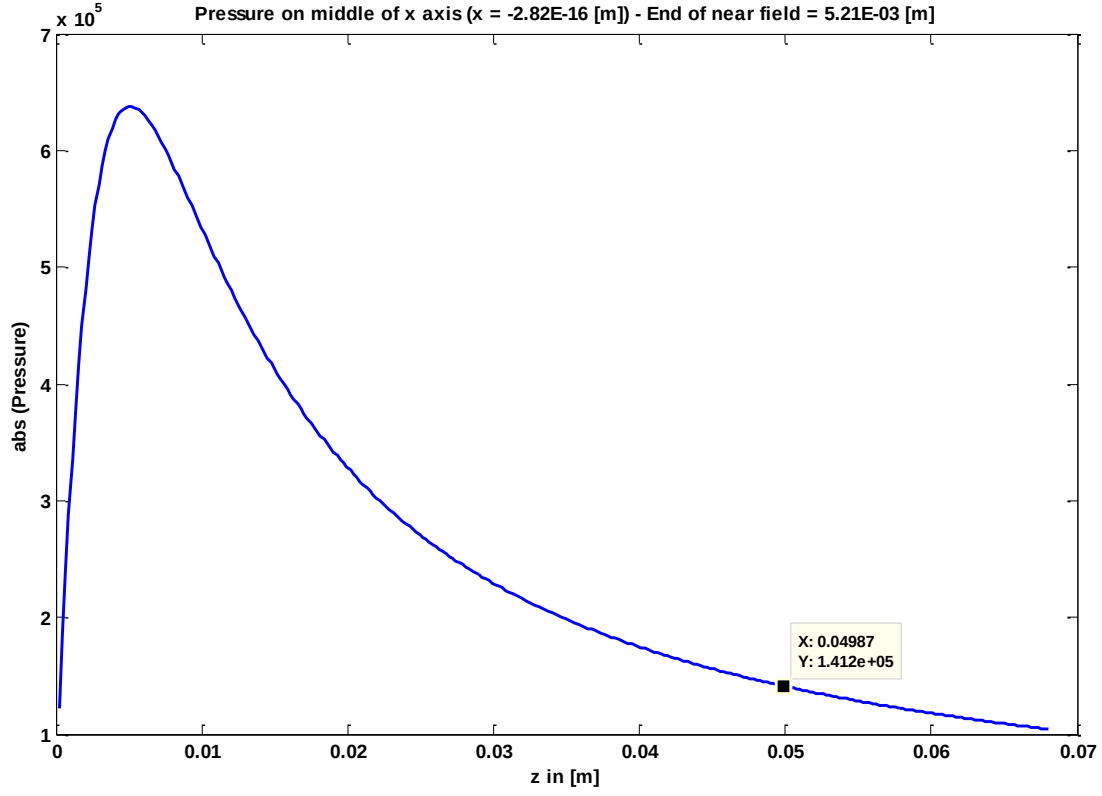
Şekil 4.5: 400st100 dönüştürücüsü 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği



Şekil 4.6: 400st100 dönüştürücüsü 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği

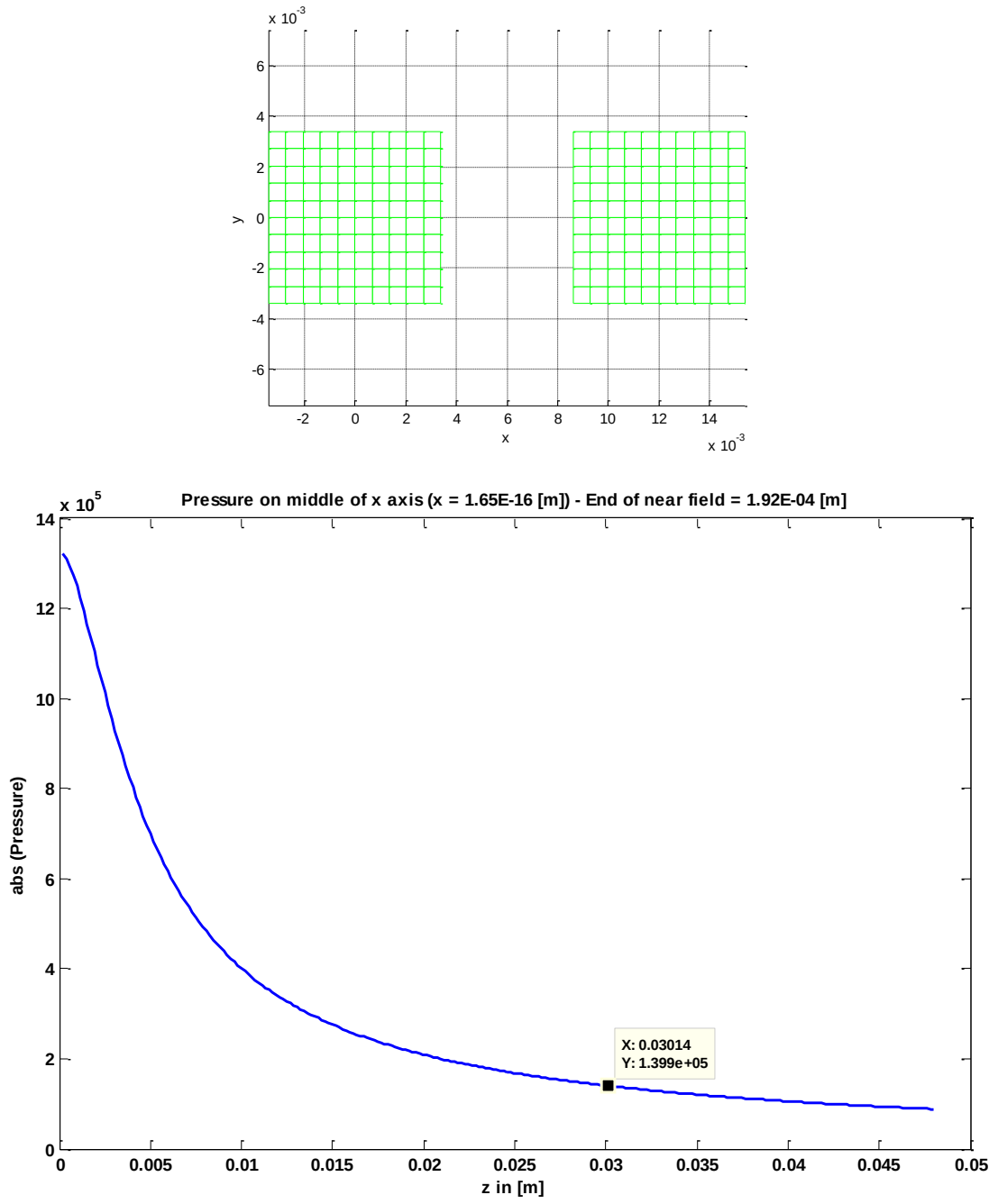


Şekil 4.7: 400st160 dönüştürücüsü 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği

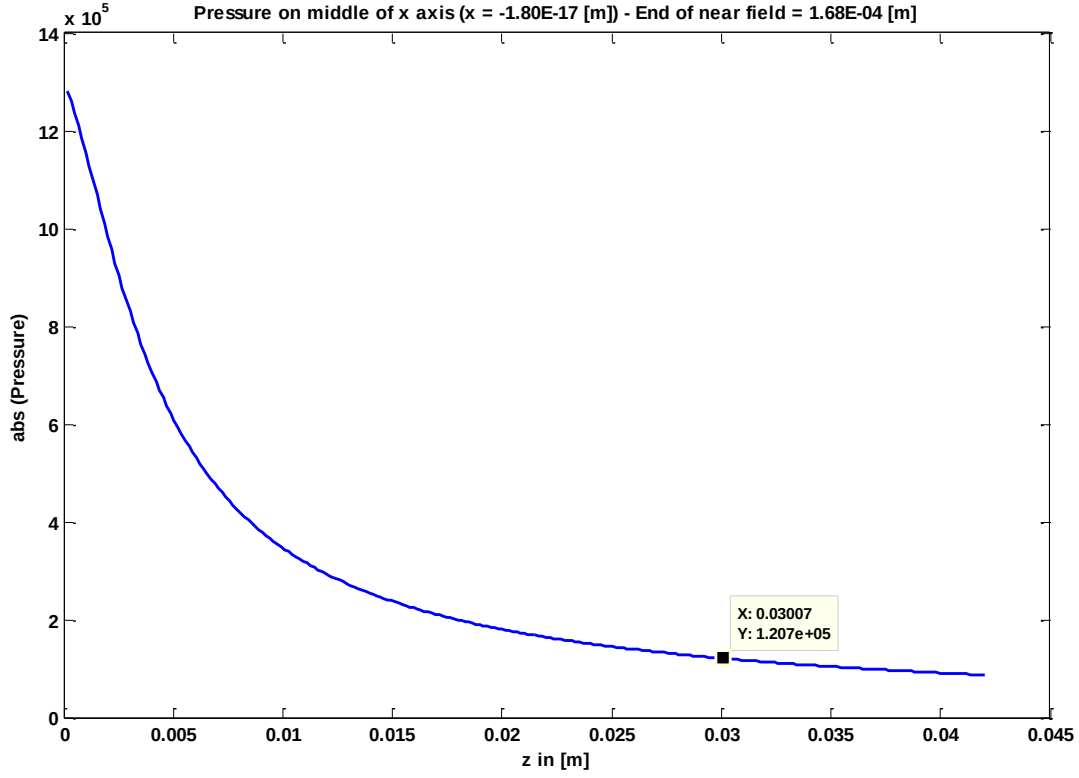


Şekil 4.8: 400st160 dönüştürücüsü 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği

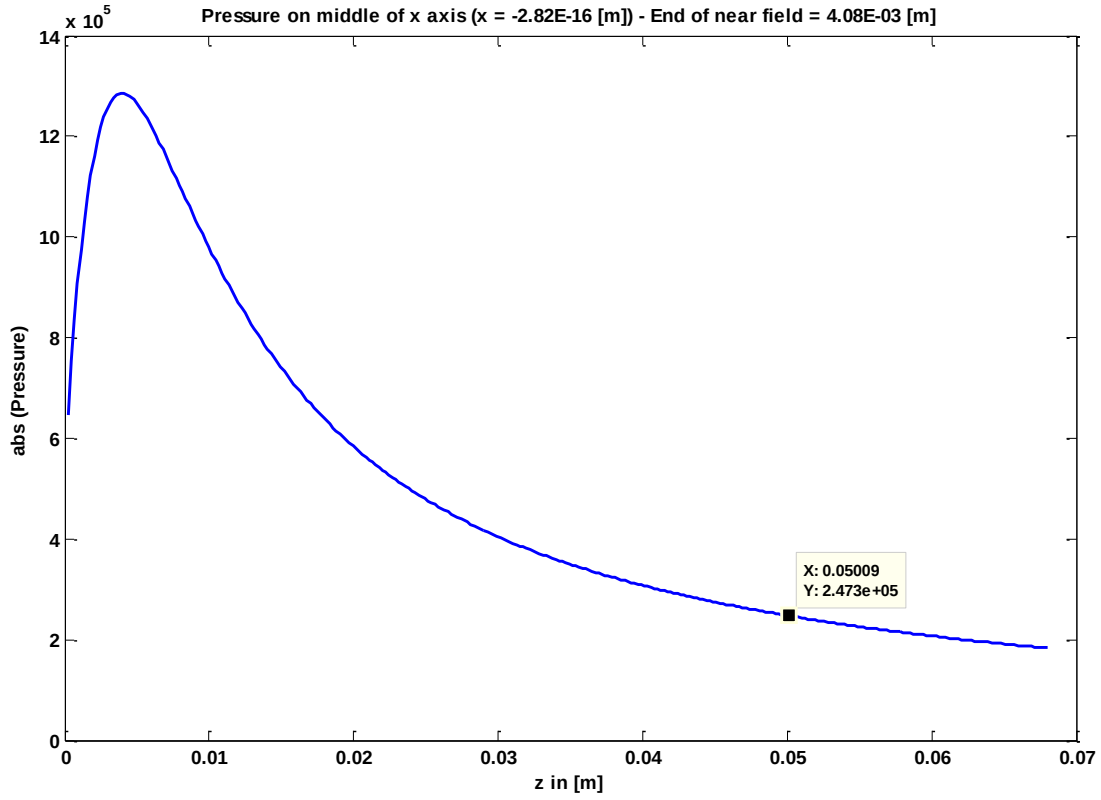
Aynı dönüştürücü modelinin ikisi yan yana yerleştirildiğinde aynı frekans değeri için Şekil 4.9-4.12'deki grafik elde edilir. Aynı dizi için dönüştürücülerin gerçekte seri bağlandığını düşünürsek benzetim ortamında dalgaların genliklerinin yarıya düşmesi gerekir. Bunun için bir sonraki adımda, aynı dizinin dönüştürücü genlikleri yarıya indirilerek ses genliği Şekil 4.13-4.16'da verilmiştir.



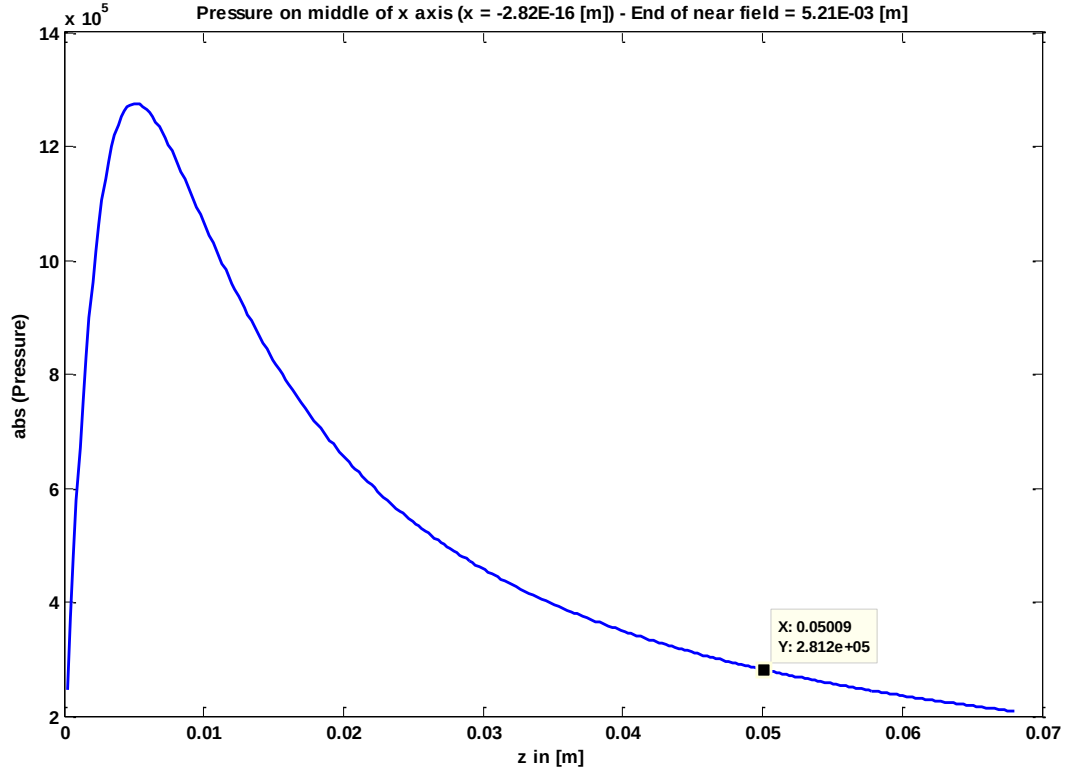
Şekil 4.9: 400st100 ikili dizisi 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği



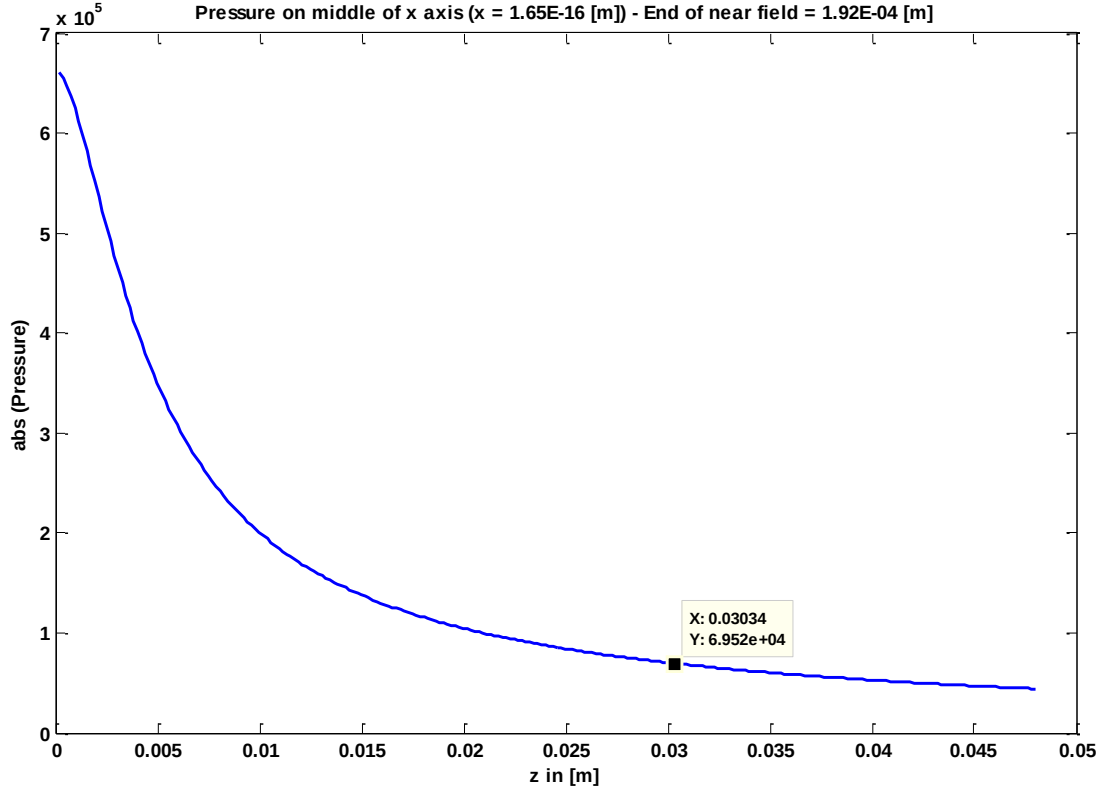
Şekil 4.10: 400st100 ikili dizisi 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği



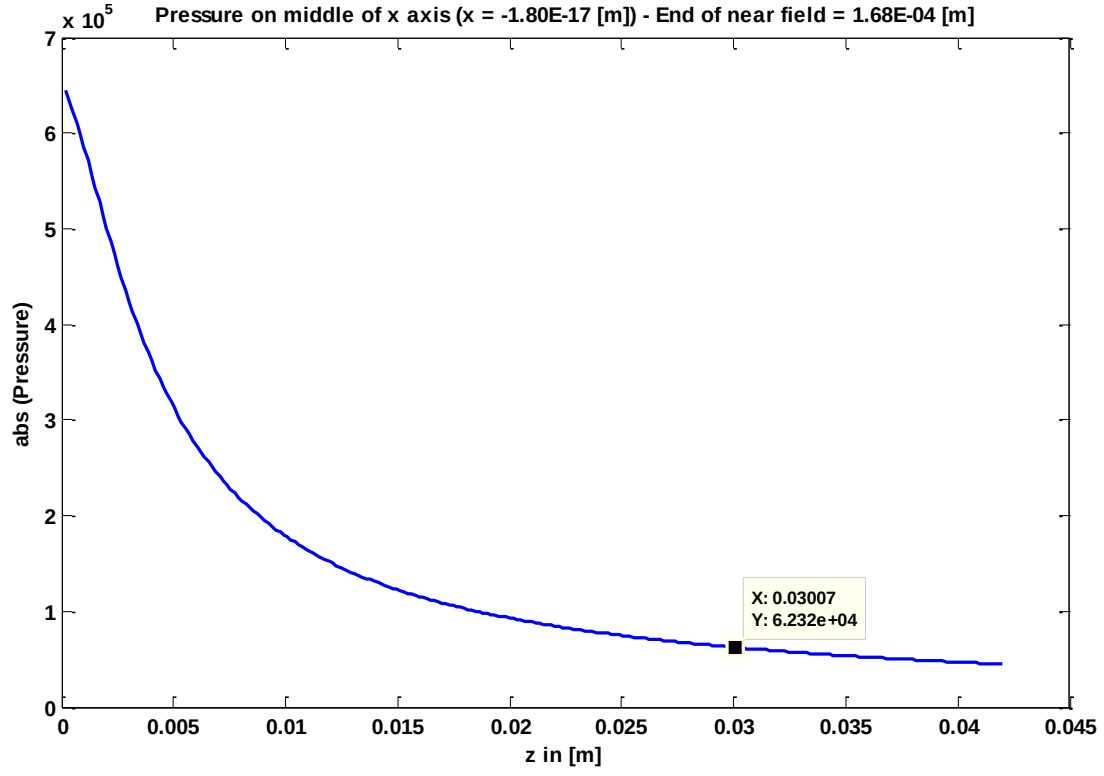
Şekil 4.11: 400st160 ikili dizisi 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği



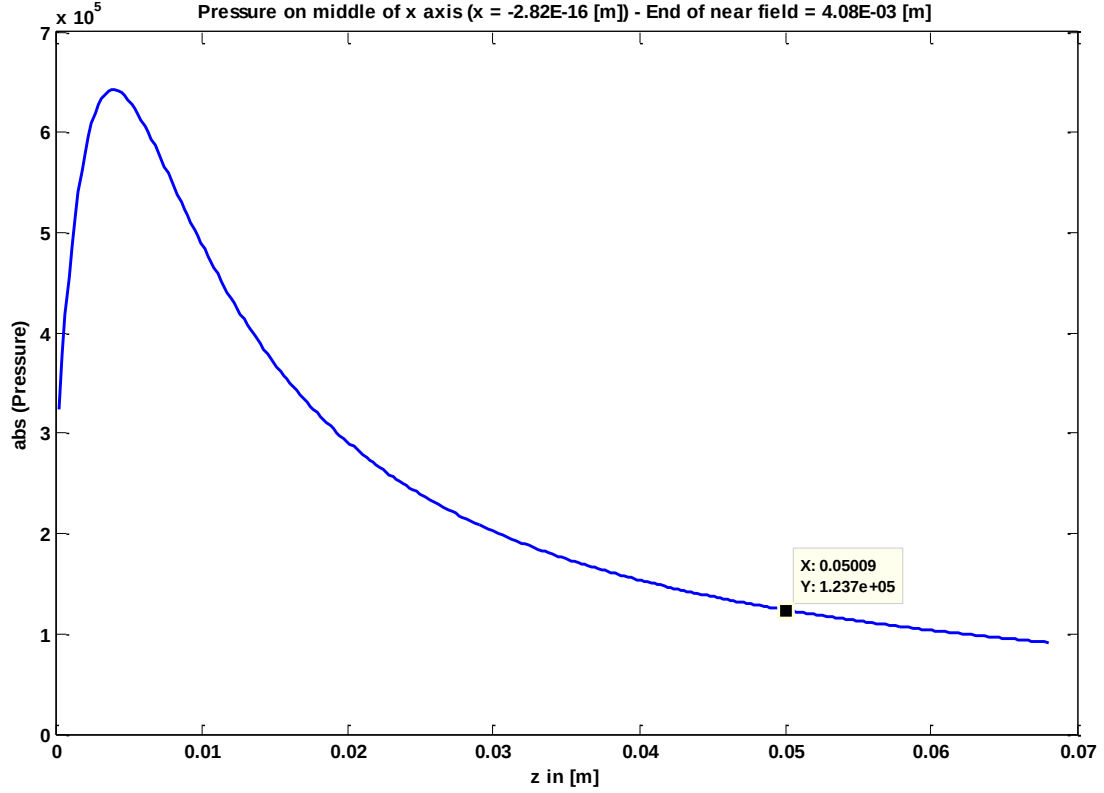
Şekil 4.12: 400st160 ikili dizisi 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturduğu ses alanının genliği



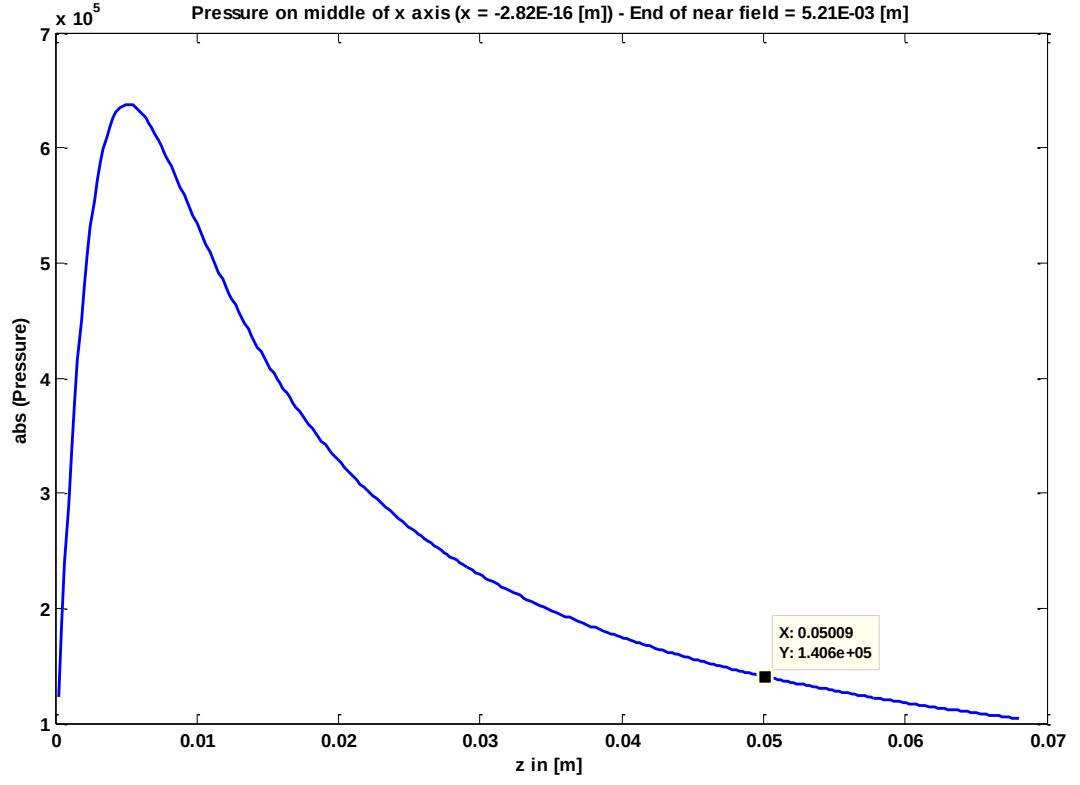
Şekil 4.13: 400st100 ikili dizisinin ses genliği yarıya indirilerek 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği



Şekil 4.14: 400st100 ikili dizisinin ses genliği yarıya indirilerek 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği

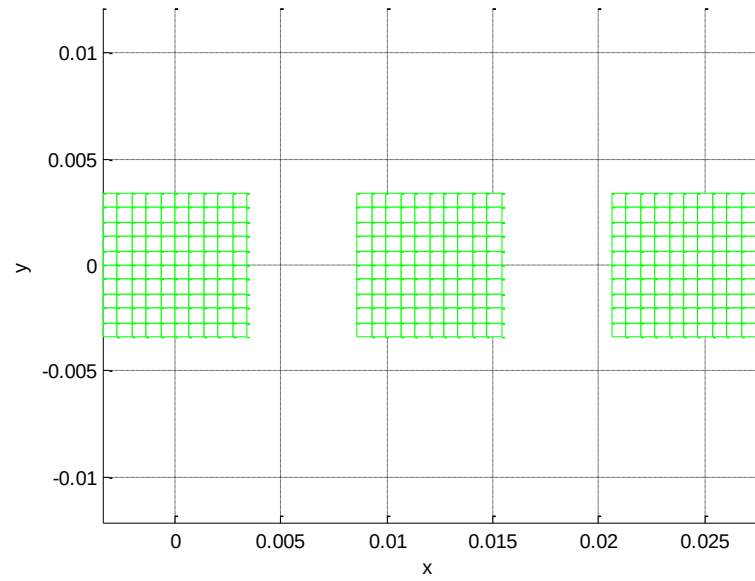


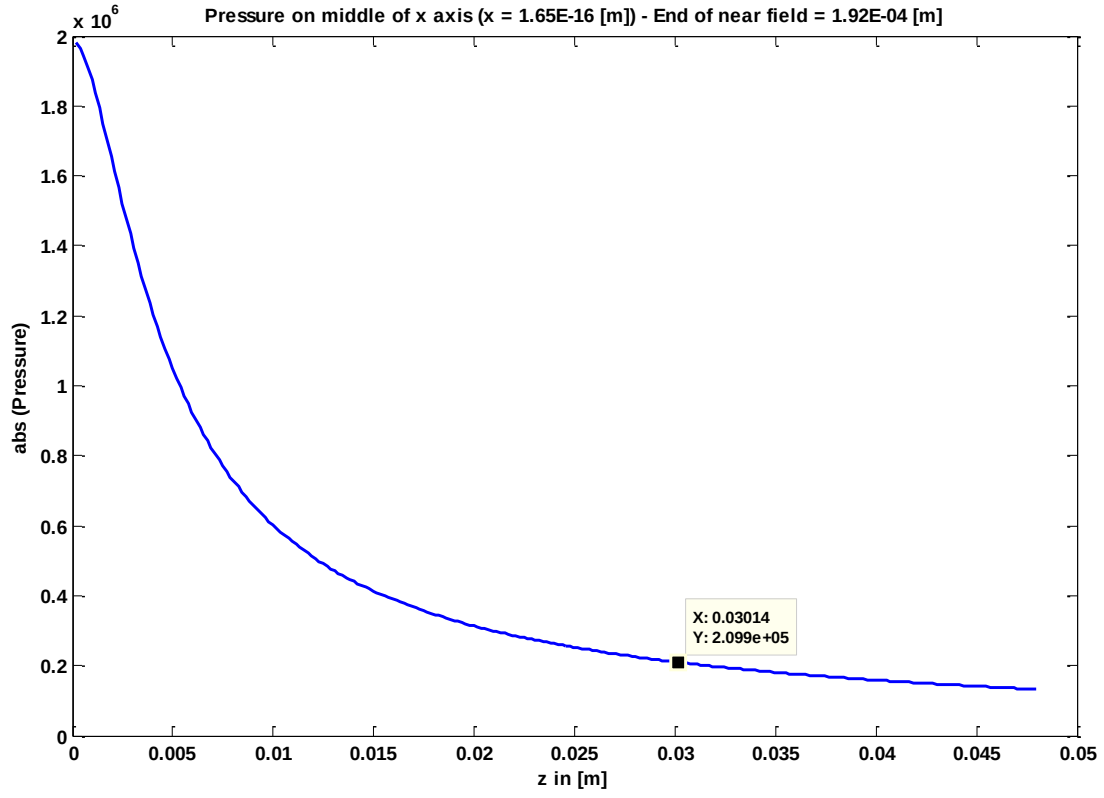
Şekil 4.15: 400st160 ikili dizisinin ses genliği yarıya indirilerek 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği



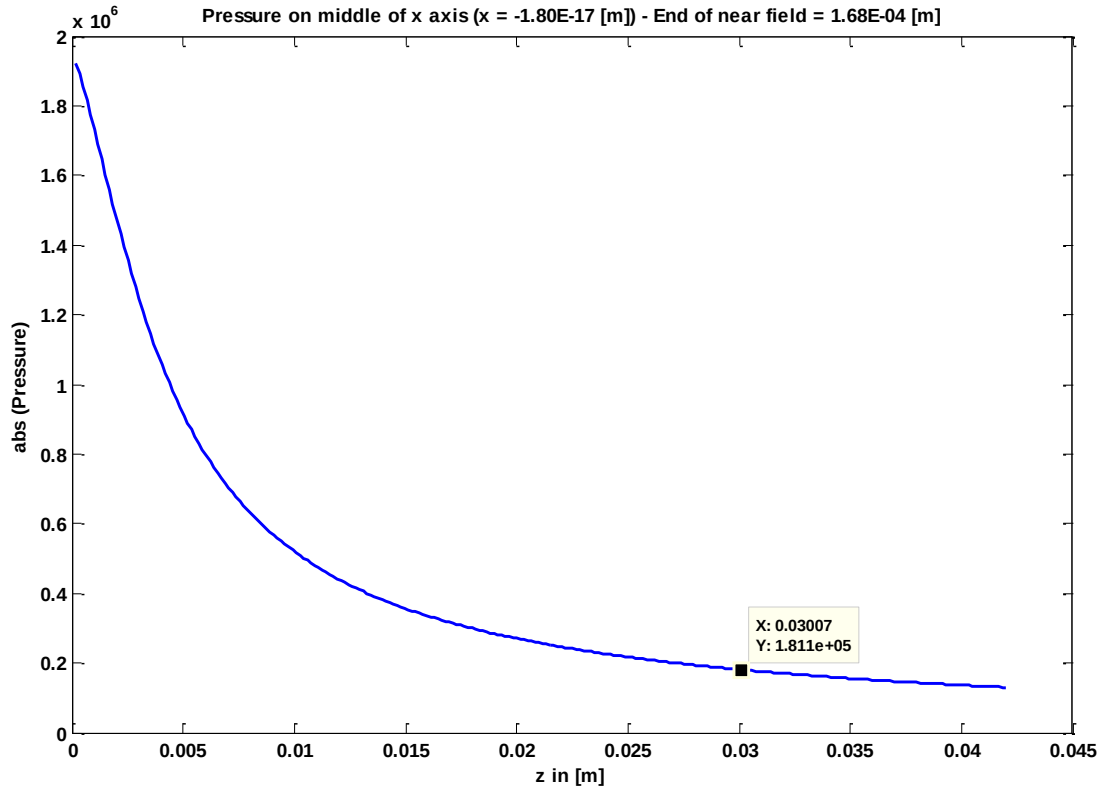
Şekil 4.16: 400st160 ikili dizisinin ses genliği yarıya indirilerek 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği

Bir sonraki dizi modeli ise, aynı model üç dönüştürücünün yan yana konularak analizinin yapılması ile Şekil 4.17-4.20'daki grafik elde edilmektedir.

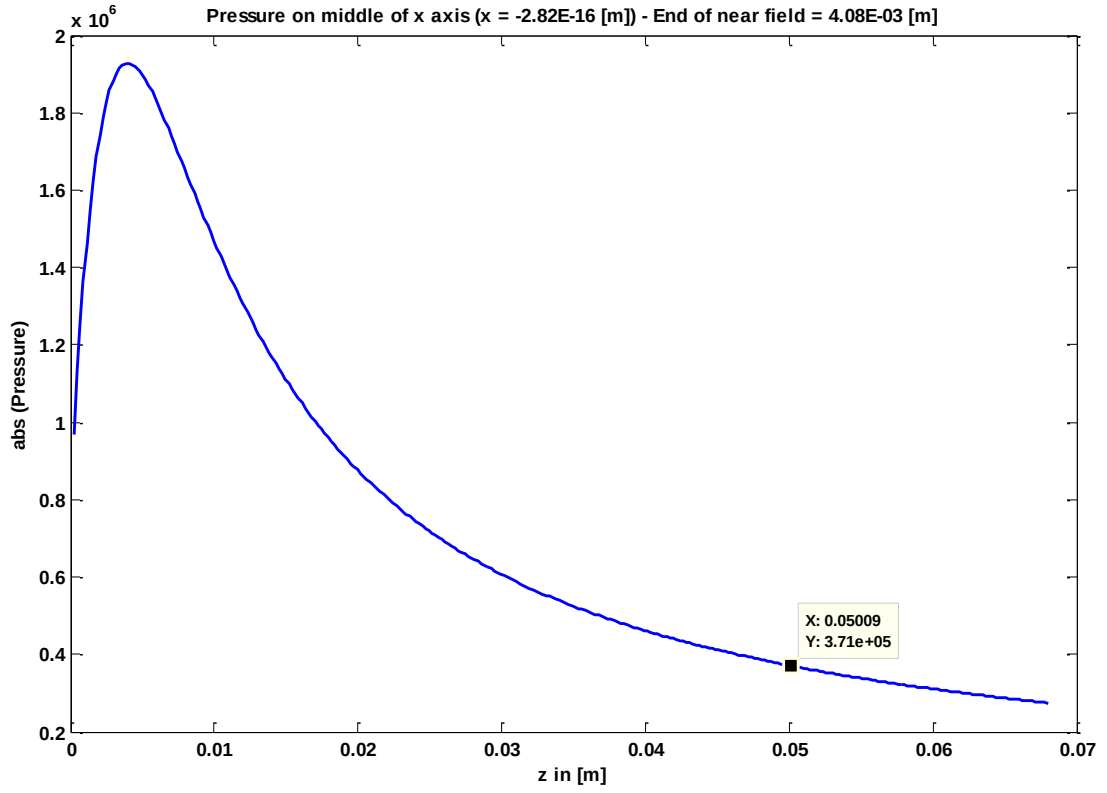




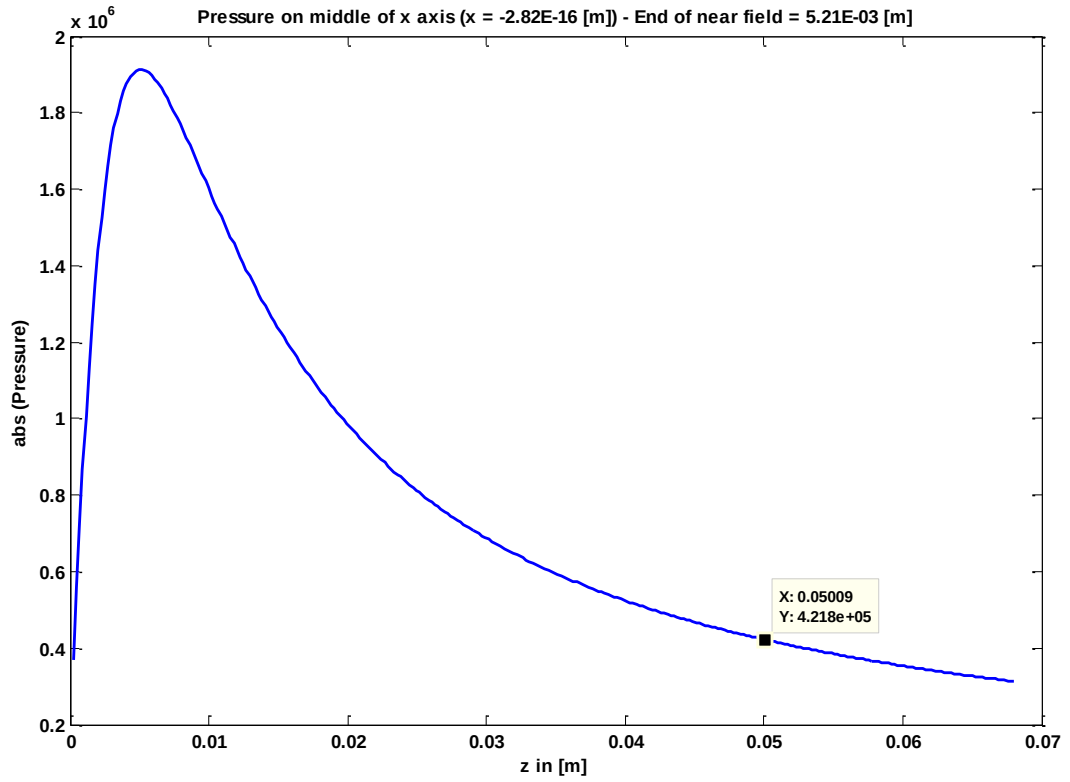
Şekil 4.17: 400st100 üçlü dizisinin 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği



Şekil 4.18: 400st100 üçlü dizisinin 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği

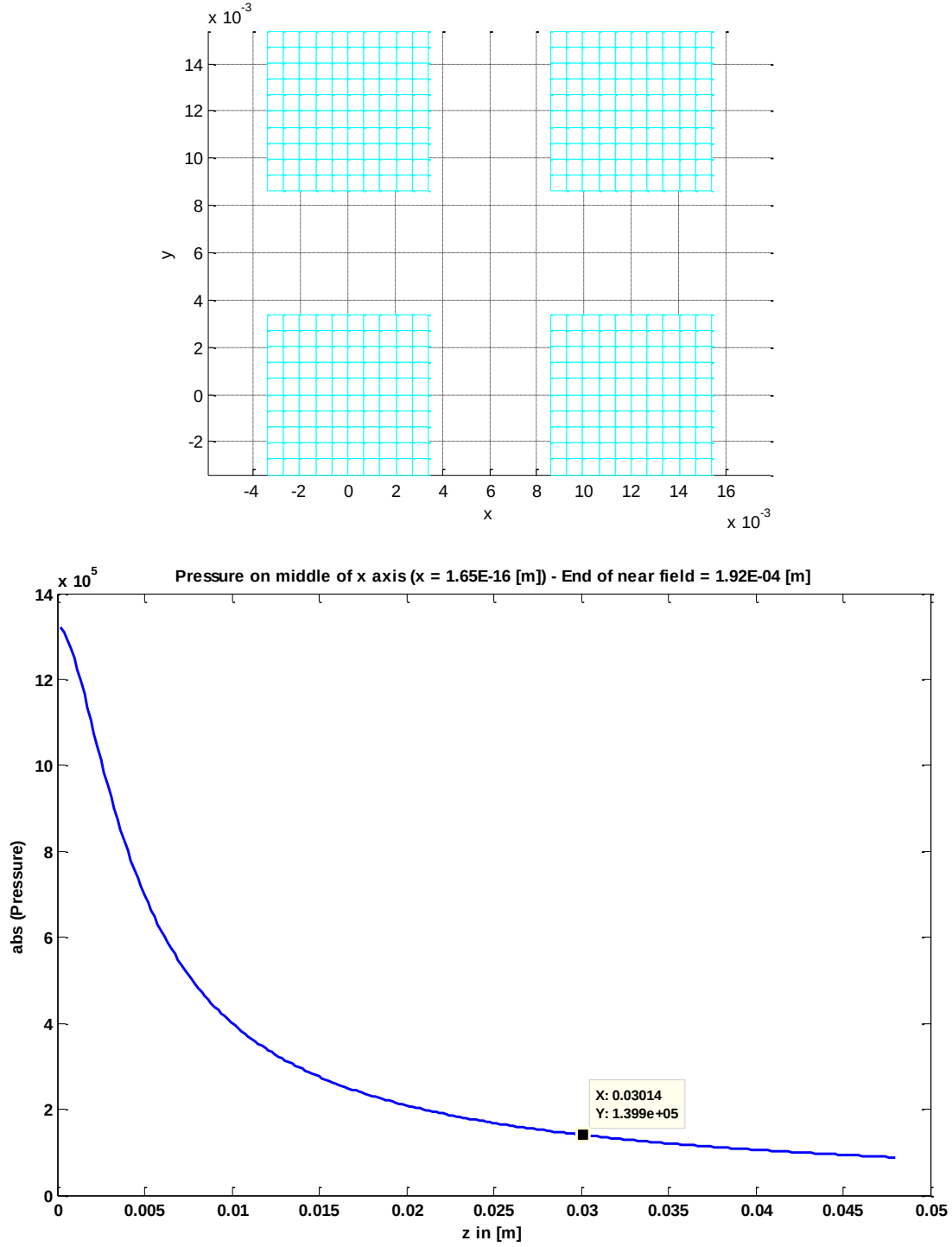


Şekil 4.19: 400st160 üçlü dizisinin 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği

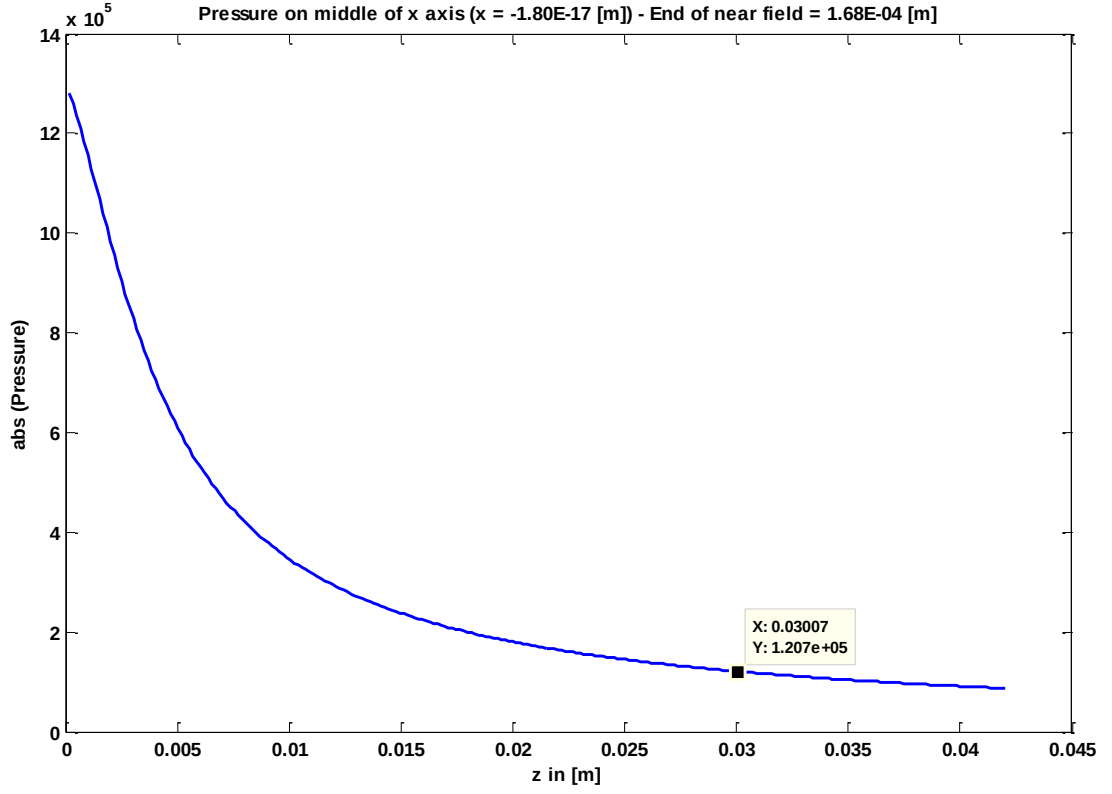


Şekil 4.20: 400st160 üçlü dizisinin 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği

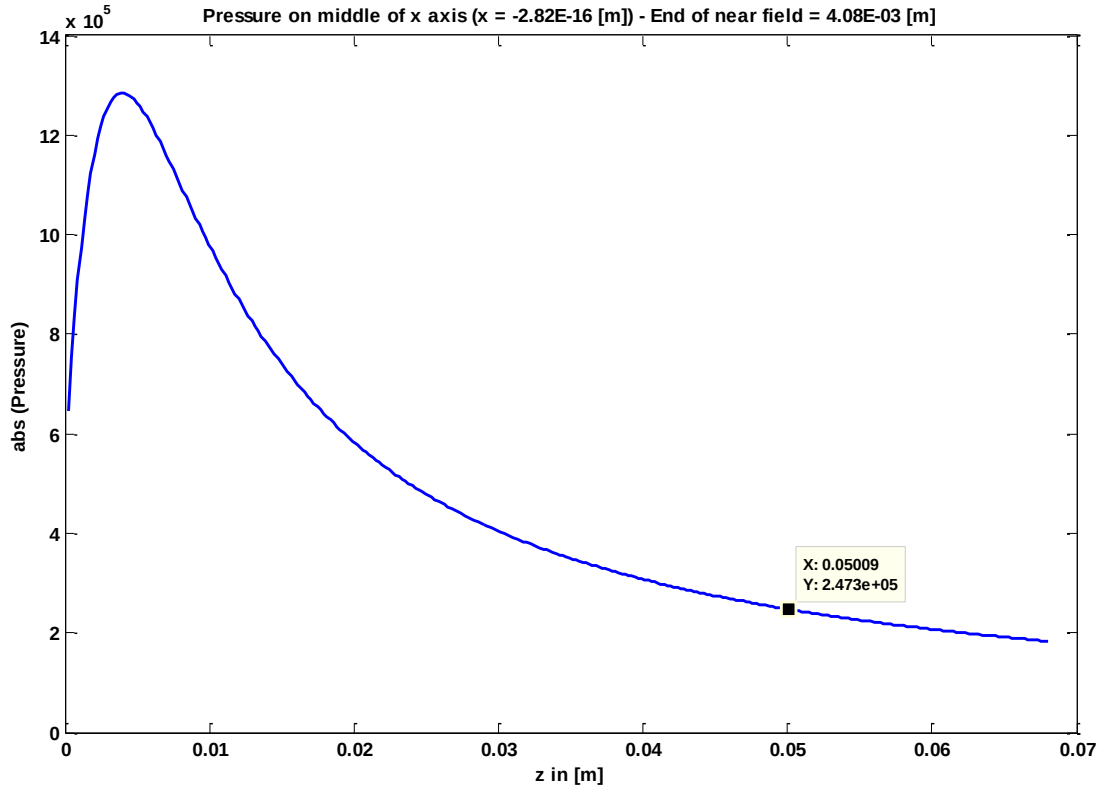
Başka bir dizi ise (2x2) kare oluşturacak şekilde dizilmiş dönüştürücüler devreye ikişerli seri bağlanarak sürülmüştür. Bunun için yine dönüştürücülerin oluşturduğu ses dalgasının genliği yarıya indirilmiştir ve Şekil 4.21-4.24'deki değerler elde edilmiştir.



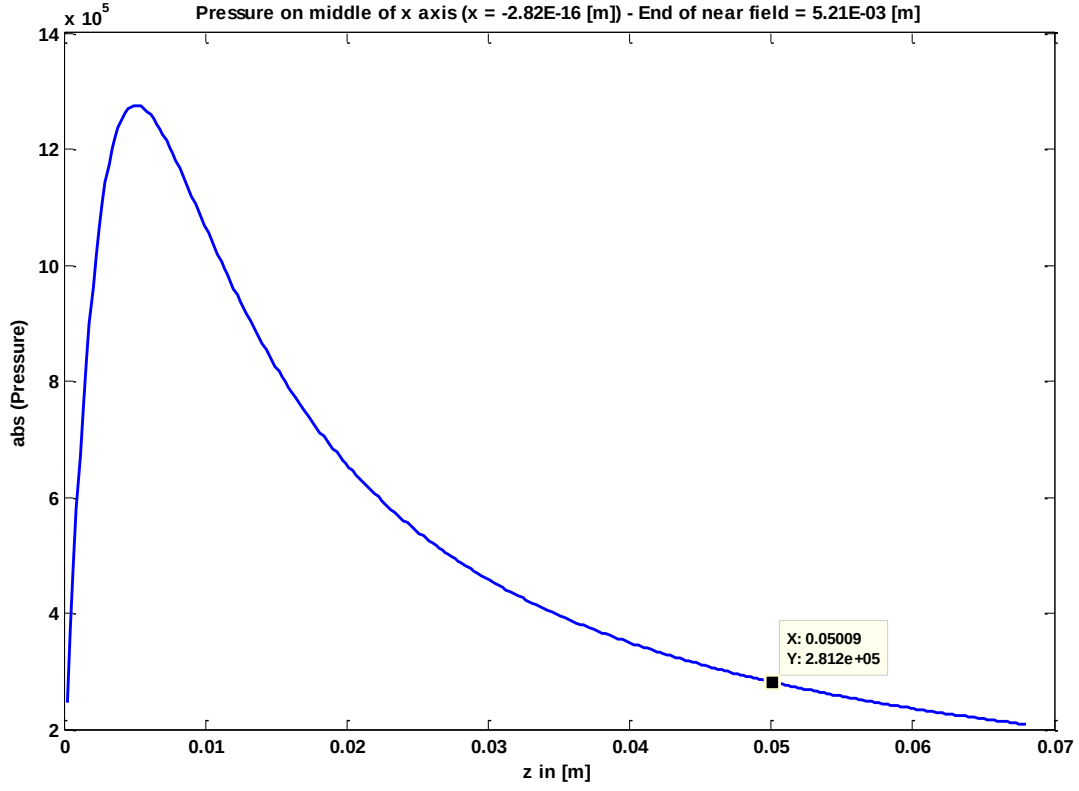
Şekil 4.21: 400st100 dörtlü dizisinin 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği



Şekil 4.22: 400st100 dörüü dizisinin 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği

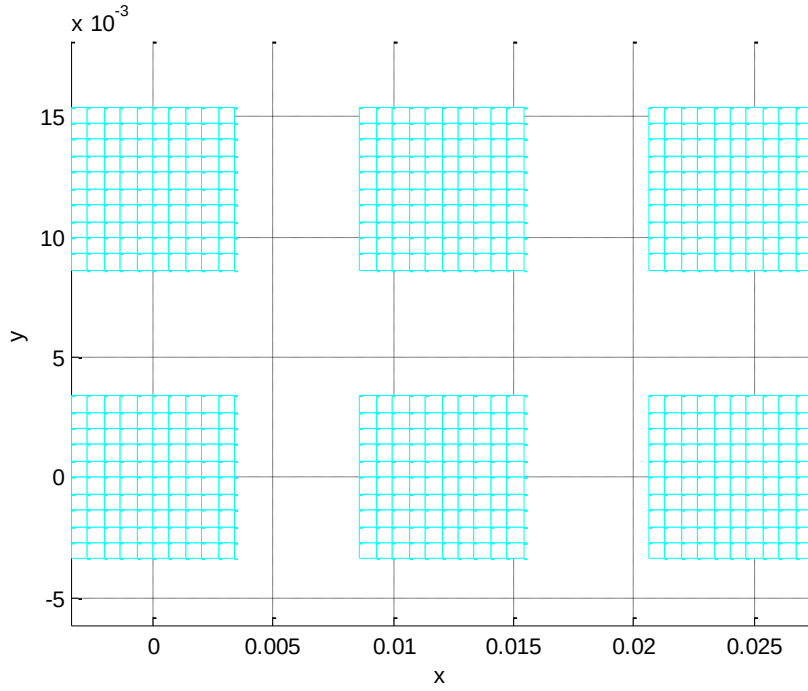


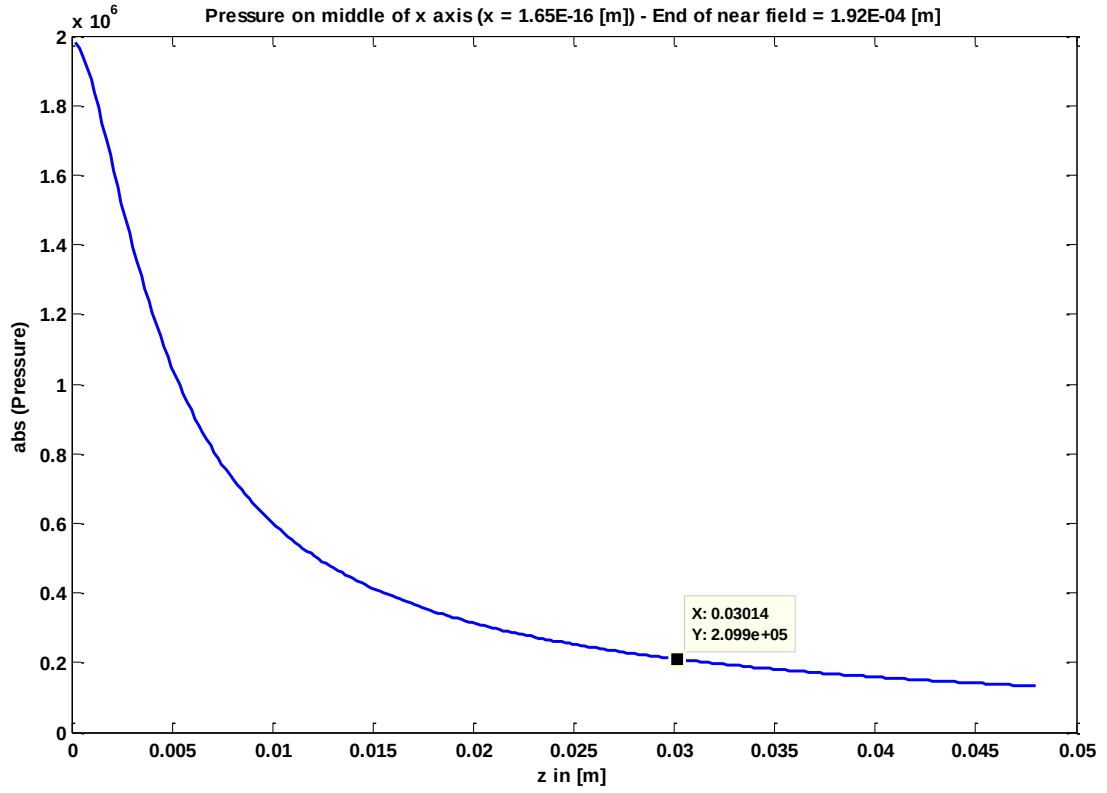
Şekil 4.23: 400st160 dörüü dizisinin 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği



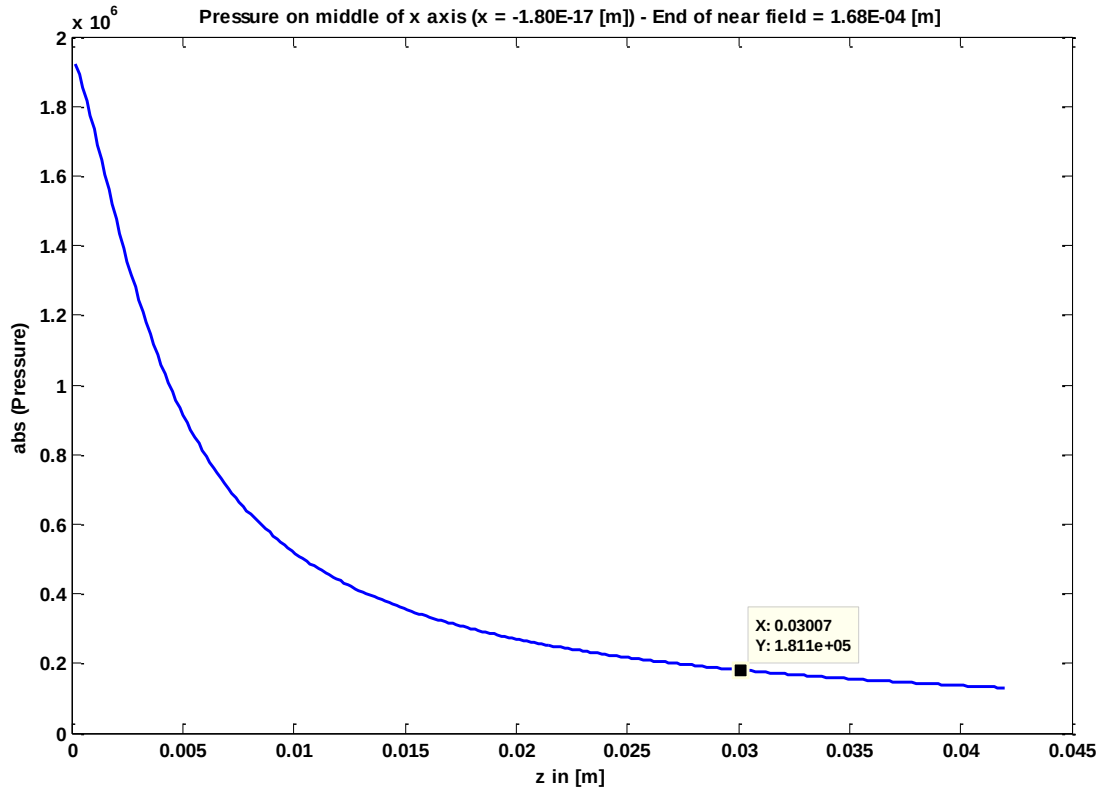
Şekil 4.24: 400st160 dörtlü dizisinin 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği

Son olarak da, aynı elemanlar ile yine ikişerli seri bağlanarak (2x3)'lük altı dönüştürücüden oluşan dizinin benzetim sonuçları Şekil 4.25-4.28'de verilmiştir.

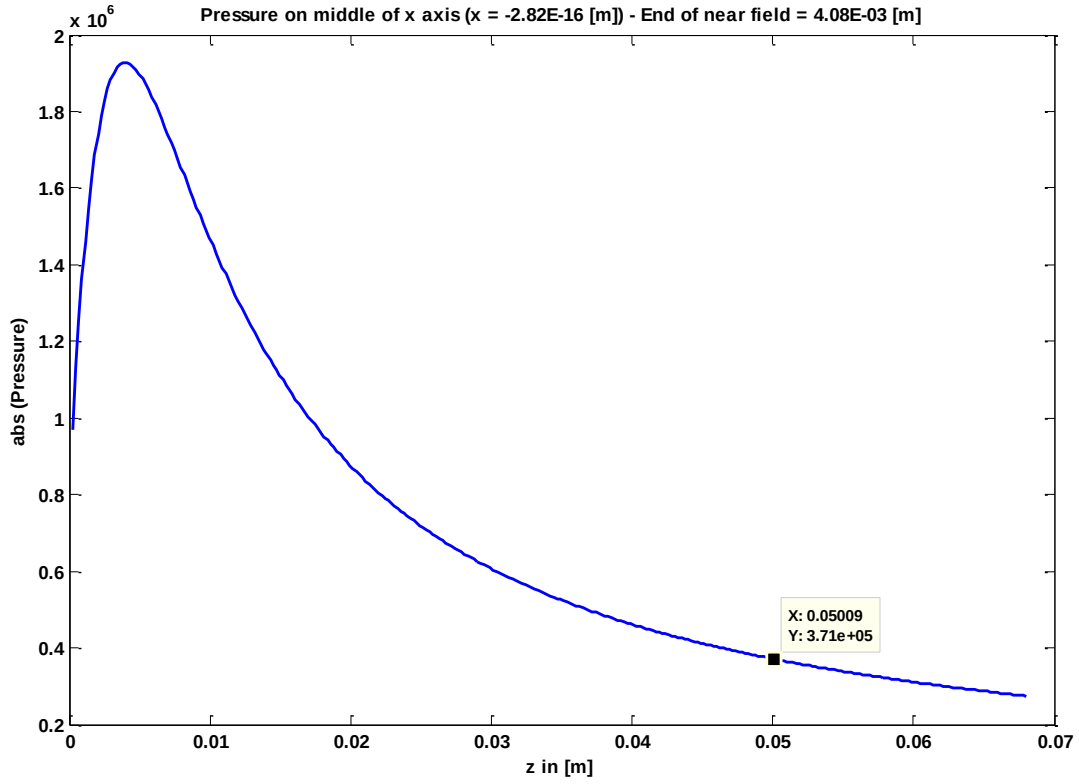




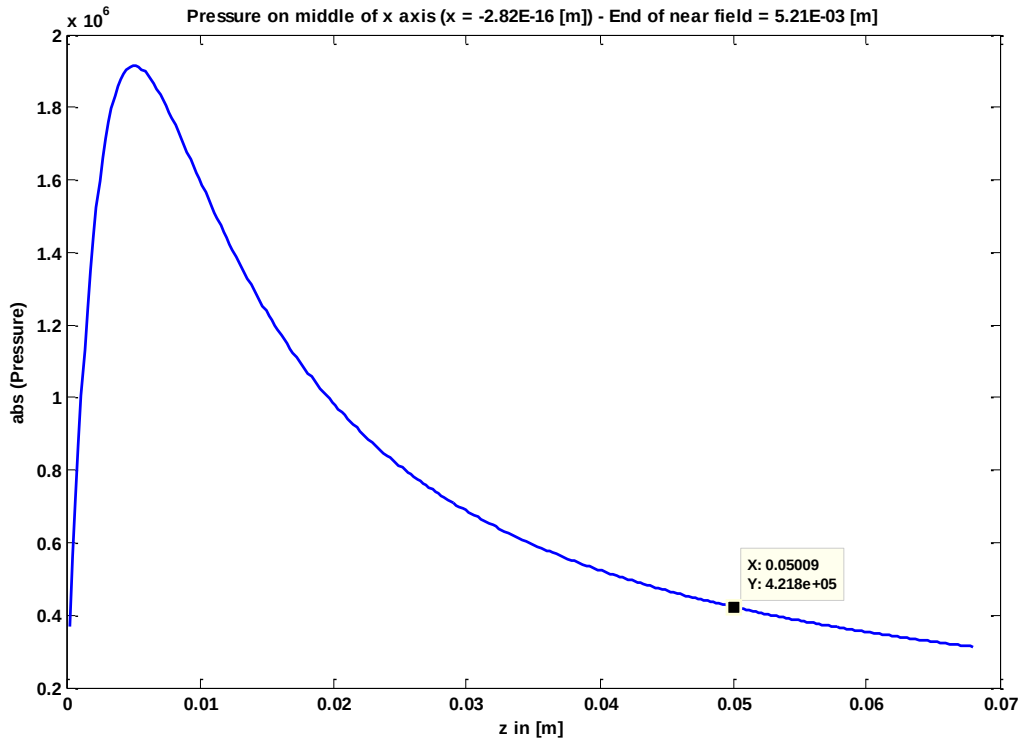
Şekil 4.25: 400st100 altılı dizisinin 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği



Şekil 4.26: 400st100 altılı dizisinin 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği

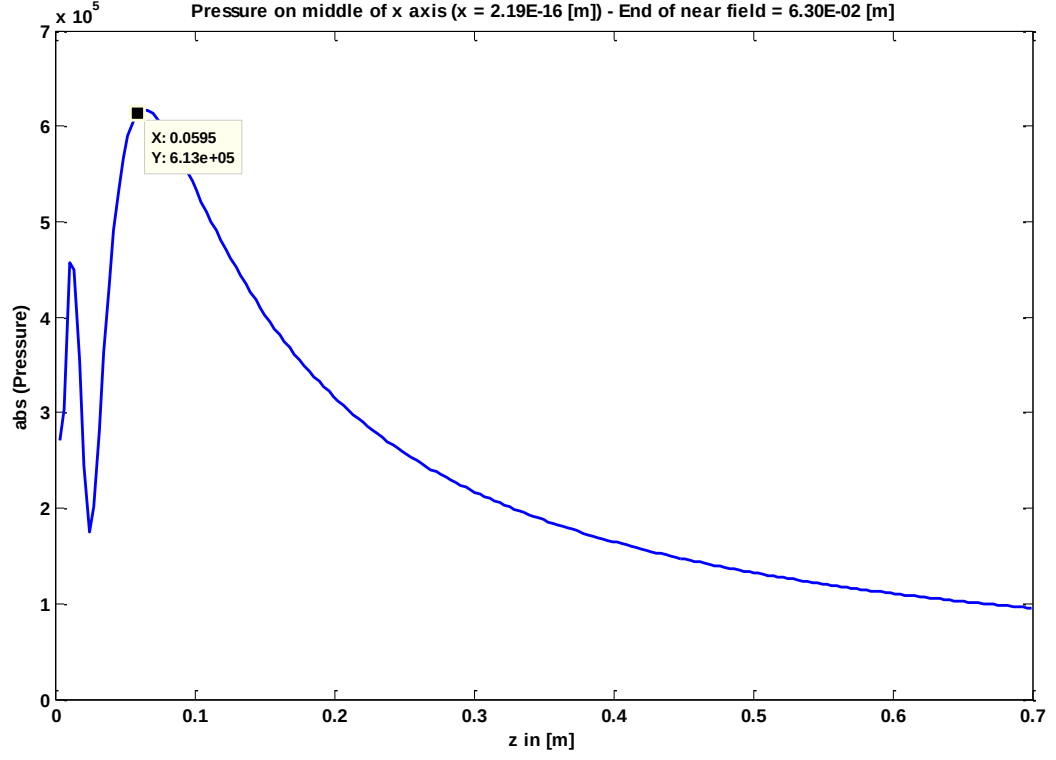


Şekil 4.27: 400st160 altılı dizisinin 1. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği

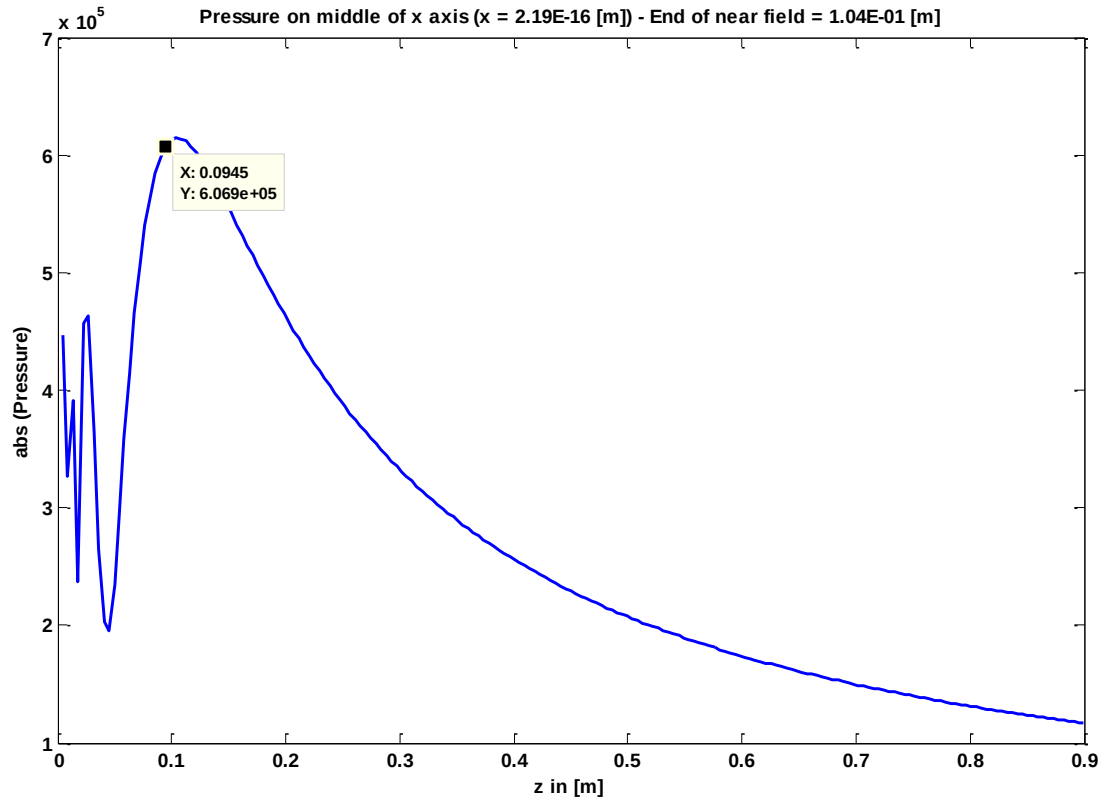


Şekil 4.28: 400st160 altılı dizisinin 2. devre ile çalıştırıldığında oluşturulan ses alanının genliği

Apc-90-4050-60 seri numaralı dönüştürücülerin Çizelge-4.1'deki ilgili parametreleri Matlab'a girilerek Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'daki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 4.29: Apc-90-4050 ölçümü



Şekil 4.30: Apc-90-4060 ölçümü

Şekil 4.29ve 4.30'da verilen grafikler aslında beklenen ve doğru bir alan grafiğidir. Bundan önceki 400st100 ve 400st160'dan elde edilen grafiklerde yakın alan mesafesi çok kısa bir mesafe olduğu için bu uzak alan da işlem yapıldığından bu grafiklerde ortaya çıkmamıştır. Fakat Apc-90-4050-60 dönüştürücülerinin uzak alan mesafeleri makul uzaklıklar olduğu için grafikte bu uzaklığa gelene kadar alanda oluşan tepe ve çukurlar net bir şekilde gözükmemektedir.

Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta bu grafikler üstündeki seçilen noktalar gerçek ölçüm düzeneğinde kullanılacak noktalar olmasıdır. Dolayısıyla, bir sonraki gerçek ölçüm sonuçlarının eklendiği bölümde bu sonuçlar tekrar değerlendirilmiştir.

5. ÖLÇÜMLER

Yukarıdaki bölümlerde bahsedildiği üzere, belirlenen devreler ve belirlenen dizi modellerine göre bir takım ölçümler yapılmış ve bu bölümde, gerçekleşmiş bu sürücü devreler ile oluşturulan ultrasonik dönüştürücü dizilerinin çeşitli ölçüm sonuçlarına yer verilmiştir. Bu ölçümler, AviSoft-SASLab ortam dinleme programı kullanılarak özel bir mikrofon yardımı ile yapılmıştır.

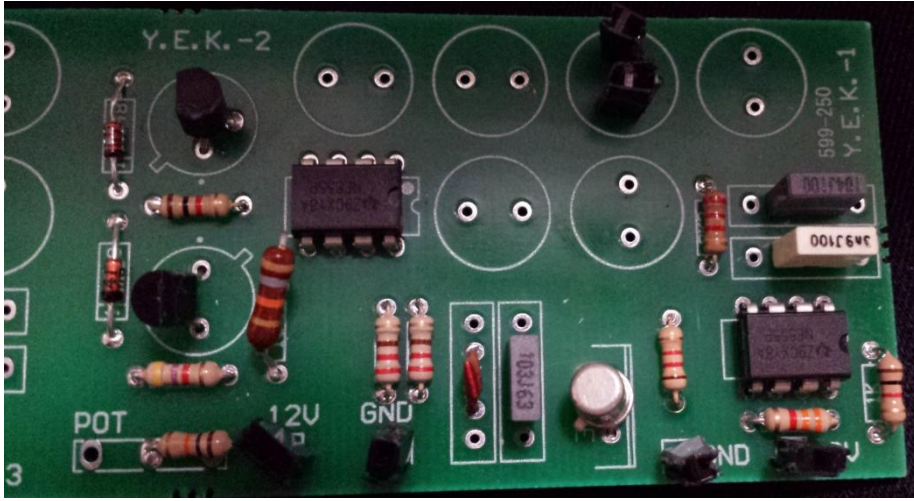
Avisoft-Saslab programı bir mikrofon ve buradan alınan sesi bilgisayarda analiz etmektedir. Ölçülecek sese ve ortam koşullarına göre farklı hassasiyette mikrofonlar kullanılabilir. Bu çalışmada kullanılacak mikrofon Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Bu mikrofon 10 kHz ile 200 kHz frekans aralığındaki sesleri algılayabilmektedir. SPL'i 18 dB'dir. Son olarak, hassasiyeti 50mV/Pa'dır. Cihazın hassasiyeti ölçülen basınç dalgasının genliği için 1 Pa değerini ölçtüğünde bunu 50 mV olarak analiz etmektedir.



Şekil 5.1: Avisoft-SasLab Mikrofon

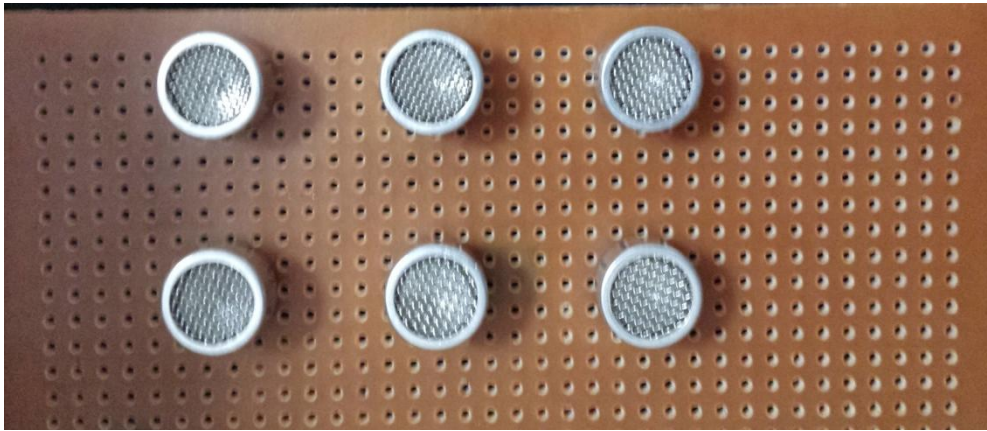
Programda güç- frekans, genlik-frekans, genlik- zaman gibi çeşitli analizlere izin vermektedir. Bu çalışma için gerekli olan değerler ise genlik-frekans grafiğine göre çıkarılmıştır. Yapılan ölçümlerden elde edilen grafikler çok fazla olduğu için bunlar EK B'de gösterilmektedir. Bu bölümde ise bu ölçüm sonuçları Çizelge 5-1,2,3,4'de gösterilmektedir.

Sonuçlara geçilmeden önce, gerçekleştirilen devreler ve diziler gösterilecektir. Bunlar, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de taslakları verilen iki devre Şekil 5.2'deki gibi gerçekleştirilmiştir.

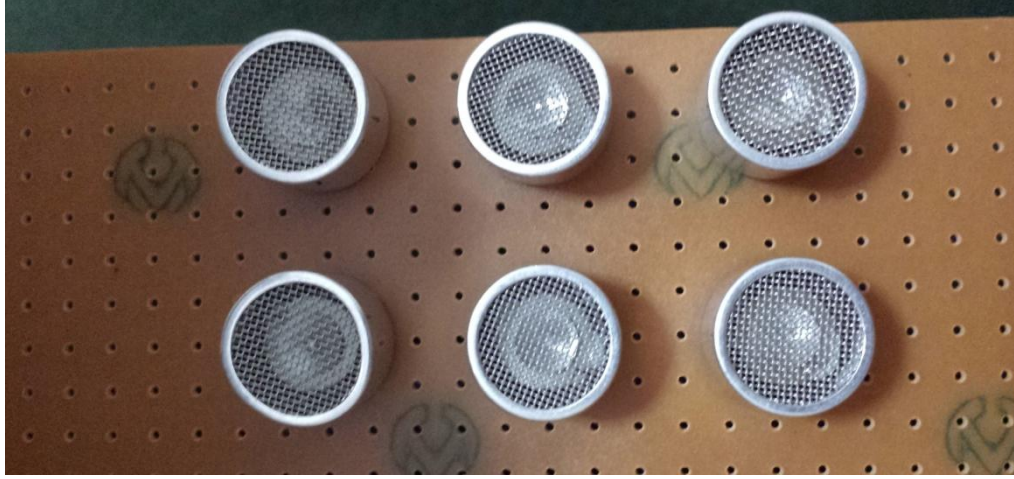


Şekil 5.2: Gerçeklenen devreler

Bu iki devre, 400st100 ve 400st160 dönüştürücüleri kullanılarak bölüm 3.2'de verilen diziler sıra ile kurulmuş ve ölçülmüştür. Bu iki dönüştürücü ile gerçekleştirilen dizilerde Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.3: 400st100 Dizisi



Şekil 5.4: 400st160 Dizisi

Bu ölçümler bu dönüştürücülerin yakın alan mesafeleri dönüştürücüye çok yakın olduğu için 3cm ve 5cm'den alınmıştır. Ölçüm alınırken dönüştürücüler ile mikrofon arasındaki mesafe sabit tutularak ve dizi merkezine dik uzaklığa mikrofon yerleştirilerek ölçümler alınmıştır. Elde edilen sonuçlarını bir sistematik içerisinde aşağıdaki tablolarda eklenmiştir.

- **1.Devre**

Çizelge 5.1: 400st100 ile yapılan ölçümler

Ölçüm Uzaklığı	Tek	İkili	İkili Seri	Üçlü	Dörtlü	Altılı
3cm	239 mV	404 mV	238 mV	274 mV	266 mV	232 mV
5cm	283 mV	385 mV	272 mV	268 mV	255 mV	256 mV

Çizelge 5.2: 400st160 ile yapılan ölçümler

Ölçüm Uzaklığı	Tek	İkili	İkili Seri	Üçlü	Dörtlü	Altılı
3cm	372 mV	474 mV	428 mV	581 mV	481 mV	995 mV
5cm	327 mV	426 mV	340 mV	446 mV	450 mV	807 mV

- **2.Devre**

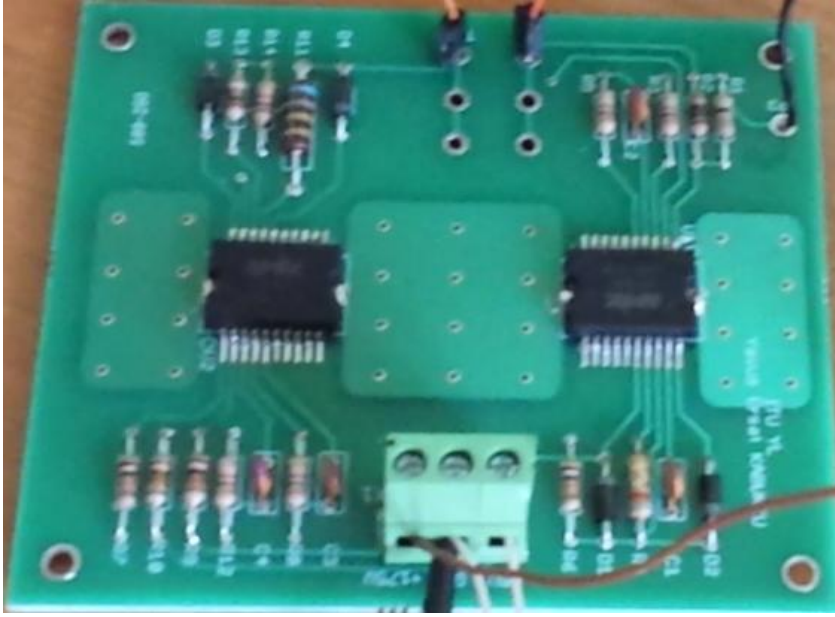
Çizelge 5.3: 400st100 ile yapılan ölçümler

Ölçüm Uzaklığı	Tek	İkili	İkili	Üçlü	Dörtlü	Altılı
3cm	258 mV	622 mV	450 mV	574 mV	489 mV	751 mV
5cm	214 mV	558 mV	360 mV	384 mV	422 mV	616 mV

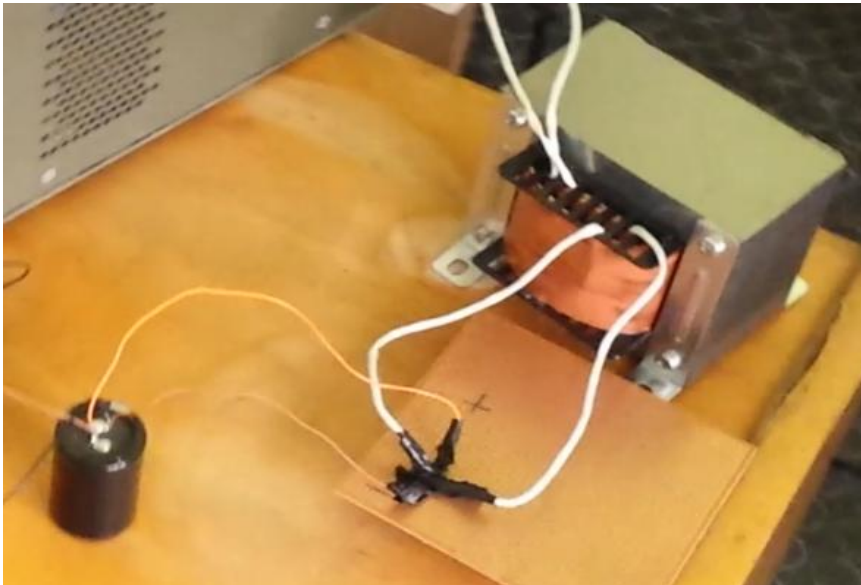
Çizelge 5.4: 400st160 ile yapılan ölçümler

Ölçüm Uzaklığı	Tek	İkili	İkili Seri	Üçlü	Dörtlü	Altılı
3cm	169 mV	255 mV	202 mV	354 mV	397 mV	631 mV
5cm	138 mV	227 mV	164 mV	300 mV	369 mV	514 mV

APC-90-4050-60 dönüştürücülerini sürmek için Şekil 5.5'de gösterilen devre gerçekleştirilmiştir. Bu devredeki 175 V 'luk DC gerilimi sağlamak için yapılan ve Şekil 2.5'de şeması verilen tam dalga doğrultucu devresi Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5: Gerçeklenen Devre



Şekil 5.6: Tam Dalga Doğrultucu Devre

Yukarıda verilen devre Apc90-4050 ve Apc90-4060 dönüştürücülerine bağlanarak ölçüm yapılmaya hazır hale gelmiştir. Şekil 5.7'de gösterildiği gibi dönüştürücü ile ortak merkezde yerleştirilerek istenilen mesefaden ölçüm yapılmıştır. Bu sonuçlar Çizelge 5.5'da verilmiştir.



Şekil 5.7: Ölçüm Düzeneği

Çizelge 5.5: Apc90-4050 ve Apc90-4060 ile yapılan ölçümler

Ölçüm Uzaklığı Dönüştürücüler	5.9 cm	9 cm	12 cm	14 cm	20 cm	25 cm	35 cm	50 cm
Apc-90-4050	892 mV	708 mV	-	625 mV	400 mV	349 mV	-	-
Apc-90-4060	-	1050 mV	733 mV	670 mV	525 mV	320 mV	227 mV	173 mV

Apc-90-4050'nin yakın alan mesafesi 5,9 cm; Apc-90-4060'ın yakın alan mesafesi ise 9 cm olup bu noktalarda ölçüm alınmıştır. Bu ölçüm değerlerinin çok yüksek olması mesafe arttıkça alınan değerin düştüğü Çizelge 5.5'den görülmektedir. Bu değerleri elde ettiğimiz grafikler EK B'de verilmiştir.

Bu sonuçları Matlab verileri ile karşılaştırdırınca Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7'deki sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Değerlendirilme yapılmadan önce, Matlab grafiklerinden istenilen mesafe için çıkarılan değerler bu tabloda yerleştirilmiştir, fakat, grafiklerden elde edilen değerlerin basınç birimi tam olarak bilinmemektedir. Bunun için sadece matlab değerlerine göre ölçüm sonuçlarının artma ve azalmamasının doğru olup olmadığı kontrol edilecektir.

Çizelge 5.6: 400st100 ve 400st160 ölçüm sonuçları ile Matlab verilerinin karşılaştırılması

1.devre	400st100	Ölçüm Uzaklığı	Tek	İkili	İkili Seri	Üçlü	Dörtlü (2s+2s)	Altılı (2s+2s+2s)
2.devre	Ölçüm	3cm	239 mV	404 mV	238 mV	274 mV	266 mV	232 mV
	Ölçüm	3cm	4,78 Pa	8,08 Pa	4,76 Pa	5,48 Pa	5,32 Pa	4,64 Pa
	Matlab	3cm	6,99*10 ⁴	13,9*10 ⁴	6,95*10 ⁴	20,9*10 ⁴	13,9*10 ⁴	20,9*10 ⁴
	400st100							
	Ölçüm	3cm	372 mV	474 mV	428 mV	581 mV	481 mV	995 mV
	Ölçüm	3cm	7,44 Pa	9,48 Pa	8,56 Pa	11,62 Pa	9,62 Pa	19,9 Pa
1.devre	Matlab	3cm	6,04*10 ⁴	12,07*10 ⁴	6,23*10 ⁴	18,1*10 ⁴	12,07*10 ⁴	18,1*10 ⁴
	400st160							
	Ölçüm	5cm	258 mV	622 mV	450 mV	574 mV	489 mV	751 mV
	Ölçüm	5cm	5,16 Pa	13,24 Pa	9 Pa	11,48 Pa	9,78 Pa	15,02 Pa
	Matlab	5cm	12,4*10 ⁴	14,7*10 ⁴	12,37*10 ⁴	37,1*10 ⁴	24,7*10 ⁴	37,1*10 ⁴
	400st160							
2.devre	Ölçüm	5cm	169 mV	255 mV	202 mV	354 mV	397 mV	631 mV
	Ölçüm	5cm	3,38 Pa	5,1 Pa	4,04 Pa	7,08 Pa	7,94 Pa	12,62 Pa
	Matlab	5cm	14,1*10 ⁴	28,1*10 ⁴	14,06*10 ⁴	42,2*10 ⁴	28,1*10 ⁴	42,2*10 ⁴

Çizelge 5.7: Apc-90-4050-60 ölçüm sonuçları ile Matlab verilerinin karşılaştırılması

3.devre	APC-90-4050	5.9 cm	9 cm	12 cm	14 cm	20 cm	25 cm	35 cm	50 cm
3.devre	Ölçüm	892 mV	708 mV	-	625 mV	400 mV	349 mV	-	-
	Ölçüm	17,84 Pa	14,16 Pa	-	12,5 Pa	8 Pa	6,89 Pa	-	-
	Matlab	61,3*10 ⁴	56,34*10 ⁴	-	42,6*10 ⁴	31,2*10 ⁴	25,6*10 ⁴	-	-
	APC-90-4060	5.9 cm	9 cm	12 cm	14 cm	20 cm	25 cm	35 cm	50 cm
	Ölçüm	-	1050 mV	733 mV	670 mV	525 mV	320 mV	227 mV	173 mV
	Ölçüm	-	21 Pa	14,66 Pa	13,4 Pa	10,5 Pa	6,4 Pa	4,54 Pa	3,46 Pa
	Matlab	-	60,7*10 ⁴	60,2*10 ⁴	56,58*10 ⁴	45,8*10 ⁴	38,6*10 ⁴	28,8*10 ⁵	20,57*10 ⁵

Burada Matlab sonuçlarına da bakarak ölçümlerin gerçeğe uygun bir şekilde azaldığı veya arttığı gözlemlenmiştir. Ölçüm koşullarının ideal olmaması dolayısıyla bazı ölçüm sonuçlarının uyumsuzdur.

6. SONUÇ

Yapılan bu tez çalışmasında, uyarıcı bir sistem tasarlanmaya çalışılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, hangi frekansta çalışılacağı belirlenmiştir. Sonrasında, bu frekansta çalışabilecek devreler seçilmiştir. Ayrıca, bu devrelerle çalışacak dönüştürücüler seçilmiştir. Bu aşamadan sonra, devrenin ultrasonik dönüştürücüye aktardığı gücü daha yükseltebilmek için bazı dönüştürücü dizi yapıları oluşturuldu. Son olarak, bu dönüştürücüler ve dizi yapıları önce benzetim ortamında, sonra gerçek ortamda oluşturularak istenilen sonuçlar elde edilmiştir.

Benzetim ortamı olarak kullanılan MATLAB_TAC uygulaması kullanılmıştır. Ultrasonik dönüştürücülerin oluşturduğu dalga ve dönüştürücülerin kendi özellikleri uygulamaya girilerek istenilen dalga alanı elde edilmiştir. Bu işlem tasarlanan diziler için tekrar tekrar yapılmıştır. Son olarak elde edilen ses basınç alanları gerçek ortamda ölçülmüş değerler ile kıyaslamak için elde tutulmuştur.

Devreler gerçekleşip ultrasonik dönüştürücüleri sürerek, ultrasonik dalga alanı oluşturulmuştur. Bu alan ölçümleri, AVI-Soft uygulaması ve mikrofona yardımıyla yapılmıştır. Gerçeklenen devreler ve diziler ile son bölümde verilen ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

Bu sistemde kullanılan devre ve dönüştürücülerin performansı Matlab'de alınan sonuçlar ile gerçek ortamda alınan sonuçlar ile birlikte değerlendirilecektir. Ölçüm sonuçlarına göre, ikinci devrenin birinci devreye göre daha etkin çalıştığı, daha tutarlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Fakat, çalıştığı frekansın kararlılığı açısından değerlendirilecek olursa, ilk devre 400st100 ve 400st160 için de aynı frekans bandında yayın yapmıştır.

400st100 ikinci devre ile daha yüksek güç odaklayabilmekteyken, 400st160 birinci devre ile daha yüksek güç vermektedir. Ayrıca, dizileri kendi aralarında kıyaslayacak olursak, kesin olmamakla birlikte şu söylenebilir ki devrenin bir çıkışına seri olarak iki dönüştürücü bağlandığında elde edilen ikili ve dördü ölçüm değeri tek çalıştığında alınan sonuçtan çok daha yüksektir.

Apc90-4050-60 dönüştürücüleri kullanılarak sadece bir dönüştürücü üzerinde farklı mesafelerde ölçümler alınmıştır. Bu ölçüm sonuçlarından görüldüğü gibi yakın alanda çok yüksek değerlerde güç elde edilmektedir. Bu mesafeden uzaklaştıkça aktarılan güç değeri düşmektedir.

Bir takım ölçüm sonuçlarının birbirini desteklememesinin ve matlab ile örtüşmemesinin nedenleri ise, ölçüm düzeneğinin ve devrelerin ideal olmamasından kaynaklanmaktadır.

Son olarak, elde edilen tüm sonuçlara göre, bu uyarıcı sistem amaçlandığı gibi çeşitli dizilerinde çeşitli ses basınç şiddetleri oluşturmaktadır. Bu değerlerin, tarım alanında böcek yönlendirme kovma uygulamaların çalıştırılması ve kontrolü ise bundan sonraki çalışmalara bırakılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Henning, B.**, "Trends in ultrasonic transducer design," *Electronic Measurement & Instruments, 2009. ICEMI '09. 9th International Conference on* , vol., no., pp.1-11,1-12, 16-19 Aug. 2009 doi: 10.1109/ICEMI.2009.5273987
- [2] **Mizutani, Y.; Suzuki, T.; Ikeda, H.; Yoshida, H.**, "Power maximizing of ultrasonic transducer driven by MOSFET inverter operating at 1 MHz," *Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, 1996., Proceedings of the 1996 IEEE IECON 22nd International Conference on* , vol.2, no., pp.983,986 vol.2, 5-10 Aug 1996 doi: 10.1109/IECON.1996.566011
- [3] **Bjorno, L.**, "Developments in sonar and array technologies," *Underwater Technology (UT), 2011 IEEE Symposium on and 2011 Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies (SSC)* , vol., no., pp.1,11, 5-8 April 2011 doi: 10.1109/UT.2011.5774169
- [4] **Carovac A., Smajlovic F., Junuzovic D.**, Application of Ultrasound in Medicine. *Acta Inform Med.* 2011; 19(3): 168-171
- [5] **Wende Shou, Xiaowei Huang, Shimei Duan, Rongmin Xia, Zhonglong Shi, Xiaoming Geng, Faqi Li**, "Acoustic power measurement of high intensity focused ultrasound in medicine based on radiation force", *Ultrasonics*, Volume 44, Supplement, 22 December 2006, Pages e17-e20, ISSN 0041-624X
- [6] **Wang, C.; Gachagan, A.; O'Leary, R.; Mackersie, J.**, "High intensity focused ultrasound array transducers using a 2-2 stacked piezoelectric composite appropriate for sonochemistry applications," *Ultrasonics Symposium (IUS), 2012 IEEE International* , vol., no., pp.2497,2500, 7-10 Oct.2012 doi: 10.1109/ULTSYM.2012.0625
- [7] **Wang, C.; Gachagan, A.; O'Leary, R.L.**, "High intensity focused ultrasound array transducers for sonochemistry applications," *Ultrasonics Symposium (IUS), 2011 IEEE International* , vol., no., pp.2329,2332, 18-21 Oct. 2011 doi: 10.1109/ULTSYM.2011.0578
- [8] **Gordon A.G.**, The Use of Ultrasound in Agriculture, *Ultrasonics*, Volume 1, Issue 2, April–June 1963, Pages 70–77.
- [9] **Likai Zhao; Bonian Li; Xiguang Wu; Minghu Zhang; Jie Zhang**, "A drive circuit of MOSFET for ultrasonic power," *Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), 2011 International Conference on* , vol., no., pp.1911,1914, 19-22 Aug. 2011 doi: 10.1109/MEC.2011.6025860
- [10] **Mizutani, Y.; Suzuki, T.; Ikeda, H.; Yoshida, H.**, "Power maximizing of ultrasonic transducer driven by MOSFET inverter operating at 1

MHz," *Industrial Electronics, Control, and Instrumentation*, 1996., *Proceedings of the 1996 IEEE IECON 22nd International Conference on* , vol.2, no., pp.983,986 vol.2, 5-10 Aug 1996

- [10] **Mizutani, Y.; Suzuki, T.; Ikeda, H.; Yoshida, H.**, "Automatic frequency control for maximizing RF power fed to ultrasonic transducer operating at 1 MHz," *Industry Applications Conference*, 1996. *Thirty-First IAS Annual Meeting, IAS '96., Conference Record of the 1996 IEEE* , vol.3, no., pp.1585,1588 vol.3, 6-10 Oct 1996
- [11] **Washimori, S., Mihara, T., Tashiro, H.**, "Investigation of the sound field of phased array using the photoelastic visualization technique and the accurate FEM", *Materials Transactions*, Vol. 53, No.4 (2012), pp.631-635
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_acoustic_transducer
- [13] **Ensminger, D., Bond, L. J.**, *Ultrasonic Fundamentals, Technologies, and Applications*, Third edition, CRC Press
- [14] <http://circuitdiagram.net/ultrasonic-sensor-switch.html>
- [15] <http://www.automation-world.com/blog/ultrasonic-circuit-diagram/>
- [16] APEX Microtechnology, Inc., "*Driving Piezoelectric Actuators*", 2012
- [17] **Masic I, Ridjanovic Z, Pandza H, Masic I. Sarajevo:** Avicena; 2010. *Medical informatics*; pp. 416–430.
- [18] **Staelin, D.**, *Electromagnetics and Applications Course Notes*, Chapter 13, pp. 414-415.
- [19] *Ultrasonic Transducers Technical Notes*, Olympus NDT, 2006.
- [20] **Ocheltree, K.B.; Frizzel, L.A.**, "*Sound field calculation for rectangular sources*," *Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, IEEE Transactions on, vol.36, no.2, pp.242-248, Mar 1989.

EKLER

EK A: Ultrasonik Dönüştürücülerin Verileri

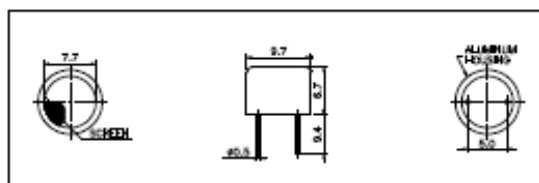
EK B: Ölçüm Sonuçları

Air Ultrasonic Ceramic Transducers

400ST/R100



Dimensions: Dimensions are in mm



Impedance/Phase Angle vs. Frequency

Tested under 1Vrms Oscillation Level

400SR100 Impedance
400SR100 Phase
400ST100 Impedance
400ST100 Phase

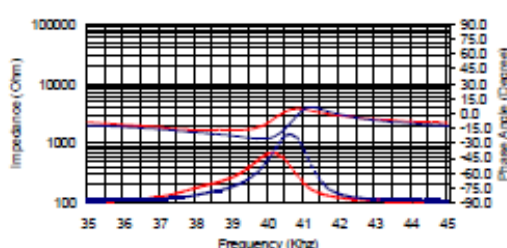
Specification

400ST100	marked with white spot	Transmitter
400SR100		Receiver
Center Frequency		40.0±1.0Khz
Bandwidth (-6dB)	400ST100	2.5Khz
	400SR100	3.0Khz
Transmitting Sound Pressure Level		112dB min.
at 40.0Khz; 0dB re 0.0002μbar per 10Vrms at 30cm		
Receiving Sensitivity		-70dB min.
at 40.0Khz 0dB = 1 volt/μbar		
Capacitance at 1Khz	±20%	1900 pF
Max. Driving Voltage (cont.)		10Vrms
Total Beam Angle	-6dB	72° typical
Operation Temperature		-30 to 80°C
Storage Temperature		-40 to 85°C

All specification taken typical at 25°C
Closer frequency tolerance can be supplied upon request.

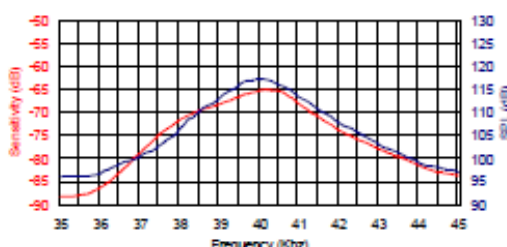
Model available:

1	400ST/R100	Aluminum Housing
2	400ST/R10B	Black Al. Housing
3	400ST/R10P	Plastic Housing

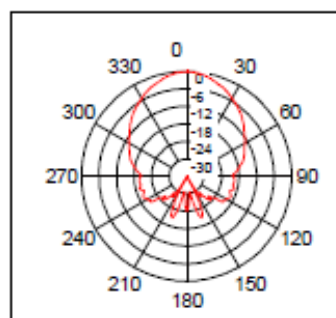


Sensitivity/Sound Pressure Level

Tested under 10Vrms @30cm



Beam Angle: Tested at 40.0Khz frequency

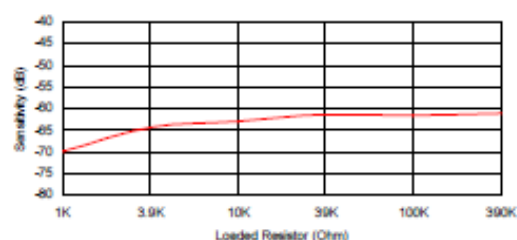


Supplied by Midas Components Ltd - 01493 602602 - www.midascomponents.co.uk

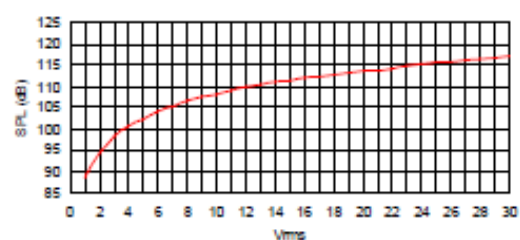
400SR100 Receiver

400ST100 Transmitter

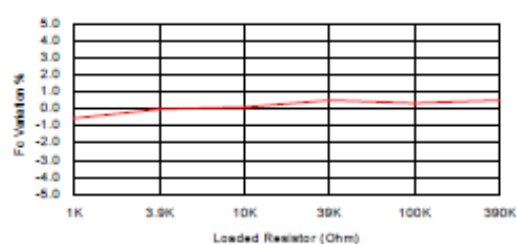
Sensitivity Variation vs. Loaded Resistor



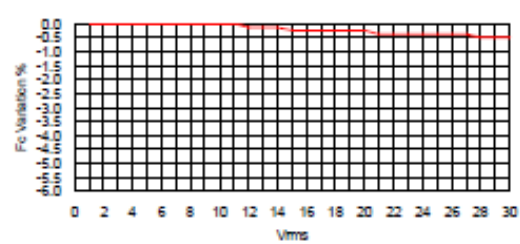
SPL Variation vs. Driving Voltage



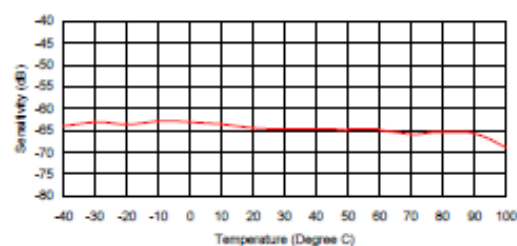
Center Frequency Shift vs. Loaded Resistor



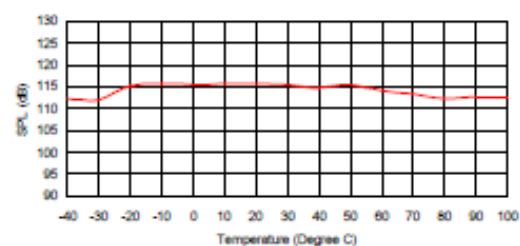
Center Frequency Shift vs. Driving Voltage



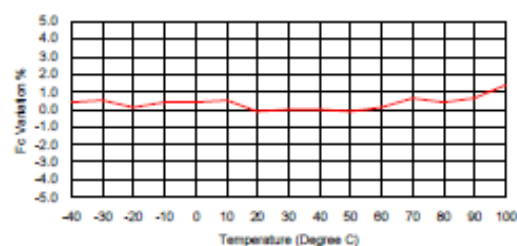
Sensitivity Variation vs. Temperature



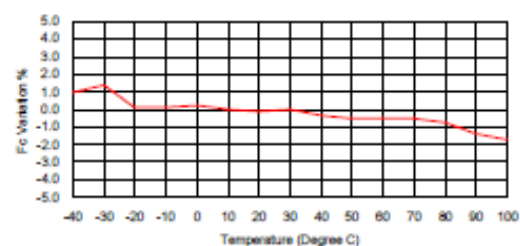
SPL Variation vs. Temperature



Center Frequency Shift vs. Temperature

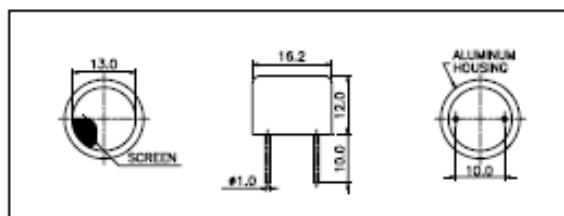


Center Frequency Shift vs. Temperature





Dimensions: dimensions are in mm



Specification

400ST160	Transmitter
400SR160	Receiver
Center Frequency	40.0±1.0Khz
Bandwidth (-6dB)	400ST160 2.0Khz
	400SR160 2.5Khz
Transmitting Sound Pressure Level	120dB min.
at 40.0Khz; 0dB re 0.0002μbar per 10Vrms at 30cm	
Receiving Sensitivity	-65dB min.
at 40.0Khz 0dB = 1 volt/μbar	
Capacitance at 1Khz	±20% 2400 pF
Max. Driving Voltage (cont.)	20Vrms
Total Beam Angle	-6dB 55° typical
Operation Temperature	-30 to 80°C
Storage Temperature	-40 to 85°C

All specification taken typical at 25°C
Closer frequency tolerance can be supplied upon request.

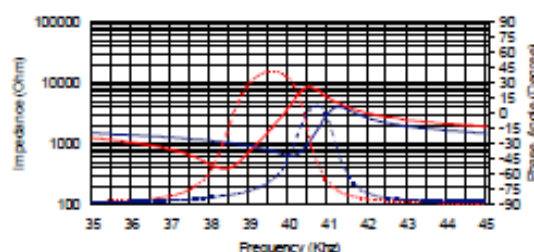
Models available:

1	400ST/R160	Aluminum Housing
2	400ST/R16B	Black Al. Housing
3	400ST/R16P	Plastic Housing

Impedance/Phase Angle vs. Frequency

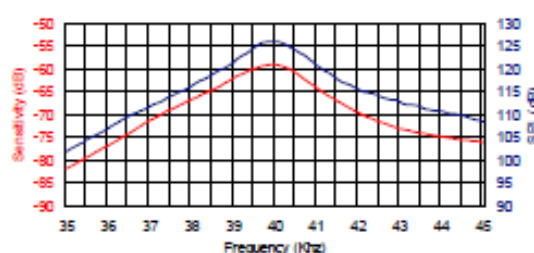
Tested under 1Vrms Oscillation Level

400SR160 Impedance
400SR160 Phase
400ST160 Impedance
400ST160 Phase

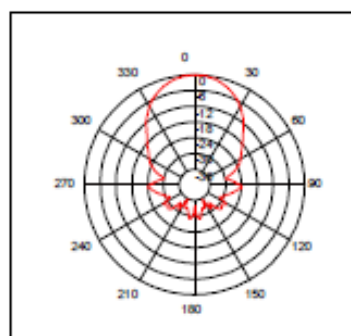


Sensitivity/Sound Pressure Level

Tested under 10Vrms @30cm



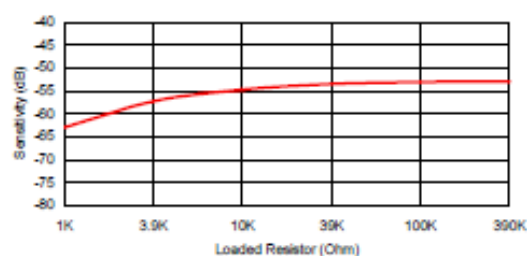
Beam Angle: Tested at 40.0Khz frequency



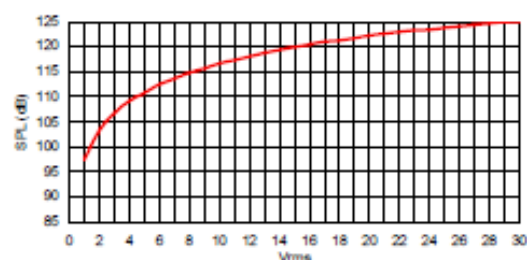
400SR160 Receiver

400ST160 Transmitter

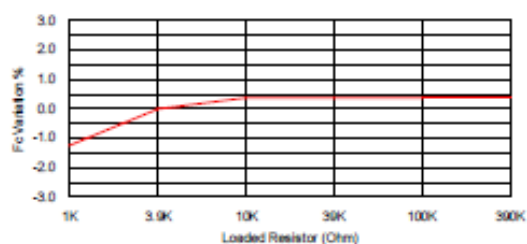
Sensitivity Variation vs. Loaded Resistor



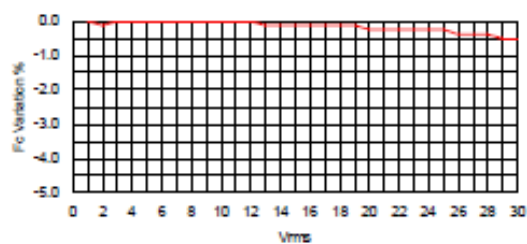
SPL Variation vs. Driving Voltage



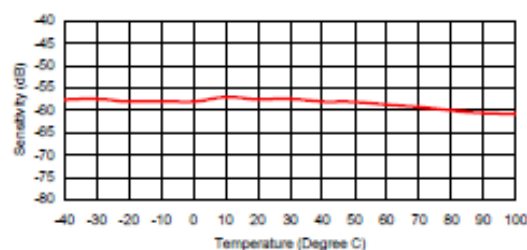
Center Frequency Shift vs. Loaded Resistor



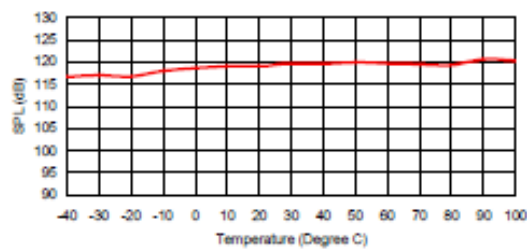
Center Frequency Shift vs. Driving Voltage



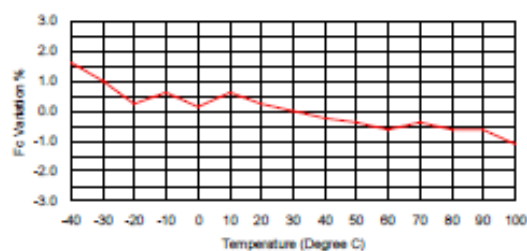
Sensitivity Variation vs. Temperature



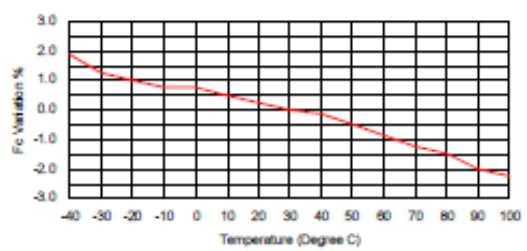
SPL Variation vs. Temperature



Center Frequency Shift vs. Temperature



Center Frequency Shift vs. Temperature





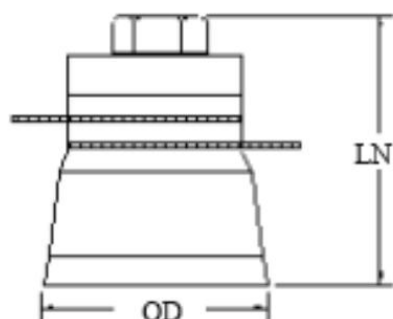
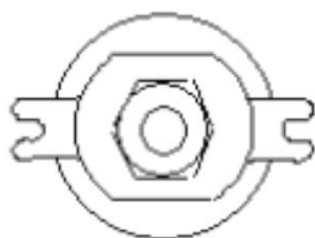
APC International, Ltd.
 213 Duck Run Road, P.O. Box 180
 Mackeyville, Pennsylvania 17750 USA
 Tel: +1 570 726 6961, Fax: +1 570 726 7466
 sales@americanpiezo.com
 www.americanpiezo.com

90-4050

40 kHz Ultrasonic Cleaning Transducer

Specifications

1. Description	40 kHz Sandwich Transducer
2. Operating Frequency	40 kHz
3. Capacitance	3.8 nF
4. Impedance	50 max.
5. Mechanical Q (Qm1)	800 min.
6. Power	50 Watts
7. Coupling Factor (kp)	55% min.
8. Major OD	45 mm
9. Overall LN	50 mm
10. Model	C-403545





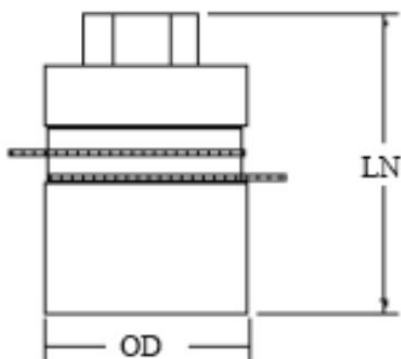
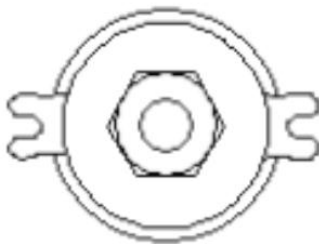
APC International, Ltd.
 213 Duck Run Road, P.O. Box 180
 Mackeyville, Pennsylvania 17750 USA
 Tel: +1 570 726 6961, Fax: +1 570 726 7466
sales@americanpiezo.com
www.americanpiezo.com

90-4060

80 kHz Ultrasonic Cleaning Transducer

Specifications

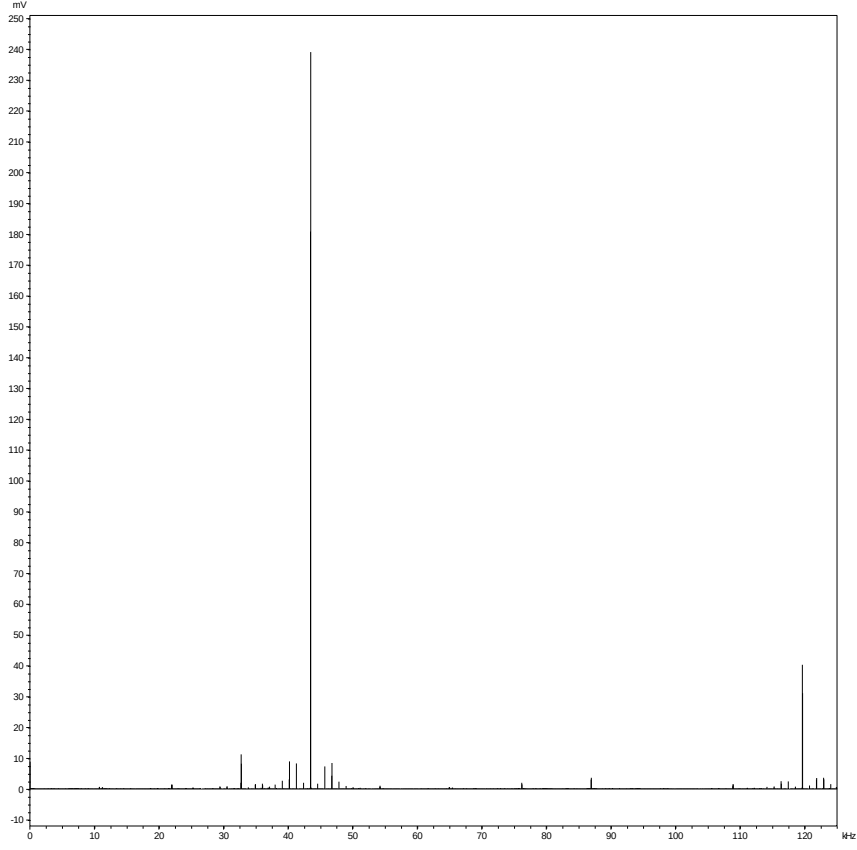
1. Description	80 kHz Sandwich Transducer
2. Operating Frequency	80 kHz
3. Capacitance	3.7 nF
4. Impedance	50 max.
5. Mechanical Q (Qm1)	1000 min.
6. Power	80 Watts continuous RMS power 60 Watts RMS large fq sweeping
7. Coupling Factor (kp)	55% min.
8. Major OD	40 mm
9. Overall LN	58 mm
10. Model	C-803840



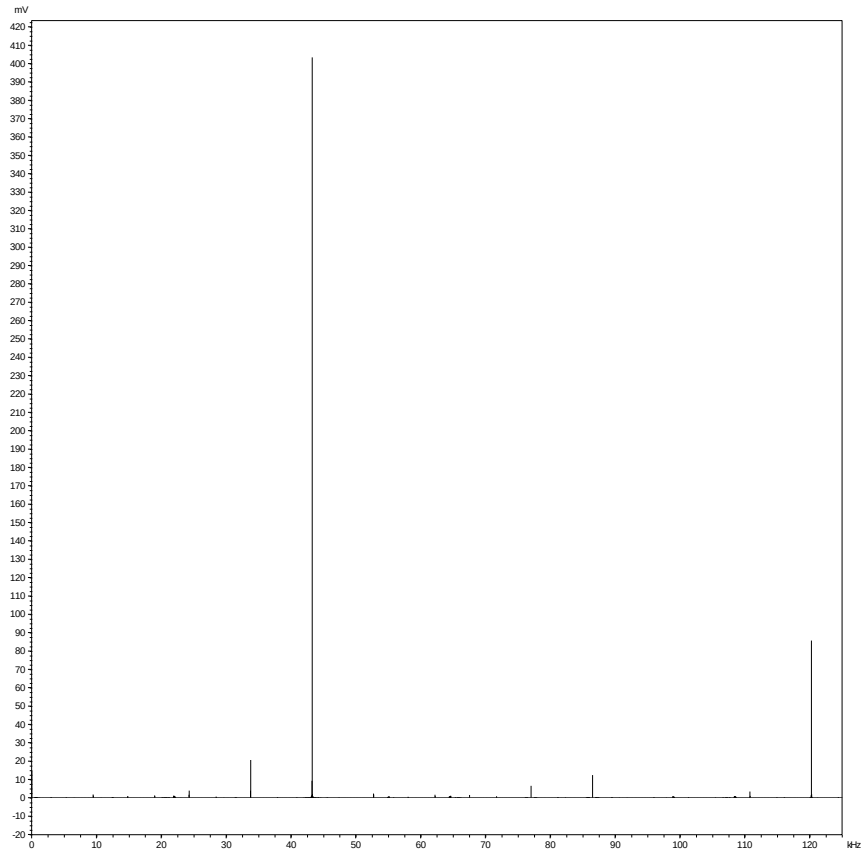
EK B: Ölçüm Sonuçları

✓ 1. Devre

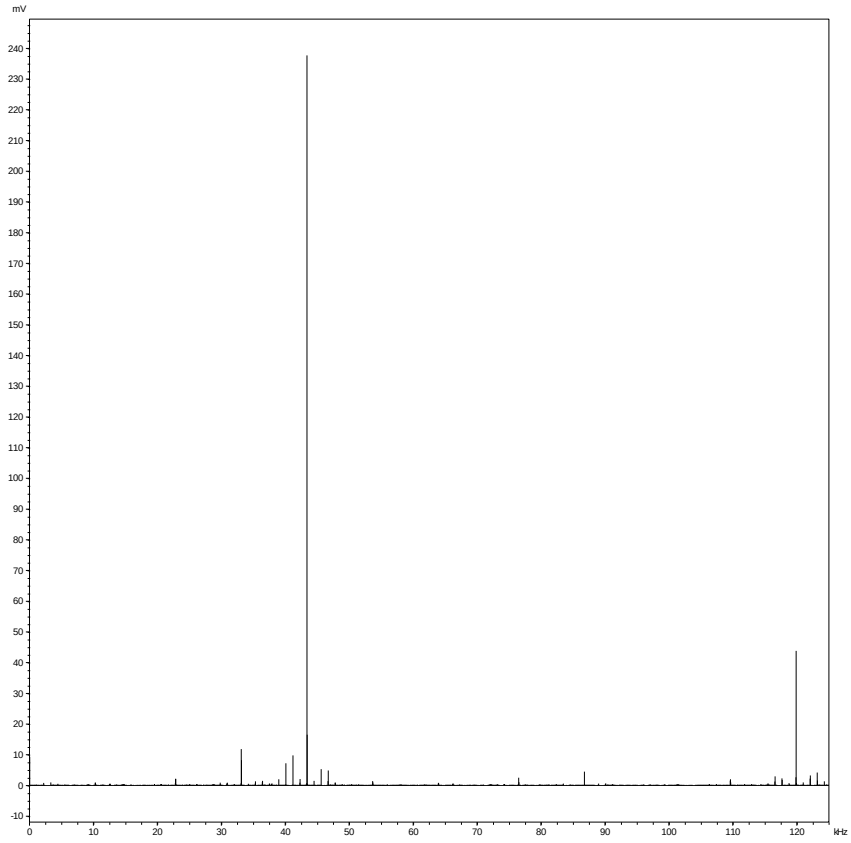
• 400ST100 ve 3cm



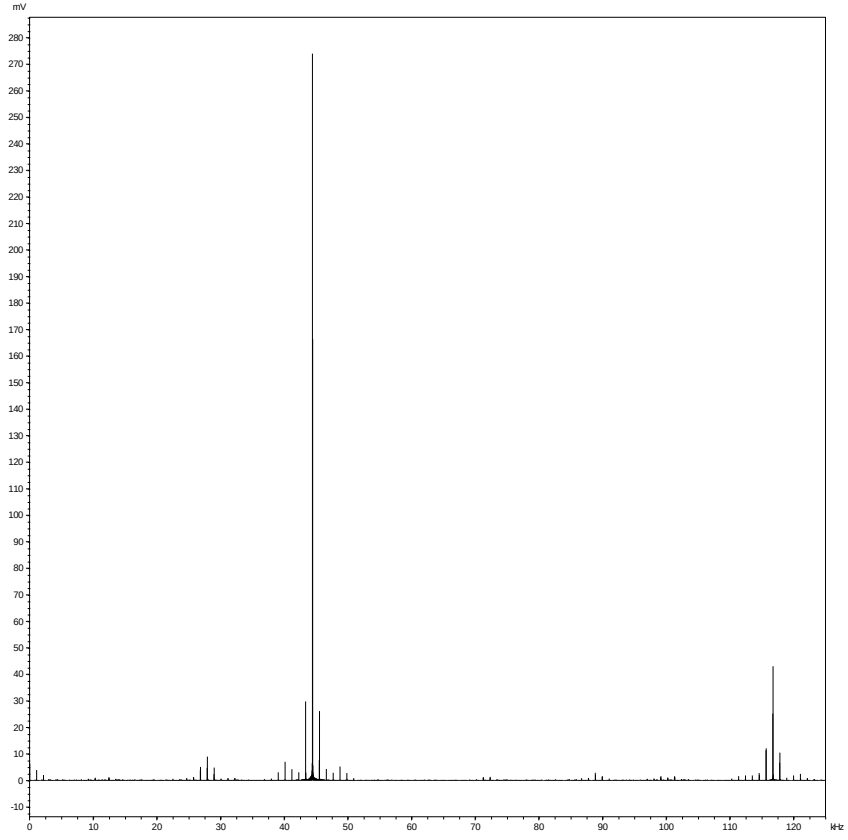
Şekil B.1: Tekli Ölçüm Sonucu



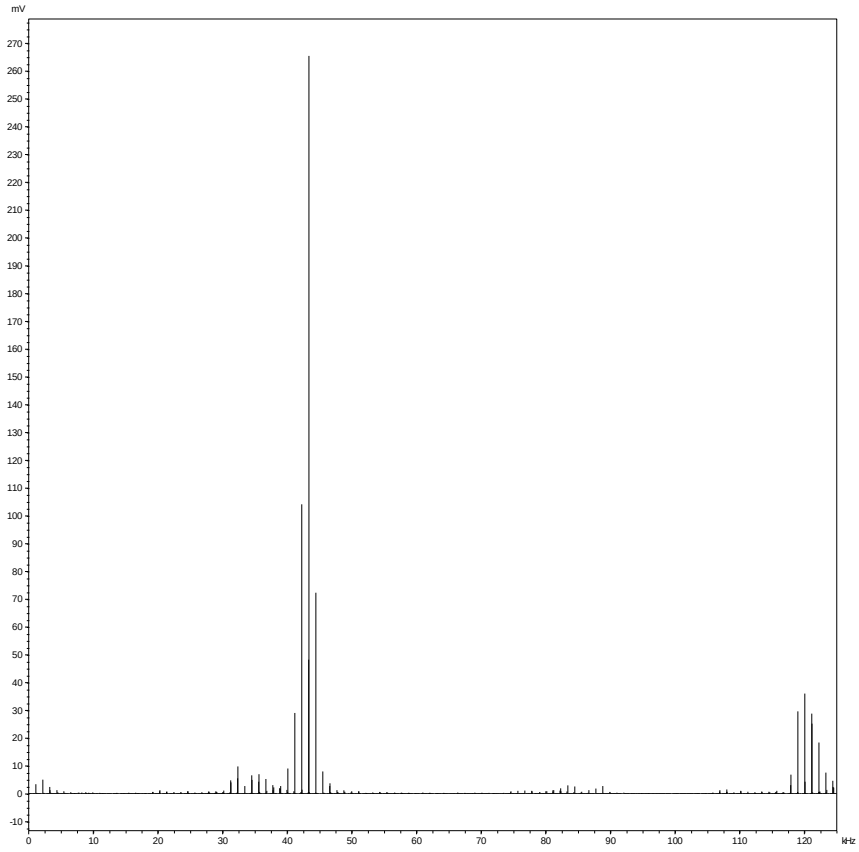
Şekil B.2: İkili Ölçüm



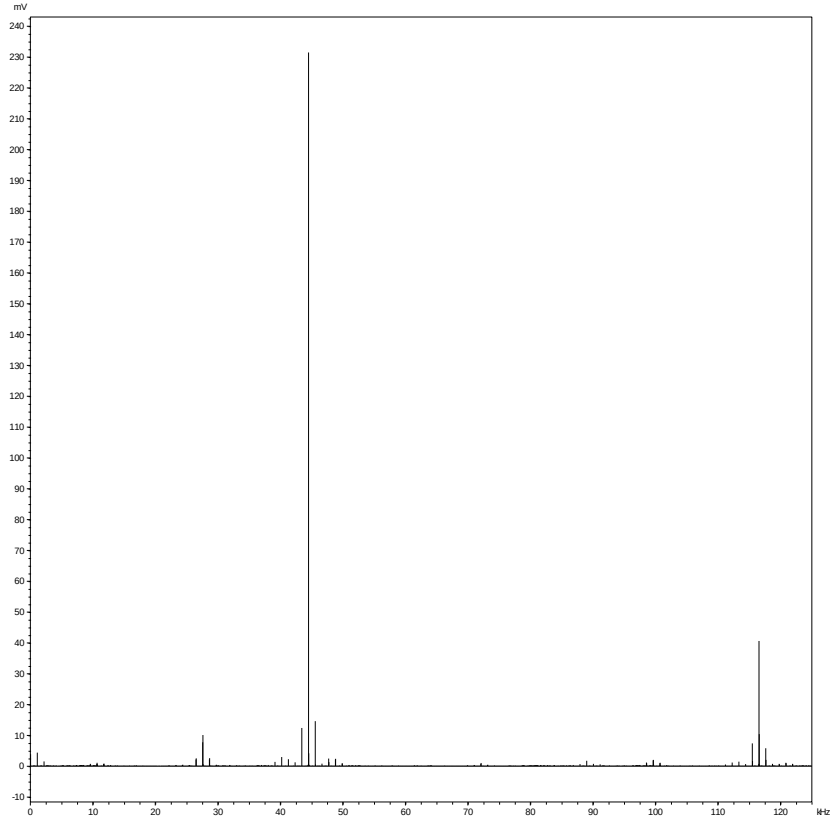
Şekil B.3: Seri İkili Ölçüm



Şekil B.4: Üçlü Ölçüm

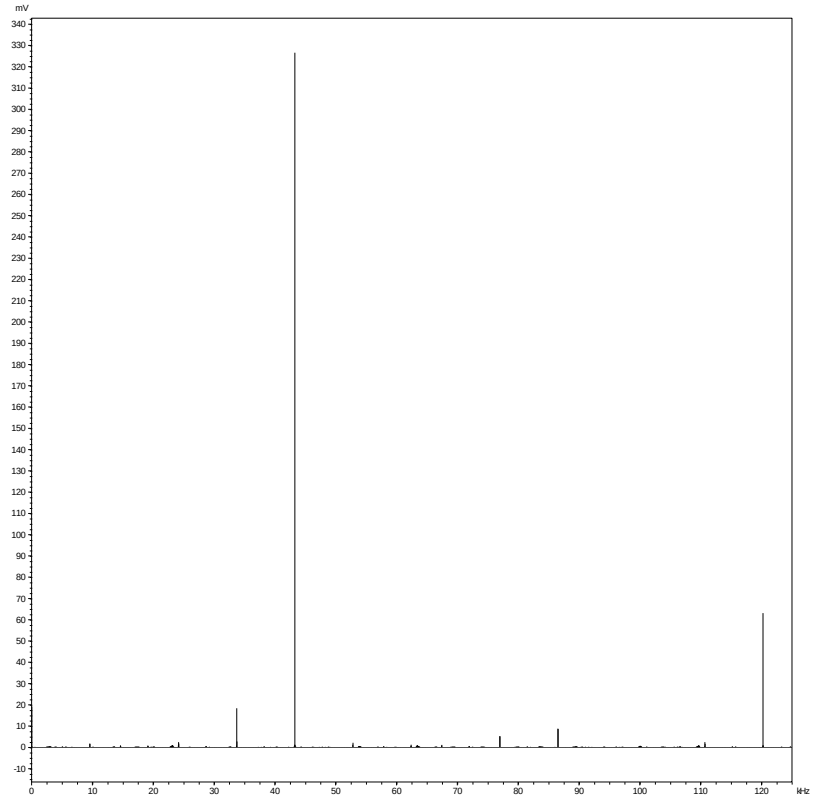


Şekil B.5: Dörtlü Ölçüm

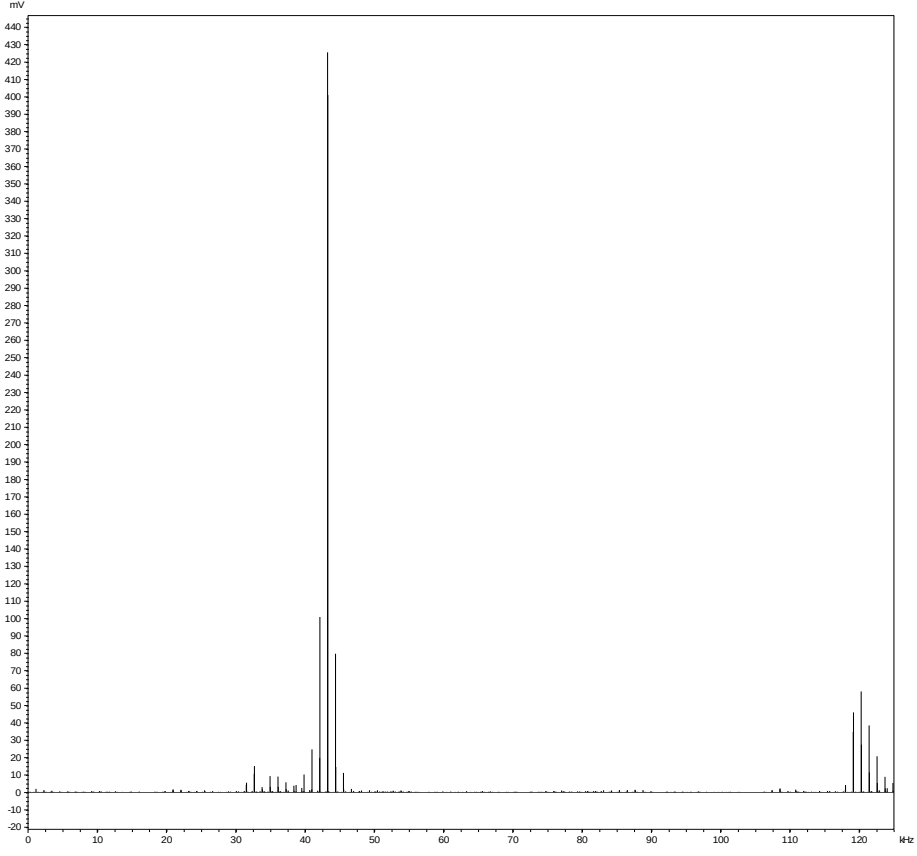


Şekil B.6: Altılı Ölçüm

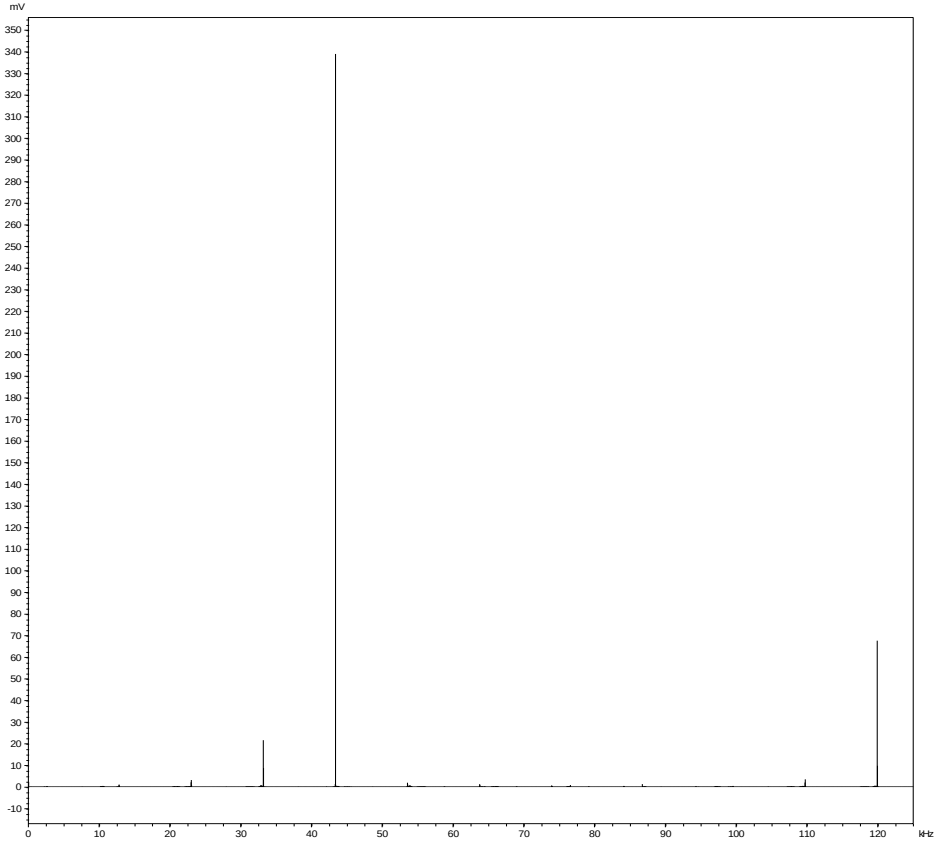
- **400ST160 ve 5cm**



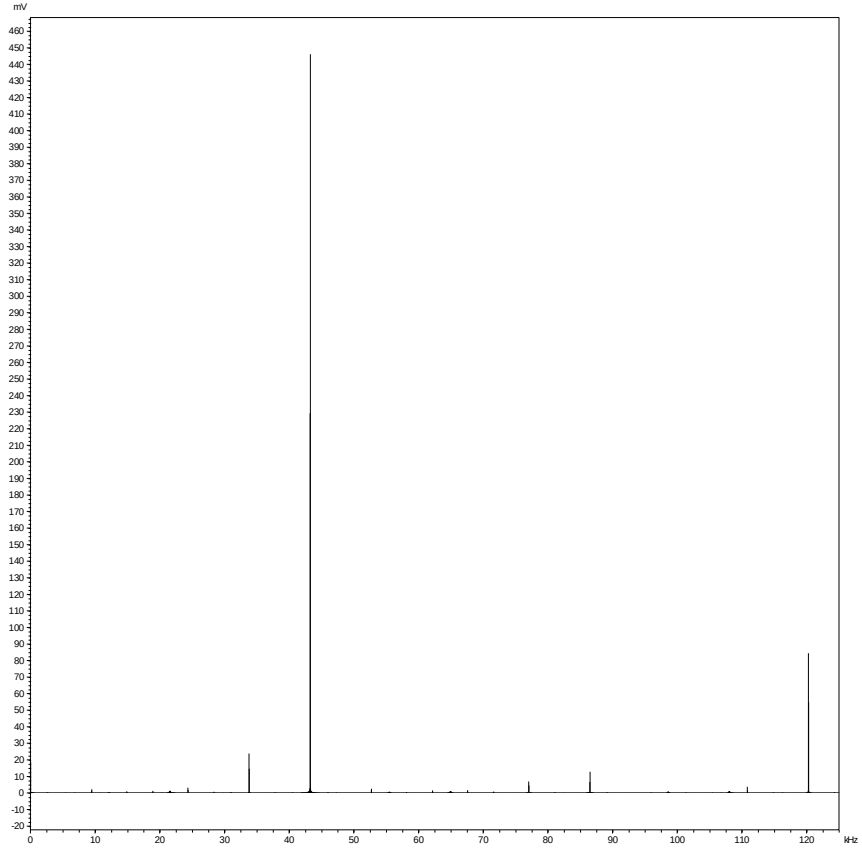
Şekil B.7: Tekli Ölçüm



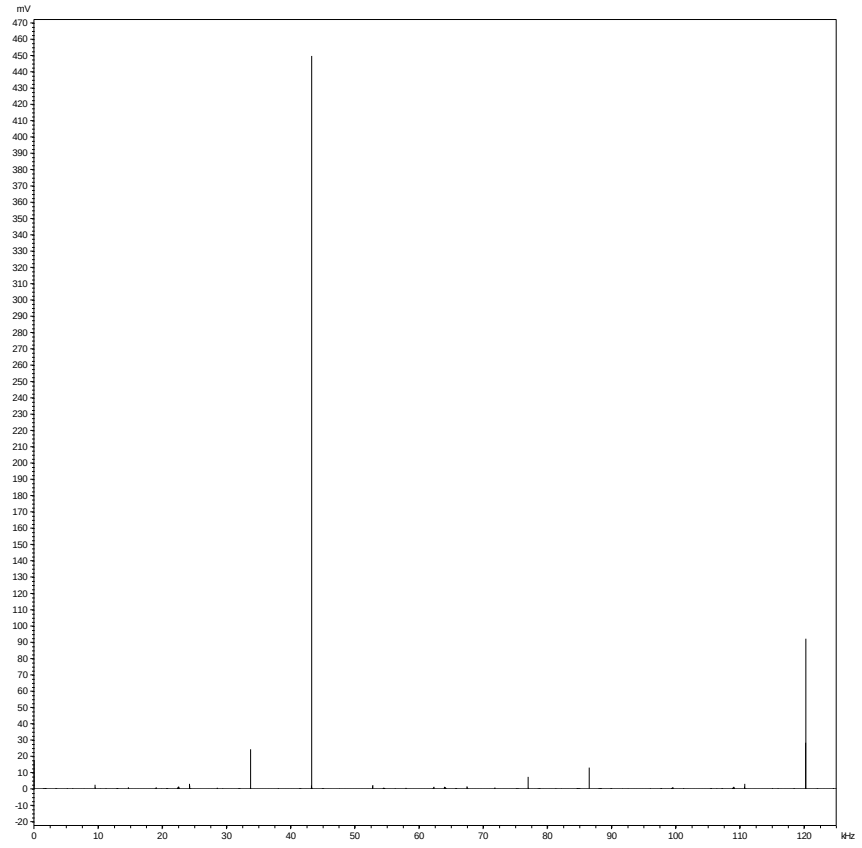
Şekil B.8: İkili Ölçüm



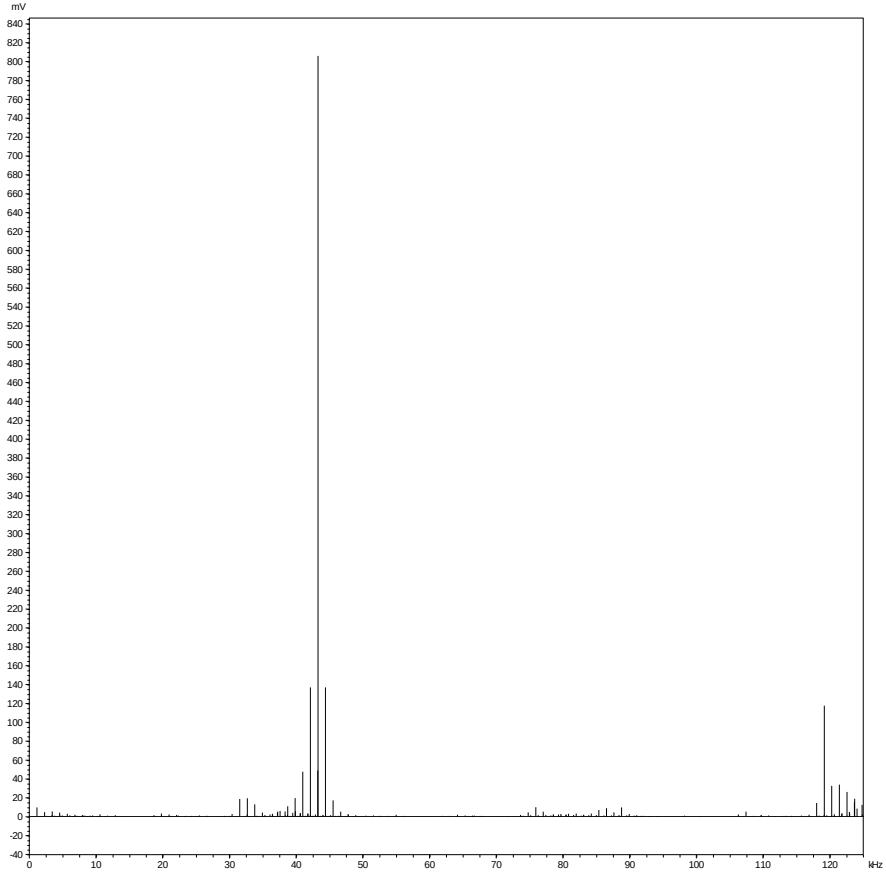
Şekil B.9: Seri İkili Ölçüm



Şekil B.10: Üçlü Ölçüm



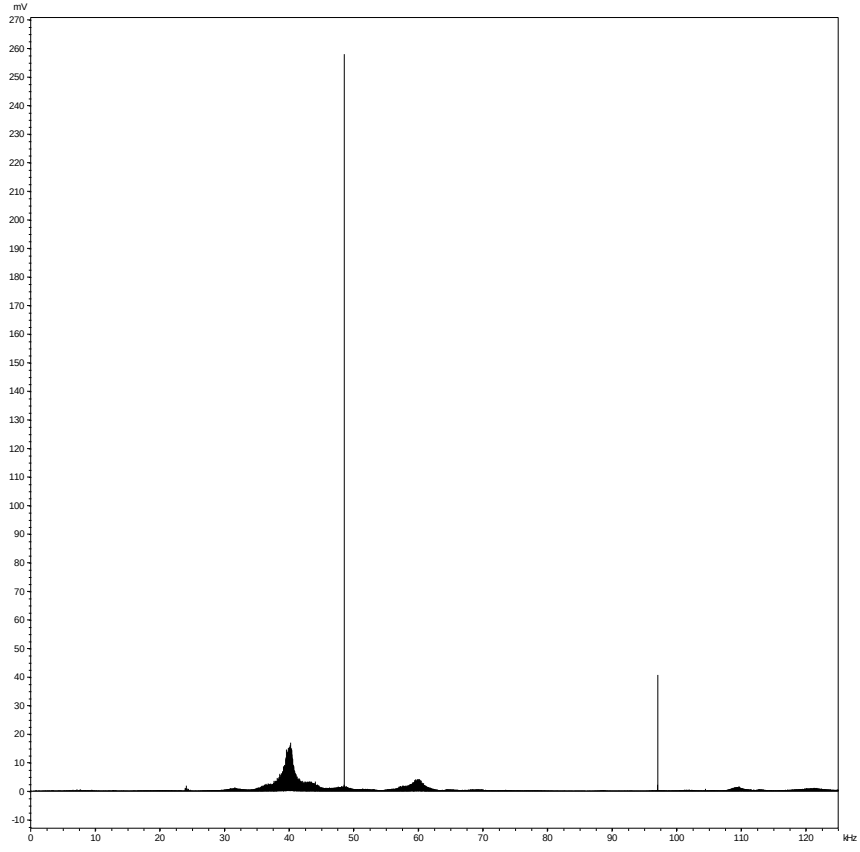
Şekil B.11: Dörtlü Ölçüm



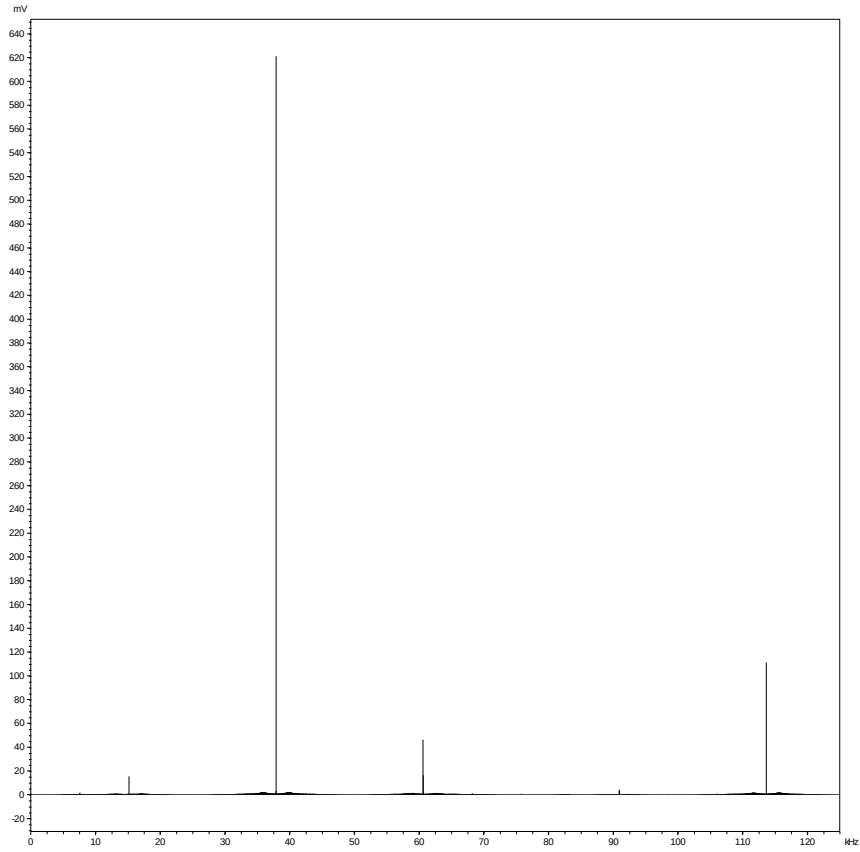
Şekil B.12: Altılı Ölçüm

✓ **2. Devre**

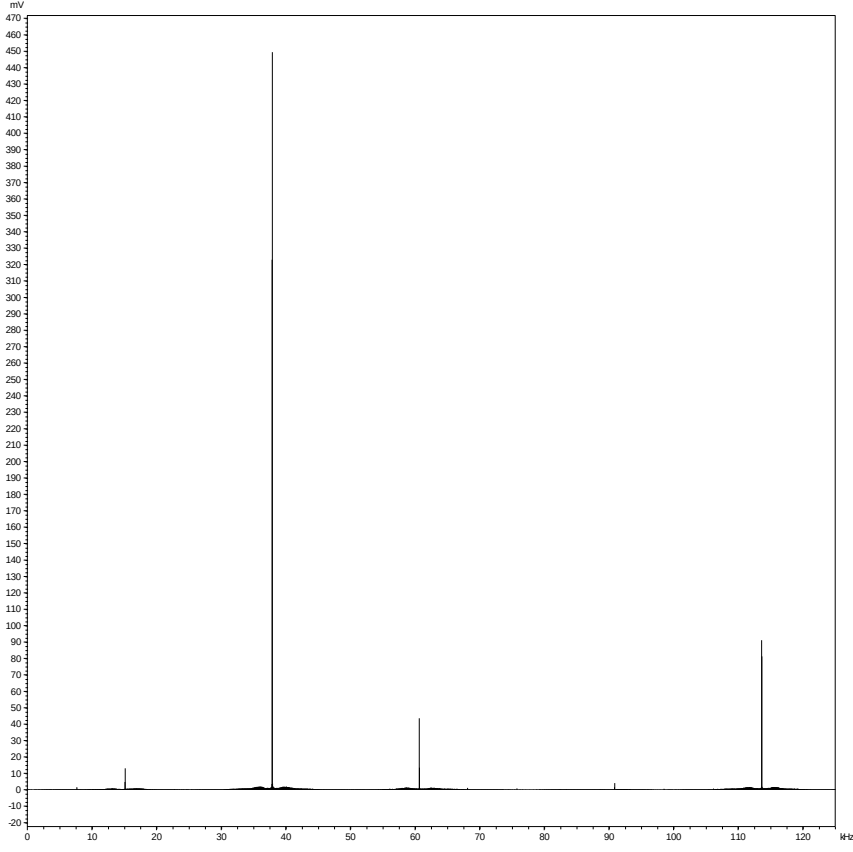
- **400ST100 ve 3 cm**



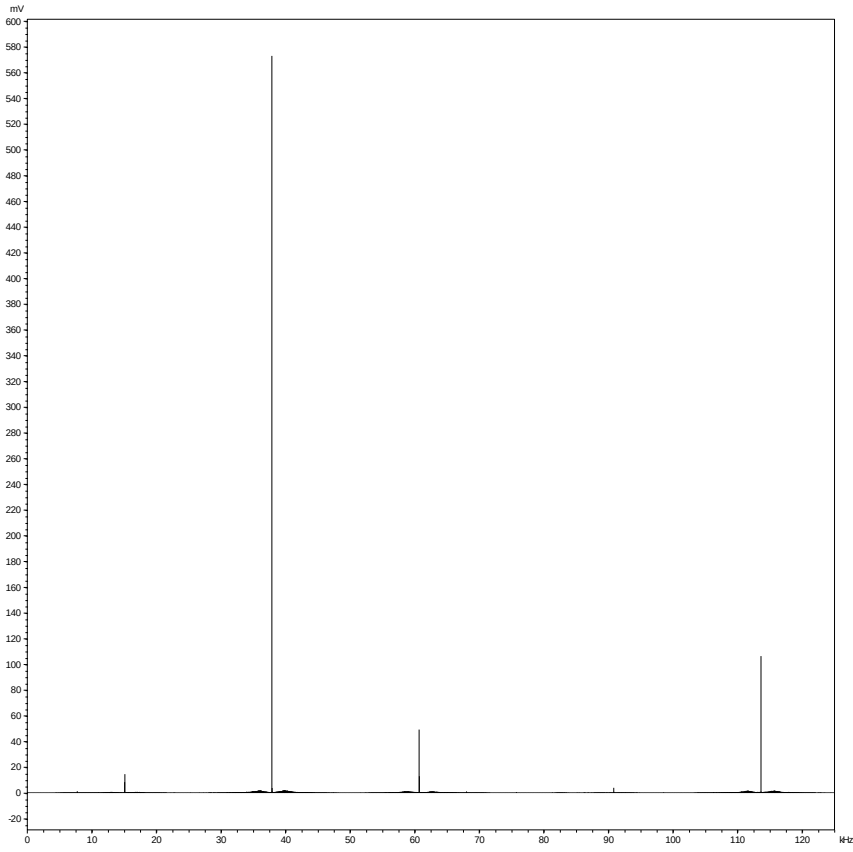
Şekil B.13: Tekli Ölçüm



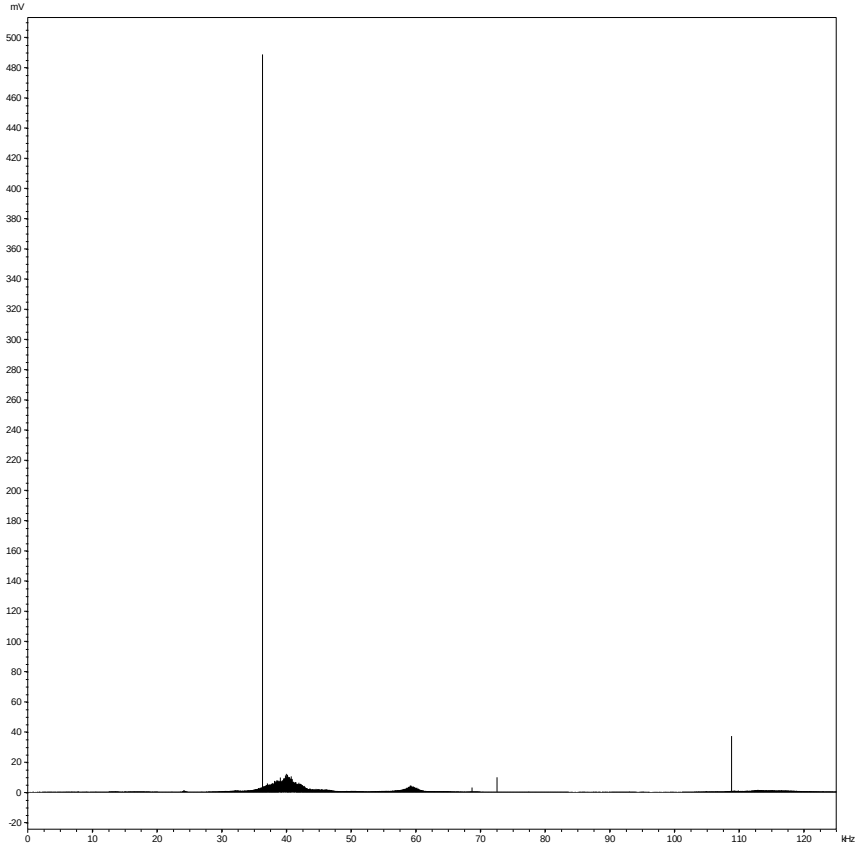
Şekil B.14: İkili Ölçüm



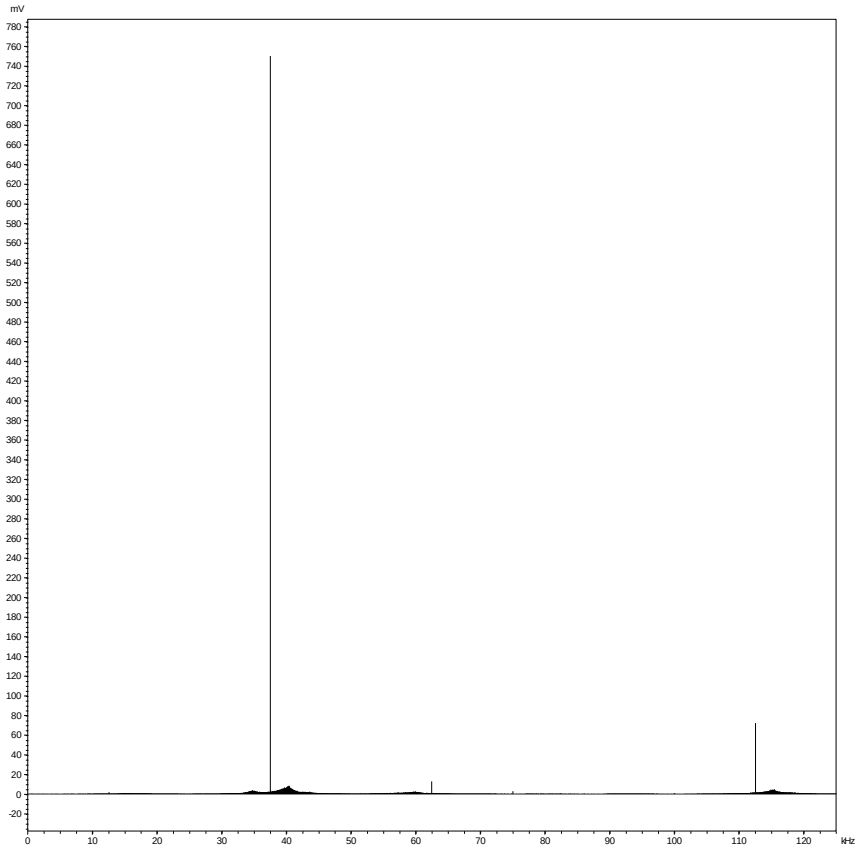
Şekil B.15: Seri İkili Ölçüm



Şekil B.16: Üçlü Ölçüm

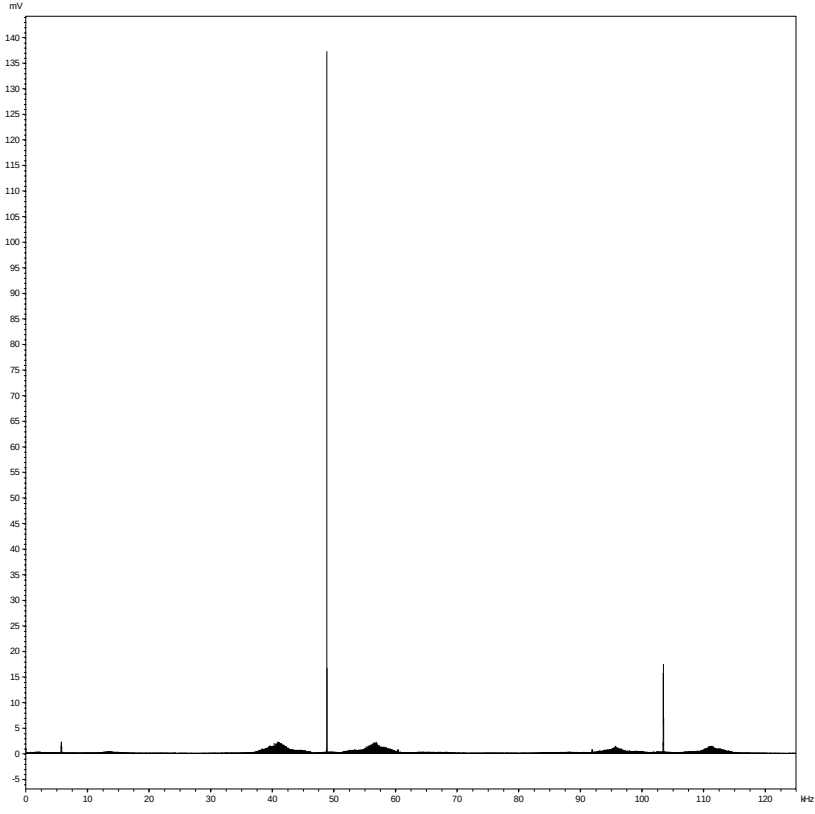


Şekil B.17: Dörtlü Ölçüm

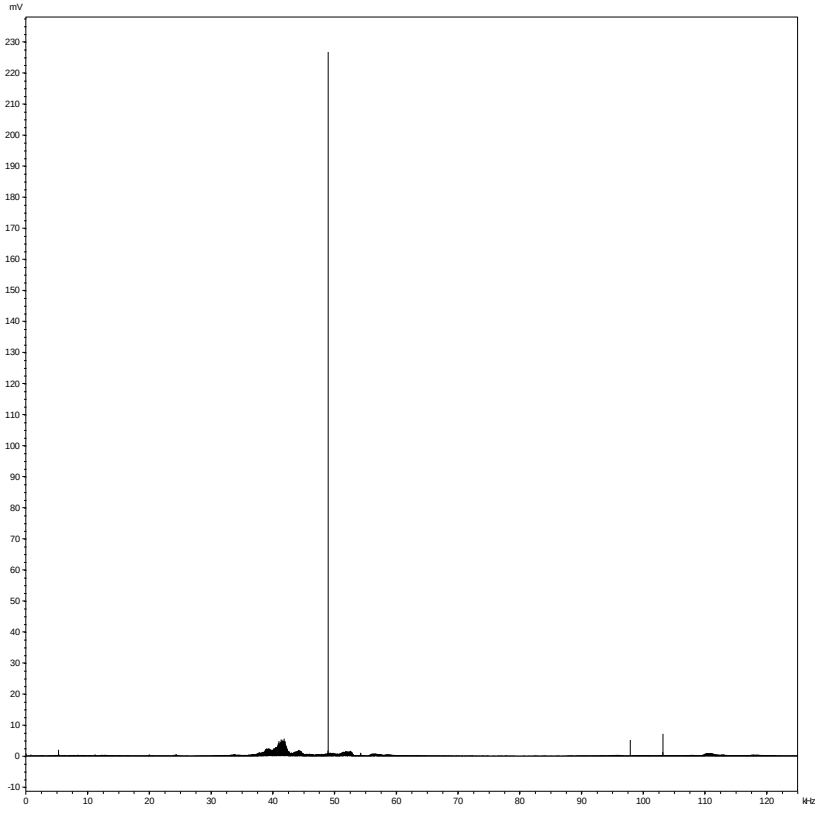


Şekil B.18: Altılı Ölçüm

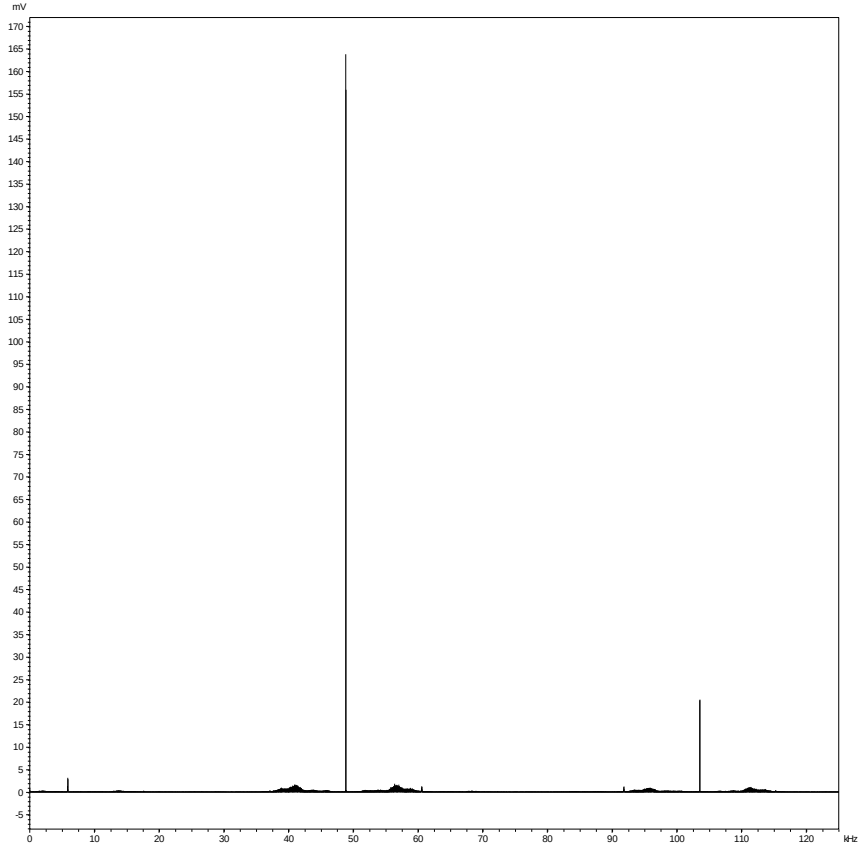
- 400ST160 ve 5 cm



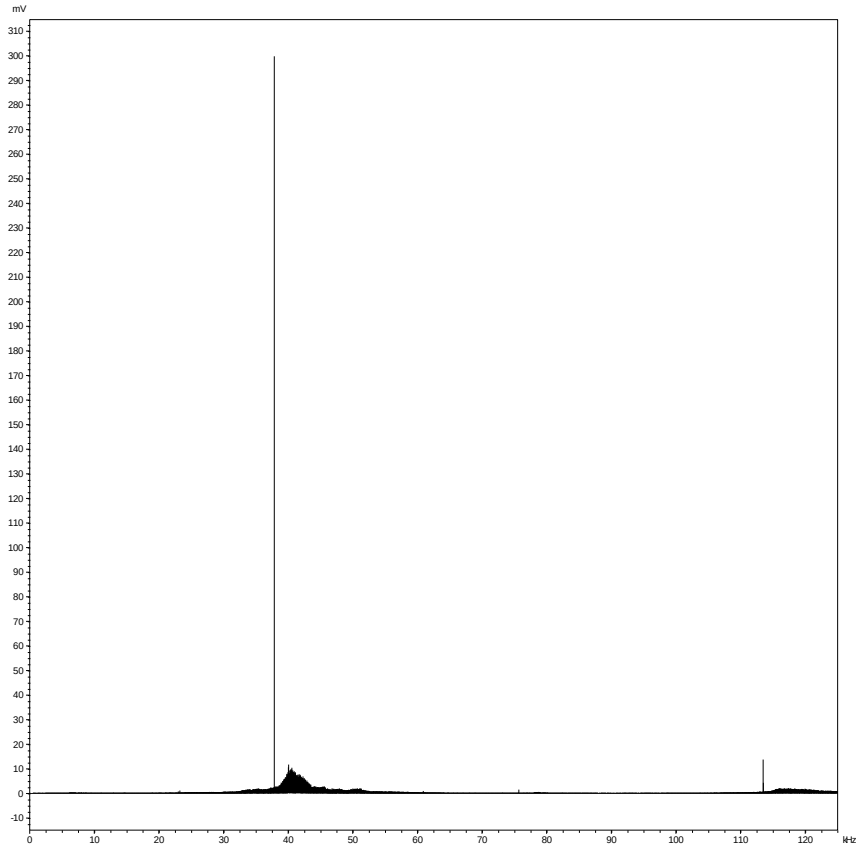
Şekil B.19: Tekli Ölçüm



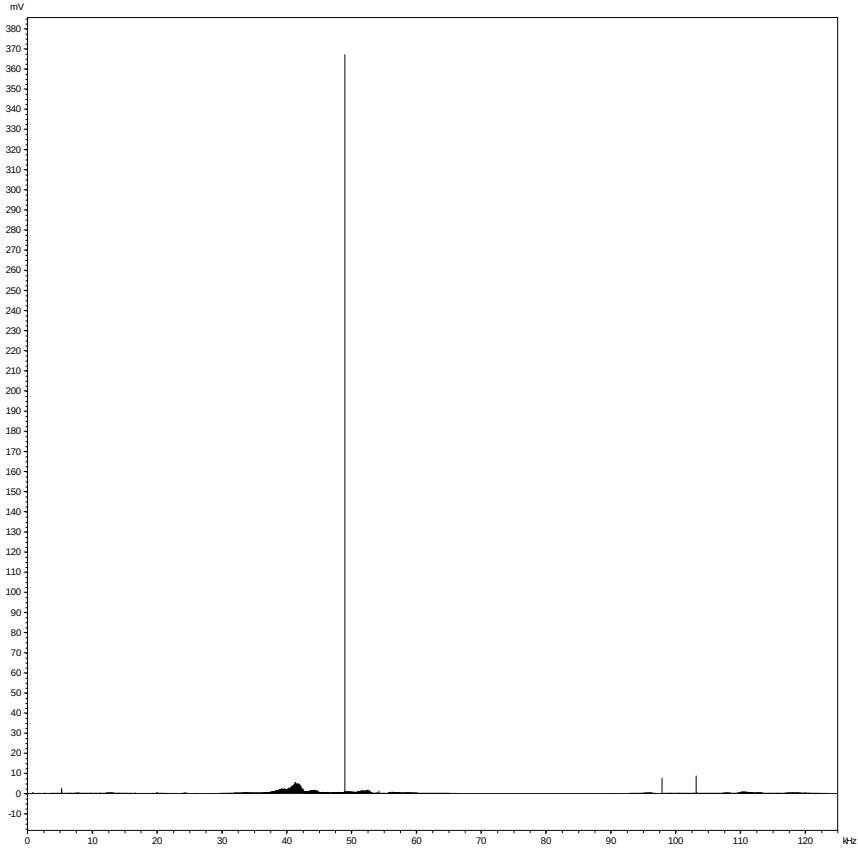
Şekil B.20 İkili Ölçüm



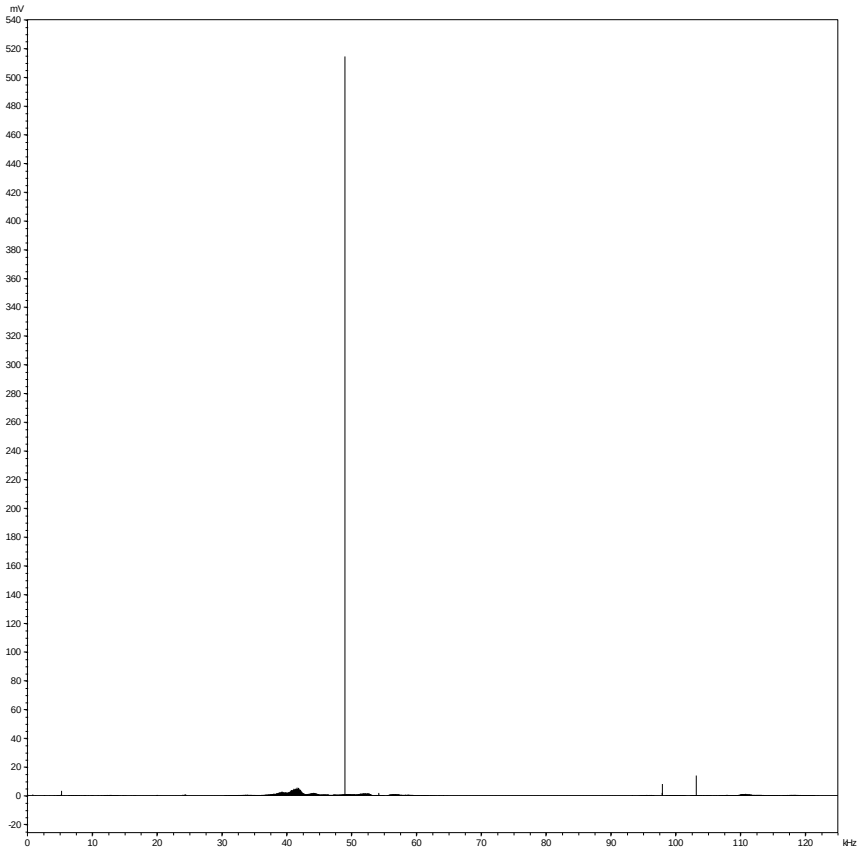
Şekil B.21: Seri İkili Ölçüm



Şekil B.22: Üçlü Ölçüm



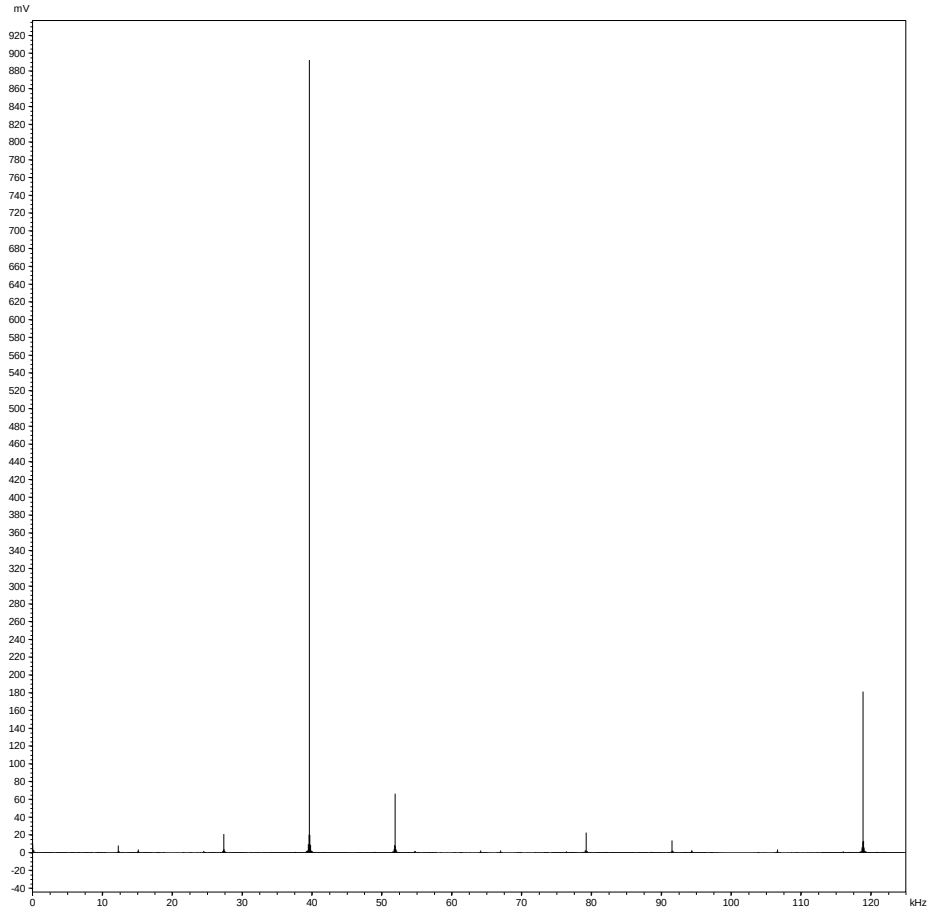
Şekil B.23: Dörtlü Ölçüm



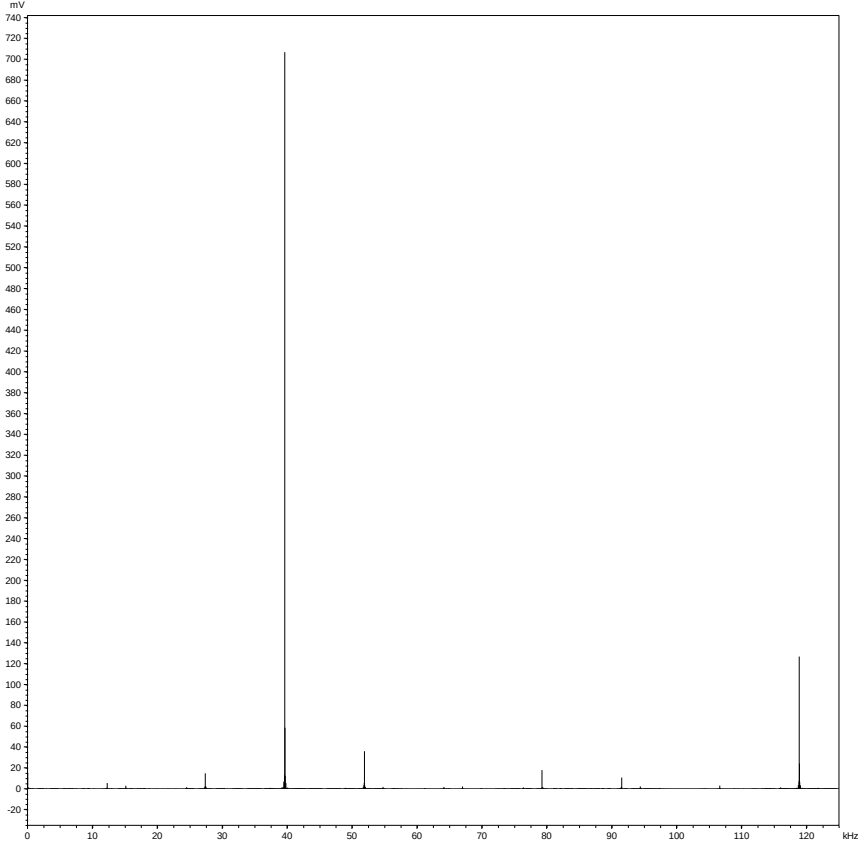
Şekil B.24: Altılı Ölçüm

✓ 3. Devre

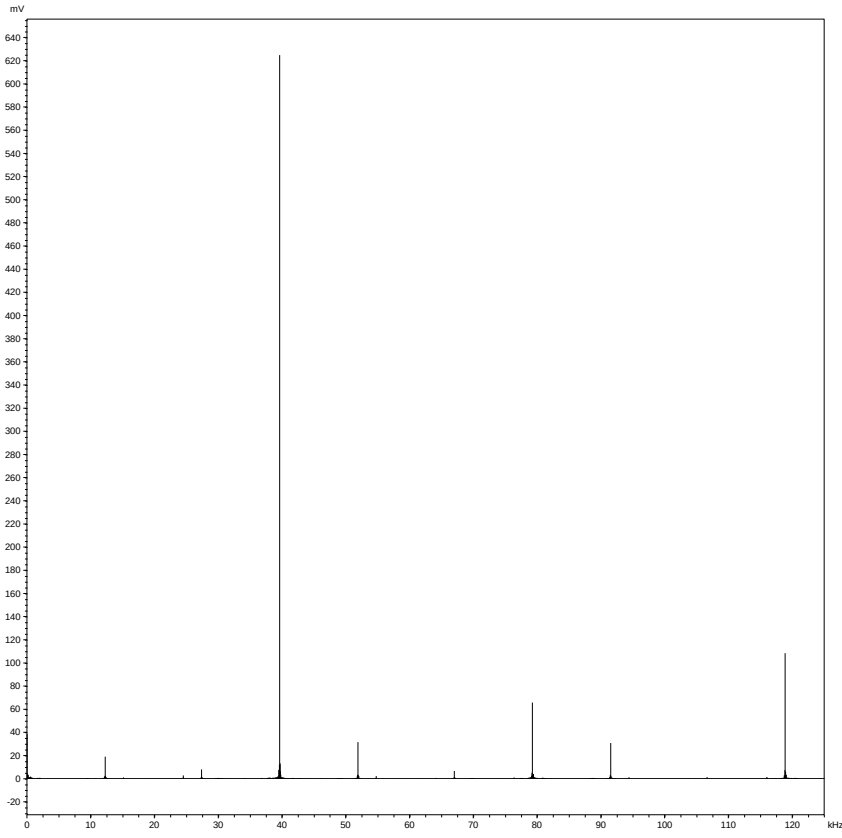
- Apc-90-4050



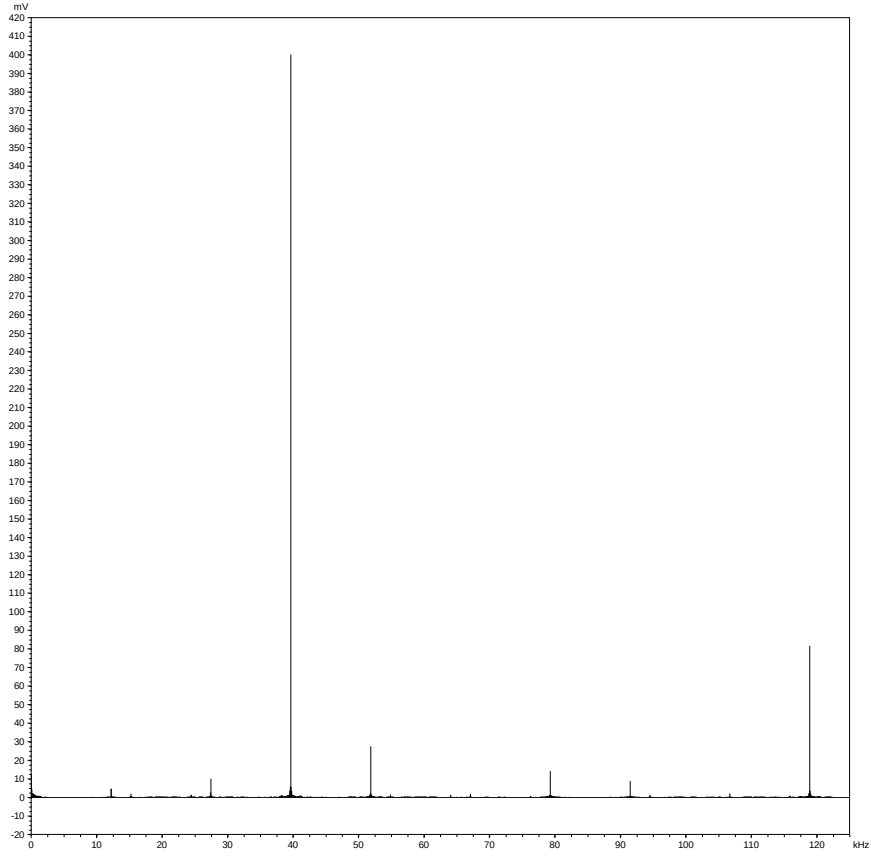
Şekil B.25: Yakın Alan Uzaklığından (5.9 cm) yapılan ölçüm



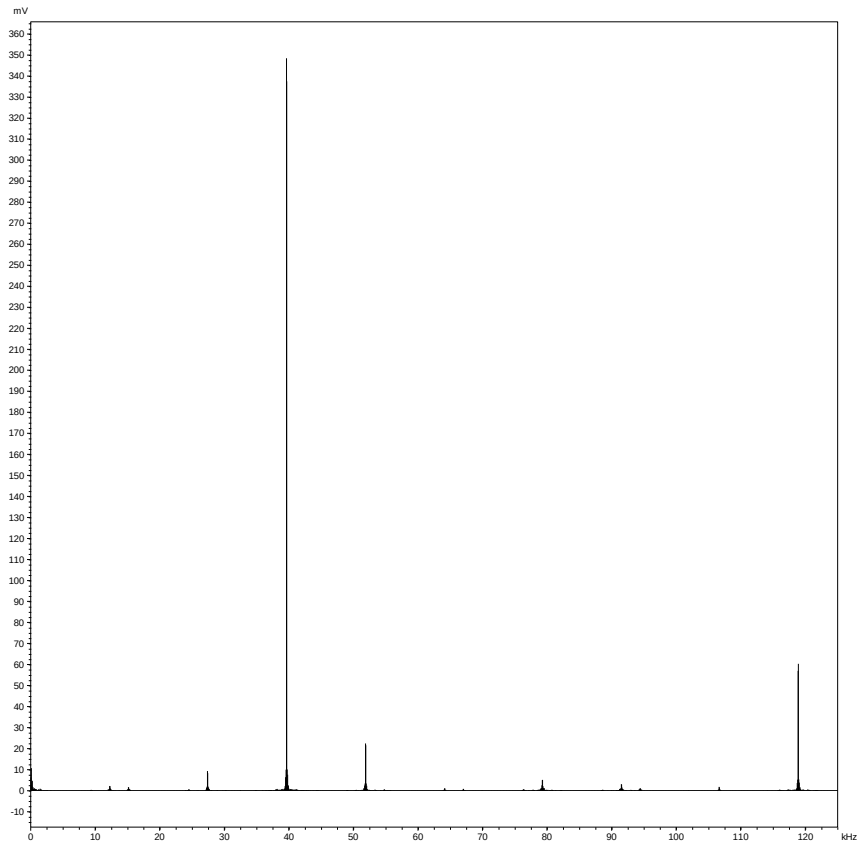
Şekil B.26: 9 cm'den yapılan ölçüm



Şekil B.27: 14 cm'den yapılan ölçüm



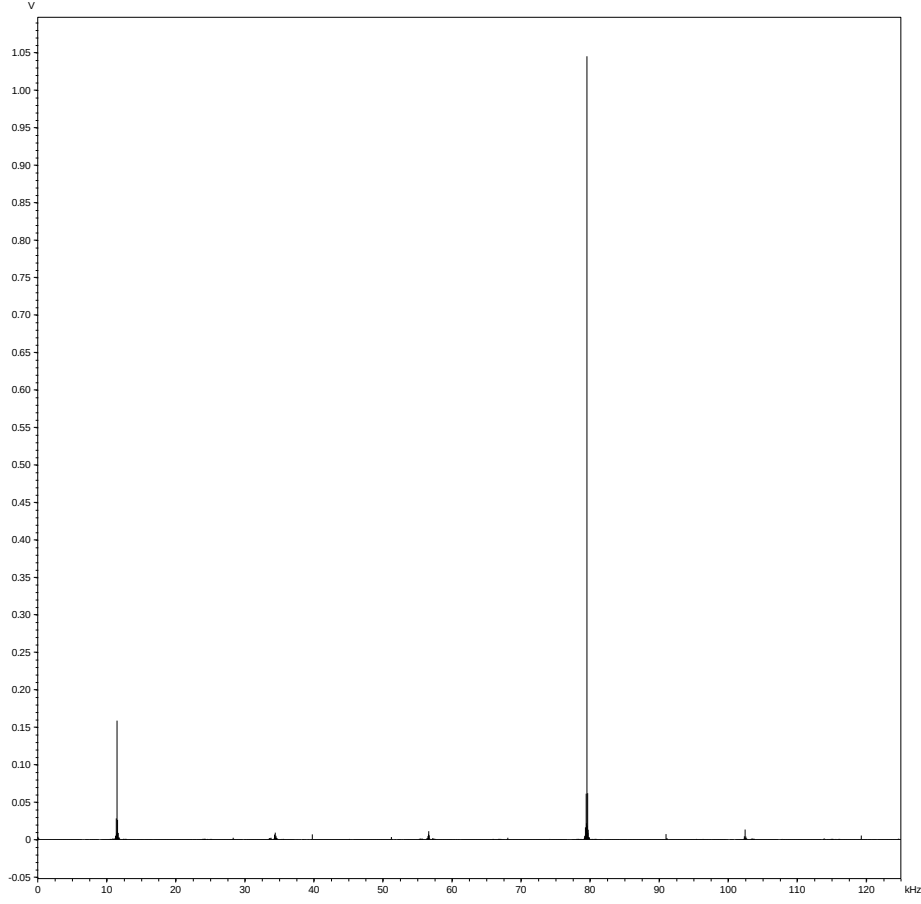
Şekil B.28: 20 cm'den yapılan ölçüm



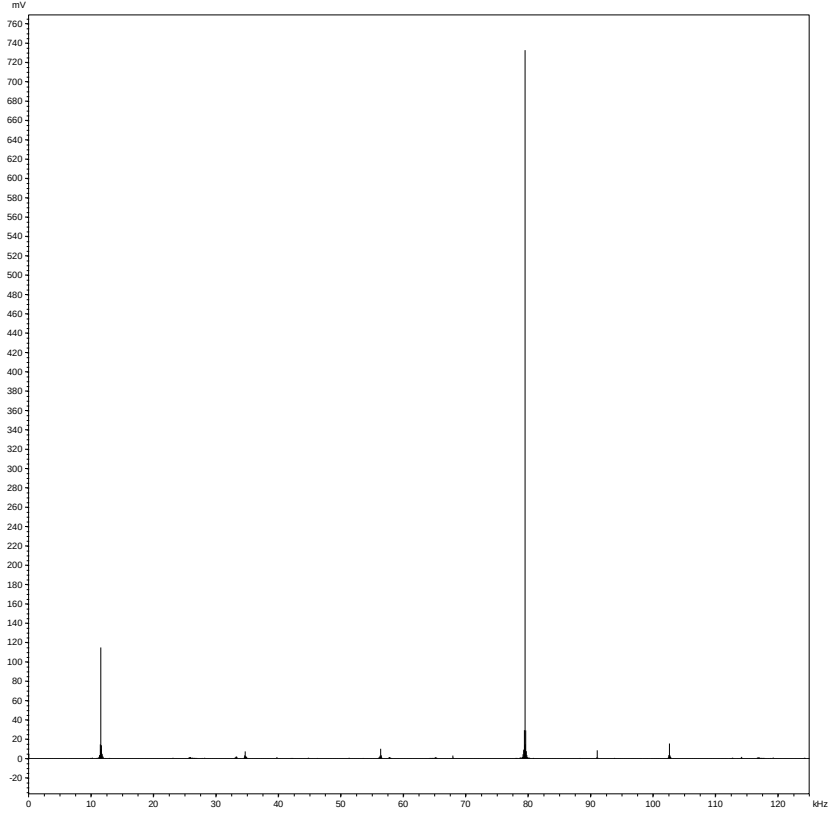
Şekil B.29: 25 cm'den yapılan ölçüm

✓ 3. Devre

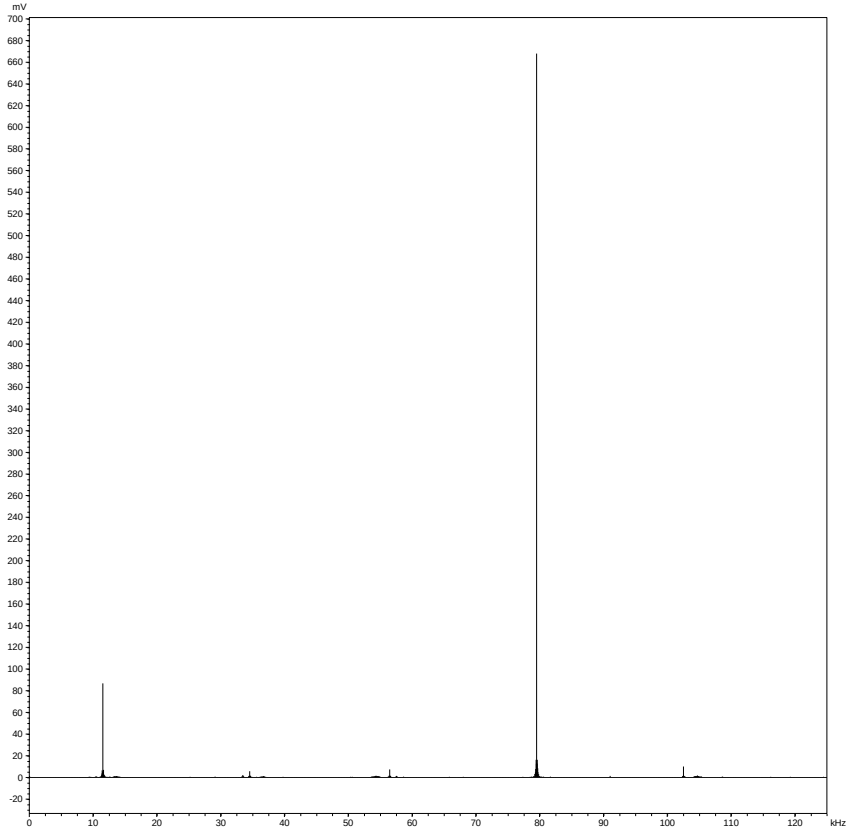
• Apc-90-4060



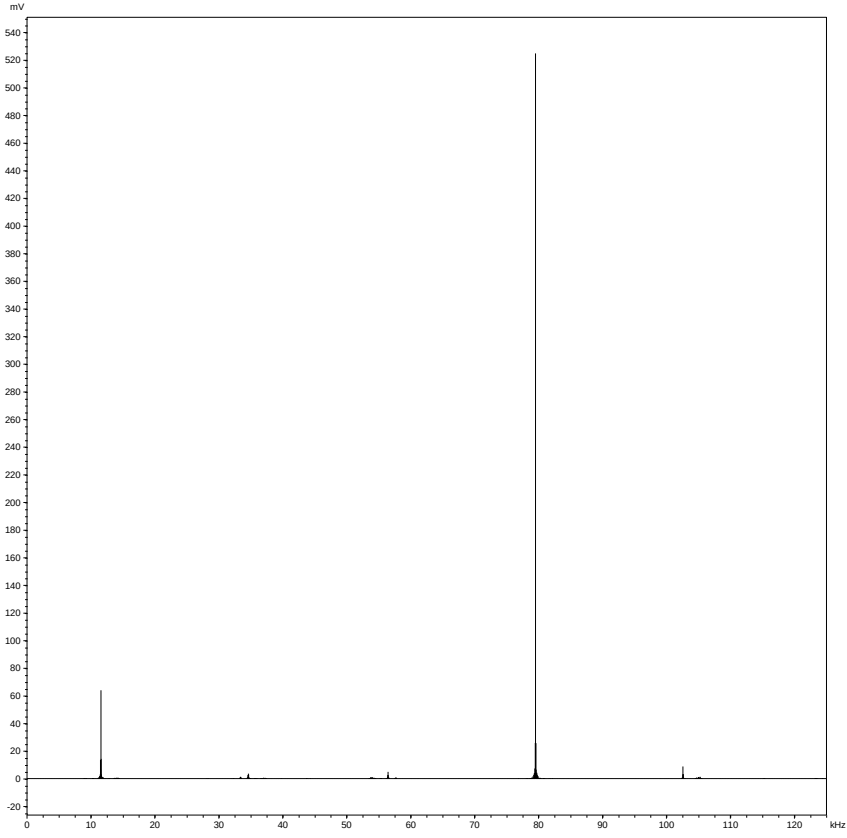
Şekil B.30: 9 cm'den yapılan Ölçüm



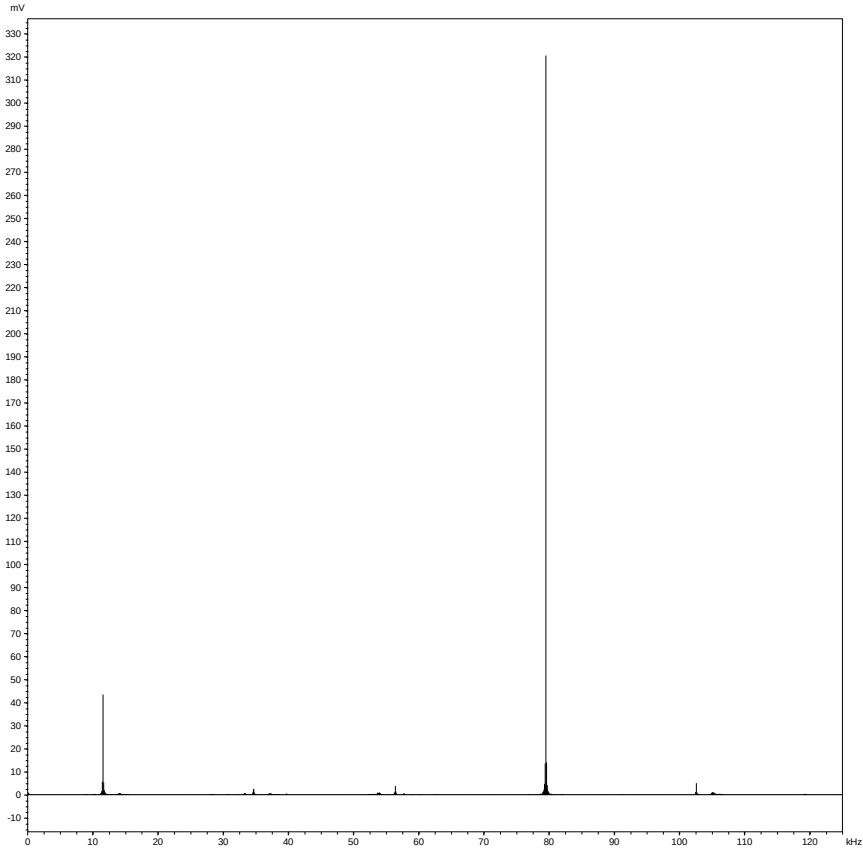
Şekil B.31: 12 cm'den yapılan Ölçüm



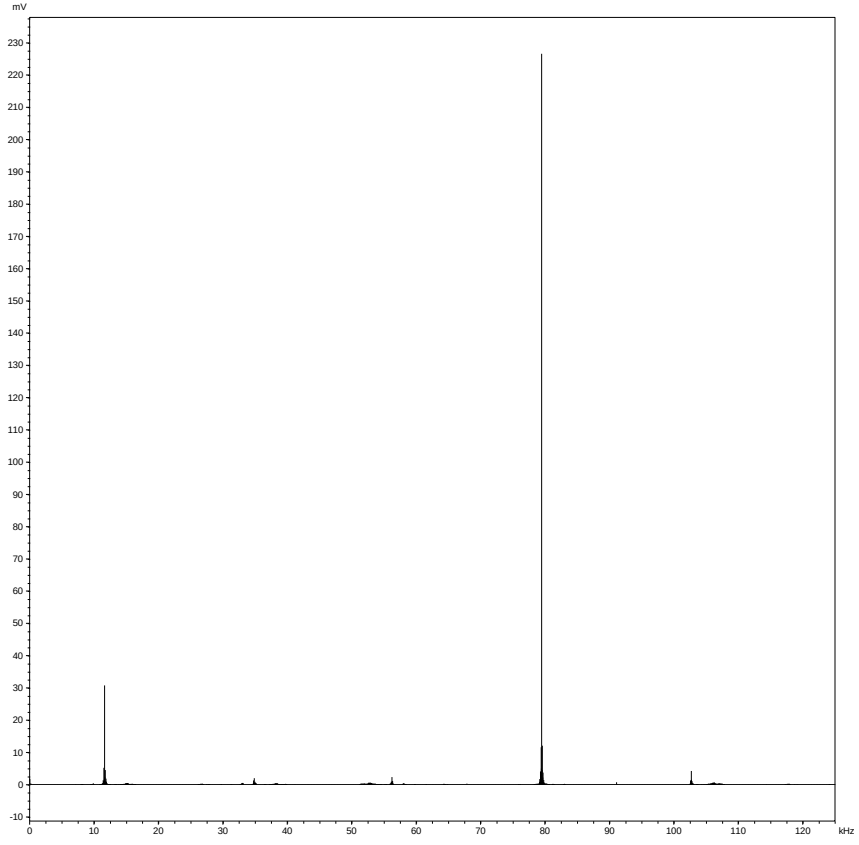
Şekil B.32: 14 cm'den yapılan Ölçüm



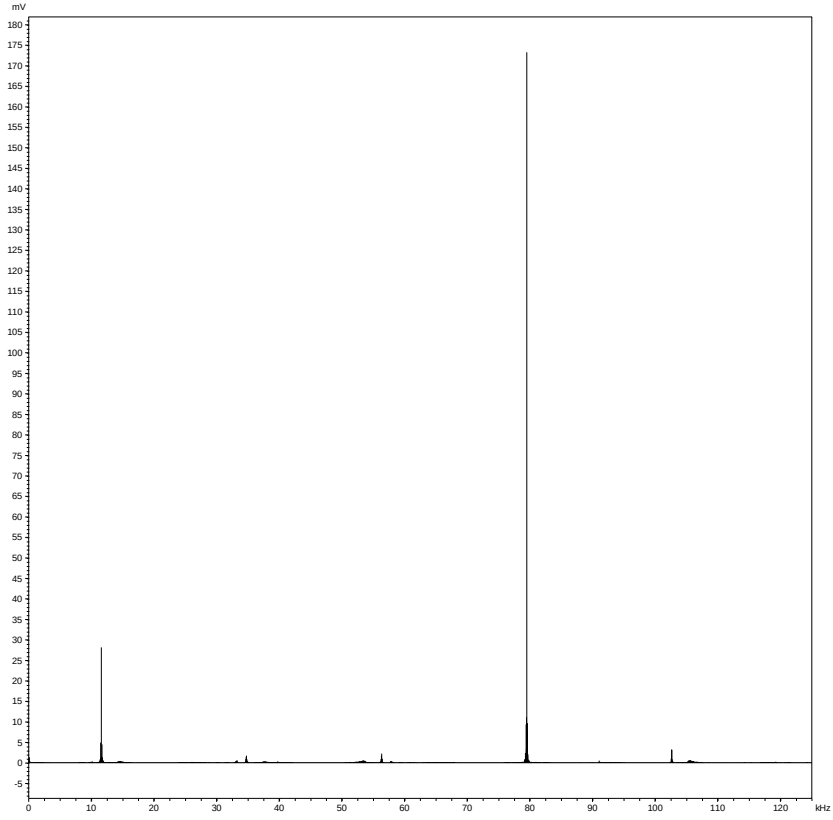
Şekil B.33: 20 cm'den yapılan Ölçüm



Şekil B.34: 25 cm'den yapılan Ölçüm



Şekil B.35: 35 cm'den yapılan Ölçüm



Şekil B.36: 50 cm'den yapılan Ölçüm

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Yavuz Erşat Kabukcu

Doğum Tarihi ve Yeri: 09.12.1988/Bursa

E-posta : yekabukcu@gmail.com

Lisans : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü