

**AKILLI ULTRASONİK TEMİZLEME CİHAZI  
TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**2012  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**MUSTAFA TEKE**

**AKILLI ULTRASONİK TEMİZLEME CİHAZI TASARIMI VE  
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**Mustafa TEKE**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Nisan 2012**

Mustafa TEKE tarafından hazırlanan “AKILLI ULTRASONİK TEMİZLEME CİHAZI TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Salih GÖRGÜNOĞLU

Tez Danışmanı, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Fecir DURAN

Tez Danışmanı, Gazi Üniversitesi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/04/2012

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Salih GÖRGÜNOĞLU (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fecir DURAN (GÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. İlhami Muharrem ORAK (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ (KBÜ)

30/05/2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Mustafa TEKE

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **AKILLI ULTRASONİK TEMİZLEME CİHAZI TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**Mustafa TEKE**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanları:**

**Yrd. Doç. Dr. Salih GÖRGÜNOĞLU**

**Yrd. Doç. Dr. Fecir DURAN**

**Nisan 2012, 74 sayfa**

Ultrasonik temizleyiciler ultrasonik dönüştürücüler kullanılarak ultrasonik temizleme yapan cihazlardır. Ultrasonik temizleyiciler optik, mücevher, otomotiv ve diş protez sektörlerinde kirli ve paslı malzemelerin temizliği için kullanılmaktadır. Doğru belirlenmeyen temizleme süresi yüzünden, malzemede kavitasyon erozyonu meydana gelmektedir. Buna ek olarak enerji israfı da söz konusudur. Bu çalışmada, yıkama süresi otonom olarak belirlenen, enerji tasarrufu sağlayan ve temizleme işlemini güvenli bir şekilde yapan akıllı bir temizleme cihazı tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Temizleme süresi tanka koyulan sıvıdaki bulanıklık ve iletkenlik değerleri izlenerek otomatik olarak ayarlanmaktadır. Böylece malzemede kavitasyon erozyonu oluşmadan önce, temizleme cihazı temizleme işlemini sona erdirmekte ve boşa çalışma süresi ortadan kaldırılarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

**Anahtar Sözcükler** :Ultrasonik temizlik , Ultrasonik dönüştürücüler  
**Bilim Kodu** :702.1.035

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **DESIGN AND IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT ULTRASONIC CLEANING DEVICE**

**Mustafa TEKE**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Electronic and Computer Education**

**Thesis Advisors:**

**Asst. Prof. Dr. Salih GÖRGÜNOĞLU**

**Asst. Prof. Dr. Fecir DURAN**

**April 2012, 74 pages**

Ultrasonic cleaners are devices which performs ultrasonic cleaning by using ultrasonic converters. Ultrasonic cleaners has been using for cleaning dirty and rusty materials at the optical, jewelry, automotive and dental prosthesis sectors. Due to unidentified correctly cleaning time, cavitation erosion has been occurred at the material. In addition to that waste of energy is concerned. In this study, an intelligent cleaning device that runs autonomously identified cleaning time, saves energy, and makes the cleaning process safely has been designed and implemented. Ultrasonic cleaning time has been adjusted automatically by monitoring of turbidity and conductivity values of liquid that is put in to the cleaning tank. Thus, cleaning device has been finished the process of cleaning before cavitation erosion of material is occurred. In addition, energy is saved by eliminating wasted working time.

**Key Words** : Ultrasonic Cleaning , ultrasonic transducers  
**Science Code** : 702.1.035



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. Salih GÖRGÜNOğLU`na ve Yrd. Doç. Dr. Fecir DURAN`a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	6
ULTRASONİK DALGALAR.....	6
2.1. ULTRASONİĞİN TANIMI .....	6
2.2. SES DALGASI VE YAYILIMI .....	7
2.3. SESİN DALGA BOYU VE HIZI .....	10
2.4. SES DALGALARININ DOĞASI.....	10
2.5. ULTRASONİK TEMİZLEME TEORİSİ .....	11
2.6. ULTRASONİK TEMİZLEME CİHAZININ BİLEŞENLERİ.....	15
2.6.1. Ultrasonik Sinyal Jeneratörü.....	17
2.6.2. Ultrasonik Dönüştürücüler .....	18
2.6.3. Ultrasonik Temizleme Tankları .....	25
2.6.4. Ultrasonik Temizlemede Kullanılan Çözeltiler .....	29
2.7. KAVİTE EROZYONU .....	31
2.8. ÇOKLU FREKANS ÖZELLİKLİ ULTRASONİK TEMİZLEME SİSTEMLERİ.....	32
2.9. ULTRASONİK TEMİZLEME SÜRECİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ .....	34

	<u>Sayfa</u>
2.9.1. Ultrasonik Dalganın Genliği ve Frekansı .....	34
2.9.2. Sıvının Buhar Basıncı, Yüzey Gerginliği ve Kayganlığı.....	36
2.10. GAZ GİDERME VE TEMİZLEMeye ETKİSİ.....	37
2.11. ULTRASONİK TEMİZLİK VERİMİNİN ARTTIRILMASI .....	39
BÖLÜM 3 .....	41
MATERYAL METOD .....	41
3.1. DONANIM .....	41
3.1.1. Mikrodenetleyicili Denetim Katı.....	43
3.1.2. Yıkama Tankı.....	45
3.1.3. Ultrasonik Dönüştürücüler.....	46
3.1.4. Sıvı Analizör Devresi .....	48
3.1.5. Tam Köprü DGM Modu ile DA/AA Dönüştürücü .....	50
3.1.6. Yıkama Tankı Sıvı Sıcaklık Denetimi.....	53
3.2. BENZETİM.....	55
3.3. YAZILIM .....	59
BÖLÜM 4 .....	61
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI .....	61
BÖLÜM 5 .....	70
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	70
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	74

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Ses dalgaları çizelgesi .....	6
Şekil 2.2. Bir cisme çarpan ses dalgasının yansıması .....	6
Şekil 2.3. Ses dalgasının yayılımı. ....	7
Şekil 2.4. Ses dalgasının havada ve suda yayılımı .....	8
Şekil 2.5. Ses dalgası .....	9
Şekil 2.6. Boyuna dalgalar .....	11
Şekil 2.7. Enine dalgalar .....	11
Şekil 2.8. Ultrasonik dalga şekilleri .....	12
Şekil 2.9. Ultrasonik temizleme sistemi düzeneği .....	12
Şekil 2.10. Kabarcıkların oluşumu ve kavitasyon olayı .....	13
Şekil 2.11. Kavitasyon kabarcığının patlaması .....	14
Şekil 2.12. Ultrasonik sinyal jeneratörü resmi .....	15
Şekil 2.13. Mekanik enerjiyi üreten kristal .....	16
Şekil 2.14. Sıvı tankı resmi .....	16
Şekil 2.15. Ultrasonik üreteç gösterimi .....	17
Şekil 2.16. Darbe kontrollü ultrasonik temizleyici .....	17
Şekil 2.17. Elektromanyetik dönüştürücü yapısı .....	19
Şekil 2.18. Piezoelektrik dönüştürücünün yapısı ve montajı .....	20
Şekil 2.19. Çeşitli dönüştürücü resimleri .....	21
Şekil 2.20. Daldırmalı tip dönüştürücülerin yapısı .....	22
Şekil 2.21. Ses dalgasının frekansa göre yüzeyden uzaklığı .....	23
Şekil 2.22. Farklı frekansta kavitasyon kabarcık boyutları .....	24
Şekil 2.23. Değişen frekanslara karşılık gelen bağlı güçler .....	24
Şekil 2.24. Temizleme tankı ve jeneratörü .....	26
Şekil 2.25. Yanıcı çözelti kullanılan bir temizleme sistemi .....	31
Şekil 2.26. Kavitasyon kabarcığı .....	32
Şekil 2.27. Tankın içinde birden fazla frekansın olduğu durumlar .....	33
Şekil 2.28. Frekans taramalı çalışma .....	33

Şekil 2.29. Sıvı içinde duran dalgalar .....	35
Şekil 2.30. Ultrasonik dalga formları .....	36
Şekil 2.31. Sıvıda çözülmüş gazlar bulunduğunda hava kabarcıklarının durumu ....	38
Şekil 2.32. Litre değeri attıkça litre başına güç .....	39
Şekil 2.33. Temizleme zamanının ultrasonik ve kimyasal etkiye karşı değişimi .....	40
Şekil 3.1. Tasarımı hazırlanan sistemin blok şeması .....	41
Şekil 3.2. Sistemin genel fotoğrafı .....	42
Şekil 3.3. PIC 18f4431 Ayak bağlantı uçları.....	43
Şekil 3.4. DGM çıkışının ölü zaman ve tümleyenini alan blok şema .....	44
Şekil 3.5. Ölü zaman gecikmesi .....	44
Şekil 3.6. Temizleme tankı fotoğrafı .....	45
Şekil 3.7. Ultrasonik dönüştürücü eşlenik devresi .....	47
Şekil 3.8. Kullanılan piezoelektrik dönüştürücünün katalog bilgileri .....	47
Şekil 3.9. Sıvı analiz devresi fotoğrafı. ....	48
Şekil 3.10. Sıvı analiz devresi şeması. ....	49
Şekil 3.11. TCRT5000 sensörü resmi .....	49
Şekil 3.12. Tam köprü invertör devresi .....	51
Şekil 3.13. Sıcaklık sensörü bağlantı uçları .....	53
Şekil 3.14. Temizleme kazanı sıcaklık sisteminin akış diyagramı .....	54
Şekil 3.15. Ultrasonik temizleme sisteminin benzetim devresi.....	55
Şekil 3.16. İnvvertörün çıkışı ile yüksek frekans transformatörünün çıkışları .....	56
Şekil 3.17. Anahtarlama elemanları üzerindeki akım değişimleri .....	57
Şekil 3.18. Anahtarlama elemanlarının açık-kapalı kalma süreleri .....	58
Şekil 3.19. Tasarlanan sistemin genel akış diyagramı .....	60
Şekil 4.1. Malzeme temizleme esnasındaki sıvı iletkenlik değişimi .....	61
Şekil 4.2. Malzeme temizleme esnasındaki sıvı bulanıklık değişimi .....	62
Şekil 4.3. Temizlenen paslı malzemenin iletkenlik-bulanıklık grafiği .....	63
Şekil 4.4. Yağlı malzemenin temizlik öncesi ve sonrası fotoğrafı .....	64
Şekil 4.5. Paslı malzemenin temizlik öncesi ve sonrası fotoğrafı .....	64
Şekil 4.6. Kavitasyon baloncuklarının alüminyum folyoya etkisi .....	65
Şekil 4.7. Homojen olmayan kavitasyon baloncuğunun temizleme etkisi .....	66
Şekil 4.8. Yüksek frekans transformatörünün çıkışı.....	67

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 4.9. Yüksek frekans transformatörünün giriş çıkışı.....	68
Şekil 4.10. İnvörtör devresindeki mosfetlerin anahtarlanma süreleri.....	68

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 4.1. Yıkanan malzemelerin sıvı ve sıcaklık değişimine göre yıkama süresi .....	69
--	----

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\Omega$	: Ohm
dB	: Desibel
V	: Volt
A	: Amper
B	: Bel
F	: Fahrenheit
N/cm	: Newton/cm

### KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
ADC	: Analog to Digital Converter
CCS-C	: Custom Computer Services
DA	: Doğru Akım
DGM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
ECCP	: Enhanced Capture Compare PWM
FPGA	: Field Programmable Gate Array
HS	: High speed
kHz	: Kilo hertz
MHz	: Mega hertz
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
PIC	: Peripheral Interface Controller
PLC	: Programmable Logic Controller
PS-PWM	: Phase Shift- Pulse Width Modulation
PDM	: Pulse Density Modulation
RMS	: Root Mean Square



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Endüstrinin çeşitli alanlarında uzun süredir kullanılan değişik temizleme yöntemleri vardır. Bunlar asit temelli, buharla yağ çözme gibi yöntemlerdir ve bu temizleme yöntemleri ozon tabakası için zarar vericidirler. Oysa çevre dostu temizleme yöntemleri bulunmaktadır. Sağlık, makine, kuyumculuk ve otomotiv gibi birçok sektörde işlenen ve kullanılan malzemelerin kaliteli ve sağlıklı malzeme üretiminde büyük önem taşımaktadır. Temizlik endüstrisinde çevreyle dost temizleme yöntemleri geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Temizlik endüstrisinde, gerekli temizliği sağlamak için yapılan araştırmalar sonucunda ultrasonik temizleme yöntemleri geliştirilmiştir. Ultrasonik enerji, yaygın olarak kritik temizleme uygulamalarında hız artışı sağlamak ve alternatif kimyasalların temizlik etkinliğini geliştirmek amacıyla da kullanılmaktadır [1,2].

Ultrasonik temizleme RCA (Radio Corporation of America) adlı firmanın araştırma laboratuvarlarında bulunmuştur. Freon gazı kullanarak soğutma işlemi yaparken 300 kHz frekansında çalışan bir kristalin etrafında dalga hareketinin ortaya çıktığı fark edilmiştir. Tesadüfen fark edilen bu ilginç dalga hareketinin bir temizleme metodu olduğu uzun süre anlaşılamamıştır. Ultrasoniğin temizlik amacı ile kullanımında seçilen frekanslar 18-40 kHz arasındadır. Bugün hala endüstride 18 kHz rutin olarak kullanılmaktadır. Ultrasonik dönüştürücüler bir çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ultrasonik dönüştürücüler ile temizlik işlemlerine farklı bir bakış açısı ile yaklaşmayı sağlamıştır. Bu dönüştürücülerin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Ultrasonik dönüştürücüler endüstride kaynak makinesi olarak, su içerisindeki cisimlerin yerinin belirlenmesinde, hareketli cisimlerin hızının ölçülmesinde, otomotiv parçalarının temizliğinde, yüzey kaplama alanında da kullanılmaktadır [3-6].

Günümüzde, manyetik alan dönüştürücüleri ve piezoelektrik dönüştürücüler olmak üzere iki tip ultrasonik dönüştürücü vardır. Ultrasonik dönüştürücüler için en önemli faktör, dönüştürücünün tipi değil üreteceği kavitasyonun şiddetidir. Endüstride her iki tip dönüştürücü türü de farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır [7].

Elektromanyetik dönüştürücüler belirli metallerin değişken bir manyetik ortama konulduğunda sıkışması ve gevşemesi prensibini kullanarak elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürler [8]. Nikel veya nikel alaşımından yapılmış ultrasonik dönüştürücüler, çalışırken etraflarında manyetik alan oluşturmaktadırlar; ayrıca çalışma esnasında boyutlarında değişimler gözlenmektedir [9]. Bu dönüştürücüler %20 ile %50 arası verime sahip dönüştürücülerdir. Bunlar, endüstri uygulamalarında dayanıklı fakat karışık yapılı dönüştürücüler olarak bilinmektedirler [2]. Kurşun zirkonyum titanat veya diğer seramiklerden yapılmış, voltajı değişen bir elektrik ortamında bulunduğu fiziksel boyutunda değişimler gösteren, piezoelektrik dönüştürücüler %70 ile %90 arası verime sahiptirler.

Piezoelektrik dönüştürücüler alternatif akıma sahip elektrik enerjisini direkt olarak mekanik enerjiye dönüştürürler. Bunu yaparken piezoelektrik özelliklerini kullanırlar [10-12]. Yani yapılarında bulunan belli bir materyale bir elektrik sinyali uygulandığında bu materyal şeklini değiştirir. [13,14]. Bunun tersi de doğrudur. Dönüştürücüye fiziksel bir kuvvet uygulandığında dönüştürücü bu fiziksel kuvvetin büyüklüğü ile orantılı olarak bir gerilim üretir. İki kalay şerit arasında kalmış seramik kristalden yapılmışlardır. Şeritler arasına gerilim uygulandığında, kristalde yer değiştirme meydana gelir. Bu piezoelektrik etki olarak bilinir. Bu dönüştürücüler bir diyaframa, temizlik tankının yan veya alt kısmına monte edilirler. Kristalde meydana gelen yer değiştirme, diyaframın hareket etmesine neden olur ve burada basınç dalgaları oluşur. Bu dalgalar temizlik tankının içine aktarılırlar.

Kristalin kütlesi, paslanmaz çelik diyaframın kütlesi ile uyumsuzdur. Diyaframa, titreştirici enerjiyi daha verimli bir şekilde aktarması ve empedans uyumunu iyileştirmek için orta seviyede bir alüminyum blok kullanılır. Piezoelektrik dönüştürücülerin hammaddesi, işçiliği ve montajı ucuz olduğundan ultrasonik temizlemede tercih edilmektedirler. Fakat bu dönüştürücülerin çeşitli kusurları da

mevcuttur. En çok karşılaşılan problem, aşırı çalışma sürelerinde performanslarının düşmesidir. Bu birkaç nedenden olabilir. Kristal uzun süre çalıştığında kendi kendisini depolarize edebilir ve bu da, kristalin yer değiştirme özelliğinde oldukça önemli azalmalara neden olur.

Piezoelektrik kristalin kendisi daha fazla genişleme yaparken, diyafram onun kadar fazla yer değiştiremez [15]. Daha az titreştirici enerji üretilir ve kavitasyondaki azalma, tankta dikkat çekici seviyede olur.

Piezoelektrik kristaller, sıkça epoksi türü bir yapıştırıcı yardımıyla temizlik tankına monte edilirler. Burada, dönüştürücü ve çözelti tarafından üretilen yüksek ısı ve yüksek frekansların yorucu etkisine maruz kalırlar. Sonuçta epoksi band gevşer ve dönüştürücüyü işe yaramaz hale getirir. Aynı zamanda kristalin kapasitansı değişir ve bu durum rezonans frekansını etkiler. Böylece kristal rezonans devresinin jeneratörlerle çalışma uyumu bozulmuş olur [15].

Ultrasonik temizleme işlemlerinde temizlenecek malzemenin temizlik esnasında başında bir gözlemci bulunması gerekmektedirken tasarımılanan cihazda gözlemciye gerek kalmamaktadır. Çünkü temizlenecek malzeme üzerindeki kir kullanılan temizlik sıvısına bir şekilde çözülecek ve sistemin içerisinde çözültideki değişimler yorumlanarak temizleme süresini belirlemede kullanılacaktır.

Ultrasonik temizleme cihazlarında kullanılan analog kartlarda sistem tek bir frekansa göre ayarlanmakta ve başka bir frekansa ayarlanmak istense analog tasarım buna izin vermemektedir. Mikrodenetleyici tabanlı tasarlanan bu sistemde denetim kartına ilave edilen bir potansiyometre ile istenilen frekansa ayarlanmak mümkün olacaktır. Bu sayede istenilen dönüştürücü ile çalışmak ve istenilen temizlik frekansında temizleme yapmak kolaylaşacaktır.

Analog devrelerde sistem şebekeye direk bağlı olduğundan şebeke üzerindeki gürültü çalıştırılan sistemin üzerine direk binmektedir. Oluşturulan tasarımda ise şebeke gürültüsü tasarlanan invertör çıkışında sistemi herhangi bir şekilde etkilememektedir. Analog çalışan sistemlerdeki görülen diğer bir hususta kullanılan anahtarlama

elemanlarında ısı oluşmasıdır. Oluşan bu ısı hem sistemin çalışmasındaki verimi düşürmekte hem de gereksiz güç sarfiyatına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra devrenin ısınması ile hesaplanan rezonans değerlerindeki devre elemanlarının ısı ile değerlerinin değişmesi sistemi rezonansa getirmeye zorlanmaktadır. Mikrodenetleyicili sistemlerin rezonans frekansına ulaştırılması analog sistemlerinkinden daha kolaydır. Çünkü hem ısınma olmayacak hem de rezonans frekans üreticimiz olan denetleyicimiz ısınan anahtarlama elemanlarından uzak noktada bulunacaktır.

Ultrasonik dönüştürücülerin jeneratör sinyalleri farklılıklar göstermektedir. Bu jeneratörlerde, PWM (Pulse Width Modulation), PS-PWM (Phase Shift- Pulse Width Modulation) ve PDM (Pulse Density Modulation) sinyalleri biçiminde uygulamalar yapılmıştır. Pürüzsüz yüzeylerde PWM ve PS-PWM sinyallerinin daha etkili olduğu görülmüştür. Bununla birlikte PDM sinyali ile çalışan sistemlerin pürüzlü yüzeylerde daha etkili olduğu görülmüştür [9].

Tangel tarafından yapılan çalışmada mikrodenetleyici ile rezonans frekansının tespiti yapılmıştır. Sistemin rezonansa gelip gelmediğini piezoelektrik dönüştürücülerin çektiği akımı inceleyerek karar vermiştir. Belli frekans aralıklarıyla piezoelektrik dönüştürücüyü çalıştırmış ve frekansı rezonans frekans çevresinde değiştirerek en uygun frekansı tespit etmiştir [17].

Güvenç tarafından yapılan çalışmada FPGA (Field Programmable Gate Array) ile rezonans frekansının aranmasındaki adım aralığı daha hassaslaştırılarak sistemin rezonans anına erişebilmesi daha kolay hale getirilmiştir [25].

Peng and Wang tarafından yapılan çalışmada yüksek güçlü ultrasonik temizleme cihazı tasarlamışlardır. Sekiz saat boyunca çalıştırdıkları cihazda ısınma ile ilgili bir sorun yaşamamışlardır.

Buasri and Jangwanitlert tarafından yapılan çalışmada piezoelektrik dönüştürücünün çalışma darbelerinin farklılıklarını incelemiştir. DGM sinyallerinin düz yüzeye sahip malzemelerin temizliğinde kullanılması sonucunu elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, ultrasonik temizleyici cihazların çalışırken zaman, enerji tasarrufu yapabilmesi ve temizleme esnasında kavitasyon erozyonunun önlenmesi amacıyla yeni bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemde kullanılan ultrasonik dönüştürücünün ömrünün uzatılması ve yapılan temizlik işleminin veriminin artırılması için sistemin akıllı denetimi yapılmıştır. Bu denetim yardımıyla ilk olarak temizlik tankı içerisine sıvı konulmadan çalışmaya başlanması önlenmiştir. Sıvı konulmadan temizleme işlemi başlatılacak olur ise sisteme bağlı ultrasonik dönüştürücünün zarar görme ihtimali doğacaktır. Diğer taraftan sistemin belli bir çalışma ömrü bulunmaktadır. İçerisine atılan malzemenin temizlendikten sonra temizleme işlemine devam edilmesi hem temizlenecek malzemenin yüzeyinde deformasyona hem de sistemin dönüştürücüsünün çalışma ömrünün azalmasına neden olacaktır. Bunların yanı sıra harcanan gereksiz gücün faturası da temizleme işleminin ekonomikliğine zarar verecektir. Sonuçta ultrasonik temizleme işleminin zararsız, güvenilir ve de ekonomik olması hedeflenmektedir.

Tezin ikinci bölümünde ultrasonik dalgalar incelenmektedir. Ultrasonik temizleme teorisi hakkında bilgiler verilmektedir ardından da ultrasonik temizleme cihazının bileşenleri tanıtılmaktadır. Ultrasonik temizleme sırasında meydana gelebilecek kavite erozyonu anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde tasarlanan ultrasonik temizleyicinin donanım, yazılım ve benzetiminden bahsedilmektedir. Dördüncü bölümde ise gerçekleştirilen sistemin deneysel çalışmalar ve sonuçları verilmektedir.

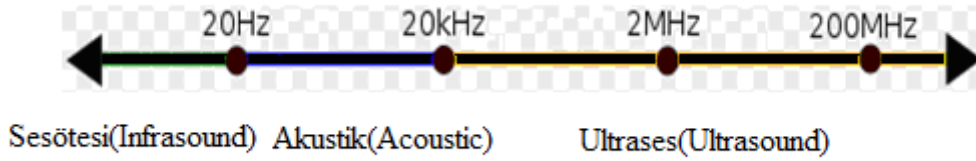
Son bölümde akıllı ultrasonik temizleme cihazının çalıştırılmasıyla elde edilen temizleme sonuçları değerlendirilmektedir. Ultrasonik temizleme cihazları üzerine bundan sonra yapılacak çalışmalar hakkında öneriler sunulmaktadır.

## BÖLÜM 2

### ULTRASONİK DALGALAR

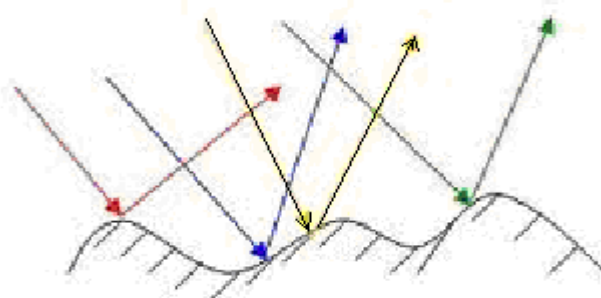
#### 2.1. ULTRASONİĞİN TANIMI

İnsan kulağının duyabileceği sınırın üzerindeki (16 KHz ve üzeri )mekanik ses dalgalarına ultrasonik ses denir [8,10,13]. Ses, cisimlerin titreşimi sonucu meydana gelen bir enerji türüdür [3,16]. Ses dalgasının tonunu ve ses dalgasının etki alanını, ses dalgasının frekansı belirlemektedir. Şekil 2.1'deki gibi düşük frekanslar bas ya da düşük tonları, yüksek frekanslar, tiz ya da yüksek tonlar üretir.



Şekil 2.1. Ses dalgaları çizelgesi [16].

Herhangi bir elektromanyetik dalga herhangi bir cisme çarptığı zaman bir kısmı yansır, bir kısmı cisim tarafından içine alınır bir kısmı da bu engeli aşar. Ultrasonik dalgada da bu durumlar aynı Şekil 2.2'deki gibidir.



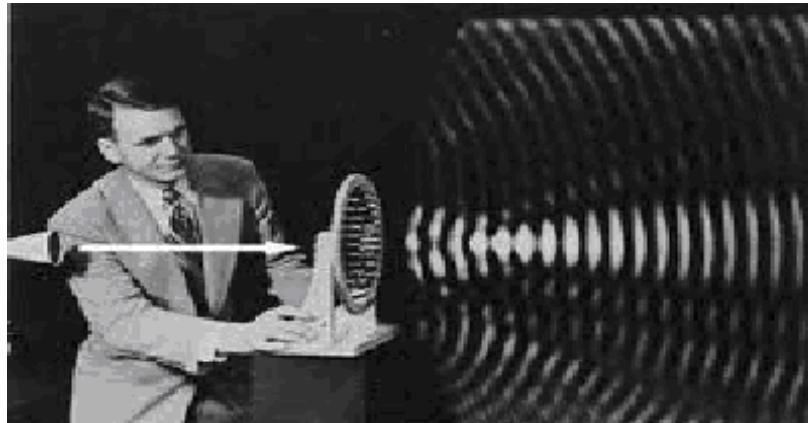
Şekil 2.2. Bir cisme çarpan ses dalgasının yansımaları.

Ultrasonik dalgalar ile günümüzde mesafe ölçme işlemleri, insan vücudunu taramada insanların kendisini hayvanlardan koruma ve avlanmalarına kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Ultrasonik dalgalar temizleme işleminde de kullanılabilir. Bunun için ultrasonik ses dalgalarını mekanik enerjiye dönüştüren elemanlar kullanılmaktadır. Ultrasonik temizleme için kullanılan en temel frekanslar 20-50 kHz aralığındadır. 50 kHz üzeri frekanslar genellikle kuyumculuk ve diş protez işlemlerinde, masaüstü ultrasonik temizleyiciler olarak kullanılmaktadırlar.

Zor kirlerin ve yağların temizliğinde 25-40 kHz aralığındaki ultrasonik frekansların piyasada yaygın biçimde uygulamaları bulunmaktadır. Daha yüksek frekanslar elektronik ve bilgisayar, optik ve kuyumculuk sektöründe temizlik alanında kullanılmaya uygundur. Çünkü frekans değeri arttıkça temizleme anında daha küçük bölgelere ulaşabilme imkânı ortaya çıkmaktadır; fakat frekans değeri arttıkça temizleme gücü düşmektedir. Ağır kirleri temizlemek içinse gücün yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle iki veya daha fazla frekans birlikte kullanılabilir.

## 2.2. SES DALGASI VE YAYILIMI

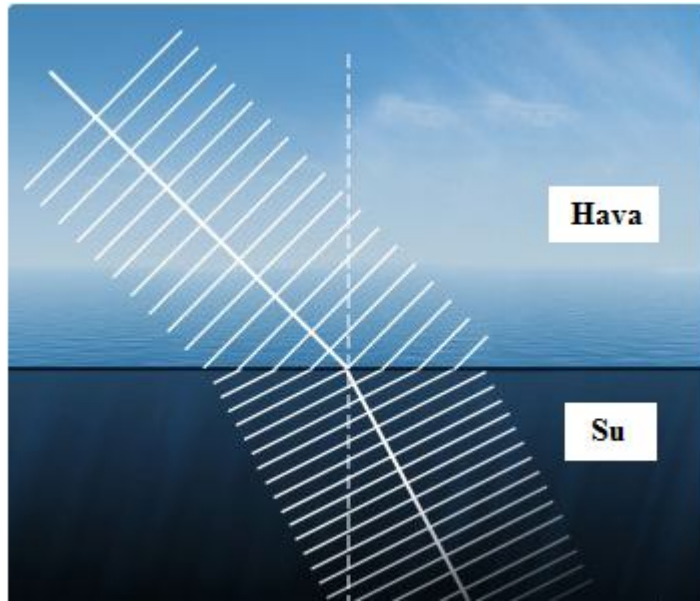
Ses kaynağından çıkan titreşim enerjisinin oluşturduğu sarsıntıya, ses dalgası denir. Ultrasoniğin temelini anlamak için öncelikle ses dalgalarının nasıl oluştuğunu anlamak gerekir [17].



Şekil 2.3. Ses dalgasının yayılımı.

Titreşim hareketleri ses dalgaları oluşturur. Bir cismin sabit bir nokta etrafında yaptığı ileri- geri gidip gelen hareketine titreşim hareketi denir. Ses kaynakları aldığı çeşitli enerjiler sayesinde titreşim hareketi yapar ve sabit olduğu enerjiyi bulunduğu ortamdaki taneciklere aktararak kinetik enerji kazanmasını sağlar. Kinetik enerji kazanan tanecikler etrafında diğer taneciklere çarparak diğer tanecikleri de titreştirir. Sesin yayıldığı ortamdaki taneciklerin titreşim enerjilerini birbirine aktarması sonucu ses dalgaları oluşur ve ses dalgaları kinetik enerjinin taşınmasını sağlar.

Ses de ışık gibi yansıma özelliğine sahiptir. Ses kaynağından çıkan ses dalgalarının bir yüzeye çarpıp geldiği ortama geri dönmesine sesin yansıması denir. Sesin yansıması için kullanılan yüzeyin ışıkta olduğu gibi düzgün ve pürüzsüz olması gerekir. Fakat yansımanın olabilmesi için yüzeyin parlak olmasına gerek yoktur. Şekil 2.4’de hava ve sudaki ses dalgasının yayılımı görülmektedir. Ses dalgaları sıvı dalgalanma benzeri fakat su dalgaları gibi görünen dairesel dalgalar şeklinde değil, görünmeyen küresel dalgalar şeklinde yayılır.



Şekil 2.4. Ses dalgasının hava ve suda yayılımı.

Ses dalgaları katı, sıvı, gaz ortamlarında yayılabilirler, yayılırken hızları bu ortamların özelliklerine bağlı kalır. Frekanslarına göre boyuna mekanik dalgalar üç gruba ayrılır.

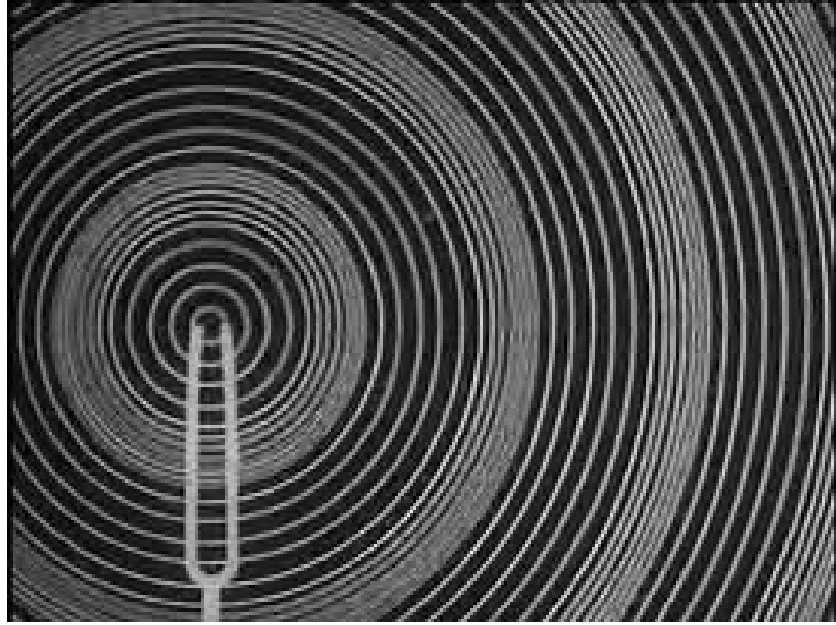


İşitilebilir dalgalar :İnsan kulağının duyarlılık sınırları içinde olan ses dalgalarıdır. Bu dalgalar 20 Hz ile 20000 Hz frekansları aralığındadır. Bu sesler değişik yollarla üretilebilir: müzik aletleriyle, boğazdaki ses telleriyle ve hoparlör gibi araçlarla üretilebilir.

Ses altı dalgalar :İşitilebilir mertebenin altındaki frekansta olan boyuna dalgalardır. Deprem dalgaları buna örnektir.

Ses üstü dalgalar :İşitilebilir mertebenin üstünde frekansı olan boyuna dalgalardır. Bu dalgalar kuartz kristaline, alternatif elektrik akımının uygulamasıyla elde edilir.

Ses sıfır derecedeki havada saniyede 331m. 20 derecedeki havada 343m. Sıfır derecedeki helyum gazı içinde 972m. sıfır derecedeki hidrojen gazı içinde 1286m. 25 derecedeki suda 1493m. Deniz suyunda 1533m. alüminyumda 5100m. bakırda 3560m yol almaktadır ve kauçukta 54m/s hızla ilerler. Ultrasonik dalgalanma biçimi Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5. Ses dalgası.

### 2.3. SESİN DALGA BOYU VE HIZI

Ultrasonik frekanslarda belli bir ortamdaki ses hızı sabit olduğu için Eşitlik 2.1'e göre frekans artınca sesin dalga boyu kısalmaktadır. Ses şiddeti Watt/ cm<sup>2</sup> birimi ile ölçülür. Pratikte ise ses şiddeti Bell ile ölçülür (1B=10dB) [3].

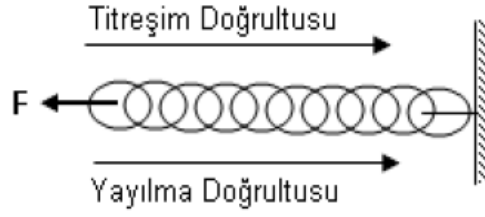
$$\text{HIZ} = \text{FREKANS} \times \text{DALGA BOYU} \quad (2.1)$$

### 2.4. SES DALGALARININ DOĞASI

Ses, ortamda dalgalar halinde yayılır. Fiziksel anlamda bu durum ortamı oluşturan moleküllerin kargaşası olarak da ifade edilebilir. Bu kargaşa daha net bir biçimde moleküllerin enerji aktarımı sırasındaki davranışları olarak açıklanabilir. Sesin bir yerden bir yere iletilmesi enerji aktarımıdır. Ortam sesin yayılmasında çok önemli bir rol oynarken aynı zamanda da yayılımını sağlamaktadır.

Ortam ses ile birlikte yer değiştirmez ancak madde ortamı oluşturan moleküller, üzerlerine etkiyen basıncı moleküllere aktarmak üzere salınım hareketi yaparlar. Bu salınım hareketinin doğal sonucu, molekülün salınım sonunda salınıma başladığı konuma geri dönmesidir. Sonuç olarak madde sesin taşınmasında bir vasıta olmakta ancak konumu değişmemektedir. Ses dalgalarının yayılması dalga hareketinin doğası gereği iki biçimde gerçekleşir.

Boyuna dalgalar: Ortamı oluşturan moleküllerin salınım hareketi dalganın ilerleme yönü ile aynı doğrultuda meydana gelen dalga biçimidir. Şekil 2.6'da boyuna dalgalanma örneği gösterilmektedir. Gergin yayın birkaç halkasını sıkıştırarak serbest bırakırsak, bu sıkışma diğer halkalara da aktarılarak öteki uca doğru ilerler. Titreşim doğrultusu yayılma doğrultusuna paralel olan bu dalgalara da boyuna dalgalar denir. Ses dalgaları, bazı yaylardaki dalgalar ve su içindeki dalgaları boyuna dalgaya örnek verebiliriz.



Şekil 2.6. Boyuna dalgalar.

Enine dalgalar: Ortamı oluşturan moleküllerin salınım hareketi dalganın ilerleme yönüne dik olduğu durumda gerçekleşen dalga türüdür. Gergin ipi aşağı yukarı salladığımızda ip boyunca ard arda tepe ve çukurların ilerlediği görülür. Titreşim doğrultusu yayılma doğrultusuna dik olan bu dalgalara enine dalgalar denir. Yay dalgaları, bir ipteki dalgalanmalar, ışık ve su dalgalarını enine dalgaya örnek olarak verebiliriz. Şekil 2.7’de enine dalgalanmaya örnektir.

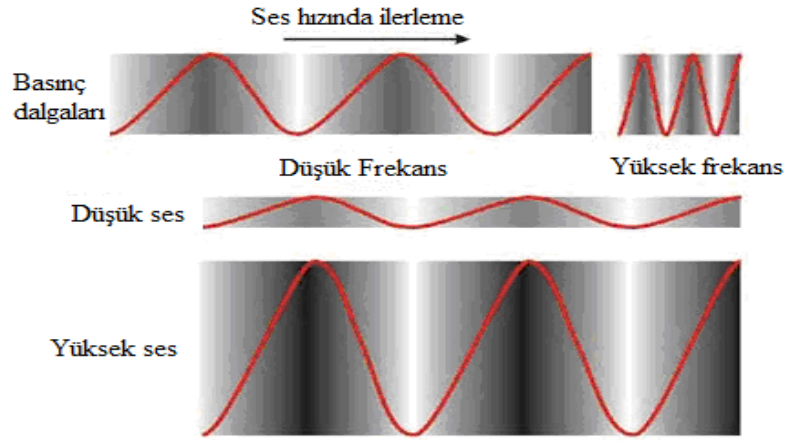


Şekil 2.7. Enine dalgalar.

Dalgalar bir baştan bir başa gittikten sonra geri dönerler. Ses dalgalarının gidip dönmesi esnasındaki yayların yer değiştirmesi olayında her bir bireysel yay aynı pozisyonda kalır. Sesin iletildiği ortamın moleküllerin sıkıştırılması daha sonra bırakılması bu olaya örnektir.

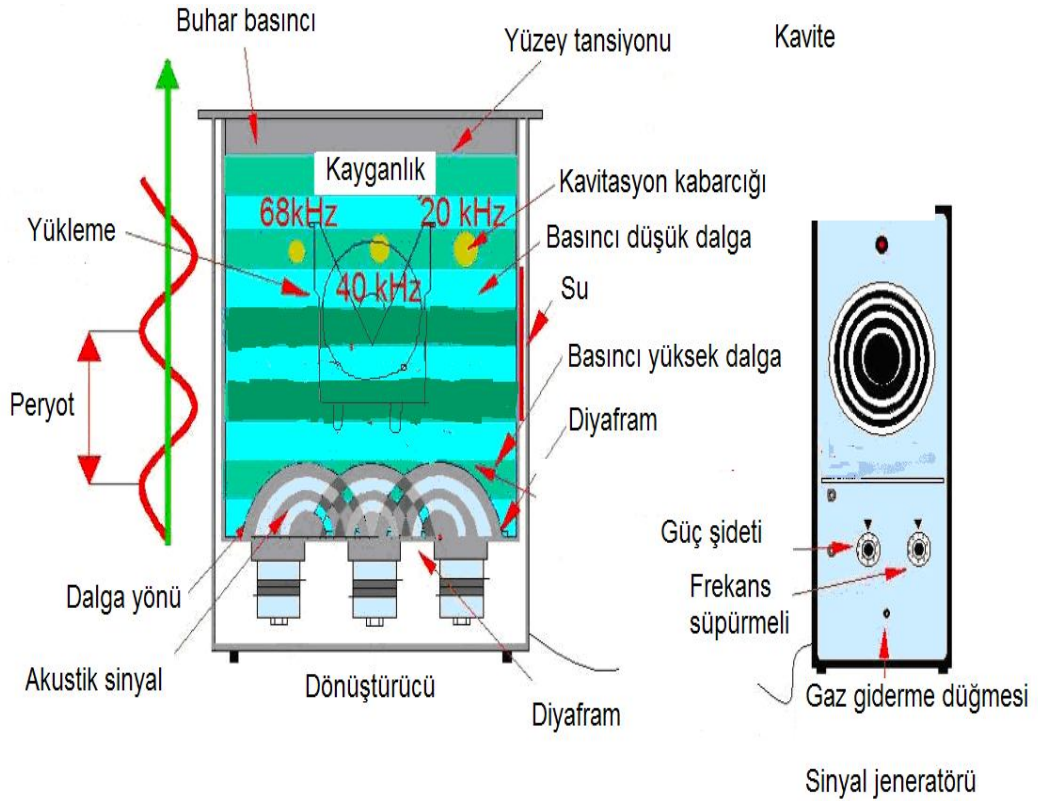
## 2.5. ULTRASONİK TEMİZLEME TEORİSİ

Temizleme tankında bulunan dönüştürücüler üzerlerine uygulanan sinyallerle temizleme tankı içindeki sıvıda ultrasonik dalgalar meydana gelirler. Şekil 2.8’de uygulanan sinyal şekilleri görülmektedir.



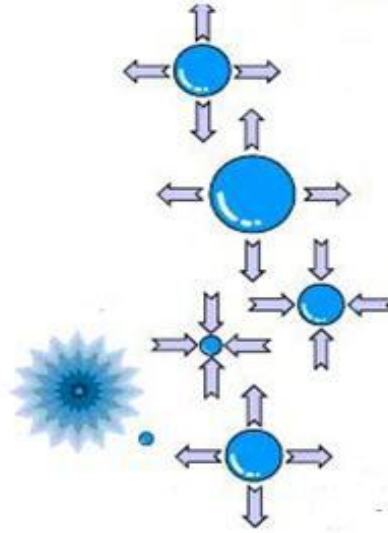
Şekil 2.8. Ultrasonik dalga şekilleri.

Şekil 2.9’da ultrasonik temizleme düzeneğinin parçaları görülmektedir. Ultrasonik temizle metal, kablo, kaset ve tüpler gibi malzemelerin temizliği için kullanılan çevre dostu bir yöntemdir. Ultrasonik güç tarafından üretilen kavitasyon etkisiyle temizleme sıvısı içine daldırılmış kirli parçalar temizlenmektedir.



Şekil 2.9. Ultrasonik temizleme sistemi düzeneği [24].

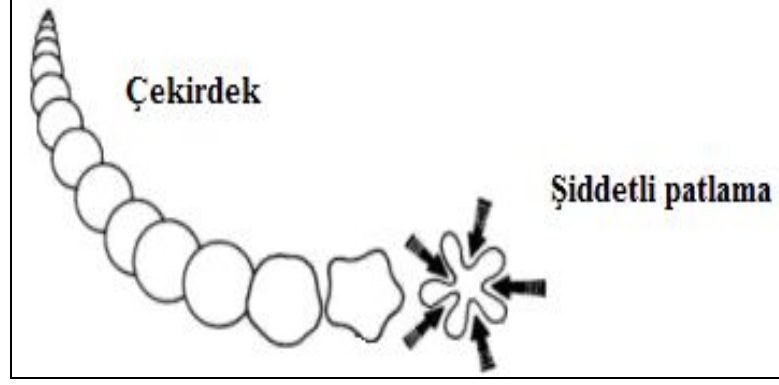
Ultrasonik temizliğin asıl mantığı şudur; sıvı içerisinde oluşan yüksek frekans (20 kHz- 400 kHz) milyonlarca vakum enerjisi içeren mikroskobik hava kabarcığı meydana getirmektedir. Bu kabarcıkların kirli yüzeylere çarparak patlaması sonucunda kireç, pas ve benzeri kirlerin yüzeyden hızlıca uzaklaşması sağlanmaktadır [3, 7, 11, 14].



Şekil 2.10. Kabarcıkların oluşumu ve kavitasyon olayı [2].

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi sıvı içerisindeki hava kabarcıkları düşük basınç altında genişleyerek büyürken, yüksek basınç altında ise şiddetli bir biçimde sönmeye maruz kalarak bir içsel patlama ile yok olurlar. Bu olay anında 5000 °C'lik bir sıcaklık artışı meydana gelir. Baloncukların sönmeye maruz kalarak yok olması sırasında boşalan hacme temizleme sıvısı molekülleri hızla hareket eder ve bu olay ultrasonik kavitasyon olarak adlandırılır.

Tek bir kavitasyon kabarcığının bıraktığı enerji çok fazla değildir. Şekil 2.11'de tek bir kabarcığın patlaması görülmektedir. Fakat tankın içinde bu kabarcıklardan her saniyede milyonlarcası meydana gelir ve patlar. Böylece ultrasonik temizlik için gerekli enerji sağlamış olur. Bu sayede temizleme işlemi tamamlanmış olur. Ultrasonik temizlemenin temel prensibi budur. Özellikle ulaşılması zor olan bölgelerdeki pas ve kiri hızlı bir şekilde temizleyebilme özelliğinden dolayı ultrasonik temizleme makineleri yıllardır endüstride ve laboratuarlarda kullanılmaktadırlar [18- 22].



Şekil 2.11. Kaviteasyon kabarcığının patlaması [28].

Hava kabarcıklarındaki enerji yoluyla elde edilen bu kaviteasyon anatomik yüzeylere ve çok küçük mikroskobik bölgelere ulaşabildiğinden temizlenecek parçalar için daha etkilidir.

Kaviteasyon sırasında oluşan kabarcıkların ne kadar büyük olacağı ultrasonik dönüştürücüye, uygulanan sinyalin genlik ve frekansıyla ilgilidir [23]. 20 kHz' den başlayıp 2MHz' e kadar ultrasonik sistemler mevcuttur [7]. Kullanılan ultrasonik dönüştürücü ile oluşan kabarcıkların boyutu değişmektedir.

Kaviteasyon sadece sıvı içindeki basıncın, sıvının buhar basıncından daha düşük bir değere indirildiği zaman meydana gelir [23]. Ultrasonik dalga gücünün bu basıncı yerine getirecek büyüklükte olması gerekir.

Kaviteasyon olayının başlamasına neden olacak en yüksek güç değeri ile kaviteasyonu devam ettirecek olan en küçük güç değeri aralığıdır [23]. Kaviteasyon olayını sürdürmek için gerekli olan minimum güç kullanılan sıvıya göre değişiklik göstermektedir. Buna eşik değeri denir.

Eşik değerinin üzerinde uygulanan güç sayesinde ultrasonik temizleme gerçekleşir. Piezoelektrik dönüştürücünün rezonans frekansında titreşim yapması temizleme sıvısının içerisinde hava kabarcıklarının kaviteasyon etkisini arttırmaktadır.

## 2.6. ULTRASONİK TEMİZLEME CİHAZININ BİLEŞENLERİ

Temel olarak ultrasonik temizleme cihazı aşağıdaki bileşenlerden oluşur;

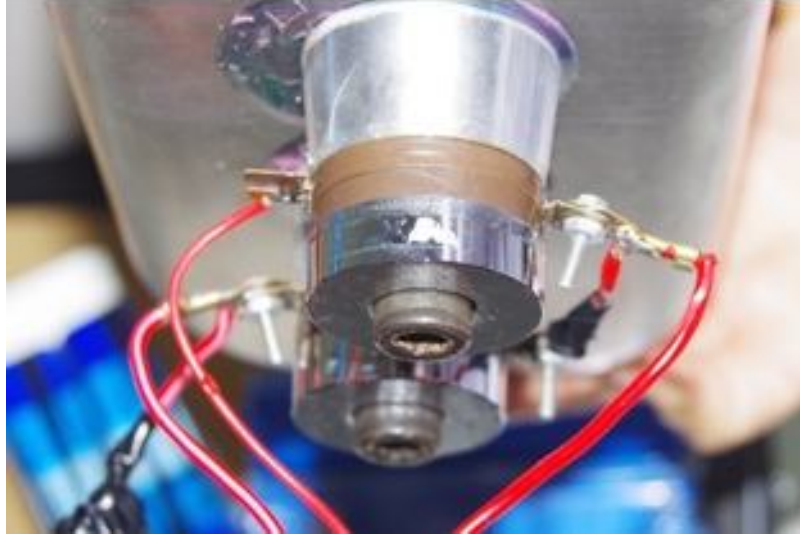
1. Ultrasonik sinyal jeneratörü (Şekil 2.13)
2. Ultrasonik dönüştürücüler (Şekil 2.14)
3. Temizleme tankı (Şekil 2.15)

Ultrasonik sinyal jeneratörü ihtiyaca bağlı güçlerde imal edilir. Bu birim kristalleri sürer ve ultrasonik enerjiye dönüştürür. 30W başlangıç gücüdür ve kw'lar mertebesine kadar imal edilebilir.



Şekil 2.12. Ultrasonik sinyal jeneratörü resmi.

Piezoelektrik kristal Jeneratörden gelen sinyali mekanik enerjiye dönüştüren birimdir ve cihazın kalitesini birebir etkiler. Üretimi yüksek bilgi düzeyi gerektirir ve doğru kalibre edilmemiş kristaller cihazın ömrünü kısaltmaktadır.



Şekil 2.13.Mekanik enerjiyi üreten kristal.

Temizleme tankı, temizleme işleminin gerçekleştirildiği sıvının depolandığı birimdir. Temizlenecek malzemenin büyüklüğüne göre boyutu seçilmektedir.



Şekil 2.14. Sıvı tankı resmi.

Temizleme tankının boyutu temizlenecek olan parçaların boyutuna bağlıdır. Temizlenecek parçaların boyutuna bağlı olarak farklı ebatlarda tanklar imal edilmektedir.



### 2.6.1. Ultrasonik Sinyal Jeneratörü

Ultrasonik temizleme cihazlarında günümüz teknolojilerinde ileri düzey jeneratörler kullanılmaktadır. Bu jeneratörler merkez frekansı koruyan otomatik izleme devresine sahiptirler. Merkez frekans değişken yüklerin baskısı altında kaldığında otomatik olarak koruma altına alınır. Bu ileri düzey jeneratörler sayesinde eski tip jeneratörlerin kullanımı sonrasında temizleme tankı içerisinde oluşan sabit duran dalgalar ortadan kaldırılmış olur.

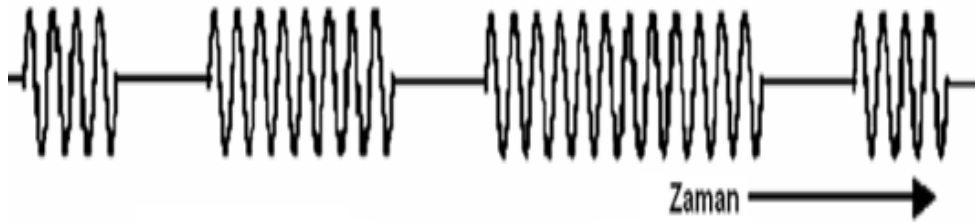


Şekil 2.15. Ultrasonik üreteç gösterimi.

Ultrasonik jeneratörler düşük frekanslı akımı, yüksek frekanslı elektrik enerjisine çeviren elektronik bir devredir. (Şekil 2.15) Ultrasonik jeneratörler özel uygulamalarda 400 kHz'e kadar kullanılmaktadır.

#### 2.6.1.1. Darbe Kontrollü Jeneratörler

Darbe kontrollü ultrasonik jeneratör çıkışı Şekil 2.16'da gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi ultrasonik darbeler bir süre devreye uygulanırken bir sürede uygulanmaz.



Şekil 2.16. Darbe kontrollü ultrasonik temizleyici.

Bu süreç PLC(Programmable Logic Controller) veya mikrodenetleyici kullanılarak yapılabilir. Verimli temizleme işlemi yapılabilmesi için bekleme süresini en iyi şekilde kullanmak gerekir. Çünkü çözeltinin cinsine göre bu süreler değişken olabilir.

### **2.6.1.2. Tam Dalga/ Yarım Dalga ve Darbe Kontrolleri**

Piezoelektrik dönüştürücülere gönderilen sinyallerin kontrolüne darbe denetimi denmektedir. Kesikli yada sürekli darbe denetimleri yapmak mümkündür. Yarım dalga darbe kontrolünde dönüştürücüye giden dalgaları jeneratör anahtarlama ile keserek yarım dalga halinde gönderir. Yarım dalga darbe gazın çözelti içinden hızlı çıkmasına izin veren bir yöntemdir.

Jeneratörlerin büyük çoğunluğu belli dönüştürücüleri çalıştıracak belli modüller de imal edilirler. Bunlar çoğunlukla 250, 500, 750 ve 1000 watt büyüklüğündedirler. Sisteme dönüştürücü sayısı ve büyüklüğüne göre jeneratör modülleri eklenerek sistem çalıştırılabilir [24].

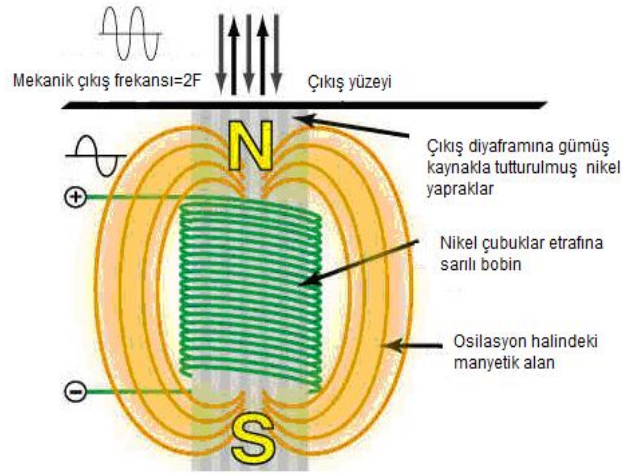
### **2.6.2. Ultrasonik Dönüştürücüler**

Ultrasonik temizleme sisteminin kalbini dönüştürücüler oluşturur. Sinyal jeneratöründen gelen ultrasonik sinyalleri, temizleme sıvısı içinde ultrasonik dalgalara dönüştürerek temizleme olayında önemli rolü olan bir elemandır. İki tür ultrasonik dönüştürücü vardır. Bunlar piezoelektrik ve elektromanyetik dönüştürücülerdir. Ultrasonik dönüştürücüler için dönüştürücünün tipi değil üreteceği kavitasyon en önemli faktördür [25].

#### **2.6.2.1. Elektromanyetik Dönüştürücüler**

Elektromanyetik dönüştürücü yapısı Şekil 2.17’de gösterilmiştir. Elektromanyetik dönüştürücüler, belirli metallere değişken bir manyetik ortama konulduğunda sıkışması ve gevşemesi prensibini kullanarak elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürürler [2].

Aralıksız manyetik esaslı dönüştürücüler, nikel bir kütle üzerine yerleştirilen bir elektrik bobini ile birlikte sıkıca sarılmış ince nikel levhalardan oluşmuştur. Akım bobinlerden geçtiğinde manyetik alan oluşur. Meydana gelen bu manyetik alan nasıl kristale gerilim uygulandığında yıpranma oluşuyorsa manyetik esaslı bir bobine de alternatif akım gönderildiğinde nikel kütle de akım frekansında titreşir [2]. Nikel ve diğer manyetik malzemeler ultrasonik frekanslarda titreşme sağlayarak mekanik enerjiye dönüştürmede kullanılır [10,26].



Şekil 2.17. Elektromanyetik dönüştürücü yapısı [17].

Elektromanyetik dönüştürücülerde çıkış frekansı verilen ultrasonik sinyal frekansının iki katıdır. Manyetik alanın her iki polaritesine de aynı tepkiyi verirler. Bu tür dönüştürücüler oldukça pahalıdır ancak yüksek güç gerektiren ultrasonik temizleme uygulamalarında kullanılırlar.

Piezoelektrik dönüştürücüler MHz seviyelerinde kolayca çalışırlar. Ancak elektromanyetik dönüştürücüler belli sınırlamalara sahip olduğundan (fiziksel, mekaniksel ve elektriksel) 20 kHz'nin üzerinde çok nadir kullanılırlar.

Elektromanyetik dönüştürücüler çift enerji dönüşümü gerektirirler. Her dönüm esnasında bazı kayıplar olur. Öncelikle elektrik manyetiğe sonra da manyetikten mekaniğe dönüşürler. Piezoelektrik dönüştürücüler elektromanyetik dönüştürücülerden daha verimlidirler [17].

### 2.6.2.2. Piezoelektrik Dönüştürücüler (Piezoelectric Transducers)

Piezoelektrik dönüştürücüler, kurşun, zirkonyum, titonat veya diğer seramiklerden yapılmış %70 ile %90 arası verime sahip, gerilimi değişen bir ortamda olduğunda fiziksel boyutunda değişimler gösteren yani titreşim üreten dönüştürücülerdir [25].



Şekil 2.18. Piezoelektrik dönüştürücünün yapısı ve montajı [17].

Şekil 2.18'de piezoelektrik dönüştürücünün yapısı görülmektedir. Piezoelektrik dönüştürücüler alternatif akım enerjisini direkt olarak mekanik enerjiye dönüştürürler. Bunu yaparken piezoelektrik özelliklerini kullanırlar [10, 22, 27]. Yani yapılarında bulunan belli bir materyale bir elektrik sinyali uygulandığında bu materyal şeklini değiştirir [13,26].

Dönüştürücüye fiziksel bir kuvvet uygulandığında dönüştürücü bu fiziksel kuvvetin büyüklüğü ile gerilim üretir. Piezoelektrik (seramik) dönüştürücüler genellikle tüm ultrasonik temizleme sistemlerinde kullanılırlar.

Dönüştürücülerin rezonans noktasını dönüştürücünün şekli ve fiziksel kütlesi belirler. Dönüştürücülerin çoğu birden fazla doğal rezonans noktasına sahiptir. Piezoelektrik dönüştürücülerin maliyeti ucuz olduğundan dolayı ultrasonik temizlemede genellikle tercih edilir. Bu dönüştürücülerin bazı problemleri vardır.

En çok rastlanan problem çalışma süreleri uzadığında performanslarının düşmesidir. Bu performans düşmesi çeşitli sebeplere bağlı olabilir. Kristal uzun süre çalışması sonucu kendi kutuplarını yok edebilir ve bu da kristalin yer değiştirme özelliğinin azalmasına sebep olur. Diyafram kristal kadar genişleme yapmaz ve dolayısıyla fazla yer değiştirmez [2]. Rezonans kütlesi hassas bir biçimde üretilmiş çelik ya da paslanmaz bir bloktur ve dönüştürücü yapısı ile rezonansa gelecek şekilde bir şekle sahiptir. Bunun sebebi dönüştürücü düzeyine ağırlık ilave etmektedir. Bir metal nesne yalnızca kendi kütlesine ve şekline bağlı bir temel frekansta titreşebilir.

Seçilen rezonans kütlesi dönüştürücünün frekansında rezonansa uyabilecek biçimde tasarlanmamışsa dönüştürücünün hareketine zıt yönde kuvvet oluşturacaktır. Bu da verimliliğin düşmesine neden olur. Birbirine zıt dalgalar oluşur. Rezonans kütlelerinin tasarımında dönüştürücünün çalışacağı frekans aralığı göz ardı edilmemelidir.

Dönüştürücünün çalışma frekansında kayma meydana geldiğinde verimlilik ve güç kısa sürede düşer. Dönüştürücü jeneratör tarafından doğal frekansında beslenirse, dönüştürücü jeneratörle uyum içinde titreşir.

Dönüştürücü daha fazla ivmeleniyorsa daha fazla kuvvet üretecektir. 170 kHz'lik sistemler 40 kHz'lik dönüştürücülere göre saniyede yaklaşık 4 kat daha fazla titreşim üreteceğinden daha fazla ivmelenecek, bunun sonucunda da daha fazla temizleme gücü üretecektir [19,24].



Şekil 2.19. Çeşitli dönüştürücü resimleri [6].

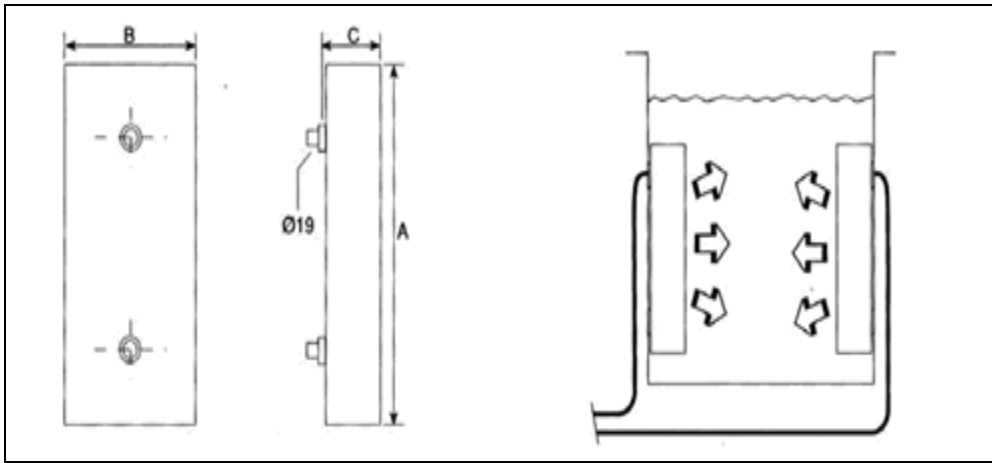
Temizleme tankının şeklinin kare olması enerji yayılımının eşit bir şekilde dağılmasında etkilidir. Dönüştürücünün titreşimi en iyi biçimde tanka iletebilmesi için dönüştürücü diyaframı tankın tabanına yerleştirilmeli ve yuvarlak olmalıdır.

Kavitasyonun devamını sağlamak için tanka enerji vermek gerekir. Piezoelektrik dönüştürücünün enerji tasarrufu önemlidir. Enerji tank içindeki malzemeler tarafından emilir. Yeterli enerji miktarı tanka verilmezse temizlenecek ürünleri sınırlı sayıda tanka doldurabilir bu da temizleme verimliliğini düşürecektir.

Zaman içerisinde piezoelektrik düzenekler yıpranabilirler. Kristalin yapıda değişiklikler ve titreşim özelliğinde azalma görülebilir. Bunların akabinde kavitasyonda da azalmalar görülebilir. Rezonans frekans değerinin kayması, kristal kapasitesine bağlı olarak zaman içinde değişmesi de bazı yıpranma sebeplerindedir.

### 2.6.2.3. Daldırmalı Tip Dönüştürücüler

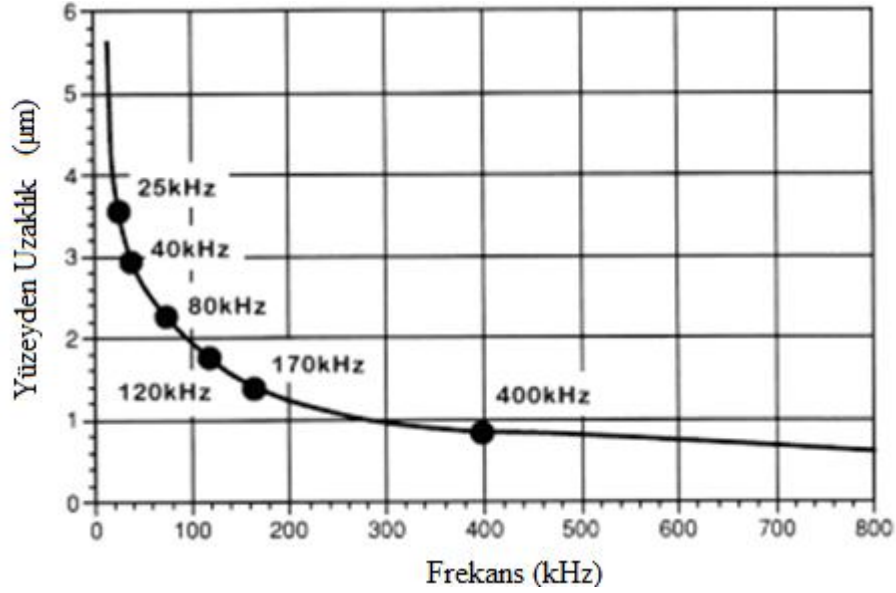
Daldırmalı tip dönüştürücülerin yapısı Şekil 2.20'de gösterildiği gibidir. Daldırmalı tip jeneratörler içi dışına çevrilmiş temizleme yapısı gibi anlaşılabilir. Su geçirmez bir kutu içinde yüzeyleri yukarı gelecek şekilde yerleştirilmiş, yüksekliği ve genişliği yeteri kadar olan dönüştürücülerdir. Dönüştürücü yerleştirildiği tankı ultrasonik tanka dönüştürür.



Şekil 2.20. Daldırmalı tip dönüştürücülerin yapısı.

#### 2.6.2.4. Yüksek ve Düşük Frekanslı Dönüştürücülerin Karşılaştırılması

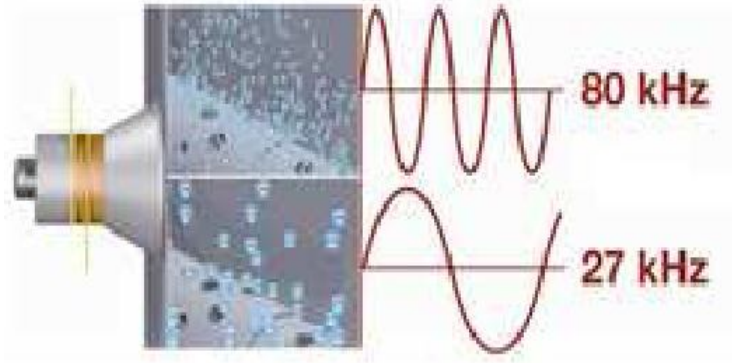
Temizlenmesinde yüksek güç gereken zor kir ve pasların temizlenmesinde 20-30 kHz arası düşük frekanslar kullanılır. Ancak böyle durumlarda temizlenen maddenin aşınması önemli olmamalıdır. Burada temizlenecek maddenin türü, cinsi önemlidir. Bunun için değişik frekanslarda ultrasonik temizleme kullanılır. Yüksek frekans temizleme sistemleri çok sessizdir. İnsan kulağının duyma aralığından uzak oldukları için rahatsız edici değildirler. Alçak frekanslı sistemlerde dalgalar hiç görünmez yüksek frekanslı sistemlerde dalgalar boydan boya yayılır. Şekil 2.21’de alçak frekanslı dalgalara örnek gösterilebilir.



Şekil 2.21. Ses dalgasının frekansa göre yüzeyden uzaklığı [23].

Yüksek frekanslı sistemlerde çalışan temizleme tankı içerisindeki sıvıya dokunulduğunda çok az temas hissedilir bundan da anlaşılacağı gibi hassas materyalleri zarara uğratmadan kullanılabilir. Fakat alçak frekanslı sistemlerde temas sert olur ve deformasyon olayı gözlenebilir [20].

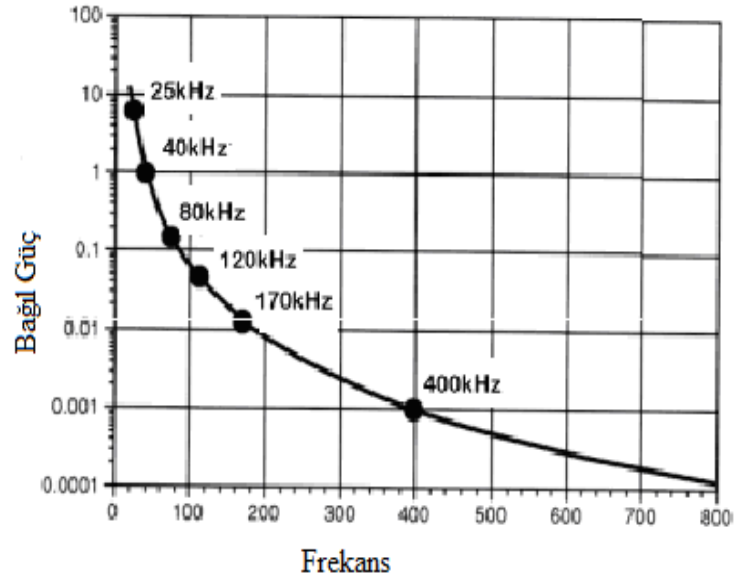
İnsan kulağının duyabileceği frekans aralığı düşük frekans olarak adlandırılabilir. Temizleme tankı düşük frekansta çalışıyorsa ses problem yaratabilir. Kullanılan frekans daha da düşük frekans olursa insan kulağına zarar verebilir. Yüksek frekanslar daha ince ve ulaşılması zor malzemelerin temizliğinde kullanılır.



Şekil 2.22. Farklı frekansta kavitasyon kabarcık boyutları [31].

Şekil 2.22’de farklı kavitasyon kabarcıklarının boyutları gösterilmiştir. Yüksek frekansta enerji ve kavite kabarcıklarının boyutları azalır. Bu da temizlenen parçaya zarar vermez [19].

Frekans arttıkça kavite başına düşen enerji azalır. Böylece erişilmesi zor bölgelerdeki kirlerin temizlenmesine de imkan sağlanır. Yüksek frekanslarda küçük parçaların temizlenmesi olayı bir akarsudaki su seviyesi düşürülerek küçük taşların görülebilmesi olayına benzetilebilir [23].



Şekil 2.23. Değişen frekanslara karşılık gelen bağıl güçler [23].



### 2.6.3. Ultrasonik Temizleme Tankları

Standart tanklar optimum temizleme yapmak ve sıcaklığı 50 – 70 °C arasında tutabilmek için termostat kontrollü ısıtıcılara sahip elemanlardır. Isıtma işlemi, temizlik sıvısının zehirli gazlardan arındırılmasında hızlandırıcı etki yaratır [28]. Ultrasonik tankların şekilleri genellikle dikdörtgen olur ve büyüklüğüne bakılmaksızın paslanmaz çelikten üretilirler. Kullanılan paslanmaz çelik hem ince hem de dayanıklılık için sağlam malzemelerden imal edilmiştir. Kullanılacak alan düşünülerek temizleme tanklarının dayanıklılığı ayarlanmalıdır. Temizleme tankının içyapısı ve ultrasonik dönüştürücülerin yerleşimi;

- 1- Isıtma açma kapama düğmesi
- 2- Termostat
- 3- Rezistans
- 4- Su boşaltım vanası
- 5- Taşma deliği
- 6- Piezoelektrik dönüştürücülerden oluşur.

Ultrasonik dönüştürücülerin üzerine konulacağı bir temizlik alanına olan ihtiyaçları gidermek için ultrasonik temizlik kazanları kullanılmaktadır. Özel tasarlanmış sistemlerde veya eski tankların yeniden yapılmasında dalmalı dönüştürücüler sıkça kullanılan elemanlardır. Ayrıca iç tarafa monte edilmiş dönüştürücülere sahip paslanmaz çelikten yapılmış hava geçirmez şekilde sıkı sıkıya kapalı ve rahat taşınabilir tanklarda mevcuttur [28]. Enerji yayan yüzeyler erozyonu azaltmak için yüksek derecede parlatılmışlardır. Ultrasonik dönüştürücüler genellikle tankın altına veya kenarlarına bazen de hem alta hem de kenarına yerleştirilir.

Temizleme tankları iki kategoriye ayrılır;

Gözlük camı ve çerçeveleri gibi hafif işlerde kullanılan tanklar vardır. Bunlara küçük dönüştürücüler takılmıştır ve küçük küpleri andırırlar. Bu tiplerin biraz daha büyük olanları masaüstü temizleyicilerdir. Laboratuarlarda ve diş hekimliği malzemelerinin temizliğinde kullanılırlar. Bunların daha büyük dönüştürücüleri ve daha güçlü

jeneratörleri vardır. Bu tiplerin çoğunun jeneratörleri kendi bünyelerindedir. Bu aynı zamanda bir problem çıkmasına sebep olabilir. Çünkü uzun bir zaman sürecinde kullanılabilirler bu da sistemin iyice ısınmasına ve fazla ısı sebebiyle diğer elektrik donanımının etkilenecek jeneratörün yıpranmasına neden olur. Bu tip temizleme tankları uzun süreli kullanım için uygun değildir. Üretimde kullanılan temizlik işlerinde kullanılmamalıdır.

Sanayide ağır işlerde büyük ebatlarda dönüştürücüler kullanılır. Dönüştürücü başına daha güçlü enerji verebilecek kapasitede büyük jeneratörler vardır. Şekil 2.24'te bir temizleme tankı ve jeneratörü gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi jeneratörler tanktan ayrı bir yerde bulundurulur ve üretim amaçlı temizleme işlerinde kullanılarak daha çok verim elde edilebilir. 316 L paslanmaz çelik kullanılır ve içine sıvı doldurulup boşaltılabilir.



Şekil 2.24. Temizleme tankı ve jeneratörü.

Ultrasonik temizleme tanklarının genellikle tek parçadan imal edilmiştir ve yaygın olarak masaüstü modelleri kullanılır. Bu temizleme tanklarına içindeki sıvıyı boşaltmak için boşaltma sistemi eklenebilir. Ebatları genellikle 13cmx13cmx10cm ile 50cmx28cmx20cm arasındadır. Ancak bunların derinliklerinde belli bir sınır vardır ve bu sınırın üzerine çıkamazlar.

Endüstride kullanılan tanklar daha ağır paslanmaz çelik olan 304L veya 316L'den levhaların birbirine kaynak yapılmasıyla üretilmiştir. Boşaltma sistemine sahiptirler. Bu tanklar oldukça pahalı tanklardır. Asit deformasyonlarına karşı korumalı yapılmıştır [24]. Tank yapımında kullanılan malzemeler önemlidir. Çünkü bunlar ses sistemini etkiler aynı zamanda kazanın performansını da etkiler.

### **2.6.3.1. Temizleme Tankının Ebatları ve İçerisine Malzeme Yerleştirilmesi**

Temizleme tankının ebatları çok iyi ayarlanmalıdır. Tank içerisindeki sepete malzemeler yerleştirildiği zaman sepet sıvı yüzeyinden en az 4cm aşağıda, tabandan 5cm yukarıda olmalıdır. Temizlenecek parçalar kesinlikle temizleme tankının tabanına konulmamalıdır. Temizlenecek olan malzemenin her tarafı temizlenmelidir. Temizleme tankının tabanına yerleştirilen malzeme tankın kenarı ya da tabanının doğru hareketi yapmasına engel olarak ultrasonik enerjinin oluşumu ile ters düşer [24].

Temizleme tankının içerisine yerleştirilecek olan sepet plastik gibi yumuşak bir malzemedен olmamalı paslanmaz çelik olmalı ancak çok hassas malzemeler için kullanılacaksa teflon gibi malzemelerden olmalıdır. Gerçekleştirilen sisteme 5cmx10cmx15cm ebatlarından daha büyük bir malzeme konulmamalıdır. Bu boyutların üstündeki değerler kazana sığdırılsa bile temizleme işlemi gerçekleşmemektedir. Temizleme tankı içerisindeki sepete malzemeler tek sıra halinde dizilmelidir bu temizleyicinin sıvıyı daha kolay dolaştırmasına ve kirli yüzeyi daha kolay temizlemesini sağlar. Aynı zamanda sepete malzemeler tek sıra yerleştirilse çıkarırken de bu yerleştirme kolaylık sağlayacaktır.

### **2.6.3.2. Ultrasonik Tanktaki Güç Seviyesini Ölçmek ve Doğru Güç Seviyesini Belirlemek**

Ultrasonik tanklarda güç seviyesi genellikle watt ile gösterilir. Üretilen güç ile temizleme gücü aynı orantıda değildir. Yani 200 wattlık bir güç ele alındığında bu güç 200 wattlık bir temizleme gücüne sahiptir denilmemektedir. Çünkü burada az da olsa bir güç kaybı mevcuttur.

Temizlenecek malzemelerde ve tankın içindeki sepette enerjinin emilmesi, ultrasonik enerjinin sıvıyı ısıtması, üretilen enerjinin tankın dibine doğru hareket etmesi ve tüm hareketler sonucu meydana gelen sürtünmeyle ortaya çıkan ısınma, kayıplara neden olmaktadır. Bu kayıplar sistemin yapısına göre farklılıklar göstermektedir.

Temizleme sıvısının yoğunluğu, sıcaklık ve kimyasal katkıları güç kaybına neden olur. Tank içindeki farklı bölgelerdeki kavitasyonun şiddeti, sabit bölgelerdeki elektriksel sinyal okunarak belirlenebilir. Jeneratörden gelen ultrasonik sinyal, dönüştürücü sayesinde mekanik enerjiye dönüşür. Dönüştürücüde bunu diyaframa ileterek diyaframın titreşmesini sağlar. Titreşim sonucu suda oluşan dalgalar sensör tarafından ölçülerek tekrar elektrik sinyaline dönüştürülebilir. Bütün tanklarda kullanılan dönüştürücülerin, jeneratörlerin ve tankların yapısında farklılıklar vardır. Bu farklılıklar sebebiyle iki ultrasonik tankta aynı güç miktarı oluşmaz. Güç ölçer düzeneğine sahip temizleyiciler frekans ve harmonik frekans, dalga şeklinin osiloskop görüntüsünün göstermesi, RMS(root mean square) gücü enerji seviyelerini baştan sona güç değerini gösterebilmelidir. Sistem bu değerleri kaydetmeli ileriki bir süreçte tekrar çağırılıp kullanılabilirdir. RMS gücü ölçen sistemler tank içindeki herhangi bir bölgenin gücünü ölçebilirler. Ultrasonik sistemlerin litre başına ortalama güç değeri 13–26 watt arasında olmalıdır. Bu oran ortalama bir orandır ve temizlemenin uygulama alanına göre ayarlanabilir.

Gerekli gücü hesaplamak için Eşitlik 2.2 kullanılır [24].

$$ORTALAMAGÜÇ = \left( \frac{UZUNLUK(cm) \times YÜKSEKLİK(cm) - 5(cm)}{392} \right) \times 26watt \quad (2.2)$$

Ultrasonik temizleme kullanan şirketler ultrasonik enerji gücünü tepe ve ortalama değer olmak üzere iki yolla hesaplarlar. Tepe gücü başlangıç için gerekli enerjiyi sağlar. Ortalama güç ise süreci devam ettiren güçtür. Bütün hesaplar ortalama güç üzerindedir. Çoğu şirketin kullandığı güç yoğunluğu kontrolü, ultrasonik gücü azaltarak güç eğrisi üzerinde istenen bir düzeyde sabit tutmaya çalışır.

Örneğin 100 wattlık ultrasonik tankta (yaklaşık 4litre başına) güç 50 watt ile 100 watt arasında ayarlanabilir [24]. Güç kontrolü kullanılan malzemenin yapısına göre seçilmeli ve güç kontrolü önemli bir seçenektir.

#### **2.6.4. Ultrasonik Temizlemede Kullanılan Çözeltiler**

Çözeltiler çeşitli formüllerden oluşur ve çeşitli uygulamalar için kullanılabilir. Çağdaş ultrasonik çözeltiler deterjanlardan, sıvı yüzey gerilimini arttıran ve azaltan maddelerden oluşur. Temizlenen parçanın tekrar kullanımı için ve istenmeyen sonuçlarla karşılaşmamak için seçilen temizlik çok önemlidir.

Çözeltinin amacı kiri parçadan uzaklaştırmaktır. Temizleme işlemini en iyi şekilde yapmak için bazı maddeler vardır. Su temizlikte tek başına yeterli değildir. Ultrasonik çözelti sıvı yüzey gerilimini düşürücü maddeler içerir. Sıvı yüzey gerilimini düşürmek kalite seviyesini yükseltir.

##### **2.6.4.1. Temizleme İşleminde Arındırılmış Su Kullanımı**

Suyun içerisinde pek çok mineral ve çözülmüş iyon bulunmaktadır. Bunlardan arındırma işlemidir. Yani saf sudur. Saf suyun direnci M $\Omega$ 'lar derecesindedir. Temizlik derecesi suyun direnci ile orantılıdır. Suyun temizleme aşamaları;

1. Filtre tarafından su içindeki parçacıklar arındırılır.
2. Karbon filtre tarafından organik maddeler temizlenir.
3. Çam sakızı karışıklı filtre bütün çözülmüş mineralleri temizler.

Az miktarda arıtılmış su elde edilir. Büyük değerlerde arıtılmış su elde etmek için pompa ve geri sirkülasyon döngüsü kullanılır. Yüksek kaliteli temizlik için arıtılmış su çok önemlidir. Arıtılmış su;

1. Temizlenecek parçadaki mineralleri içine almaya hazırdır.

2. Deterjanlı ya da deterjansız öyle aktif bir temizleyicidir ki ultrasonik için mükemmeldir.
3. Su temizlenen parçanın üzerinde kuruduktan sonra leke bırakmaz.
4. Su deterjanla karıştırılırsa daha iyi bir temizleme sonucuna ulaşılır.
5. Durularken tüm artıkları yok eder.

Su diğer temizlik malzemeleriyle karıştırıldığında daha iyi temizlik oluşturur. Temizliğin kalitesi artar ve verimli kullanılır. Bu nedenle ultrasonik temizlemede ve durulamada saf su kullanılmaya özen gösterilmelidir [24].

#### **2.6.4.2. Temizlemede Kimyasal Kullanımının Önemi**

Su ile temizleme yapabilmek için ve daha iyi sonuç alabilmek için sıcaklığın yüksek olması ve temizleme malzemesinin olması gerekir. Ultrasonik temizleme tankları içinde tek etkili değişken çözelti kimyasallardır. Bu sıvılar oda sıcaklığında iyi çalışır. Bazı sıvılarda temizlik maddelerine ihtiyaç vardır. Temizlenecek kire bağlı olarak deterjan seçilmektedir.

Etkili bir temizleme için kullanılan sıvının filtrelenmesinde fayda vardır. Yüksek performans filtre edilen bölümde daha çok gerçekleşir. Filtre edilen suda kavitasyon kaybı uygun koşullar sağlandığında olmayacaktır. Homojen bir temizlik için suyun filtrelenmesi gerekir. Böyle olmaz ise kavitasyon gerçekleşme oranında farklılıklar gözlenecektir. Temizlenecek olan malzemeye kimyasal tepkime sağlamak ve suyun tansiyonunu düşürmek için sulu çözeltiler kullanılır. Temizleyicinin içinde çeşitli kimyasallar bulunabilir. Çözeltiler iyonik ya da iyonik olmayarak kullanılacak uygulamaya göre belirlenir.

#### **2.6.4.3. Ultrasonik Temizlemede Yanıcı Çözücülerin Kullanımı**

Kavitasyon sonrasında ortaya çıkan enerji ısı ve kinetik enerjiye dönüştürülür. Bu enerji dönüşümü ısı yükselmesine ve yanabilen sıvıların tehlikeli çözeltiler oluşturabilir. Bu nedenle kolayca yanabilen ve düşük patlama noktasına sahip maddeler kullanılmamalıdır.



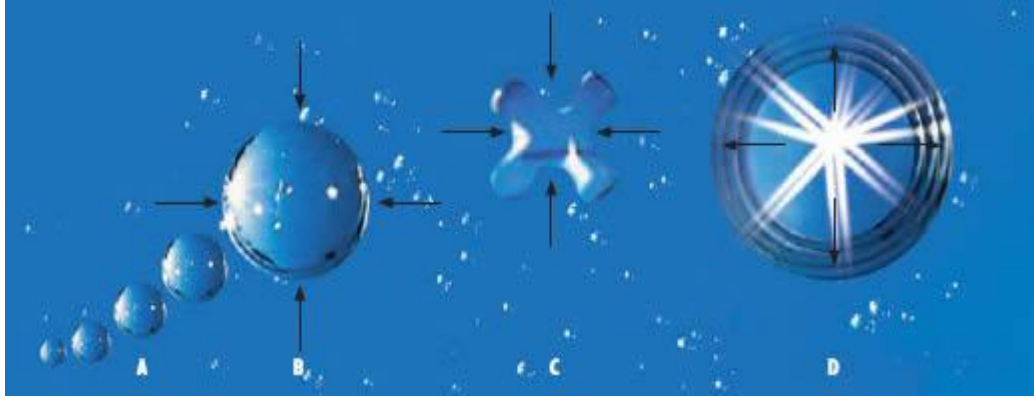
Şekil 2.25. Yanıcı çözeltili kullanılan bir temizleme sistemi [24].

Uygun temizleme tankları kullanıldığında asit bazlı malzemeler kullanılabilir. Bunların dışında kesinlikle kullanımı tehlikelidir. Paslanmaz çelik tanklara asit ev çamaşır suyu zarar verebilir. Bazı özel amaçlar için yanıcı çözücüler kullanılabilir ancak bu çözeltilerin kullanıldığı tankların yapısı ve dönüştürücülerin monte edilme şekli farklıdır.

Her türlü güvenlik önlemi sistem tasarlanırken planlanmalıdır. Yanıcı çözeltili kullanılan bir temizleme sistemi düzeneği Şekil 2.25’de gösterilmiştir. Jeneratör şeklindeki gibi ayrı bir yerde olmalı tank paslanmaz çelikten ve muhafazalı bir yapı içinde olmalıdır. Bu sistem sulu temizleme sistemine göre çok çok pahalıdır.

## 2.7. KAVİTE EROZYONU

Temizlenecek olan malzeme tankın içerisinde uzun süre kaldığında kavitasyon erozyonu (cavitation erosion) meydana gelir [28,29]. Kavitasyon kabarcığı patladığı zaman  $5000^{\circ}\text{C}$  ısı yayar ve saatte 500 mil giden şok dalgalar oluşturur [28]. Bu dalgalar temizlenecek malzemenin üzerinde kavitasyon erozyonu oluşturur.



Şekil 2.26. Kavitasyon kabarcığı.

Kavitasyon erozyonu kontrol edilmezse temizlenecek malzemenin yüzeyi deformasyona uğrar ve temizlenen malzeme kullanılamaz hale gelir. Uzun yıllar düşük frekanslarda kullanılırsa kazanın tabanı da yıpranır. Yüksek frekanslarda da kavitasyon erozyonu gerçekleşebilir. Ancak bu düşük frekanslarda temizlemeye oranla daha uzun süreçte görülür. Şekil 2.26’da kavitasyon kabarcığı gözlenmektedir [13,30].

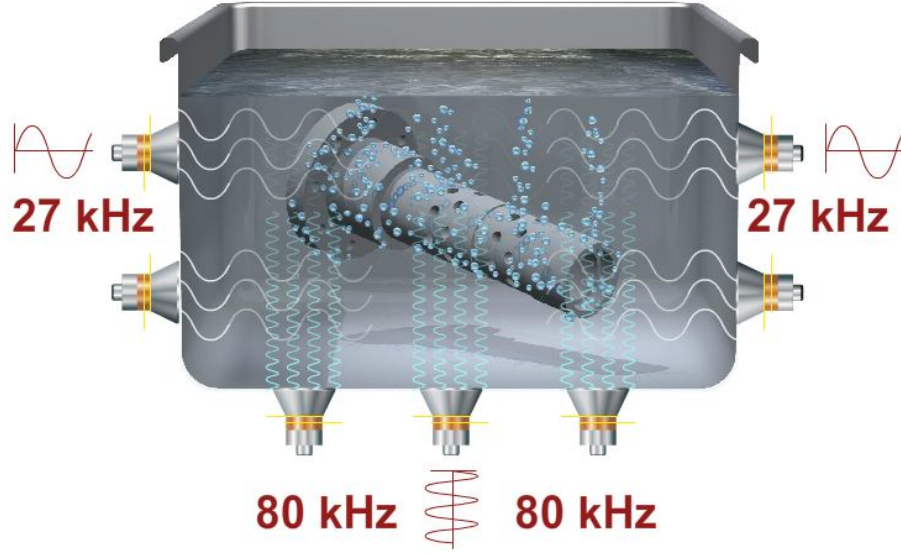
Yüksek frekanslarda temizleme yapıldığında güç daha geniş alana yayılır ve parçaların yıpranmasını azaltarak temizliğin artmasını sağlar. Ayrıca daha küçük parçaların temizlenmesini de sağlar. Bu sebeple ultrasonik dalgaların gücünü ve frekansını temizlenecek olan malzemeye göre ayarlayarak tahribatın önüne geçilmiş olunur.

## 2.8. ÇOKLU FREKANS ÖZELLİKLİ ULTRASONİK TEMİZLEME SİSTEMLERİ

Çoklu frekans özellikli ultrasonik temizleme sistemleri temizleme tankına yapıştırılmış birbirinden ayrı iki ya da daha fazla dönüştürücü gruplarıdır. Dönüştürücüler kendilerine ait jeneratörler tarafından kontrol edilerek frekansları jeneratörler tarafından ayarlanır. Dönüştürücü gruplarının işlemden kalma sürelerine göre frekans değişir. Şekil 2.27’de bu duruma örnektir [31]. Bir tankta monte edilmiş dönüştürücülerde sistem elle ya da programlanabilen lojik kontrolle otomatik olarak kontrol edilebilir. Tankın fiziksel yapısından kaynaklı sistemde bazı sınırlılıklar

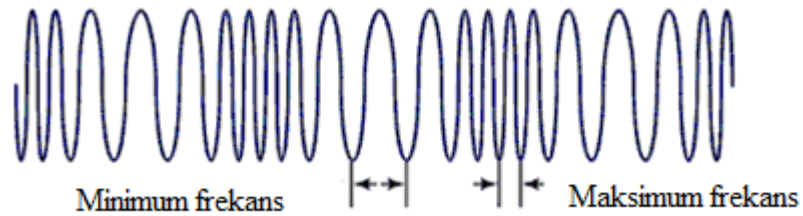


olabilir. Tankın boyutu çok sayıda dönüştürücü için yetersiz olabilir. İki frekansın sürtünmesi de fazla enerji oluşumuna sebep olacağı için bu da bir dezavantaj olabilir. Bu tür sistemlerde mutlaka güç yoğunluğu kontrolü yapılmalıdır.



Şekil 2.27. Tankın içinde birden fazla frekansın olduğu durumlar [31].

Çoklu frekans özellikli dönüştürücülerde tankta aynı anda birden çok frekans bulundurulmamalıdır. Böyle sistemlerde bir set dönüştürücü bir jeneratör kullanılır. Şekil 2.28’de frekans taramalı çalışma örneği gösterilmektedir. Frekans süpürmeli sistem narin malzemelerin tank içindeki duran dalgalardan zarar görmesini engeller. Jeneratörden dönüştürücüye gönderilen sinyal, merkez frekans etrafında ağır ağır değiştirilerek süpürmeli frekans elde edilir. Bu işlem sonrasında tank içerisinde duran dalgalar yer değiştirir. Enerjinin tüm tanka boydan boya yayılmasını sağlar.



Şekil 2.28. Frekans taramalı çalışma [17].

Devre tasarımcılar temel frekansın ne olacağı ve hangi oranda olacağını belirlerler. Ancak dönüştürücülerin çok dar bir bant aralığına sahip olmalarından dolayı frekans bu aralıktan oldukça uzakta olduğunda dönüştürücünün çalışması durabileceği ve güç kaybı olacağı hatta dönüştürücünün zarar görebileceğinden dolayı bazı jeneratörler bu duruma izin vermeyebilirler.

## **2.9. ULTRASONİK TEMİZLEME SÜRECİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Ultrasonik temizlemede iyi bir sonuç almak için temizleme sıvısındaki kavitasyon yoğunluğu çok önemlidir [19]. Kavitasyonun şiddetini belirleyen faktörler üçe ayrılabilir [29]. Herhangi bir faktörün eksikliği temizleme tankı içerisinde oluşan baloncukların oluşumuna ters etki yapmaktadır.

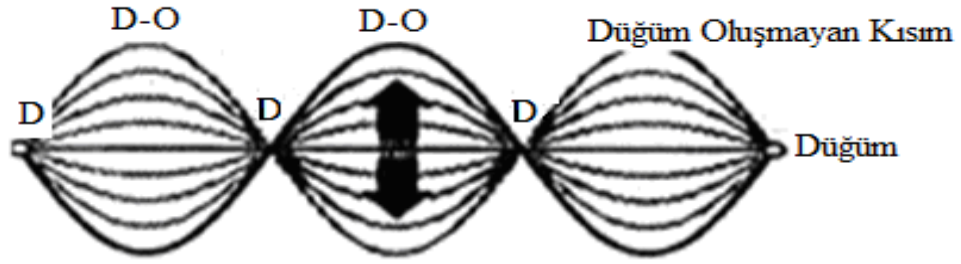
1. Ultrasonik dalganın genliği ve frekansı
2. Sıvının buhar basıncı, yüzey tansiyonu, yoğunluğu ve kayganlığı
3. Statik sıvı koşulları ve akış karakteristiği

### **2.9.1. Ultrasonik Dalganın Genliği ve Frekansı**

Ultrasonik temizlikte genellikle 20-250 kHz frekans aralığı kullanılır. Kavitasyonun oluştuğu en etkili aralık budur. Tank içinde oluşan kavite kabarcıklarının ne kadar büyüyeceğini ultrasonik jeneratör frekansı belirler. Ultrasonik dalgalar temel frekansın harmonikleri ile titreşmesi sonucu insan kulağının duyabileceği sesi meydana getirirler [32]. Yüksek frekanslı sistemler düşük frekanslı sistemlere göre daha sessizdirler.

Herhangi bir güç değerinde 30 kHz ses dalgalarının oluşturduğu şiddeti 60 kHz'lik ses dalgalarının oluşturduğu şiddetin yaklaşık iki katı kadardır [32]. Anlaşılacağı gibi 30 kHz'lik dalgaların kavitasyon yoğunluğunun ortaya çıkardığı temizleme gücü 60 kHz'lik dalgaların kavitasyon yoğunluğundan daha fazladır. Buna bağlı olarak ultrasonik şiddetin yayılan genlik ve frekansa bağlı olduğu söylenir.

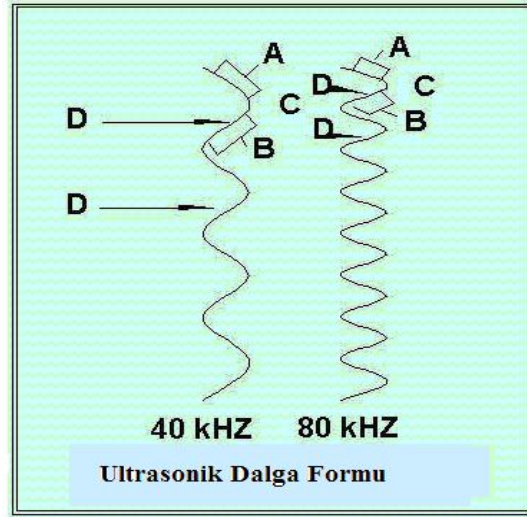
Kavitasyon kabarcıkları 20 kHz’de daha yavaş oluşurlar ancak daha güçlü patlayarak daha fazla enerji verirler. Bu aynı yapıda olan birimler için uygun bir temizlik değildir. Ultrasonik sistemin düşük frekanslarının uzun dalga boyları sıvı ortamı boyunca çok değişik noktalarda duran dalga örüntüleri oluştururlar [32]. Şekil 2.29’da sıvı içinde duran dalgalar gözlenmektedir. Duran dalgalar dönüştürücü yüzeyinde dağılmış ultrasonik dalgalar ile sıvı yüzeyinden geri yansıyan dalgaların girişimi sonucunda oluşur. Zıt yönde ilerleyen iki dalganın toplamı duran dalgadır.



Şekil 2.29. Sıvı içinde duran dalgalar [17].

Duran dalgada minimum genliklerin olduğu noktalara düğüm, maksimum genliklerin bulunduğu noktalara ise karşıt düğüm denir. Duran dalgaların düğüm noktaları ile düğüm olmayan bölgedeki maksimum genlik kısmı arasındaki uzaklık duran dalganın iki katıdır. Kavitasyon öncelikle düğüm olmayan bölgede oluşur. Kavitasyonun olmadığı ya da çok az olduğu bölge ölü bölgedir.

Frekans arttıkça baloncukların boyu küçülür. Frekans azaldıkça daha yavaş kavitasyon oluşur ancak baloncuklar daha büyük olur ve daha güçlü patlama oluşturarak daha fazla kavitasyon yoğunluğu sağlar. Böyle olduğunda homojenlik ve tutarlılık azalır. Baloncuklar küçüldükçe ulaşması zor bölgeler de temizlenmiş olur. Ölü bölgeleri azaltıp kavitasyon oluşumunu daha geniş bölgelere kaydırmak için süpürmeli ya da çoklu frekans sistemleri kullanılabilir. Bu sayede örtüşen duran dalga aynı anda oluşabilir.



Şekil 2.30. Ultrasonik dalga formları [17].

Şekil 2.30’da farklı frekanslardaki ultrasonik dalga formları görülmektedir. Patlamalar arasındaki süreyi D noktası gösterir. Düşük frekansta bu süre daha uzundur. A noktası sıkışma B noktası gevşeme fazını gösterir. Düşük frekansta A ve B süreleri daha uzundur. Bundan dolayı baloncukların büyümesine zaman ayrılmış olur ve baloncuklar daha çok büyür. C noktaları da sıkışmanın maksimum olduğu zamanı gösterir.

### 2.9.2. Sıvının Buhar Basıncı, Yüzey Gerginliği ve Kayganlığı

Sıcaklık kaviteasyon yoğunluğunu en yüksek seviyeye getirmek için dikkat edilmesi gereken en önemli etkidir. Sudaki kaviteasyon  $71^{\circ}\text{C}$  civarında en yüksek seviyeye ulaşmaktadır [1]. Sıcaklığın değişmesi kaviteasyon olayında etkili olan sıvının kayganlığını, gazın çözünürlüğünü, çözülmüş gazın difüzyon oranını ve buhar basıncını etkiler.

Kaviteasyondan en iyi sonucu alabilmek için sıvının kaygan olmaması gerekir. Sıcaklık artışı sıvıların kayganlığını düşürür. Buda kaviteasyon baloncuğunun güçlü patlama oluşturmasını ve hızlı oluşumunu engeller. Sıvı içinde çözülmüş gazların miktarı sıcaklık artışıyla ters orantılıdır. Kaviteasyonun iyi olması için temizleme sıvısının olabileceği en az miktarda çözülmüş gaz içermesi gerekmektedir. Çözülmüş gazlar sıvının içinde kaviteasyon baloncuğu büyürken baloncuğa girerler ve ultrasonik

etki için gerekli olan patlamaya engel olurlar. Sıcaklığın artmasıyla çözülmüş gazların azalması, düşük sıcaklıklara oranla daha hızlı sağlanır. Sıcaklık kaynama noktasına yaklaştıkça kavitasyonun yoğunluğu azalır ve sıvı kaynayınca kavitasyon olayı sona erer. Saf suyun yüzey tansiyonu  $72 \times 10^{-5}$  N/cm civarındadır, oda sıcaklığında kavitasyon zor oluşur. Ancak sıvıya yüzeyde bir kimyasal malzeme katıldığında yüzey gerginliği  $30 \times 10^{-5}$  N/cm' ye düşer ve kavite oluşturabilir [24]. Temizleme sıvısının yüzey tansiyonu arttıkça en az seviyede kavitasyon oluşabilme enerjisi de artar. Soğuk suda kavite üretimi zordur ancak sıcaklık arttıkça buhar basıncı da artar. Kavitasyon yoğunluğu ile ultrasonik frekans ters orantılıdır. Kavitasyon yoğunluğu frekansın artmasıyla baloncukların boyutu küçülecek ve daha az şiddetli patlamalar oluşarak yoğunluğu azalacaktır.

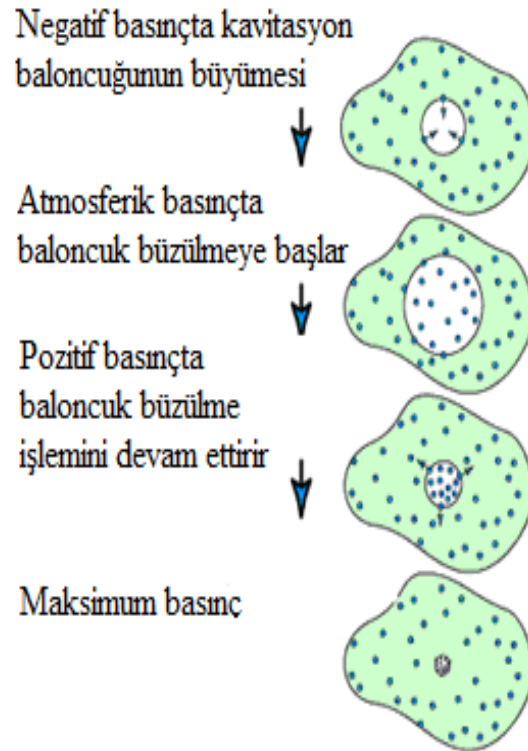
## **2.10. GAZ GİDERME VE TEMİZLEMeye ETKİSİ**

Tüm sıvıların içerisinde çözülmüş oksijen bulunur. Ultrasonik temizleme sıvısının gazlardan arındırılmış olması gerekmektedir. Ultrasonik temizlemede kavitasyon baloncukları ne kadar şiddetli patlarsa temizlik o kadar güçlü olur. Sıvı içerisinde gaz bulunduğunda temizleme yapılacak bölgedeki basınç düşer ve patlamaların gücünü engeller. Basınç azalması temizlemede verimin azalacağı anlamına gelir.

Şekil 2.31'de sıvıda çözülmüş gazların bulunduğu hava baloncukları gösterilmiştir. Sıvı içerisinde basıncı azaltılmış dalgalar basınç süresince sıvıda ayrışmalar olur ve kavitasyon baloncuğu büyümeye başlar. Negatif basınçta kavitasyon baloncuğu büyür, baloncuk büyürken sıvı içinde çözülmüş olan gazlar baloncuğa doğru hareket eder ve içine girerler. Atmosferik basınçta iç basınçla dış basınç eşit olduğundan baloncuk büzülme başlayacaktır. Pozitif basınçta büzülme devam edecektir. Sıvı içindeki gazlar basınçtan dolayı dışarı çıkmak isteyecektir. Ancak sıvılar gaz içerdiği sürece patlamayacaklar ezilmiş bir paket halinde kalacaklardır [1]. Bu küçük gaz paketçikleri bir araya gelerek birleşip yer çekimine karşı koyabilirlerse sıvı yüzeyine çıkabilir ve böylece gazlar giderilmiş olur.

Gaz giderme olayında önemli olan, baloncukların büyümesi yükselmesi ve yüzeye çıkıp gitmesidir. Bu süreçte buhar basıncı, viskozite, sıcaklık ve yüzey tansiyonu da

önemli etkenlerdir. Kabarcıkların kat edeceği mesafe bu mesafeyi geçiş süresine izin verecek bir süreç tasarlanmalıdır. İşlemin gerçekleşmesi enerjinin düzenli aralıklarla kesilmesini gerektirir bu da ultrasonik radyasyonların darbelerle meydana getirilip, uygulanması ile mümkündür [23,33]. Kavitasyon olayının hem kabarcıkları dağıtıp hem de birleştirmesi bu uygulamaya daha da güçleştirir. Bu da uygulanacak enerjinin şiddeti ve kontrolünü önemli hale getirir.

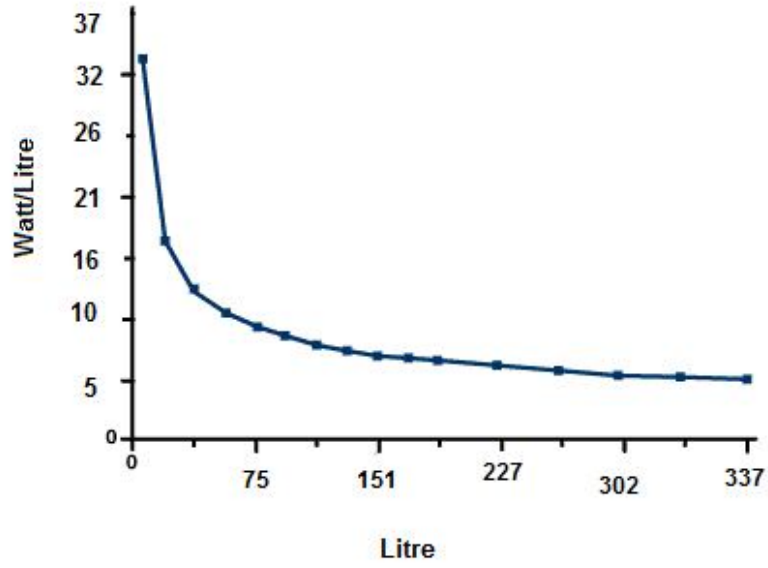


Şekil 2.31. Sıvıda çözülmüş gazlar bulunduğunda hava kabarcıklarının durumu.

Darbe oluşumları ultrasonik jeneratör devresinin içine entegre edilmiş darbe üretici devreler sayesinde olur. Bu nedenle kaliteli jeneratörlerde mikro denetleyiciler kullanılır [24]. Gaz giderme işlemi için darbe yapısı kısa süreli, küçükten başlayarak normal seviyeye gelene kadar yükselen enerji yoğunluğu ve akabinde kabarcıkların yükselip yok olabilmesi için biraz daha uzun süreli bekleme periyodu şeklinde olmalıdır.

## 2.11. ULTRASONİK TEMİZLİK VERİMİNİN ARTTIRILMASI

Ultrasonik temizlemede tanka verilen ultrasonik güç kavitasyon için yeterli olmalıdır. Litre başına ultrasonik güç, bir ölçüm kriteridir ve pratikte bir temizleme tankında olması gereken en düşük güç seviyesini belirlemede kullanılır. Şekil 2.32'teki litre değeri arttıkça litre başına düşen gerekli minimum gücün azaldığı gösterilmiştir [1].



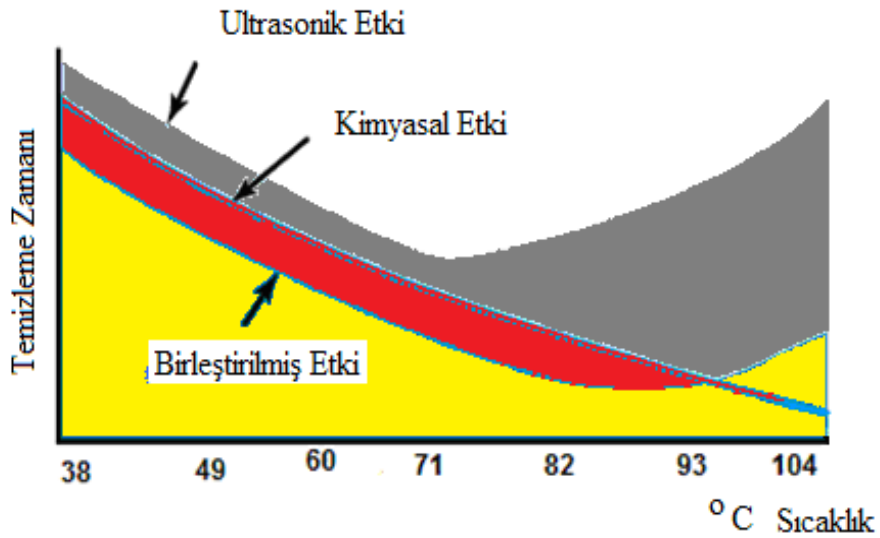
Şekil 2.32. Litre değeri attıkça litre başına güç [17].

Temizliğin istenilen şekilde olması için suyun diğer gazlardan arındırılmış olması gerekir. Burada temizleme sıvısından gaz giderme olayı önemlidir. Temizliğe başlamadan önce gaz giderme olayı kesinlikle yapılmalıdır. Gaz giderme olayı çalışmaya hazır hale geldikten sonra yapılır. Gaz giderme süresi kazanın kapasitesi ve sıcaklığa bağlı olarak değişir.

Temizliğin başarılı olmasını etkileyen diğer bir faktörde temizleme kimyasalının seçimidir. Seçilen kimyasal madde iyi kavite olmalıdır ve temizlenecek metale uygun olup metal üzerindeki kiri temizlemeye kapasitesi olmalıdır. Ultrasonik temizlemede kullanılmak için özel formülle hazırlanmış kimyasallar bulunmaktadır. Yüzey gerginliğini azaltan kimyasal formüller tercih edilmelidir.

Temizlenecek olan malzemeler ultrasonik tank içerisindeki sepete uygun şekilde yerleştirilmelidir. Temizleme süresince ulaşılması zor olan bölgelere ulaşılması bakımından temizlenecek parçaların sıra ile konulması ve arada yer değiştirilmesi gerekir. Temizlenecek malzeme çok kirli ise ek enerjiye ihtiyaç duyulabilir. Ancak fazla enerji hassas malzemeler üzerinde deformasyona neden olabilir. Eğer birden çok malzeme aynı tank içerisinde temizlenecek ve ultrasonik güç kontrolü yapılmalıdır. Yine burada da kullanılacak kimyasal önemlidir.

Kimyasal maddenin temizliğe olan etkisi sıcaklıkla ilişkilidir. Saf suda yaklaşık 71 °C'deki sıcaklıkta kavitasyon en üst düzeyde olduğu belirtilmiştir [1]. Temizlik bazen düşük sıcaklıklarda bazen de yüksek sıcaklıklarda görülebilir bu temizleme maddelerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Temizleme işleminde kullanılacak kimyasalı tavsiye edilen (71 °C) sıcaklık değerini geçmeden kullanılmalıdır. Şekil 2.33'te temizleme zamanının ultrasonik ve kimyasal etkiye karşı değişimi gösterilmiştir [1].



Şekil 2.33. Temizleme zamanının ultrasonik ve kimyasal etkiye karşı değişimi [17].

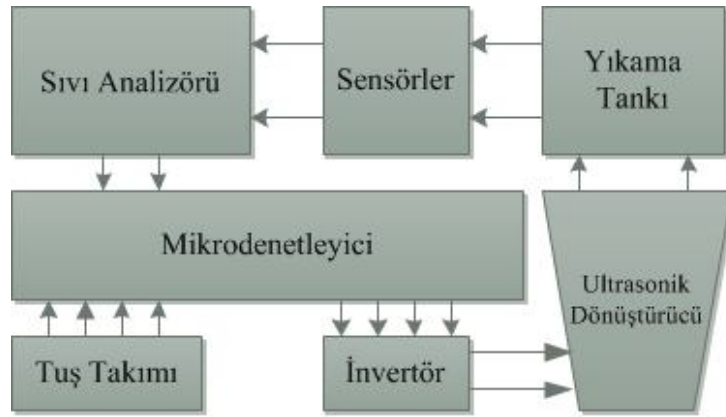


## BÖLÜM 3

### MATERYAL METOD

Ultrasonik temizleme cihazı tasarımında üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar donanım, yazılım ve benzetim olarak gruplanmaktadır. Donanım kısmında sistemin denetimini sağlayan mikrodenetleyiciden, mekanik enerji dönüşümünü yapan ultrasonik dönüştürücüden, ultrasonik dönüştürücüyü süren invertör devresinden, temizlenecek malzemenin daldırıldığı temizleme tankından ve kullanılan sıvının analizini yapan devreden bahsedilmektedir. Yazılım bölümünde ise çalışan akıllı sistem genel algoritmasından söz edilmektedir. Benzetim kısmında ise tasarımın sistem modeli oluşturulmaktadır. Tasarım ve benzetim dalga formları karşılaştırılmaktadır.

#### 3.1. DONANIM



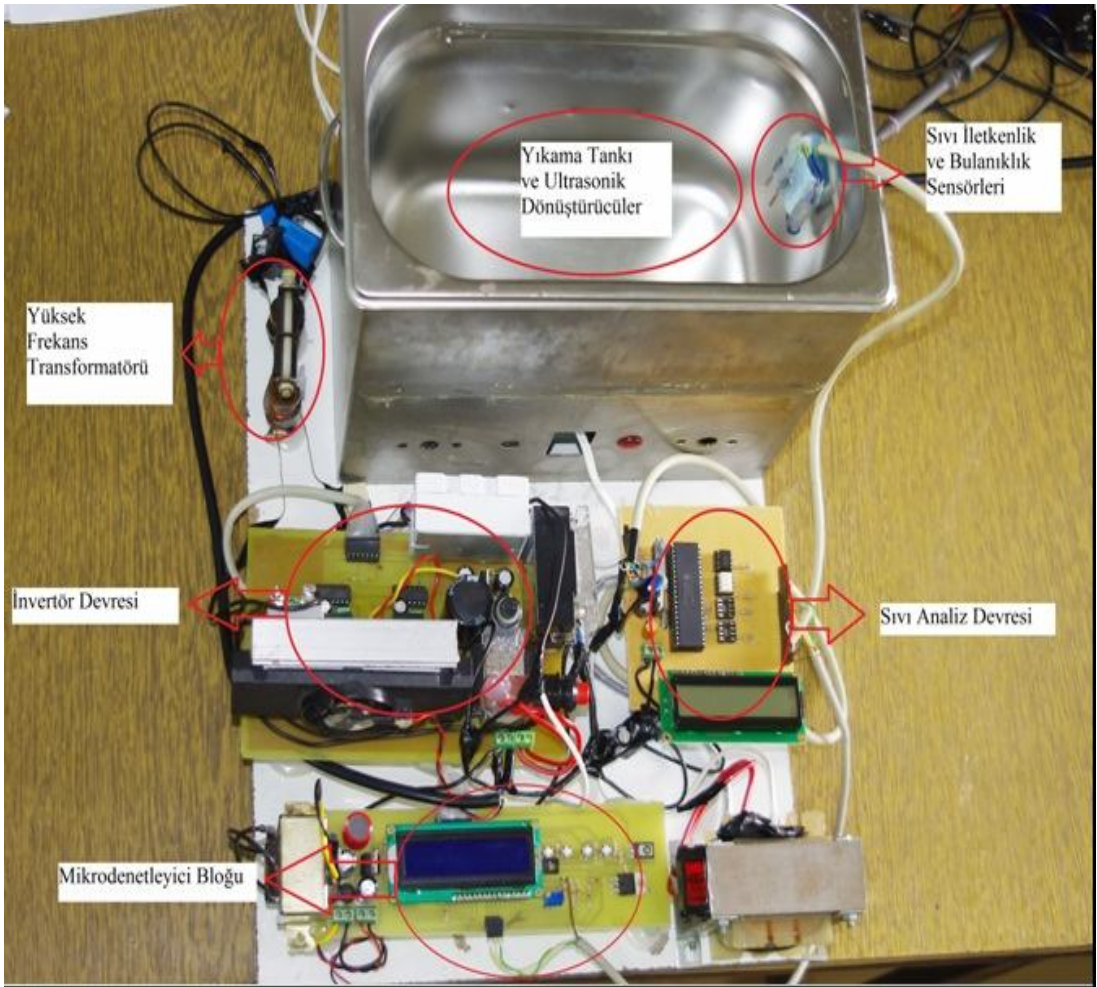
Şekil 3.1. Tasarımı hazırlanan sistemin blok şeması.

Şekil 3.1’de gerçekleştirilen sistemin blok şeması verilmiştir. Sistemi meydana getiren bütün parçalar uyum içerisinde çalışmaktadır. Sistemi oluşturan parçalar; mikrodenetleyici, yıkama tankı, ultrasonik dönüştürücüler, sıvı analizörü ve invertör devresidir. Şekil 3.2’de tasarımın fotoğrafı görülmektedir.

Mikrodenetleyici devresi tuş takımı ile LCD (Liquid crystal display) göstergesi içine alan ve sistemin denetleme devresidir. Yıkama tankı, içersine temizleme sıvısı konulup alt kısmına ultrasonik dönüştürücülerin monte edilip temizliğinin gerçekleştiği çelik bir kazandır.

Ultrasonik dönüştürücüler, temizleme tankının alt kısmına monte edilen titreşimi sağlayan kristallerdir. Tankın büyüklüğüyle orantılı sayıda tanka monte edilirler.

Sıvı analizörü, temizleme tankı içersine konulan temizleme sıvısının temizlik esnasındaki değişimleri ölçen kısımdır. Bu sıvının iletkenlik değişimi de olabilirken sıvının bulanıklığı konusunda da bilgi vermektedir. Aynı devre sistemin sıvısız çalıştırılmasını da önlemektedir.

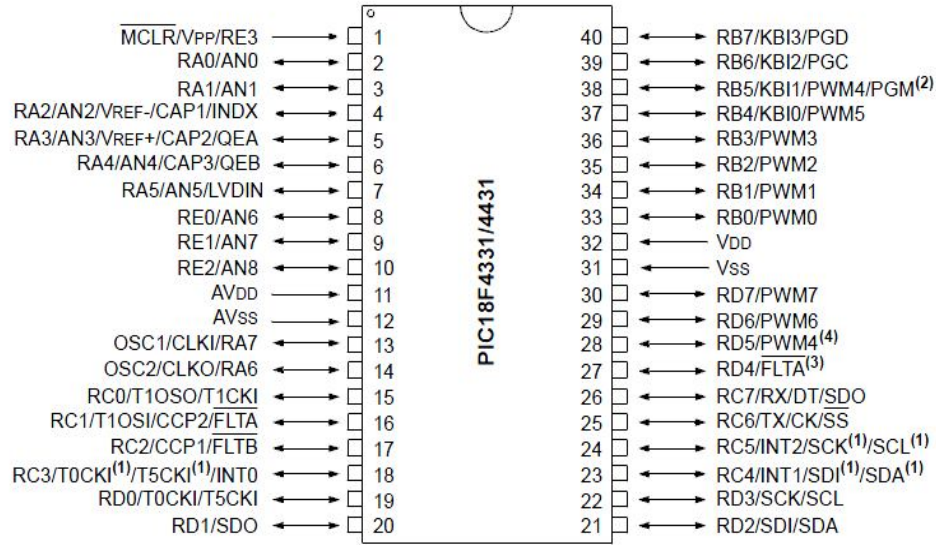


Şekil 3.2. Sistemin genel fotoğrafı.

İnvertör devresi, şebekeden elde edilen alternatif akımı (AA) doğru akıma (DA) dönüştürdükten sonra anahtarlama yöntemiyle ve çıkışa bağlanan yüksek frekans trafosu ile istenen yüksek gerilimli ve frekanslı sinyali elde etmek için tasarlanmıştır.

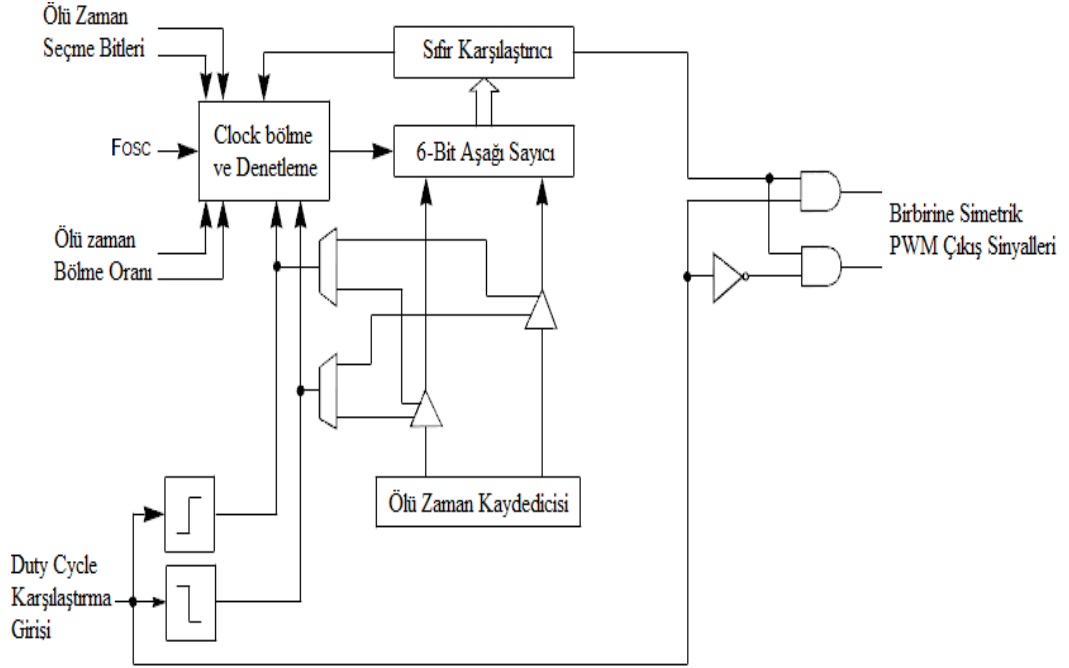
### 3.1.1. Mikrodenetleyicili Denetim Katı

Mikrodenetleyici bloğu, ultrasonik dönüştürücülerin çalışması için gerekli olan sinyali üreten sistemi denetlemektedir. Temelde ultrasonik dönüştürücünün çalışma frekansı mikrodenetleyicide elde edilir ve buradan tasarlanan invertör devresine gönderilerek gerekli gerilimle dönüştürücü anahtarlanmaktadır. Kullanılan mikrodenetleyicinin diğer denetleyicilerden farkı motor sürücülerde kullanılan POWER PWM kısmının bulunmasıdır. Bu sayede yarım köprü ve tam köprü invertörlerin sürülme işlemini kolaylaştırmaktadır.



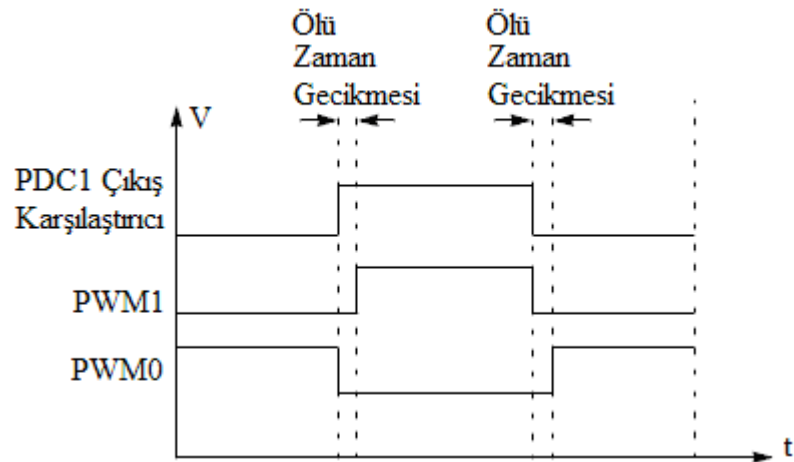
Şekil 3.3. PIC 18f4431 Ayak bağlantı uçları.

İnvertörün çalışması ve doğru anahtarların sırayla açılmasını mikrodenetleyici sağlamaktadır. Mikrodenetleyicinin DGM çıkışları senkronize bir şekilde invertöre ulaşmalı ve eşliğiyle birlikte doğru sırayla invertördeki mosfetleri anahtarlmalıdır. Şekil 3.3'de kullanılan mikrodenleyici görülmektedir. PIC18fxxxx ailesindeki mikrodenetleyicinin DGM çıkışlarının terslenmiş halinin bulunması invertör devresini sürme işlemini kolaylaştırmaktadır.



Şekil 3.4. DGM çıkışının ölü zaman ve tümleyenini alan blok şema[33].

Mikrodenetleyicide DGM çıkışlarının tümleyenini almayı ve ölü zaman oluşumunu sağlayan blok Şekil 3.4’de gösterilmektedir [33]. Bu denetleyici içerisinde yazılan iki satırlık komutla dört farklı DGM kanalını ister tersleyeni ile ister aynı şekli ile çıkış alınıp ölü zaman genişliğini ayarlamayı mümkün kılmaktadır. Kullanılan denetleyici bu gecikmeye imkan vermemiş olsa invertör köprü kolları aynı anda ilettime geçip besleme kaynağını kısa devre ederek devreye zarar verecektir.

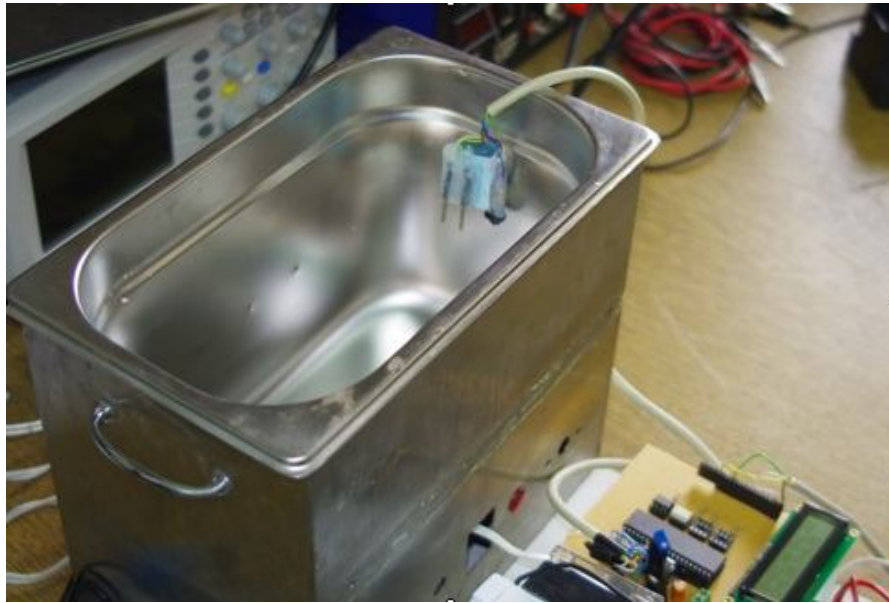


Şekil 3.5. Ölü zaman gecikmesi.

Şekil 3.5’de DGM1 ile DGM0 arasında bulunan boşluğa ölü zaman gecikmesi denilmektedir. Bu anda invertör devresinde kullanılan anahtarlama elemanlarından hiçbiri aktif durumda değildir. Aynı zamanda DGM1 darbesi DGM0 darbesi ile ters yöndedir. Bu da invertör devresinde ki köprü kollarının aynı anda iletme geçme ihtimalini ortadan kaldırmaktadır.

### 3.1.2.Yıkama Tankı

Ultrasonik temizleme sistemi temelde iki tiptir. Ultrasonik dönüştürücü tanka sabitlenmiş halde olmakla birlikte dönüştürücüler tanka daldırılabilir tipte de olabilmektedir. Çalışmamızda çelik tanka sabitlenmiş olarak ultrasonik dönüştürücü kullanılmaktadır. Temizlenecek malzemenin temizlik sıvısı içine tamamıyla daldırılması gerekmektedir. Bu sebeple kullanılacak tankın boyutları temizlenecek malzeme türüne göre boyutlandırılmalıdır. Günümüzde ultrasonik temizleme cihazının kuyumcu, protez ve gözlük işlerinde kullanımı oldukça fazladır. Tasarımımızda kullandığımız tankın boyutu da bu sektöre göre imal edilmiştir. Yıkama tankının çelik malzemeden olması tankın esnekliğini arttırmakta, yüzeyinin pürüzsüz olması da oluşacak olan kavitasyon miktarını arttırmaktadır.



Şekil 3.6. Temizleme tankı fotoğrafı.

Şekil 3.6'da sistemin temizleme tankı verilmiştir. Yıkama tankında kullanılan temizleme sıvısını boşaltmak için tahliye vanası mevcut olup tahliye vanasız olanı da bulunmaktadır. Gelişmiş yapılarda tahliye vana kısmından kirli su devir daim işlemi ile filtreden geçirildikten sonra kapalı döngü ile tank içerisine yeniden eklenmektedir. Sıvının kirli olması durumunda kavitasyon azalmakta ve temizlik süresi uzamaktadır. Bunu engellemek için temizleme sıvısının kazandan sürekli olarak devir daim edilerek kirden arındırılıp kazana tekrar vermekle kavitasyon kayıplarını engellemek mümkün olabilmektedir.

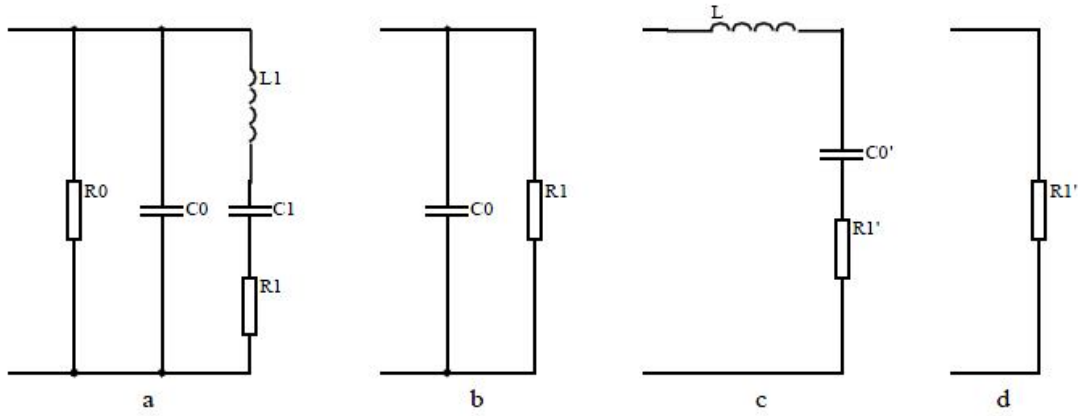
### 3.1.3. Ultrasonik Dönüştürücüler

Ultrasonik temizleme cihazında kullanılan yıkama tankının büyüklüğüne göre alt ya da yan kısmına ultrasonik dönüştürücüler monte edilmektedir. Tankın boyutu büyüdükçe monte edilen dönüştürücü sayısı da artmaktadır. Çelik yıkama tankının boyutunun büyümesi ile dönüştürücü sayısının artmasının sebebi kazanı titreştirmede kolaylığın sağlanmasıdır. Tankın boyutu büyüdükçe titreştirmek zorlaşacak ve dönüştürücünün gücü yetmeyecektir. Bu sebeple tankın içerisindeki sıvıda kavitasyon baloncuğu oluşturmak için tankı rahatlıkla titreştirecek sayıda dönüştürücü kullanmak gereklidir.

Şekil 3.7'de. piezoelektrik dönüştürücünün eşlenik devresi görülmektedir.  $R_0$ ,  $C_0$ ,  $R_1$ ,  $C_1$  ve  $L_1$  sırasıyla dielektrik kaybı direnci, statik kapasitesi, dinamik direnci, dinamik kapasitesi ve dinamik indüktansdır. Ultrasonik dönüştürücünün seri devre rezonans frekansı Eşitlik 3.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

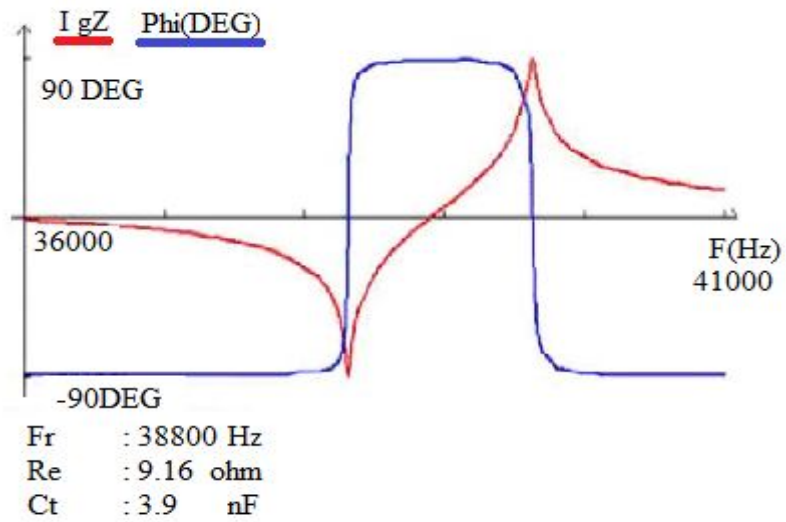
$$F_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.1)$$

Seri devre rezonansı sürücü devre frekans rezonansına eşit olmakla birlikte  $R_0$  dielektrik kayıp direnci paralel koldaki  $R_1$  direncinden çok yüksek olduğundan ihmal edilir (Şekil 3.7b). Ultrasonik dönüştürücünün seri paralel işlemleri yapıldıktan sonra  $C_0'$  ve  $R_1'$  Şekil 3.7c'de seri olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3.7. Ultrasonik dönüştürücü eşlenik devresi.

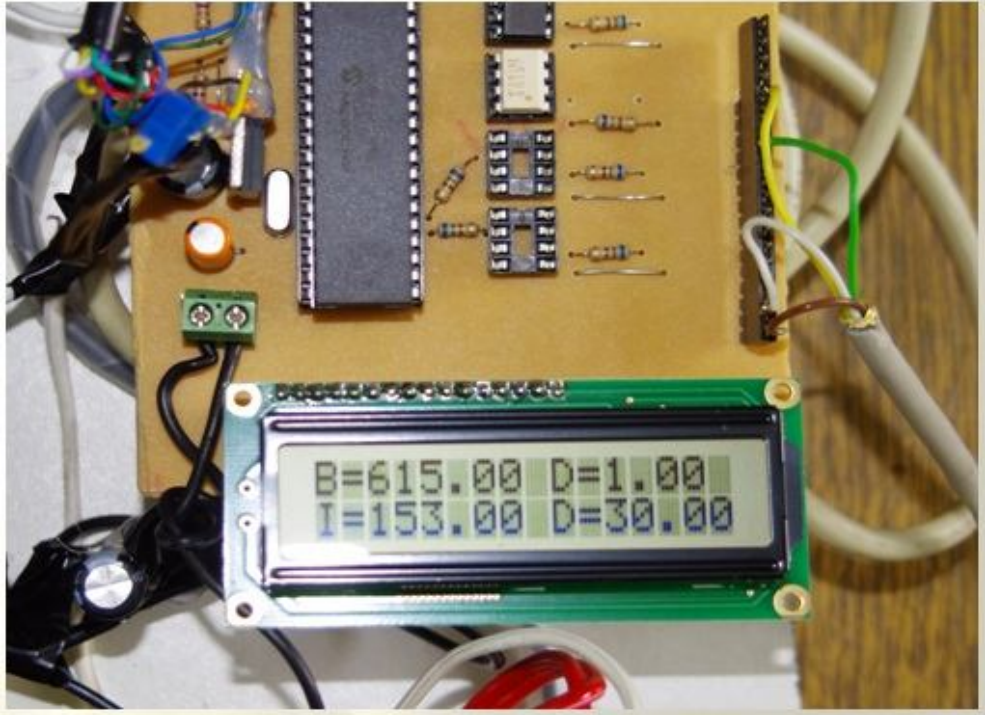
Buradaki  $L$  değeri bağlantıda kullanılan yüksek frekans transformatörünün çıkış indüktansdır. Sistemi rezonansa getirmek için Eşitlik (3.1) kullanılarak sistem için gerekli değerler elde edilir (Şekil 3.7d). Dönüştürücünün kapasite değeri katalogda verildiği gibi alınarak uygun  $L$  değeri hesaplanarak bulunur. Başka bir deyişle yükseltme transformatörünüzün indüktans değerine göre dönüştürücülere ek bağlanan kapasite değerleri ile mevcut transformatör kullanılabilir hale getirilebilmektedir. Şekil 3.8'de  $I_{gZ}$  piezoelektrik dönüştürücünün çektiği akım,  $\Phi(\text{DEG})$  ise kristalin yaptığı açığı,  $F_r$  rezonans frekans değerini,  $R_e$  rezonans anındaki direncini,  $C_t$  ise kristalin toplam kapasitesini göstermektedir.



Şekil 3.8. Kullanılan piezoelektrik dönüştürücünün katalog bilgileri.

### 3.1.4. Sıvı Analizör Devresi

Ultrasonik temizlik esnasında kullanıcı gözlemi ile sıvının kirlenmiş olduğu gözlenip kavitasyon miktarının azalıp azalmadığına karar vermek gerektirmektedir. Bu da temizleme kalitesini ve temizleme süresini azaltmakla birlikte temizleme işlevini yetersiz kılmaktadır. Çalışmamızda sıvı analizini yapıp kavitasyon işleminde azalma olup olmadığını sıvının kirlilik seviyesini ölçerek temizleme işlemine son verilmektedir. Bu devre sayesinde temizleme işleminin başında insan gücüne gerek kalmadan temizleme işleyişinin kontrolü sağlanmıştır. Şekil 3.9'da sıvı analiz devresinin fotoğrafı görülmektedir.

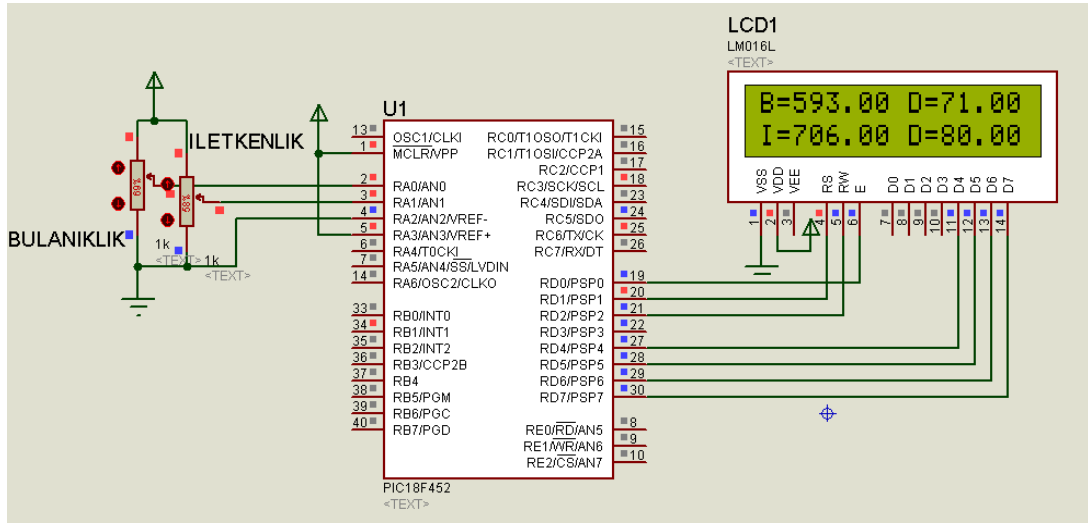


Şekil 3.9. Sıvı analiz devresi fotoğrafı.

LCD de okunan değerler; B harfi ile gösterilen yıkama tankı içerisindeki bulanıklığın mikrodenetleyicideki analog karşılığıdır. Yanındaki D ise ölçülen ilk ve son değer arasındaki farkı yani ( $\Delta$ ) deltayı ifade etmektedir. Simülasyona göre delta 1 görünmekte bu demektir ki sıvı içerisinde bulanıklık değişimi oluşmaktadır.

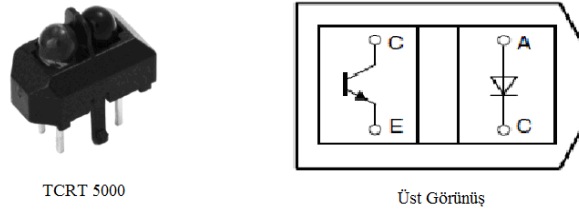


İkinci satırda okunan değer I ile yazılmakta bu ise iletkenliği ifade etmektedir. Sıvı içerisine daldırılan aralarında 1cm mesafe olan iki çubuğa verilen gerilim ile sıvı içerisindeki dirence göre ölçülen değer mikrodenetleyicideki analog karşılığıdır. Yani iletkenlik değeridir. Yanındaki D de iletkenlik değerlerinin okunup farklarının alınmış halidir. Çalışmada 30 değeri okunmuş olup iletkenlik değişiminin gözlemlendiği ekrana yansıtılmıştır.



Şekil 3.10. Sıvı analiz devresi şeması.

Şekil 3.10'da sıvı analiz devresinin görülmektedir. Sıvı analizi kısmında sıvının bulanıklık seviyesi ya da sıvının iletkenlik durumuna bakılarak sıvı çözeltisinin kaviteye seviyesine göre cihaz kontrolü sağlanabilir. Bulanıklık için TCRT5000 sensörü kullanılmıştır [34]. Tank içine gönderilen kızıl ötesi (IR) ışınlarının geri dönmesi oranına göre bulanıklık ölçülmüştür. Şekil 3.11'de sensörün resmi görülmektedir.



Şekil 3.11. TCRT5000 sensörü resmi.

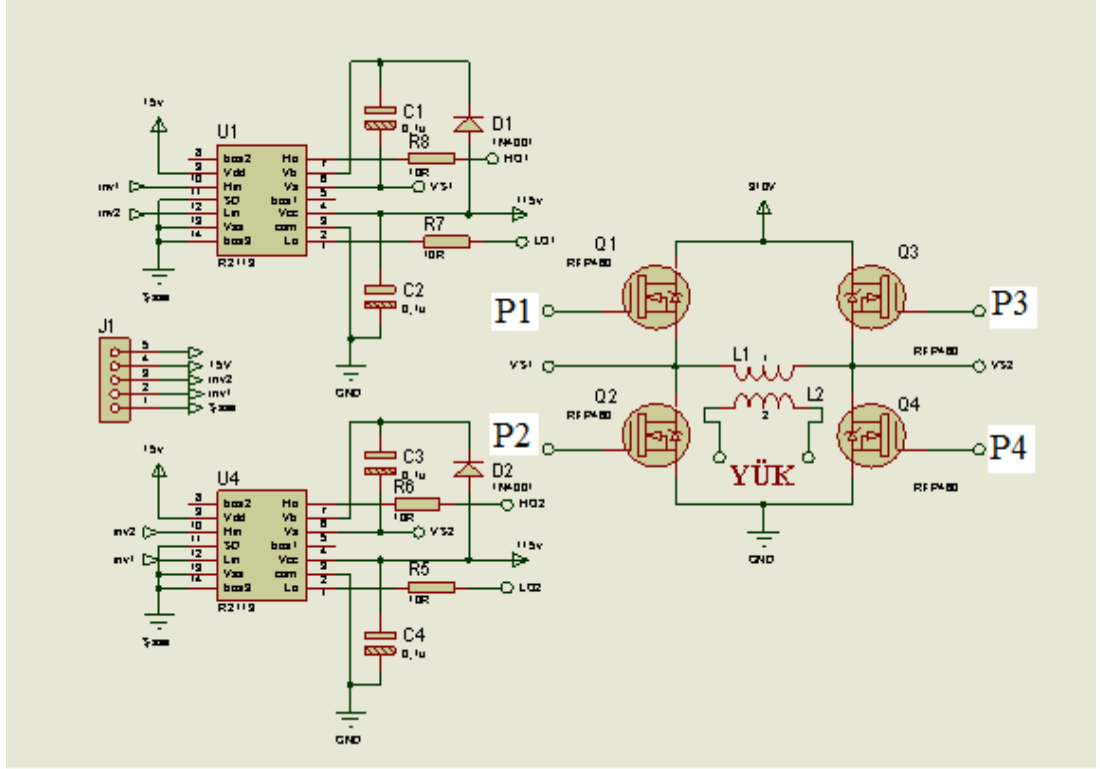
İletkenlik ölçümü ise sıvı içersine verilen sabit bir gerilim ile sıvının direncinin değişmesine göre oluşan akım değişimi ile buna bağlı olan iletkenlik değişimi ölçülmüştür. Basit olarak sabit genlik altında sıvının direncinin artımıyla içersinden geçen akımın değişim göstermesi ve bu değişimin denetleyiciye analog değer olarak gelmesidir. Çünkü iletkenlik direncin tersi olmaktadır. Toplamda 200 mW güç tüketimi 60 mA sürme akımı ve besleme gerilimi 5V `tur.

Tasarlanan cihazda kirli malzeme çözünmeden önce iletkenlik okunur. Sistem çalıştırılır ilk ve son ölçülen iletkenlik değerinde değişme yok ise sistem çözülmeye doymuştur ve iletkenlikte değişme yoktur. Aynı şekilde bulanıklık ölçüm değerlerinde devamlı olarak bir değişme yok ise sistem içersindeki temizleme sıvısı, çözülmüş olan kire doymuş ve çözüme işlemi yapamayacak duruma gelmiştir.

### **3.1.5. Tam Köprü DGM Modu ile DA/AA Dönüştürücü**

Ultrasonik dönüştürücünün çalışma frekansını ve genliğini oluşturmak için invertör devreleri kullanılmaktadır. Bu devreler sayesinde istenilen anahtarlama frekansına çıkmak mümkün olmaktadır. Çalışmada tam köprü dönüştürücü kullanılmış ve anahtarlama frekansı olarak 38,8 kHz kullanılmıştır. Tank yüzeyine yapıştırılan ultrasonik dönüştürücülerin rezonans frekansları 38,8 kHz olduğu için anahtarlama frekansını da aynı değer olarak seçilmiştir. Dönüştürücü, rezonans frekansında en yüksek akımı çekmekte olup kazana yaydığı titreşim de bu anda maksimum olmaktadır. Dolayısıyla kullanılan dönüştürücünün frekansıyla aynı değerlikli frekans üreten bir invertör tasarlanmıştır.

Tam köprü invertörde, yarım köprü invertörün artı ve eksi gerilimlerin yanı sıra sıfır gerilim de elde edilmektedir. PS-PWM sinyalini tam köprü invertörde oluşturmak daha kolay olmaktadır. Bu nedenle sistemimiz tam köprü invertör olarak tasarlanmıştır. PS-PWM sinyalleri anahtar olarak kullanılan mosfetlerin açılıp kapanması ile oluşmaktadır.



Şekil 3.12. Tam köprü invertör devresi.

IR2113 mosfet sürücü entegresi bu çalışmada tercih edilmiştir. Yüksek frekanslarda çalışma aralığı ve tasarım kolaylığından dolayı IR2113 kullanılmıştır. Mosfet sürücü entegresi kullanılarak iki yarım köprünün birleşmesinden meydana gelen tam köprüyü oluşturmaktadır.

Mikrodenetleyiciden çıkan PWM sinyalleri invertör devresine girdikten sonra kullanılan mosfetleri sürmek için sürücü entegrelere uygulanmaktadır. Sürücü entegreler aracılığıyla köprü devresindeki mosfetlerin istenilen zaman ve sırada sürülmelerini mümkün kılınmaktadır. İnvörtör devresinde dört adet mosfet ve bunları süren iki adet mosfet sürücü kullanılmaktadır. Mosfet sürücülerin görevi mikrodenetleyiciden gelen PWM sinyallerini mosfetlerin sürebilmesi için gerekli seviyeye çıkarmak ve yüksek gerilim ile mikrodenetleyicinin düşük gerilimi arasındaki izolasyonu sağlamaktır.

Tam köprü devresi iki yarım köprü devresinden meydana gelmektedir. Aralarındaki fark yarım köprüde anahtarların açık – kapalı süreleri yani anahtarlama frekansına

göre kapasite değerinin seçilmesidir. Bu kapasite değeri sistemin rezonans frekansına göre ayarlanmalıdır. Bu sebeple seri RLC rezonans anında çekilebilecek yüksek akım ve düşen yüksek gerilim anahtarlama elemanlarının bozulmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle çalışmada tam köprü invertör devresi tercih edilmektedir. Tam köprüde anahtar sayısının fazla olması dezavantaj olmakla beraber rezonans frekansı anahtarları süren frekansın değişimiyle yapılmaktadır; yani yarım köprüdeki kapasite değerini değiştirme gibi bir durumla uğraşmadan sistemi kontrol etmek ve çalıştırmak mümkün olmaktadır.

Ultrasonik dönüştürücüler 38.8 kHz'de anahtarlanan mosfetler ve bu mosfetlerin oluşturduğu köprüye bağlı ferit nüveli bir transformator sayesinde şebekenin doğrultulmuş DA gerilimini anahtarlarken AA 600-1200V arası değişen yüksek genlikli bir sinyal ile sürülmektedirler.

şekil 3.12'de g devresinin şeması görülmektedir. Burada kullanılan anahtarların açma kapama sürelerinin doğru şekilde yapılması çok önemlidir. Herhangi bir aksaklık durumunda kullanılan anahtarların zarar görmesi kaçınılmazdır. Sistem anahtarları karşılıklı olarak aktif ederek transformator üzerinden geçen akımın yönünü sürekli olarak değiştirerek AA yi elde etmeyi sağlamaktadır.

İlk olarak P1 ve P4 anahtarları aktif edilerek akım P1 den P4 e doğru akarak pozitif alternans elde edilmiş olunur. Sonrasında P3 ve P2 anahtarları aktif edilir ve akım P3 den P2 ye doğru akarak eksi alternans elde edilmiş olunur. Bu alışma saniyede 38800 defa gerçekleştirilerek istenilen AA elde edilmiş olunur. Bu durumda transformatorün girişine 310V uygulanmış olunur. Giriş sarımına uygulanan gerilimi çıkışında yaklaşık ikiye katlayarak ultrasonik dönüştürücülerin ihtiyaı olan genlik seviyesini çıkışa verecektir.

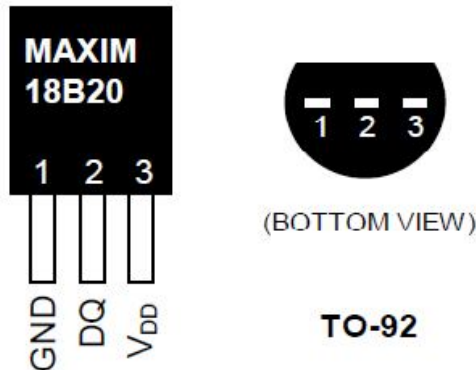
Transformatorün çıkışına bağlı kondansatör sistemin çalışma frekansı olan 38.8 kHz değerine göre ayarlanmış olup seri rezonans devresi olarak hesaplanmıştır. Burada DGM darbeleri mosfet sürücüye, mosfet sürücünün ıkışları da mosfetleri tetikleyerek transformator uçlarında kare dalga darbe ile transformatorü sürmektedir. Ulaşmak istediğimiz genlik değeri transformator ile yükseltilip rezonans frekansına

uygun seri kondansatör kullanılarak çıkışta sinüs şeklinde 38.8 kHz'lik rezonans frekansında darbeler elde edilir.

Bağlanan seri kondansatör hesabı ile yükün kapasitesi 3nF kabul edilerek seri rezonans devresinin rezonans frekansı bkz. Eşitlik 3.1 formülü ile hesaplanır. Kullanılan trafonun çıkış indüktansı 2,5 mH olup frekans 38,8 kHz olarak alındığında  $C=7,02$  nF olarak bulunur. 3nF yükün kapasitif etkisi ile seri bağlanacak kapasite yaklaşık 4nF olacaktır. Burada seri rezonans devresi çözümü ile sistemi rezonansta çalıştırarak en yüksek akım ve gerilim değerlerinde sistemin çalıştırılması sağlanmıştır. Rezonans anı sistemin en yüksek akımı çektiği an olmakla birlikte sistemde temizlik işlemini en çok yaptığı zaman olması sebebiyle rezonans frekans değerinin iyi tespit edilmesi gerekmektedir.

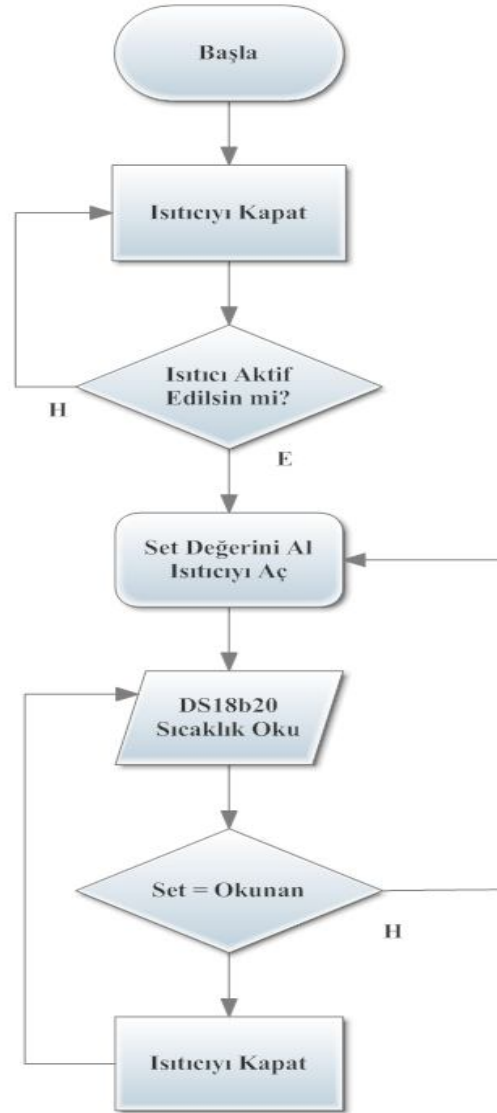
### 3.1.6. Yıkama Tankı Sıvı Sıcaklık Denetimi

Ultrasonik temizleme sistemlerinde sıcaklığın artışı kavitasyonu olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle tasarlanan sistemin sıvı sıcaklığının denetimi önem kazanmaktadır. Temizleme kazanının yan yüzeylerine ısıtıcı rezistansları yerleştirilerek sıvıyı kazanla birlikte ısıtmak mümkün olmaktadır. Mikrodenetleyicili denetim kartına bağlı sıcaklık sensörü yardımıyla kazan sıcaklığı ölçülüp istenilen sıcaklığa ulaşılmada yardımcı olmaktadır. Sıcaklık sensörü olarak DS18B20 kullanılmaktadır. Şekil 3.13'de sensörün bacak bağlantıları görülmektedir.



Şekil 3.13. Sıcaklık sensörü bağlantı uçları.

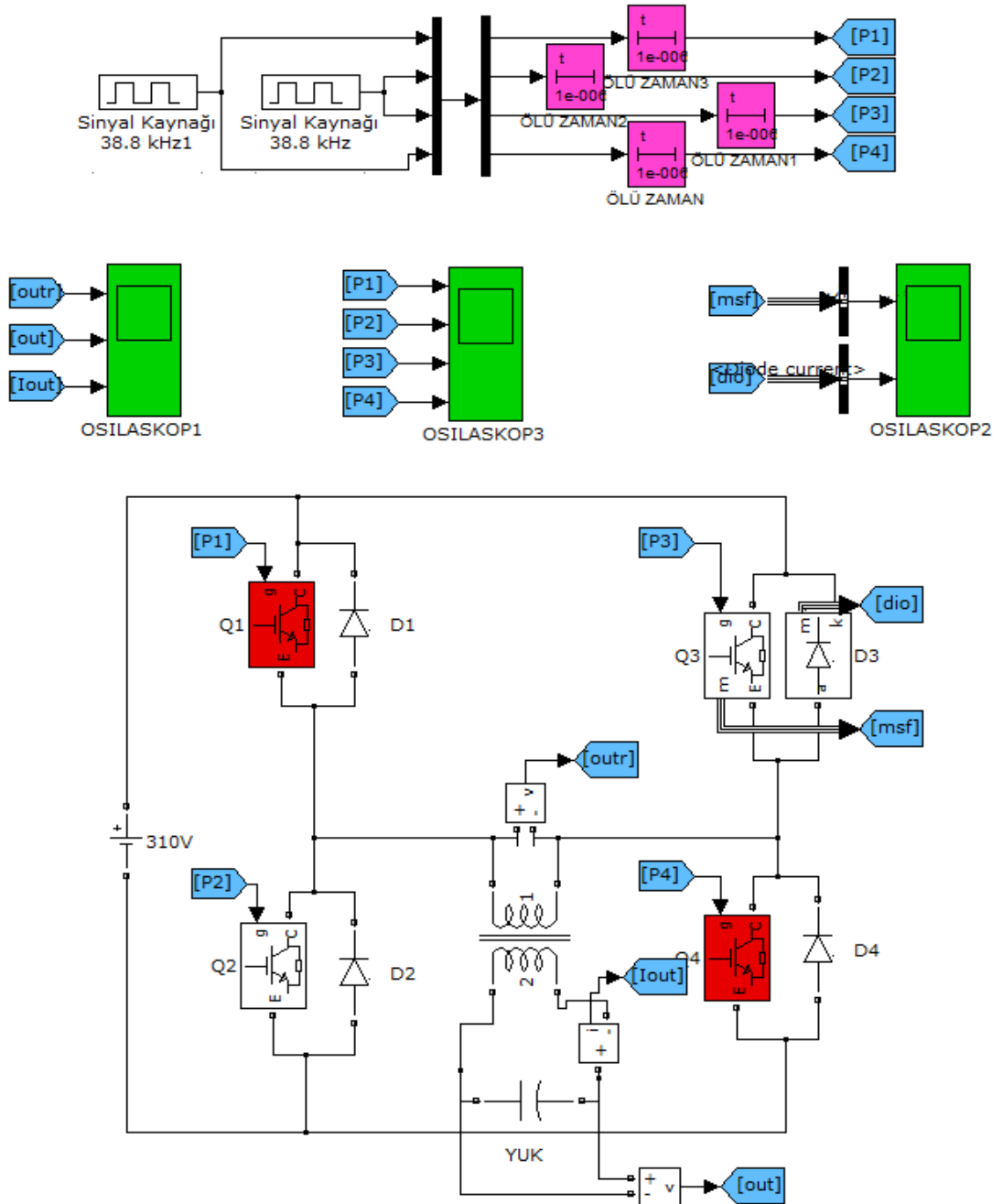
DS18B20 tek hat haberleşme protokolünü kullanan, 12bit çözünürlüğe sahip sıcaklık sensörüdür. İletişim için sadece tek port gerektirmesi, düşük enerji gereksinimi ve yüksek çözünürlüğü ile pek çok uygulamada kullanılabilir gelişmiş bir sıcaklık sensörüdür. Her DS18B20 entegresi yalnızca kendisine has, üretim esnasında belirlenen ve ROM belleğinde saklı olan 48 bitlik seri koda sahiptir. Mikrodenetleyicili denetim kartına yazılan kod ile sıvı sıcaklığı kurulan değere ulaşmaya kadar rezistansı açık tutar daha sonra istenilen sıcaklığa ulaştığında rezistansı kapatır ve bu şekilde temizleme tankı içerisindeki sıvı istenilen sıcaklık değerinde sabit tutulabilmektedir. Şekil 3.14’de temizleme kazanı sıcaklık sisteminin akış diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.14. Temizleme kazanı sıcaklık sisteminin akış diyagramı.

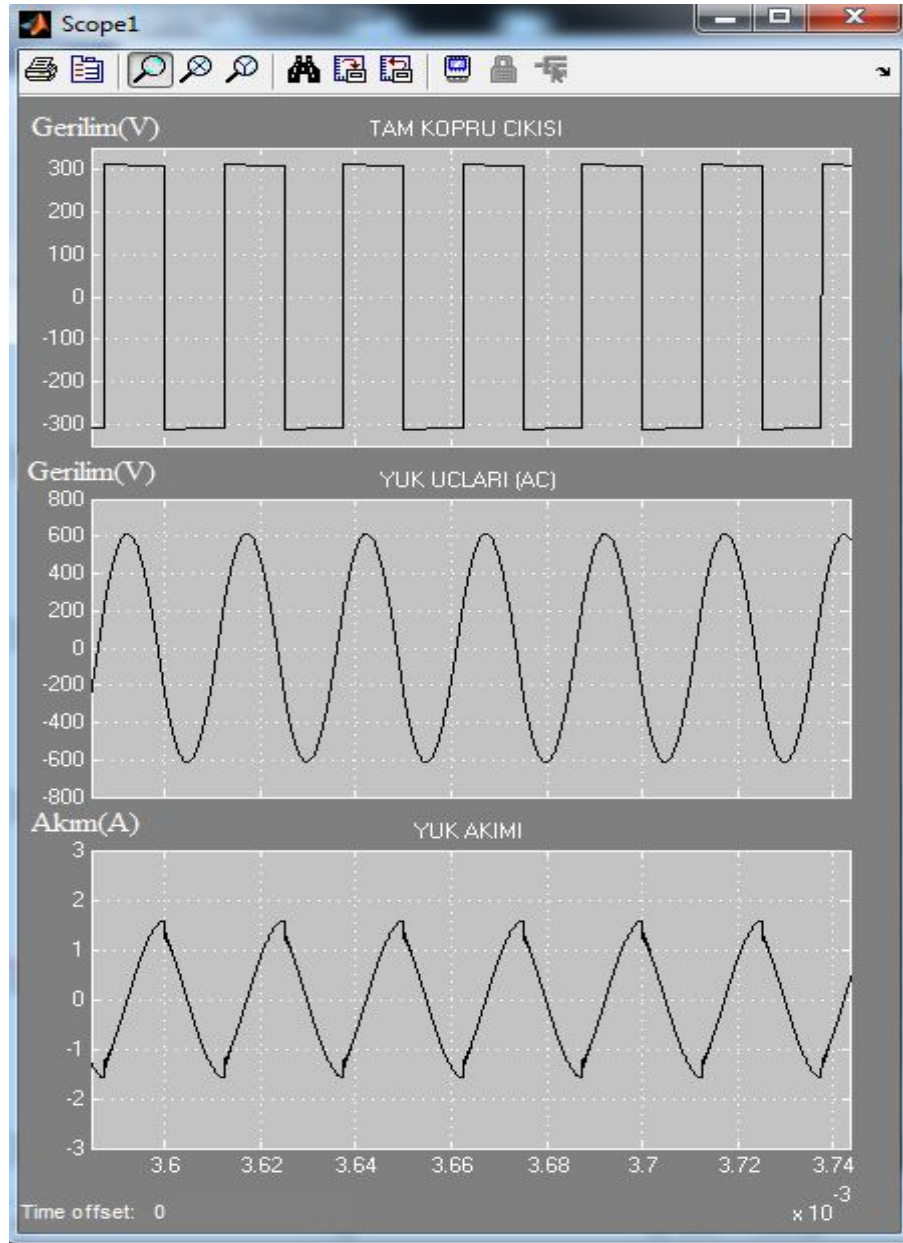
### 3.2. BENZETİM

Ultrasonik temizleme cihazının en önemli yapısı ultrasonik dönüştürücüdür. Sistemi tasarlarken ultrasonik dönüştürücünün nasıl çalışacağını önceden kestirmek mümkün değildir. Bu durumda sistemi kurmadan önce benzetim yapılacak olur ise ne ile karşılaşılacağını görmek mümkün olacaktır.



Şekil 3.15. Ultrasonik temizleme sisteminin benzetim devresi.

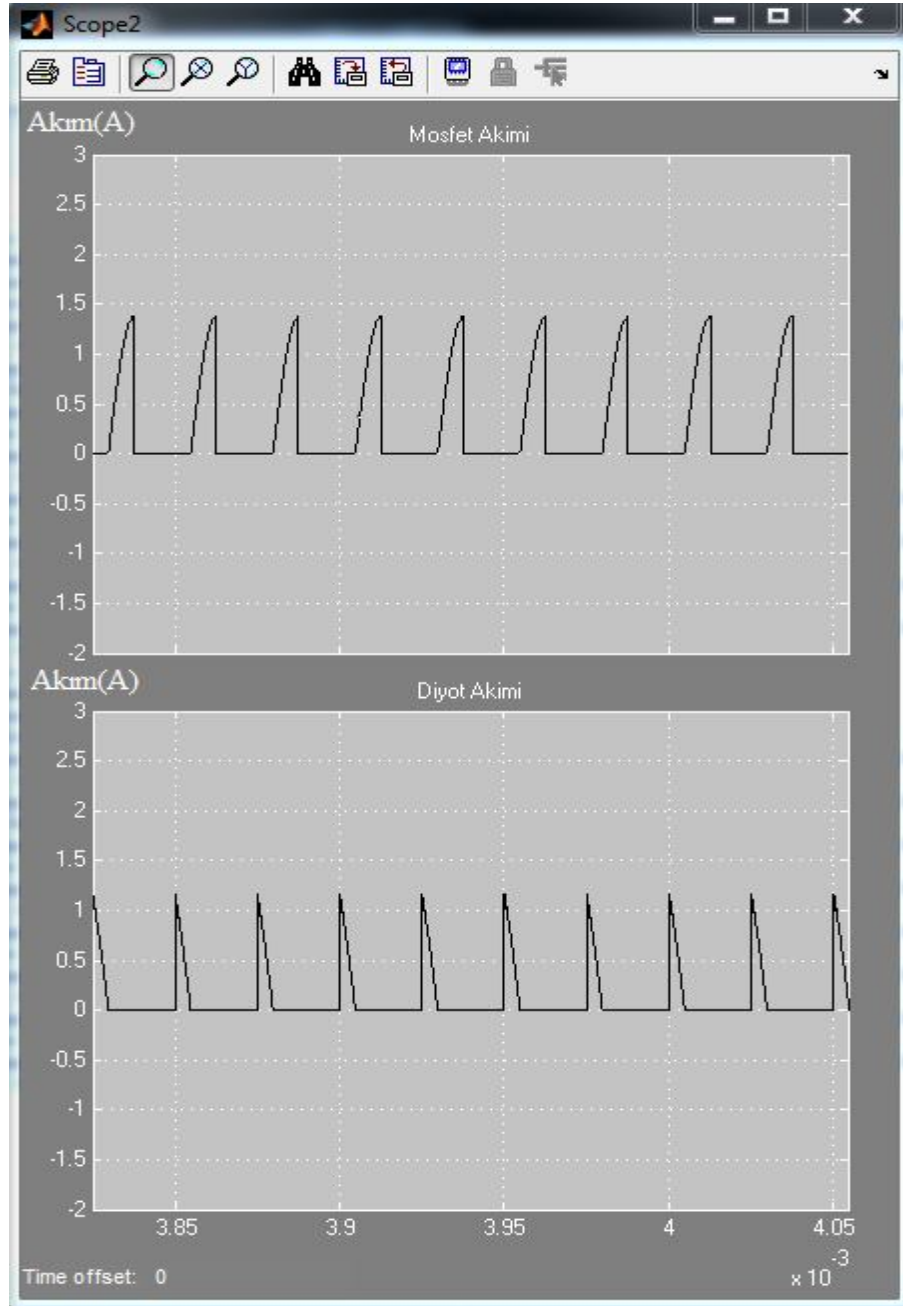
Matlab simulink sistem modellemede kullanılan bir programdır. Burada tasarlanan invertör devresini oluşturup çıkışına da dönüştürücünün eşlenik devresini bağlayarak sistemi oluşturmadan önce ne cevap vereceğini görmek mümkün olacaktır. Şekil 3.15’de darbe jeneratörleri kullanılarak tam köprü devresi kurulmuştur. Sistemin belli noktalarında ölçümler alınmış ve tasarlanan devre ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3.16’da invertörün çıkışı ile yüksek frekans transformatörünün çıkışları karşılaştırılmaktadır ve akım değeri görülmektedir.



Şekil 3.16. İnvörtörün çıkışı ile yüksek frekans transformatörünün çıkışları.

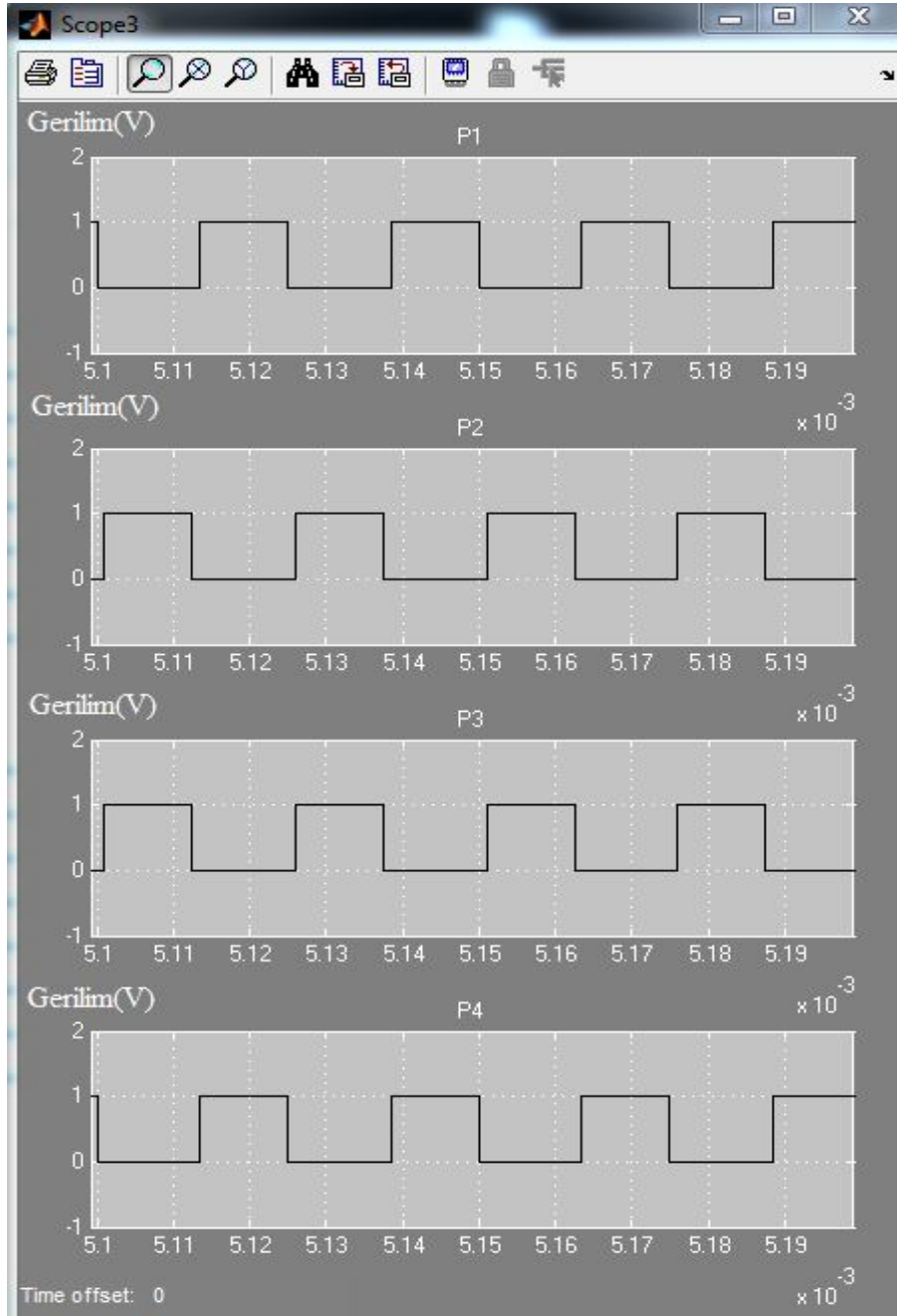


Şekil 3.17’de ise invertörde kullanılan anahtarlama elemanlarının açık iken üzerindeki akım ile kapalı iken anahtar uçlarına bağlı diyotların üzerinden geçen akımlar gözükmemektedir. Kullanılan diyotlar anahtar elemanları kesime giderken yüksek frekans transformatörü üzerinde indüklenen akımın anahtarlama elemanlarına zarar vermesini engellemek için kullanılmıştır. Uygulamada bu diyotlar kullanılmadığında anahtarlama elemanları üzerinde ısı meydana gelmektedir.



Şekil 3.17. Anahtarlama elemanları üzerindeki akım değişimleri.

Sistemde kullanılan anahtarlama elemanları açık ve kapalı konumlarını mikrodenetleyiciden gelen eş zamanlı DGM sinyalleri belirlemektedir. Bu şekilde şebekeden elde edilen DA değeri istenilen frekansta AA değere dönüşmektedir. Şekil 3.18’de benzetimi gösterilen anahtarlama elemanlarının açık ve kapalı kalma süreli gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Anahtarlama elemanlarının açık-kapalı kalma süreleri.

Kullanılan ölü zaman değeri arttırıldığında sistemden akan akım azaldığı için çıkış gücü de düşmektedir. Ölü zamanın uygun değerde olması gerekmektedir. Fazla olması gücü düşürürken az olması da anahtarlama elemanlarının ısınmasına neden olmaktadır. Çünkü bir anahtar kapanmadan diğeri açılacak ve kollar üzerinden giriş gerilimi kısa devre olacak ve anahtarlama elemanları bozulacaktır.

### **3.3. YAZILIM**

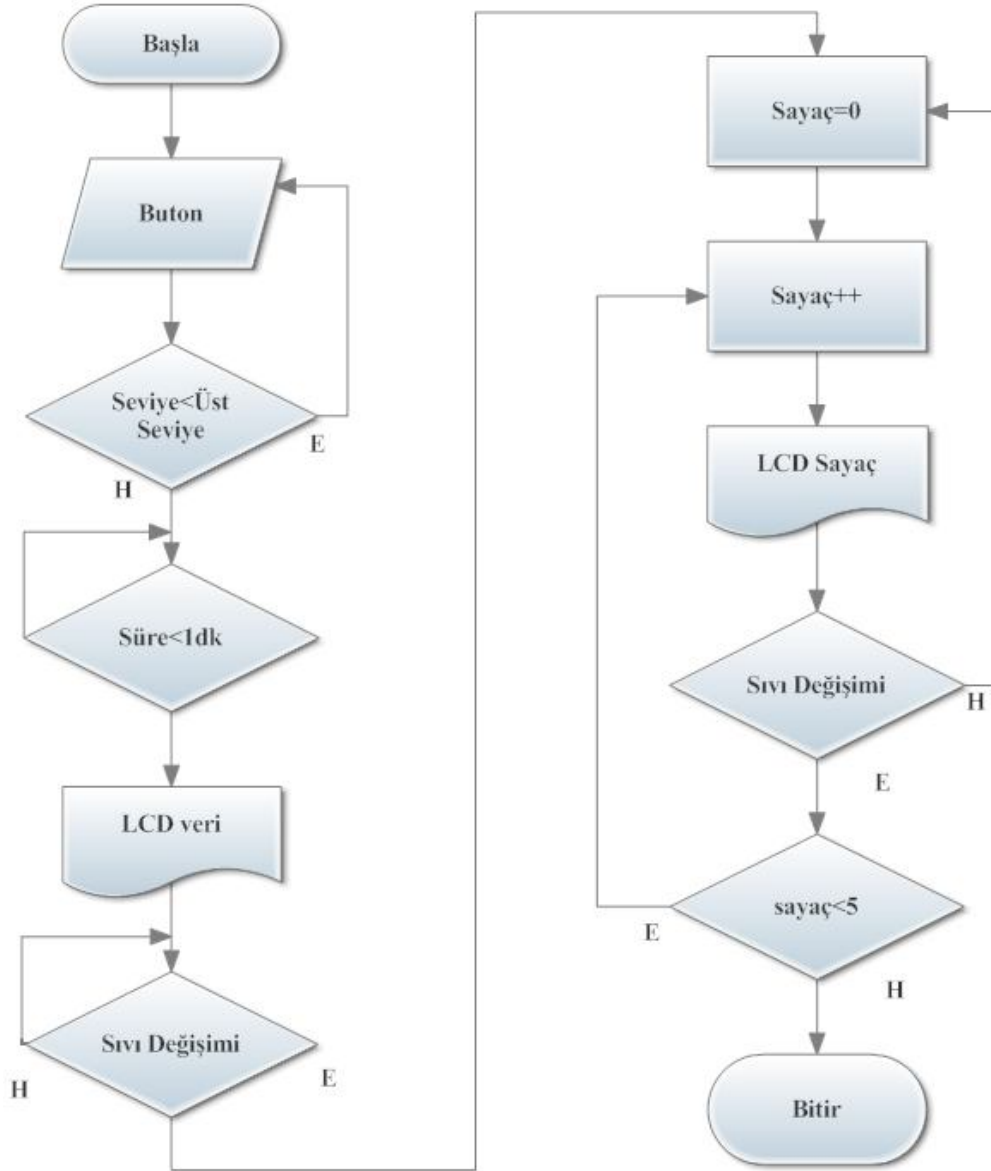
Mikrodenetleyici yardımıyla ultrasonik temizlik sisteminin bütün gereksinimlerini denetlemek mümkün olmaktadır. Kullanılan sıvının sıcaklık denetimini, aynı şekilde kullanılan ultrasonik dönüştürücünün çalışma frekansını ve sıvı içerisindeki değişimlerin her birini aynı merkezden denetlemek mümkün olmaktadır. Çalışmada mikrodenetleyici bu işlevlerin her birini yerine getirmekle kalmayıp temizleme süresinin uzunluğunu da sıvı çözeltisini kontrol ederek ayarlamaktadır.

Sistem çalıştırılmak istenildiğinde ilk olarak kazanda sıvı olup olmadığını kontrol etmektedir. Sıvı yok ise sistem çalışmayacaktır. Bu sayede ultrasonik dönüştürücüler ve jeneratör korunacaktır. Şekil 3.19'da gerçekleştirilen sistemin yazılımının akış diyagramı görülmektedir.

Ultrasonik temizliğin yapılacağı sistem çalıştırılmak istendiğinde kazan sıvı ile dolu olmadığından sistemi aşırı yüklemiş olup jeneratör devresinin ve dönüştürücülerin zarar görmesine neden olabilmektedir. Sıvı ile doldurulmuş sistem ilk bir dakika boyunca sıvı içerisindeki gaz çıkarma işlemini gerçekleştirmektedir. Bu şekilde temizleme sıvısını, kavitasyona hazır hale getirmektedir.

Temizlenecek malzeme sıvı içerisine atıldıktan sonra sıvı içindeki değişimler incelenmektedir ve sistemin çalışıp çalışmaması kararını denetleyiciye verilmektedir. Malzeme üzerindeki kir sıvıya çözünmeye başlayınca sıvının iletkenliği ve bulanıklığı değişmektedir. Bu değişimler belli bir süre sonra sabitleşince mikrodenetleyici bu sabitliği denetlemektedir. Bu esnada sıvıda herhangi bir değişiklik söz konusu olacak olursa mikrodenetleyici sıvının değişimlerinin tekrar

sabitlenmesini beklemektedir. Ardı ardına beş kez sıvı içerisinde değişme olmaz ise sistem kendini otomatik olarak kapatmaktadır.



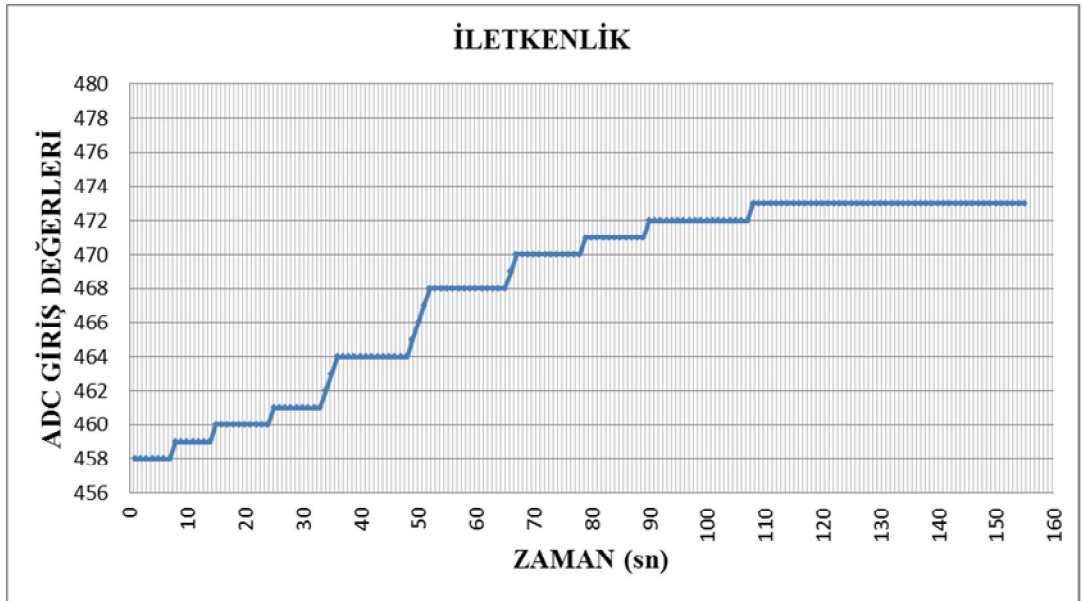
Şekil 3.19. Tasarlanan sistemin genel akış diyagramı.

Temizlik tankı çevresine monte edilmiş ısıtıcılar ile sıvı sıcaklığını istenilen derecede tutmak mümkün olacaktır. Sıvının sıcaklığı istenilen sıcaklığa ulaşınca rezistans kapatılıp doğal soğutmaya bırakılacaktır. Mikrodenetleyicili denetleme kartı ile temizlik sıvısının sıcaklığı da denetlenmesi mümkün olmaktadır.

## BÖLÜM 4

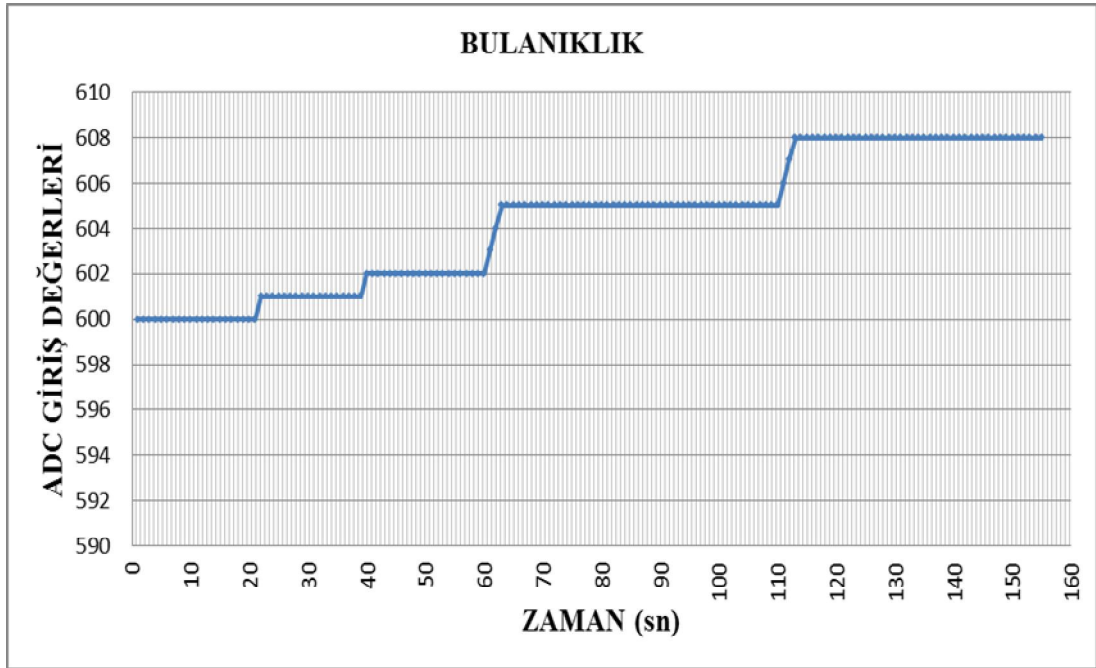
### DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

Ultrasonik temizleme yönteminde temizleme tankı içerisine konulan cisimden temizleme esnasında kopan parçacıklardan dolayı sıvının iletkenlik ve bulanıklık değerlerinde değişimler gözlenmektedir. Sistemin çalışması devam ettikçe malzeme yüzeyindeki kiri sıvıya çözmeye devam edecektir. Ancak temizlenecek malzeme yüzeyinde kir kalmayıp, sıvı değerlerinde değişim oluşmayınca sistem kendiliğinden kapanacaktır. Şekil 4.1’de üzerinde bir miktar kir bulunan malzemenin temizlenme esnasındaki iletkenlik değişimi verilmiştir. Sıvı içerisinde kir çözünmeye başlayınca iletkenlik artmış ve belli süre sonra değer sabit kalmıştır. Bu esnada sistem kendiliğinden kapanmıştır. Sistem her dört saniyede bir sıvı değerlerini karşılaştırmaktadır. Arka arkaya beş değişme olmaz ise sistem kendini kapatmaktadır. Toplamda yirmi saniye içerisinde aynı anda hem bulanıklık hem de iletkenlik değerlerinde değişme olmaması durumunda sistem kendini kapatmaktadır.



Şekil 4.1. Malzeme temizleme esnasındaki sıvı iletkenlik değişimi.

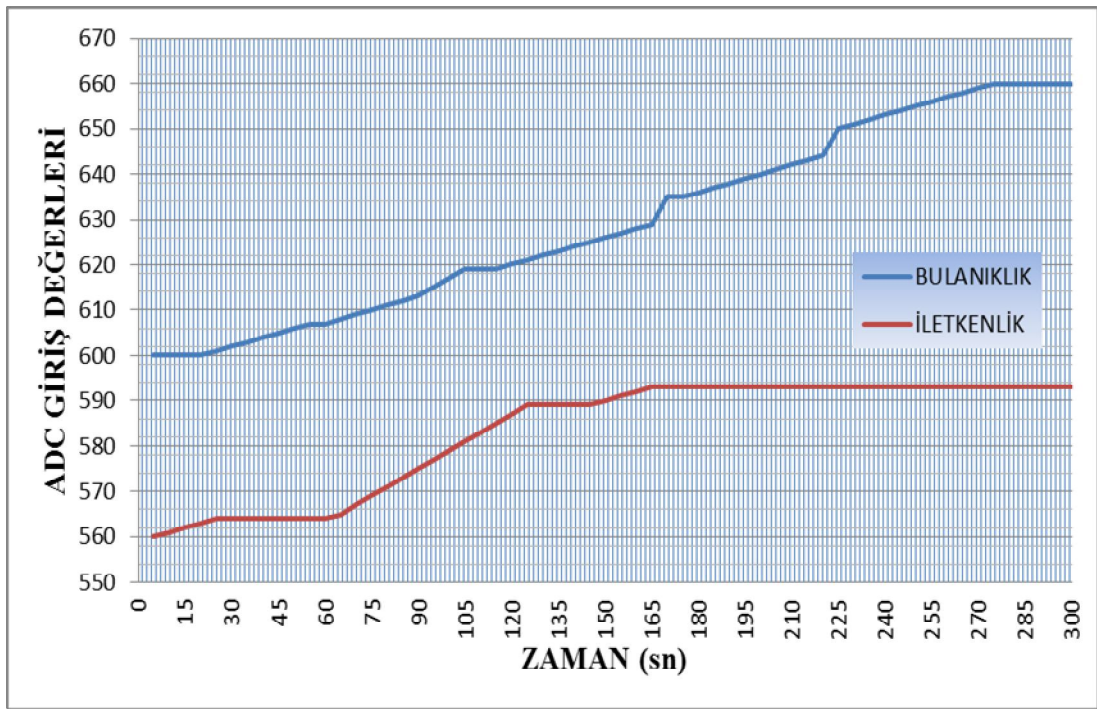
Bu temizlik işleminde sıvı üzerindeki kir iletkenlik değerini 16 birim değiştirirken bulanıklık değerini yalnızca 8 birim değişikliğe uğratmıştır. Sistemde sıvı çözelti değerlerinin değişiminin durduğu anda harcanan toplam süre 135sn olarak saptanmıştır. Şekil 4.2’de bulanıklık grafiği verilmiştir. Bulanıklık grafiğinin 115. sn den sonra ardı ardına yirmi saniye boyunca sıvı değişiminin olmamasından dolayı sistem 135sn sonunda kendiliğinden kapanmıştır.



Şekil 4.2. Malzeme temizleme esnasındaki sıvı bulanıklık değişimi.

Sistemin içerisindeki temizleme sıvısı değiştirildikten sonra temizlik için içerisine atılan paslı malzemenin temizliği esnasındaki iletkenlik ve bulanıklık grafiği Şekil 4.3’de görülmektedir. Temizleme tankı içerisine atılan cisim temizlenirken üzerinden attığı kir bulutu sensorların yakınında iken sıvı analiz devresinde ani salınımlara neden olabilmektedir. Sensorların ilk okuduğu an ile kirin suyun dibine çöktüğü an arasında okuma farklılıkları olabilmektedir. Bu nedenle analiz işlemi yapılırken sıvı içerisindeki değişimde sadece artma yada sadece azalmaya göre temizleme işleminin süresine karar verilmemektedir. Sistem temizleme sıvısının anlık değişimlerine bakarak süreci denetlemektedir.

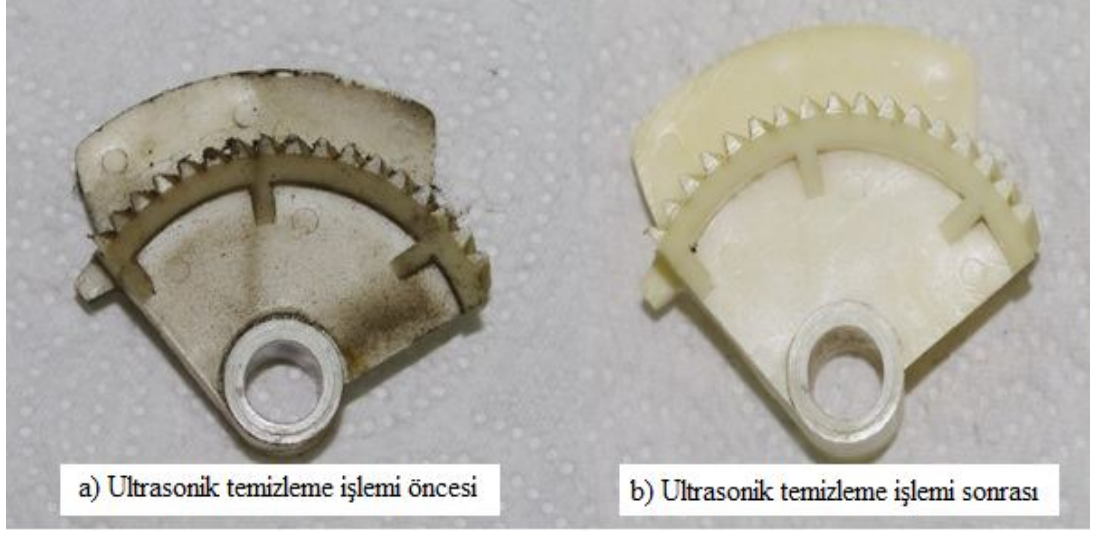
Şekil 4.3’de ilk 20sn de bulanıklık değişmez iken iletkenlikte artış bulunmaktadır ve temizliğe devam edilmektedir. İlk yarım dakika ile bir dakika arasında iletkenlik sabit kalmış ve bulanıklıkta artma gözlenmektedir. Sonraki bir dakika içerisinde malzeme yüzeyinden kopan tanecikler iletkenlik ve bulanıklığı sürekli olarak arttırmaktadır. 165.sn den sonra sıvının iletkenliğinde herhangi bir değişme olmamakta iken bulanıklıkta değişme devam etmektedir. Sistemde 270.sn den sonra bulanıklık ve iletkenlik değerlerinde herhangi bir değişme olmadığından beş kez sınama yaptıktan sonra yıkama sürecini tamamlamıştır.



Şekil 4.3. Temizlenen paslı malzemenin iletkenlik-bulanıklık grafiği.

Şekil 4.3’de paslı bir malzemenin temizlenirken oluşturduğu iletkenlik ve bulanıklık değişim grafiği gözükmektedir. Temizleme tankı içerisine atılan malzemenin temizleme süresi beş dakika kadar sürmüştür. Bulanıklık Değerinde 60 birim değişiklik gözlenirken iletkenlikte bu değer 33 birim olarak elde edilmiştir.

Pas ve kirin malzeme yüzeyinden ayrılması zorlaştıkça temizleme süresi artmaktadır. Süreyi kısaltmak için kimyasal çözümler kullanmak mümkündür. Bu sayede kullanılan sıvı çözümler ile harcanan enerjiden tasarruf etmek mümkün olacaktır.



Şekil 4.4. Yağlı malzemenin temizlik öncesi ve sonrası fotoğrafı.

Şekil 4.4 a'da plastik bir malzemenin temizlenmeden önceki ve Şekil 4.4 b'de temizlendikten sonraki hali görülmektedir. Bu malzeme el değmeden yaklaşık iki buçuk dakikada temizlenmiştir. Ultrasoniğin avantajlarından biri de temizlik esnasında insanın ulaşamadığı noktaların da temizlenebilmesidir. Şekildeki parçanın dişli kısımları ile mil çevresinin bulunduğu noktaların temizlendiği görülmektedir.



Şekil 4.5. Paslı malzemenin temizlik öncesi ve sonrası fotoğrafı.



Şekil 4.5 a’da paslı bir malzemenin temizlenmeden önceki ve Şekil 4.5 b’de temizlendikten sonraki fotoğrafları görülmektedir. Malzemenin uç kısmındaki yoğun pas bölgesi temizleme sıvısı içerisinde çözülerek sıvının iletkenlik ve bulanıklık değerini hızlı bir şekilde değiştirmektedir.

Yapılan bu deneyler sonucunda tasarlanan sistemin içerisine atılan malzemeyi zarara uğratmadan temizleme işlemini bitirdiği görülmektedir. Sistem temizleme işleminin süresini kendiliğinden ayarlayarak kullanıcının denetimine gerek duymadan temizleme işlemini gerçekleştirmiştir. Temizleme işleminde enerji tasarrufu sağlanmıştır. Bu durdurma işlemi cihazın çalışma ömrünü uzatmaktadır.

Ultrasonik temizleme cihazlarının içerisinde oluşan kavitasyon baloncuklarını gözle görebilmek mümkün değildir. Kavitasyon baloncuklarını gözle görür hale getirebilmek için temizleme sıvısı içerisine alüminyum folyo daldırılmaktadır. Şekil 4.6’da temizleme tankı içerisine daldırılan alüminyum folyo üzerinde küçük deliklerin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4.6. Kavitasyon baloncuklarının alüminyum folyoya etkisi.

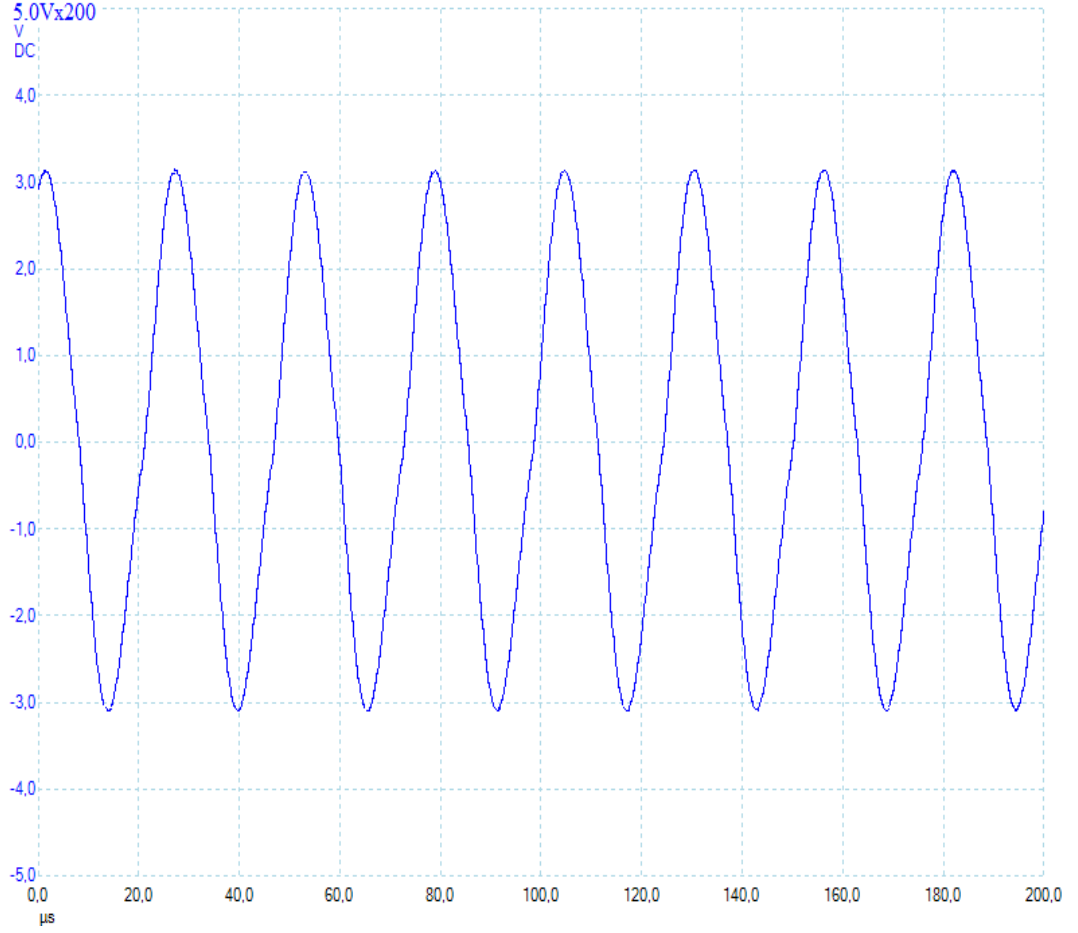
Ultrasonik temizleme cihazında bulunan dönüştürücüler rezonans frekans anında sıvı içerisine homojen şekilde kavitasyon baloncukları meydana getirmektedir. Rezonans anı dışında ise sıvı içerisinde homojen olmayan bir yapıda kavitasyon oluşturmaktadır.

Temizleme tankı içine daldırılan malzeme homojen olmayan bir kavitasyon baloncuk yığına maruz kaldığında malzemenin bütün yüzeyi temizlenmeyecektir. Aksine bir noktası temizlenip devamında kavitasyon erozyonuna uğrayacaktır. Şekil 4.6'da homojen yapıda kavitasyon baloncuğu oluşmuş temizleme etkisi görülmektedir. Şekil 4.7'de homojen kavitasyon baloncuğu oluşmamış temizleme etkisi görülmektedir.



Şekil 4.7. Homojen olmayan kavitasyon baloncuğunun temizleme etkisi.

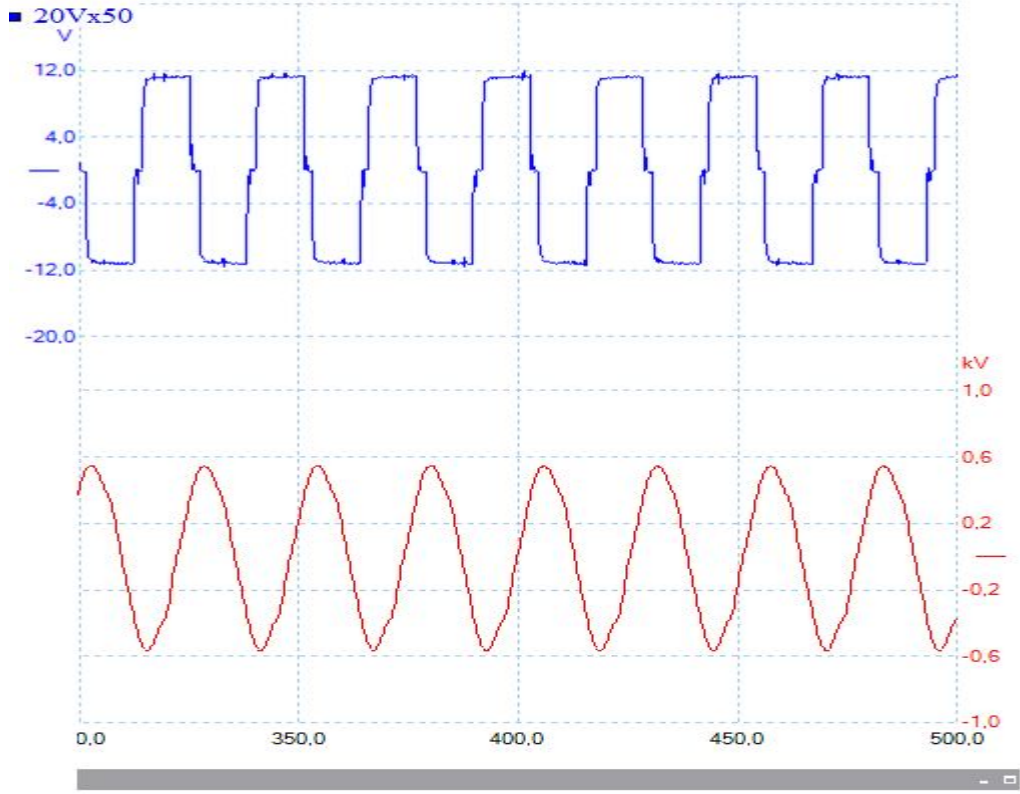
Benzetimi gerçekleştirilen çalışmada ölçülen sinyaller matlab çıkış sinyalleriyle birebir örtüşmektedir. Yüksek frekans transformatör çıkışı sinüs dalga olup maksimum değeri 610V civarında ölçülmektedir. Kullanılan osilaskopun propları ölçülen değeri iki yüz kat küçülterek osilaskop ekranına vermektedir. Şekil 4.8'de yüksek frekans transformatörünün uçlarındaki gerilim değeri görülmektedir.



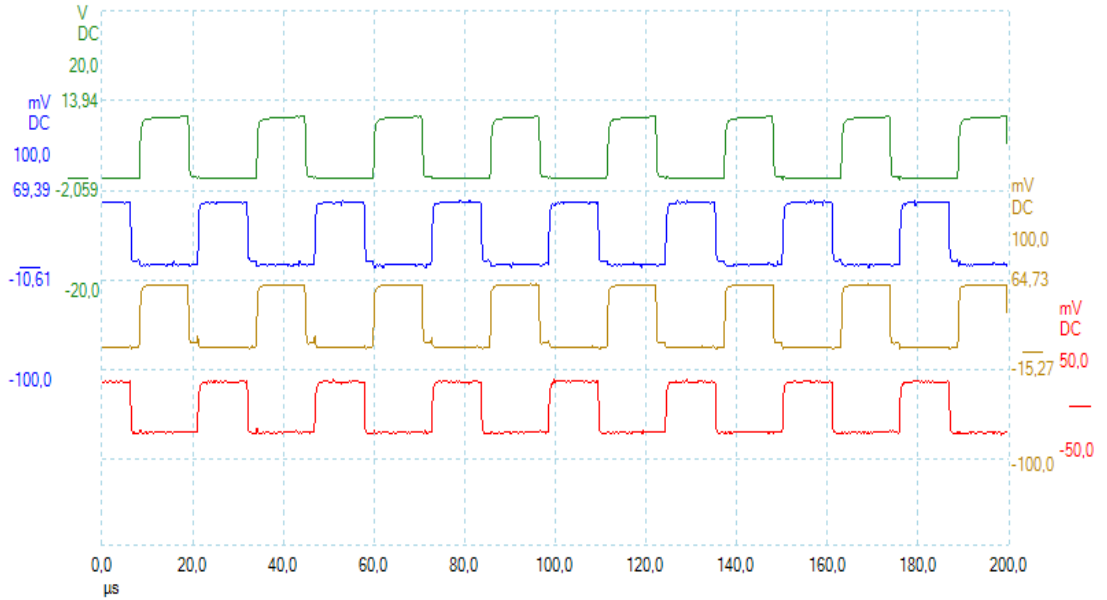
Şekil 4.8. Yüksek frekans transformatörünün çıkışı.

Şekil 4.9’da yüksek frekans transformatörünün girişi ve yük uçlarındaki çıkışı görülmektedir. Kare dalga ile sürülen yüksek frekans transformatörü, çıkışı rezonans frekansına karşılık gelen kondansatör yardımıyla sinüs dalga elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Sistem PS-PWM ile de çalışmakla birlikte sinüs dalga ile çalışmasında daha fazla kavitasyon kabarcığı elde edildiği bilinmektedir.

Sistemin ölçüm sonuçlarının daha önce yapılan benzetimin sonuçlarıyla birebir uyduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Yüksek frekans transformatörünün giriş çıkışı.



Şekil 4.10. İnvörtör devresindeki mosfetlerin anahtarlanma süreleri.

Şekil 4.10'da invertör devresindeki mosfetlerin anahtarlanma süreleri verilmektedir. Aynı kollar üzerindeki mosfetler birbirlerinin tersi sinyallerle sürülmektedirler.

Çizelge 4.1. Yıkanan malzemelerin sıvı ve sıcaklık değişimine göre yıkama süresi.

<b>Deney No</b>	<b>Sıcaklık</b>	<b>Temizleme Sıvısı</b>	<b>Süre(sn)</b>
1	20°C	su	215
2		benzin	95
3		sabunlu su	124
4	70°C	su	155
5		benzin	75
6		sabunlu su	92

Çizelge 4.1’de farklı sıvı sıcaklığında ve farklı çözeltilerde kirli malzemelerin yıkanma süresi görülmektedir. Kullanılan sıvının çözücü özelliği var ise kirlerin daha kısa sürede çözüldüğü görülmektedir. Saf su kullanılan temizleme işlemlerinde ise sıcaklığın yüksek olduğu noktada temizliğe olan etkisi görülmektedir. Sıcak suda temizleme işlemi daha kısa sürmektedir. Yapılan temizlik işlemlerinde temizlenen malzemelerin yüzeyinde deformasyon görülmemektedir.

## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Geleneksel ultrasonik temizleme sistemlerinde istenilen sonuca ulaşabilmek için temizlik tankında oluşan kavitasyon miktarının sürekliliğini arttırmak gerekmektedir. Kullanılan sıvı içerisindeki kir miktarı belli bir süre artmakta ve daha sonra kavitasyona engel olmaya başlamaktadır. Burada ya sıvıyı değiştirmek ya da sistemin gücünü arttırmak gerekmektedir. Gereğinden fazla güç kullanımında ultrasonik dönüştürücünün ömrü azalmakla birlikte temizleme tankı içerisinde oluşacak kavitasyonun şiddeti de artıp malzemeye zarar vermektedir. Bu da kavitasyon erozyonuna sebep olmaktadır. Bu çalışma ile gerçekleştirilen akıllı ultrasonik temizleme cihazı ile kavitasyon erozyonuna neden olmadan malzeme temizliğini yapabilmek mümkün hale getirilmiştir. Çalışmada temizleme tankındaki sıvının kirliliği ve bulanıklığı temizleme sürecinde değişim göstermektedir ve bu değişim miktarı yorumlanarak temizleme süresi hesaplanmaktadır. Uygulaması gerçekleştirilen ultrasonik temizleyicinin rezonans frekansına mikrodenetleyici ile ulaşması sağlanmıştır. Mikrodenetleyici içerisindeki yazılımın değiştirilmesi ile farklı frekanslardaki ultrasonik dönüştürücülerin kullanılmasına imkan sağlamaktadır. İşleme tabi tutulan kirli malzemelerin yüzeyinde kavitasyon erozyonu meydana gelmeden kirlerin temizlendiği gözlenmektedir.

Sıvı analiz devresinin çalışması için kullanılan sensor sayısı ve tank içine yerleşimleri üzerine çalışmalar yapılabilir. Ultrasonik temizleme sisteminin durdurulması, görüntü işleme yöntemleri kullanarak sağlanabilir. Temizliğin kalitesini yüzey analiz cihazları kullanarak belirlemek mümkün olabilmektedir. Sistemin denetimini bulanık mantık kullanarak da denetlemek mümkün olabilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. İnternet: Cleaning Technologies Group “Fundamentals of Ultrasonics” <http://www.ctgclean.com/technology-library/articles/ultrasonic-cleaning-fundamental-theory-and-application/> (2012).
2. Fuchs, F. J., “Ultrasonic cleaning: fundamental theory and application”, *Blackstone Ney Ultrasonics*, New York, 644-651 (2002).
3. İnternet: Anadolu Üniversitesi Ders Notu “Ses Dalgası ve Özellikleri” <https://www.anadolu.edu.tr/aos/kitap/EHSM/1221/unite12.pdf> (2012).
4. Maxim V. Khmelev, Sergey N. Tsyganok and Dmitry V. Genne, "Optimization of operation mode of ultrasonic device for automobile injectors clearing" *8th International Siberian Workshop and Tutorials EDM*, Erlagol, July 1-5, 323-326 (2007).
5. Zhang, H., Junzhong1, S. and Mingtao, G., "Study on the designtechniques of ultrasonic cleaning device of motor winding" *Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, IEEE Conference Publications, 538-542 (2011).
6. İnternet: Ultrasonics World Online “Cleaning converters” <http://www.ultrasonicsworld.com/> (2012).
7. Yakut, M., Tangel, A. ve Tangel, C., “A microcontroller-based generator design for ultrasonic cleaning machines”, *Istanbul Universty-Journal of Electrical and Electronics Engineers*, 9 (1): 853–860, (2009).
8. Ensminger, D., “Ultrasonics: fundamentals, technology, applications 2<sup>nd</sup> ed.”, *Marcel Dekker*, New York, 276-295 (1988).
9. Buasri, C. and Jangwanitlert, A., “Comparison of switching strategies for an ultrasonic cleaner”, *5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2008*, Krabi, Thailand, 1005 - 1008, (2008).
10. Kocis, S. and Figura, Z., “Ultrasonic Measurements and Technologies”, *Chapman&Hall Ister Science Limited Translation*, London, 31-46 (1996).

11. Guvenc, U., Yakut, M. ve Tangel, A., “Ultrasonik temizlik sistemlerinde rezonans frekansı tespiti için yinelemeli frekans bandı tarama tekniği”, **Gömülü Sistemler ve Uygulamaları Sempozyumu - GÖMSİS 2010**, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 21 (2010).
12. Tangel, A., Yakut, M. ve Guvenc, U., “FPGA based resonance frequency detection algorithm for piezoelectric transducers”, **IWPMA 2010**, Antalya (2010).
13. David, J. and Cheeke, N., “Fundamentals And Applications Of Ultrasonic Waves”, **CRC Press**, 18-34 (2002).
14. Tangel, A., Yakut, M., Afacan, E., Guvenc, U. ve Sengul, H., “An FPGA-based multiple-output PWM pulse generator for ultrasonic cleaning machines”, **2010 International Conference on Applied Electronics**, Czech Republic, 1-4, (2010).
15. Hancock, J, “Ultrasonic cleaning”, ASM Handbook, **Surface Engineering**, 5: 44-47 (1994).
16. Novelline, R., “Squire's fundamentals of radiology (5th ed.)”. **Harvard University Press**, 34-35 (1997).
17. Tangel C., “Mikrodenetleyici kontrollü ultrasonik temizleme makine tasarımı” Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Kocaeli, 7-20 (2009).
18. Fencl, R. C. and Hollerith, B., “ The advantages of ultrasonic cleaning as a production tool”, **IEEE Transactions on Ultrasonic Engineering**, 71-74 (1963).
19. Nagarajan, R., Diwan, M., Avasthi, P., Shukla, A., Sharma, P., Goodson, M. and Awad, S., “Optimization of ultrasonic cleaning for erosion-sensitive microelectronic components” , **2006 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference**, 233-237 (2006).
20. Hatano, H. and Kanai, S., “High-Frequency ultrasonic cleaning tank utilizing oblique incidence” **IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control**, 43 (4): 531-535 (1996).
21. Lewis, J. P., Gardner, S. and Corp, I., “Finite element simulation of a long narrow workload immersed in an ultrasonic cleaning bath-practical comparisons and implications for cleaning efficacy”, **IEEE 2005 Ultrasonic Symposium**, Rotterdam, 699-702 (2005).
22. Khmelev, V. N. Barsukov, R. V. Tsyganok, S. N., Slivin, A. N. and Levin, S. V., “The device of ultrasonic cleaning of automobile injectors”, **4th Siberian Russian Workshop and Tutorials EDM'2003**, Novosibirsk (2003).



23. İnternet: Emerson Industrial Automation “Industrial Ultrasonic Cleaning” <http://www.emersonindustrial.com/en-US/Pages/home.aspx> (2012)
24. İnternet: Manufactures of Ultrasonic Cleaning Systems “Precision Cleaning Systems” <http://www.tmasc.com/basic%20di%20info%20systems.pdf> (2012).
25. Güvenç, U., “Fpga çok fonksiyonlu ultrasonik temizleme makinesi tasarımı ve prototip üretimi” Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 10-19 (2011).
26. Papadakis, E. P. “In Ultrasonic instruments and devices” *Harcourt Science and Technology, Academic Press*, San Diego, CA, 193–274 (1999).
27. Soares, D. and Arnau, A., “Piezoelectric Transducers And Applications”, *Springer Berlin Heidelberg*, 1-38 (2008).
28. Ay, İ. ve Anaç, N. “Ultrasonik yöntemle parça temizleme” *Balıkesir Üniversitesi, IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu*, Balıkesir, 229–241 (2002).
29. Kanesberg, B. and Kanesberg, E., “Parameters in ultrasonic cleaning for implants and other critical devices” *Journal of ASTM International(JAI)*, 3 (4):1-4 (2006).
30. İnternet: Blue Wave Ultrasonics “Ultrasonic Cleaning” <http://www.bluewaveinc.com/reprint.htm> (2012)
31. İnternet: KKS Ultraschall AG “Ultrasonic equipment and cleaning units” <http://www.kks-ultraschall.ch/products> (2012)
32. İnternet: The Ultrasonic Cleaning Process “Principles Of Ultrasonic Cleaning” <http://www.natclo.com/dp/ultra.html> (2012)
33. İnternet: Microchip “Ürün Kataloğu” [http:// www.microchip.com/](http://www.microchip.com/) (2012)
34. İnternet: Vishay Semiconductors “Ürün Kataloğu” <http://www.vishay.com/-docs/83760/tcrt5000.pdf> (2012)

## ÖZGEÇMİŞ

Mustafa TEKE 1984 yılında Ankara`da doğdu, ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2002 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinde Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü Elektronik Öğretmenliği Programında lisans öğrenimine başladı. 2007 yılında mezun oldu. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümünde lisansüstü eğitimine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Çankırı Karatekin Üniversitesi  
Meslek Yüksek Okulu Taşmescid/ÇANKIRI  
Tel : (0376)213 11 95  
E-posta : mustafateke@karatekin.edu.tr